

Florian Elmer

Improving Flood Damage Modelling

Damage Assessment, Model Development and Application

Scientific Technical Report STR12/13

Imprint

HELMHOLTZ CENTRE POTSDAM
**GFZ GERMAN RESEARCH CENTRE
FOR GEOSCIENCES**

Telegrafenberg
D-14473 Potsdam

Printed in Potsdam, Germany
August 2012

ISSN 1610-0956

DOI: 10.2312/GFZ.b103-12136
URN: urn:nbn:de:kobv:b103-12136

This work is published in the GFZ series
Scientific Technical Report (STR)
and electronically available at GFZ website
www.gfz-potsdam.de > News > GFZ Publications

Florian Elmer

Improving Flood Damage Modelling

Damage Assessment, Model Development and Application

Dissertation eingereicht an der

Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät II
Humboldt-Universität zu Berlin, Geographisches Institut

zur Erlangung des akademischen Grades
doctor rerum naturalium (Dr. rer. nat.)

Juli 2012

Scientific Technical Report STR12/13

Humboldt-Universität zu Berlin – Geographisches Institut

Dissertation

Improving Flood Damage Modelling

Damage Assessment, Model Development and Application

zur Erlangung des akademischen Grades

doctor rerum naturalium

eingereicht von

Florian Elmer

an der Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät II

Dekan: Prof. Dr. Elmar Kulke

Gutachter/innen:

1. Prof. Dr.-Ing. Bruno Merz
2. Prof. Dr. Annegret H. Thieken
3. Prof. Dr. Dagmar Haase

Datum der Einreichung: 15. März 2012

Datum der Promotion: 02. Juli 2012

Acknowledgements

This thesis was conducted at Deutsches GeoForschungsZentrum Potsdam in the section 5.4 “Hydrology”. First and foremost, I want to thank Prof. Dr. Annegret Thieken, who provided me with the opportunity to conduct this thesis and was a wonderful project leader and supervisor. Annegret, your contribution to this work cannot be valued – there was so much to learn from you.

Prof. Dr.-Ing. Bruno Merz gave me a place in his section and his scientific achievements and advice in the field of flood risk research were very valuable. His backing allowed me to retain a PhD position and proceed with my work when a project came to an end. Bruno, your approach to science has been very inspiring and your section provided a great working environment over all those years.

Dr. Heidi Kreibich was a great colleague and advisor in the MEDIS project and I owe her a great deal of thanks for stepping in as supervisor and guiding me through the later stages of my thesis. Heidi, I’m looking forward to our future cooperation.

Without Prof. Dr. Doris Dransch I would never have come to the GFZ and, consequently, my professional career would have taken a totally different direction. Doris, I very much enjoyed working for you and thanks for your valuable advice ever since.

I started my thesis in the framework of MEDIS (Methods for the Evaluation of direct and indirect flood losses). For me, it was a great example how science should work. The cooperative atmosphere, creative discussions and effective cooperation was due to all the great people who contributed to the project.

In the middle of my PhD, the “lean years” of damage research at section 5.4, Ina Pech was a great help. Thank you for the discussions, ideas and support.

When conducting the research on flood risk change and its drivers, I was experiencing the committed collaboration of Doris DÜthmann, Dr. Sergiy Vorogushyn and Dr. Jana Hoymann. The section Hydrology “Damage Group” provided a great framework for needful and valuable discussions.

I also want to thank Prof. Dr. Friedemann Wenzel and Dr. Jörn Lauterjung for giving me some space to finish this thesis parallel to working for CEDIM.

Since I came to Potsdam and Berlin from Bavaria, a group of colleagues who were for the most part not directly involved in my work became friends and made so many things so much easier: Barbara, Tzveta, Anja, Matthias, Ben, Heiko, Susi and Manuela.

Special thanks to Dr. Isabel Seifert, my office mate for several years, Dr. Sören Haubrock and Dr. Susanna Werth: Isabel, you have many merits but especially your approach to work and life was always a source of joy and encouragement. Sören, you have been a great help before and throughout my PhD, providing support and an open ear whenever necessary. Sanna, thanks for the discussions that helped me to break a scientific logjam in the middle my PhD, for your passion, open-mindedness, multiple interests and Manoo. It's great to have friends like you.

Most important, my gratitude goes to my family: To my sister Susi and my cousin Sebastian and their loved ones for just being there whenever necessary. My parents, Doris and Stefan: Without your love, encouragement, unconditional – and unlimited - support that accompanied me all my life none of this would have been possible. To Ezinne and Ndidi who enrich my life in their own special way every single day and to Steffi for everything you mean to me.

Abstract

River floods rank among the most serious natural hazards worldwide in terms of economic losses and loss of life. Present and future environmental change projects further increase in flood risk. Effective mitigation of the negative consequences of floods requires flood risk analyses as a prerequisite and flood damage modelling is of crucial significance for risk analysis. However, research in this field still has substantial shortcomings. In this thesis three major areas with considerable room for improvement are approached: Damage data availability, flood damage model development and the identification of flood risk influences.

Flood risk analysis in general and damage modelling in particular need reliable, comparable, comprehensive, consistent and up to date data about flood damages. The lack of such data can be resolved by systematic flood damage data collection and storage. A Delphi-method experts' survey on information needs in flood damage analysis is presented in this work that analyses and validates the suitability of the applied multi-step interviewing technique. From the outcomes of the survey damage assessment standards are developed. Flood damage assessment guidelines and a matching flood damage database promote transfer from research to practise.

Damage models contribute most to the uncertainties in flood damage estimation. Analysis of empirical damage data of residential buildings revealed that one reason is the application of uniform models to events of different magnitude and probability. The identified significant correlation between object specific damage and event probability cannot be attributed to differences in water level or other direct damage influences (building type, building quality, contamination, and precaution). Thus a method to include flood probability in flood damage modelling is developed. The performance of different models is validated and an error analysis of the validation results implemented for model comparison. Our in-house-development of a multi-parameter flood damage model FLEMOps+r (Flood Loss Estimation Model for the priate sector ± recurrence interval) shows the lowest estimation errors. The inclusion of flood probability in terms of recurrence interval in damage modelling enhances model applicability to flood events of all magnitudes and thus decreases estimation uncertainties.

The findings are applied in a pilot study at the Vereinigte Mulde River to analyse flood risk change over time (1990-2020) and identify its drivers. A risk chain is established to account for multiple risk influences. Climate scenarios, hydrological modelling, inundation scenarios from hydraulic modelling, land-use information and land-use scenarios, and building values form the input for the FLEMOps+r-model. The resulting damage estimations are transferred to risk scenarios. In a second step, land-use, building value and flood hazard developments are considered separately to quantify single driver contributions. Flood risk increases moderately during the assessment period. Risk reacts strongly to climate induced hazard changes but hazard variability in the period and area covered by the study restricts the contribution to risk increase. Leaving special economic circumstances aside, the development of building values has little impact. The expansion of residential areas is identified as the main driver of flood risk increase. Thus, local and regional spatial planning can seriously mitigate flood risk.

Zusammenfassung

Flusshochwasser gehören zu den schadensträchtigsten Naturgefahren. Aktuelle und zukünftige Umweltveränderungen lassen eine weitere Erhöhung des Hochwasserrisikos erwarten. Um negative Hochwasserfolgen effektiv zu verringern müssen diese zunächst durch Hochwasserrisikoanalysen identifiziert werden. Ein zentraler Bestandteil dabei ist die Schadensmodellierung. Im Rahmen dieser Arbeit werden drei Themenfelder aufgezeigt, in denen großer Verbesserungsbedarf besteht: Die Verfügbarkeit von Schadensdaten, die Entwicklung und Anwendung von Schadensmodellen und die Identifizierung von Risikoeinflussfaktoren. Hochwasserrisikoanalysen im Allgemeinen und Schadensmodellierungen im Besonderen benötigen Schadensdaten, die miteinander vergleichbar, verlässlich, umfassend (bezogen auf ihren Informationsgehalt) und aktuell sind. Da solche Datensätze kaum vorliegen, wird ein systematischer Ansatz für die Erhebung und Speicherung benötigt.

In der vorliegenden Dissertation wird eine Expertenbefragung nach der Delphi-Methode präsentiert, mit der Informationsbedürfnisse im Bereich der Hochwasserschadensanalyse identifiziert werden. Die Eignung der Delphi-Methode für diesen Anwendungsbereich wird analysiert und validiert. Die Befragungsergebnisse dienen als Basis für die Entwicklung von Standards für die Schadenserfassung. Diese Standards werden durch eine darauf abgestimmte Datenbank ergänzt und sind in Form von Leitlinien für die Schadenserfassung für die praktische Anwendung verfügbar.

Schadensmodelle stellen die größte Quelle von Unsicherheiten bei der Abschätzung von Hochwasserschäden dar. Die Anwendung einheitlicher Schadensfunktionen bei Ereignissen unterschiedlicher Wahrscheinlichkeit und Magnitude konnte durch die Analyse empirischer Schadensdaten von Wohngebäuden als eine der Ursachen für diese Unsicherheiten identifiziert werden: Es besteht ein signifikanter Zusammenhang zwischen objekt-spezifischer Schadenshöhe und Hochwasserwahrscheinlichkeit der nicht auf Unterschiede der Wasserstandshöhe oder der Ausprägung anderer direkt schadensbeeinflussender Faktoren (Gebäudetyp und -qualität, Kontamination, Vorsorge) zurückzuführen ist. Als Konsequenz aus diesem Ergebnis wird eine Methode beschrieben um die Hochwasserwahrscheinlichkeit direkt im Schadensmodell zu berücksichtigen. Die Güte der Schadensschätzungen wird

validiert und ein Vergleich der Schätzfehler verschiedener Schadensmodelle durchgeführt. Das Schadensmodell FLEMOps+r zeigt dabei die geringsten Fehlerwerte.

Die bisherigen Erkenntnisse werden in einer Pilotstudie angewendet um Änderungen des Hochwasserrisikos und deren Ursachen an der Vereinigten Mulde von 1990 bis 2020 zu untersuchen. Klimaszenarien, hydrologische Modellierung, hydraulisch modellierte Überflutungsszenarien, Szenarien zur Landnutzung und die Entwicklung von Gebäudewerten bilden eine Risikokette und werden als Eingangsdaten für die Schadensmodellierung verwendet. Die Schadensschätzungen werden anschließend zu Hochwasserrisikoszenarien aggregiert. Um Einzeleinflüsse auf das Risiko zu quantifizieren werden die Änderungen von Landnutzung, Gebäudewerten und Hochwassergefährdung separat (unter Beibehaltung konstanter Werte für die übrigen Einflüsse) analysiert.

Die Ergebnisse zeigen einen moderaten Anstieg des Hochwasserrisikos im Untersuchungszeitraum. Das Risiko reagiert stark auf Änderungen der Hochwassergefährdung; allerdings verhindert deren Variabilität einen deutlicheren Beitrag zum Risikoanstieg. Abgesehen von ökonomischen Sondereffekten ist der Einfluss von Veränderungen der Gebäudewerte gering. Die maßgebliche Ursache für die Zunahme des Risikos im Untersuchungsgebiet und -zeitraum ist die Siedlungsexpansion in hochwassergefährdete Gebiete.

Contents

Acknowledgements	i
Abstract	v
Zusammenfassung	ix
Contents	xiii
List of Figures	xvii
List of Tables	xxi
<hr/>	
Chapter I: Introduction	1
1. State and deficiencies of flood risk analysis	2
2. Research questions and objectives	8
3. Structure of the thesis	9
<hr/>	
Chapter II: A Delphi-method expert survey to derive standards for flood damage data collection	13
Abstract	14
1. Introduction	15
1.1 Flood risk	15
1.2 Expert elicitation	16
1.3 Questioning techniques	17
1.4 Objectives	19
2. Material and methods	19
2.1 Method selection	19
2.2 Survey layout	20
2.3 Expert panel	23
2.4 Methods for analyses	27
3. Results	29
3.1 Consensus	29
3.2 Willingness to adjust	32
3.3 Influence of sub sample membership	36
3.4 Standardization	37
3.5 Towards standardized damage data collection	38
4. Conclusions	41
Acknowledgements	42
ANNEX	42

ANNEX A. Identification numbers for items in the residential sector (Figure II.3, Figure II.5)	42
ANNEX B. Identification numbers for items in the C&I sector (Figure II.4, Figure II.6)	46

Chapter III: Standardisierte Erfassung und Bewertung von Hochwasserschäden	53
---	-----------

Abstract	54
1. Einführung	55
2. Wie können Hochwasserschäden bewertet werden?	56
2.1 Was sind Hochwasserschäden?	56
2.2 Einteilung struktureller Bauwerksschäden	57
2.3 Monetäre Bewertung von Hochwasserschäden	61
3. Welche Informationen werden für eine Schadensanalyse benötigt?	64
3.1 Methode: Expertenbefragung mit Delphi	64
3.2 Vorschläge für eine standardisierte Erhebung der Dateninhalte	65
4. Schadensdaten für die Wissenschaft und Praxis – die Hochwasserschadensdatenbank HOWAS 21	68
4.1 Struktur und Datenbankkonzept	69
4.2 Nutzer und Nutzungskonzept	69
4.3 Datenbestand und Bewertung der Datenqualität	71
5. Fazit	72
Zusammenfassung	72
Summary	73
Danksagung	73

Chapter IV: Influence of flood frequency on residential building losses	75
--	-----------

Abstract	76
1. Introduction	76
2. Data	82
2.1 Flood loss data	82
2.2 Additional data	83
2.3 Integrated data set	84
3. Methods	85
3.1 Recurrence interval and building losses	85
3.2 Dimensions of recurrence interval (flood frequency)	86
3.3 Flood loss modelling approaches	87
3.4 The new Flood Loss Estimation MOdel FLEMOps+r	88
3.5 Validation and model comparison	90
4. Results and Discussion	91
4.1 Recurrence interval and building losses	91
4.2 Dimensions of recurrence interval	92
4.3 Flood loss models	94
4.4 Validation and model comparison	97
5. Conclusions	101
Acknowledgements	102

Chapter V: Drivers of flood risk change in residential areas	105
---	------------

Abstract	106
1. Introduction	107
2. Study area	108

3.	Data and methods	110
3.1	Quantification of the flood hazard	111
3.2	Exposure	115
3.3	Flood damage and flood risk	118
3.4	Quantification of risk change drivers	121
4.	Results	121
4.1	Flood hazard	121
4.2	Exposure	122
4.3	Flood damage and flood risk	125
4.4	Quantification of risk change drivers	129
5.	Conclusions	132
	Acknowledgements	133

Chapter VI: Summary and main conclusions	135
---	------------

References	143
-------------------	------------

Annex A: Vorschläge für Mindesterhebungen in verschiedenen Schadenssektoren	I
--	----------

4.	Vorschläge für Mindesterhebungen in verschiedenen Schadenssektoren	II
4.1	Informationen zur Dokumentation und Qualitätssicherung	VI
4.2	Ereignisbeschreibung	IX
4.3	Privathaushalte und Wohngebäude	XVII
4.4	Gewerbliche Wirtschaft und öffentliche Infrastruktur (ohne Verkehr)	XXVIII
4.5	Land-/Forstwirtschaft	XXXIX
4.6	Verkehrsinfrastruktur	XLVI
4.7	Schadenssektor „Öffentliche Infrastruktur – Gewässer und wasserbauliche Anlagen“ (inkl. Hochwasserschutzanlagen)	LII
4.8	Erstellung von Gesamtschadensbilanzen	LXVII

Annex B: Significance of ‘high probability/low damage’ versus ‘low probability/high damage’ flood events	LXXI
---	-------------

	Abstract	LXXII
1.	Introduction	LXXIII
2.	Significance of ‘low probability/high damage’ floods using the EAD concept as risk indicator	LXXIV
2.1	Damage expectation as risk indicator	LXXIV
2.2	Case studies	LXXV
2.3	General considerations	LXXVIII
3.	Societal significance of ‘low probability/high damage’ events	LXXXIV
4.	Integrating risk aversion in decisions on flood risk mitigation	LXXXVI
5.	Conclusions	XCIV
	Acknowledgements	XCVI
	References	XCVI

Author’s declaration	CIII
-----------------------------	-------------

List of Figures

Figure I.1:	Components of flood risk analysis	4
Figure II.1:	Return rates for initial contacts and survey rounds	24
Figure II.2:	Returned questionnaires per damage sector and survey round	25
Figure II.3:	Standard deviations for the residential sector*	30
Figure II.4:	Standard deviations for the C&I sector*	31
Figure II.5:	Willingness to adjust, residential sector*	33
Figure II.6:	Willingness to adjust, C&I sector*	35
Abbildung III.1:	Tangible direkte Hochwasserschäden mit Raum- und Zeitbezug (der graue Bereich kennzeichnet den überfluteten Bereich/Zeitraum; Quelle: Thielen 2008) - <i>Tangible direct flood damage in space and time (the grey area indicates the area and the duration of the inundation; Source: Thielen 2008)</i>	57
Abbildung III.2:	Beispiele von Schadensbildern und Zuordnung von Schadensgraden (Fotos: EDAC 2002) - <i>Examples of damage cases and assignment of damage grades (Pictures: EDAC 2002)</i>	58
Abbildung III.3:	Verdeutlichung des Brutto- und Nettokzeptes am Beispiel eines Hauses - <i>Illustration of the gross-and-net concept by the example of a house</i>	63
Abbildung III.4:	Mindestkriterienkatalog Privathaushalte (*: Der Schädigungsgrad kann aus dem monetären Schaden und dem Gesamtwert des geschädigten Objektes berechnet werden.) - <i>Standard catalogue for the residential sector (*: Damage ratios are calculated from monetary losses and the total value of the damaged object.)</i>	68
Abbildung III.5:	Nutzungskonzept der Datenbank HOWAS 21 - <i>HOWAS 21 concept of database usage</i>	70
Figure IV.1:	Comparison of flood event averages: building loss ratios, water level classes, recurrence intervals (top to bottom) for cases with loss information	80
Figure IV.2:	Object losses caused by floods of different probability	81
Figure IV.3:	Recurrence intervals for post code (ZIP) zones with loss data	84

Figure IV.4:	Comparison of average building loss ratios per water level and recurrence interval class	92
Figure IV.5:	Stage-damage-curves for loss model functions	95
Figure IV.6:	Model estimates and interview answers for three recurrence interval classes	99
Figure IV.7:	Model estimates and interview answers for five water level classes	100
Figure V.1:	Study area “Vereinigte Mulde” (municipality borders as of 2000)	109
Figure V.2:	“Flood Risk Chain” – Chain links and models	111
Figure V.3:	Golzern 1 – Annual maximum series (AMS) of mean daily discharge 1941 to 2020 and shifting windows for flood hazard analysis	113
Figure V.4:	Water stage profiles along the Mulde – Simulation results from steady-state run (black line) vs. observed values (red dots)	114
Figure V.5:	Steps for meso-scale flood damage estimation with FLEMOps+r	119
Figure V.6:	Recurrence intervals for inundation scenarios at gauges Golzern 1, Bad Dübén	122
Figure V.7:	Construction prices (BPI) and general inflation (VPI) - development and extrapolation to 2020 (base year 2000=100%)	123
Figure V.8:	Development of building type composition in the study area 1990 to 2020	125
Figure V.9:	Estimated damage using a) constant building values and b) effective building values for selected inundation scenarios	126
Figure V.10:	Flood risk (EAD) development for the study area 1990 to 2020. Dark colours indicate the use of constant, light colours the use of effective values	127
Figure V.11:	Contribution of different municipalities to study area EAD as of 2000	128
Figure V.12:	Contribution of event magnitude to EAD in 2000 for the most affected municipalities	129

List of Tables

Table II.1:	Number of items for all damage sectors and the survey rounds 1 and 2 per thematic topic	23
Table II.2:	Sub panels for further analyses – field of professional activity	26
Table II.3:	Sub panels for further analyses – experience in working with self-collected damage data	26
Table II.4:	Sub panels for further analyses – professional experience	27
Table II.5:	Residential and C&I sector: Willingness to adjust answers, by field of employment	36
Table II.6:	Willingness to adjust answers, by professional experience	37
Table II.7:	Test for independence – expert groups classified by fields of employment	38
Table II.8:	List of items with importance for flood damage analyses in the residential sector	39
Table II.9:	List of items with importance for flood damage analyses in the C&I sector	40
Tabelle III.1:	Unterscheidung struktureller Schadensgrade infolge Hochwassereinwirkung (Schwarz und Maiwald 2007) - <i>Differentiation of structural damage grades due to flood impact (Schwarz und Maiwald 2007)</i>	59
Tabelle III.2:	Definition der Hochwasser-Verletzbarkeitsklassen - <i>Definition of flood-vulnerability classes</i>	60
Tabelle III.3:	Einordnung der charakteristischen Bauweisen in die Hochwasser-Verletzbarkeitsklassen und Identifikation von Streubereichen (auf Basis der ausgewerteten Schadensdaten) - <i>Classification of building types in vulnerability classes and identification of ranges of scatter (on the basis of the evaluated data)</i>	61
Tabelle III.4:	Zusammensetzung des Panels: Tätigkeitsbereiche - <i>Panel composition: Field of professional activity</i>	65
Tabelle III.5:	Liste von Kriterien mit Relevanz für Schadensanalysen im Sektor Privathaushalte (*: Konsenskriterien: Anteil der Antworten der ersten Runde für Rang 1: 60 %; Summe der Antworten der ersten Runde für Rang 1 und 2: 90 %; Quelle: Elmer et al. 2010a). - <i>List of items with relevance for</i>	

damage analyses in the residential sector (: Criteria for consensus: Share of answers of the first round for rank 1: 60 %; sum of answers of the first round for rank 1 and 2: 90 %, Source: Elmer et al. 2010a).* 67

Table IV.1:	Building loss cases per recurrence interval and water level class combination	85
Table IV.2:	Selected items for principal component analysis	87
Table IV.3:	Spearman-Rho correlation coefficient for residential building loss and recurrence interval per water level class	91
Table IV.4:	Rotated component matrix; contribution of items to four principal components and Spearman-Rho correlation of components, items and recurrence interval	93
Table IV.5:	Parameter combinations, class averages and scaling factors	96
Table IV.6:	Error statistics for relative loss estimates of cases estimated by all models	97
Table V.1:	Performance statistics of the inundation model in terms of flood area indices (FAI)	115
Table V.2:	Discharges and flooded area for inundation scenarios S1 to S9	121
Table V.3:	Development of residential land-use 1990 to 2020	123
Table V.4:	Overall risk change compared to single parameter risk change for the study area	131

Chapter I:

Introduction

1. State and deficiencies of flood risk analysis

Floods continue to cause loss of human lives and serious material damage worldwide. Douben and Ratnayake (2006) attribute 20-30% of the economic losses caused by natural hazards worldwide to river floods. The death toll due to (freshwater) floods shows a slight increase from 1975-2001 (Jonkman 2005). In Europe the financial losses caused by recent fluvial flood events amount to billions of Euros: The most notable recent event was the August 2002 flood of the Elbe River in Germany and the Czech Republic. At the same time and caused by the same macro weather situation southern Germany and Austria were also heavily affected by flooding of the Danube River and its tributaries. The combined financial damage amounted to €11830 million only in Germany. Other severe floods in recent history occurred 2005 in the Alps and the Danube River (€172 million), 2006 on the Elbe (€125 million) (Munich Re 2008) and in the UK in 2007. The latter event caused financial damage of €4000 million (Environment Agency 2007). The losses from the severe 2010 floods in Poland are still unknown (Te Linde et al. 2011).

It is expected that flood risk will continue to rise in consequence of a combination of climate change (e.g. Kundzewicz et al. 2005) and an increase in vulnerability, e.g. due to increasing flood plain occupancy, value increase in endangered areas and changes in the terrestrial system, e.g. land cover changes, and river regulation. In this context, the need for an improved risk assessment and for flood damage prevention is evident.

Flood risk can be defined as the probability and the magnitude of expected losses that result from interactions between flood hazard and vulnerable conditions (UNISDR 2004). In the majority of flood design cases, the expected annual damage (EAD) is used as risk indicator (e.g. Penning-Rowell and Green 2000, van Manem and Brinkhuis 2003, Merz 2006). These definitions are used throughout the thesis.

Limited financial resources demand an evaluation of flood defence and damage mitigation options by means of cost-benefit-analyses or other methods like multi-criteria analyses that allow the integration and weighting of additional risk dimensions (e.g. Kubal et al. 2009, Meyer et al. 2009) in order to optimise investments. New flood management approaches shift the paradigm from technical flood defence to risk management. A standard-based engineering approach limits itself to the probability of the flood by imposing a certain flood return period that the flood defence has to withstand. For this purpose, only the flood hazard has to be quantified. In contrast, risk-based design strives to balance benefits and costs of the design in an explicit manner. Risk-oriented approaches also quantify the remaining risks and thus allow preparing for disasters (Takeuchi 2001, Merz and Thielen 2004). For Europe, this shift of attitude in dealing with floods is best exemplified by the Flood Directive of the European Commission (EU 2007). The directive enforces the risk management approach e.g. by requiring flood risk maps for all river basins and sub-basins with significant risk of flooding.

In Germany, the Wasserhaushaltsgesetz (water resources law) §5(2) which commands precautionary measures from all person that might be affected by flooding and the new DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall - German Association for Water, Wastewater and Waste) -Themenheft „Schadensanalysen und Projektbewertung“ (DWA-Special issue “Damage analyses and project assessment”) (DWA 2011) establish this new approach. In line with this development, flood risk assessment including the analysis and modelling of effective and potential flood damage has become an indispensable part of flood risk management. The lack of reliable data and information about flood damage from past events is responsible for many of the shortcomings in flood damage modelling, specifically the lack of data based, i.e. empirical, damage models and model validation. Consequently, damage estimation is associated with high uncertainties that are primarily caused by the fact that simple and rarely validated models are used to describe very complex damaging processes.

In the context of risk analysis some terms need explanations: Susceptibility describes the degree of damage exposed elements suffer when affected by a flood of specific intensity. Impact (the processes that create damage to an object or harm a person) and resistance (the ability to resist the impacting processes) are the influences that determine the grade of damage. The relationship between both is represented by functions, rules or models that estimate the damaging effects of this concurrence, defined as damage modelling. As we define risk as expected damage within a specified time frame, modelling the damaging effects of the combination of impact and resistance is the central part of risk analysis.

Risk analysis also includes hazard analysis, the analysis of the vulnerability and the combination of both. Hazard analysis and its components use advanced methods to determine exceedance probabilities. Inundation scenarios are created with the help of sophisticated hydrologic and hydraulic models or taken from the assessment of actual floods via field measurements or remote sensing.

Vulnerability analysis is divided into analysing the exposure of elements at risk to the hazard and the susceptibility of these elements. Both factors vary with flood intensity. When concentrating on assets and people, exposure analysis has to assess the assets, their values, characteristics and distribution as well as analyse the geographical distribution and socioeconomic characteristics of the population in the area at risk. Short term temporal dynamics have to be taken into account for movable assets and people. Exposure analysis is highly dependent on the availability, quality and spatial resolution of (official) data about population and assets. For assessing temporal developments as done in this thesis, long term changes in the past, present and future distribution of people and assets have to be modelled (e.g. traffic models, land-use models).

Flood risk science can resort to decades of research. Extensive overviews of flood damage assessment studies are given by Smith (1994), Büchele et al. (2006), Merz (2006) and Merz et al. (2010). The aforementioned components of flood risk analysis are exemplified in Figure I.1:

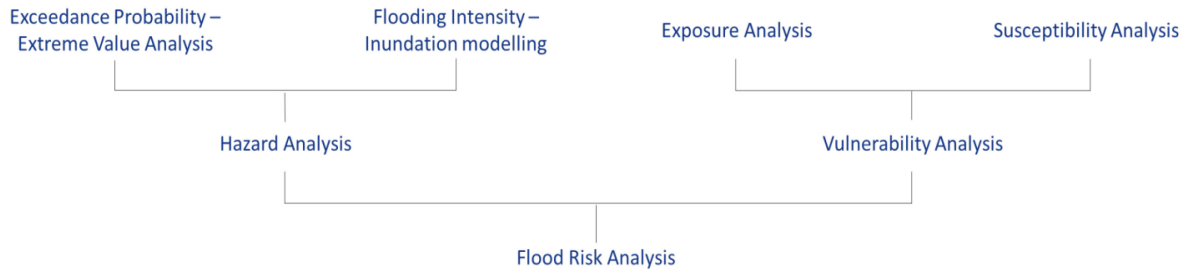


Figure I.1: Components of flood risk analysis

The assessment of flood damage is essential for the understanding, analysis, and estimation of flood risk. While flood damage and flood damage estimation are at the centre of flood risk modelling, research in this field shows considerable deficiencies (Bubeck and Kreibich 2011). A study by de Moel et al. (2010) indicates that damage models (damage functions from susceptibility analysis) contribute much more to the uncertainties in estimating damage than inundation models (hazard analysis) or land-use scenarios (exposure analysis). Apel et al. (2009) provided similar findings: The imminent uncertainties in damage estimation and the huge deviance of estimates have their origins more in the damage modelling approach than in the hydraulic modelling. Merz et al. (2004) demonstrated the high uncertainty of stage-damage functions that are derived from empirical data (i.e. damage data collected after flood events) and suggested to consider more factors besides water level and building use (in this case the object type classification). It is the challenge in damage modelling to identify how and to which degree impact and resistance parameters influence damage. For this, it is essential to know as much about damage as possible (Blong 1998). Thorough analysis of flood events, damage and the damaging processes is the way to fulfil this task. Documentation of disastrous events is a prerequisite for detailed ex-post analyses of events and serves as a basis for the improvement of the whole risk management including damage model and risk model development and validation (Hübl et al. 2002). It provides the empirical data that are vital for the analysis and understanding of processes and the calibration of models and hence should both include process information on the damaging event as well as damage data. These data have to be made accessible (Thieken et al. 2009). A substantial set of object-specific data is necessary, because damaging processes and affected objects always differ from event to event. Flood characteristics vary strongly in time and space. An event can affect different river basins and even for a single flood event within only one catchment the flood characteristics differ for various river reaches.

During and after a disaster, different reasons and varying motivations to assess damage like the support for victims, adjustment of insured damage, scientific damage modelling and planning purposes lead to specific foci in the assessment of damage. This results in incomparable, isolated data sets, hosted by a number of organizations. In Germany damage data are gathered by different stakeholders, in different ways, for multiple purposes and at different times. A lot of object-specific flood damage data sets are surveyed by governmental agencies and insurance companies in the framework of loss compensation, but these data have to be supplemented with additional information on the hazard impact in order to be useful for damage and risk modelling or planning purposes.

Empirically derived damage models often suffer from a lack of information about damage caused by very extreme events (due to their natural rareness) and hence are not very accurate in estimating the impact of such events. On the other hand, frequent events often do not cause enough damage in a single event to set up assessment campaigns. Both effects cause bias as the real occurrence of flood damage is not realistically mirrored in the damage data sets.

These weaknesses have not gone unnoticed in science and constantly more efforts to collect flood damage data and to develop standardised methods are demanded by many authors and organisations (Ramirez et al. 1988, Mileti 1999, NRC 1999, Yeo 2002, WHO 2002, Guha-Sapir and Below 2002, Dilley et al. 2005, Handmer et al. 2005, Bubeck and Kreibich 2011). The lack of reliable, consistent and comparable data is seen as a major obstacle for risk analyses and the development of effective and long-term loss prevention (risk reduction strategies) (Changnon 2003). Downton and Pielke (2005) conclude that for all these reasons there is a huge demand for a standardised and systematic collection of flood damage data with clearly defined and documented procedures.

In order to improve the situation, it is vital to know what kind of information is important for damage analysis. First suggestions for standardised data collection have been made by NRC (1999) and Hübl et al. (2002). NRC (1999) recommended focusing on direct losses (i.e. losses to human life, property and agricultural products, repair works at public infrastructure, clean-up and response costs). However, information needs have not been surveyed and defined systematically so far. Knowledge is spread around in a heterogeneous community of people concerned with damage assessment and analysis involving the insurance industry, state agencies (responsible for flood defence on the one hand and compensation for flood damage on the other), science and civil engineering.

In principle, the derivation of standards can be done in two ways: First, by analysing a data set about actual damage that contains information as comprehensive as possible and reducing this amount of information to only essentials by thorough (statistical) analyses. The major advantage of this approach is that all conclusions of the essential demands of flood damage and flood risk analysis are derived from actual, “objective” damage data. The fundamental

weakness is that collecting these data already requires subjective decisions about the assessment contents by the actor(s) planning and performing the assessment campaign. The second way is not to rely on data about damage but to elicit knowledge from experts (who are often identical with the potential users of damage data). If done in a systematic manner, the subjective influences inherent in questioning people can be reduced while value from the vast but distributed knowledge of an expert's community from many professional fields is generated.

As mentioned before, complex processes are not adequately accounted for in most damage models. The development of damage models can resort on "What-if"-analyses that assess the probable consequences of an assumed event. This method does not rely on real floods and hence, different scenarios can be tested for one object. It also ensures that a consistent damage assessment methodology is applied. On the downside this approach is expensive and the quality of the results is completely dependent on assumptions drawn by the involved experts. Furthermore, the effectiveness of mitigation measures can only be assumed but not assessed.

Data sets from real flood events that contain the most important information parameters about damage influences are the starting point for the development of empirical damage models. This method relies on real events and therefore data availability is often problematic. Still, the damage models can be derived from the analysis of actual damage and damage influences. In state-of-the-art damage estimation, mostly water level is taken as the main impact-parameter in so called stage-damage-curves, which estimate a certain degree of damage or absolute damage of physical structures based on the inundation depth. Other influencing factors are usually ignored or only considered through expert judgement (Merz et al. 2010).

Analyses on flood damage functions already started in the early 1970s in the UK. They were summarised in the "Blue Manual" (Penning-Rowsell and Chatterton 1977) and are perpetuated ever since as the "Multi-Coloured Manual" (Penning-Rowsell et al. 2005). Other examples are the damage functions developed by the International Commission for the Protection of the Rhine (ICPR) (Egli 2002), Hydrotec (2002), Emergency Management Australia (E.M.A. 2003) and the Federal Emergency Management Agency (FEMA) (Scawthorn et al. 2006). In Germany, the first studies that dealt with flood damage analysis were closely linked to the flood damage database HOWAS (Kiefer 1976, Meon et al. 1986, Günther and Schmidtke 1988; also ICPR, Egli 2002). Later works still used the HOWAS data sets but advanced in the data analysis (e.g. Merz and Gocht 2001, Merz et al. 2004).

A comprehensive damage data set as well as knowledge about the presumably most important influences allows for the identification of multiple damage influencing parameters through multivariate statistical analysis and the subsequent derivation of models that contain a reasonable number of parameters. These multi-parameter models reduce the uncertainties in damage estimations. Extensive datasets about flood damage and a range of damage

influencing factors were surveyed in Germany after floods in 2002, 2005 and 2006 (Thieken et al., 2005, Kreibich and Thieken, 2008). These data sets are used in the thesis.

Thieken et al. (2008) developed a flood loss estimation model for the residential sector (FLEMOPs) that includes information about the objects at risk and considers water level, flood water contamination and precautionary measures at the object as impact factors. The model was derived from damage data surveyed after the 2002 flood event in the Elbe and Danube catchments. Model validation demonstrated the improvements and reliability of the new model. However, transferability of the model application in space and time was still limited (Thieken et al. 2008) as the model overestimates damage for the 2005 and 2006 events that had higher probabilities and lower magnitudes than the 2002 flood. Associated with this flood magnitude were much higher relative damage averages in the Elbe catchment in 2002.

To mitigate flood risk it is necessary to know the risk influences. Obviously, risk analyses rely heavily on the quality of the available damage models. This hampers even otherwise sophisticated approaches and especially limits the identification of the root causes of flood risk change. Causes for change not represented by parameters in the applied damage model elude analysis.

Possible drivers for changes in risk are hazard change, the accumulation of values in flood prone areas and changes in prices. Indeed, the analysis of Barredo (2009) suggests that the past changes in economic losses are primarily related to the latter two factors. Approaches integrating land-use changes and flood hazard changes were undertaken by Archer et al. (2010), Orr and Carling (2006), De Roo et al. (2003) and Bronstert et al. (2002) and analyse the impact of land-use changes on flood discharges. A broad approach on the national scale that considers a range of flood risk drivers for fluvial and coastal floods was presented by Hall et al. (2003) for England and Wales. It combines quantified risk analysis and also resorts to expert appraisal for judging the influence of risk drivers to project future (2030 to 2100) flood risk under different scenario conditions. Recent studies by Feyen et al. (2009, 2012) Bouwer et al. (2010) and te Linde et al. (2011) focus on both, the impact of land-use changes and climate induced flood hazard changes and their influence on flood damage. Bubeck et al. (2011) use similar risk change projections and analyse the uncertainties of absolute and relative changes in risk estimates. Merz et al. (2010a) identify and describe the types and magnitudes of changes of flood risk in Europe and the associated increase of uncertainty. They also analyse and discuss the implications for flood risk management.

The use of multi-parameter damage models opens up great possibilities for in-depth risk analyses. All parameters that are subject to changes can be analysed separately and modified to reveal their single influence on risk (in terms of EAD). This use also allows the examination of spatial and temporal developments of flood risk under conditions of environmental change.

2. Research questions and objectives

The identified weaknesses of flood risk analysis are linked to shortcomings of damage modelling:

- The lack of empirical flood damage data needed for process understanding and model development
- The use of predominantly oversimplified damage models that are seldom validated results in huge estimation uncertainties
- Gaps in identifying the causes for risk changes are inevitable if potential causes are not mirrored in the model parameters

These three shortcomings are approached in the thesis. First, triggered by the obvious lack of comprehensive and homogenous flood damage data in Germany, an expert's survey was conducted to

- *establish flood damage assessment standards for relevant loss sectors i.e. sectors that cover the vast majority of observed flood damage*

and

- *establish a consistent data base of flood damage to residential buildings based on the developed standards.*

The research to achieve these objectives was guided by the question “*Which criteria form the minimum stock for comprehensive flood damage analysis?*”

Second, it was asked whether “*there is a systematic discrepancy between object damage in extreme and frequent flood events that is not only a result of the greater spatial extent and the higher water levels of extreme events, and, if so, what are the factors that are altered by changes in flood frequency and how can this be accounted for in damage modelling.*” This research analysed the relation between flood damage and recurrence interval with the intention to

- *verify and quantify differences in object-scale damage in events of different probability*
- *analyse the causes for these differences in object-specific damage extent*
- *modify damage functions for better event-independent applicability*

and

- *validate the resulting models.*

The major result of this approach is an improved and validated damage model that considers multiple parameters including flood probability and thus helps to improve flood damage modelling. This model meets the requirements to reduce the third weakness of damage modelling mentioned above. It is used as an integral part of an approach to answer research question three: *“How can past, present and future flood risk be assessed and what are the drivers of flood risk change?”*

The respective aims were:

- *the Proposition of a prototypical flood risk chain, i.e. a chain of models whose results can be used in the next chain link, starting with climate scenarios and land-use information to finally calculating risk in terms of damage expectation*
 - *the Development of flood risk scenarios through semi-automatized modelling*
- and
- *the Quantification of risk change drivers*

3. Structure of the thesis

The research questions and objectives are approached in Chapters II to V of this work. The interview method and its performance and aptitude to elicit expert knowledge in the field of damage assessment standardisation are presented in Chapter II *“A Delphi-method expert survey to derive standards for flood damage data collection”* on the example of two loss sectors (damage to residential buildings and damage to commerce and industry). The results for these two sectors in terms of the identification of the most important parameters for flood damage analysis are given in the annexes of the chapter. Damage assessment standards for all six surveyed damage sectors under research are published as guidelines for damage assessment in Germany in *“Hochwasserschäden. Erfassung, Abschätzung und Vermeidung”* (Flood damage. Assessment, Estimation, and Prevention, Thielen et al. 2010) as chapter 4: *“Vorschläge für Mindesterhebungen in verschiedenen Schadenssektoren”* (Proposal for minimum assessment standards in different loss sectors). This chapter is enclosed in this work as Annex A. In a more scientific way, the results are presented for the German audience in the article *„Standardisierte Erfassung und Bewertung von Hochwasserschäden”* (Standardised collection and assessment of flood damage) in Thielen et al. (2009). The paper also describes the flood damage data base HOWAS 21 and other results of the MEDIS-project. It forms Chapter III of this thesis.

Chapter IV *“Influence of flood frequency on residential building losses“* presents the approach to answer the second research question and to fulfil the objectives of analysing the

event-specific differences in damage extent, improving damage models and validating the results. An earlier publication with a slightly different focus already approached one possible explanation that might translate to the differences in average damage between events and the overestimation problem: The systematic differences between high probability and low probability flood events. “*Significance of ‘high probability/low damage’ versus ‘low probability/high damage’ flood events*” (Merz et al. 2009) took a theoretical approach to reveal differences between the event types, proposed a method to include risk aversion and tested the consequences for risk management decisions in three case studies. This work contributed to the research framework of Chapter IV and is included as Annex B.

The application of the newly developed damage model (see Chapter IV) and the development of flood damage and flood risk estimates (from 1990 to 2000) as well as flood damage and flood risk scenarios (for 2010 and 2020) for the study area “Vereinigte Mulde” are presented in Chapter V “*Drivers of flood risk change in residential areas*”. The chapter also analyses the contribution of the risk change drivers to overall flood risk change.

The results from the areas of flood research that were approached in this work are summarised in Chapter VI “*Summary and main conclusions*” and recommendations are given based on the results. The chapter and the thesis close with an outlook on future research.

Chapter II:

A Delphi-method expert survey to derive standards for flood damage data collection

Risk Analysis, Vol. 30, No. 1, 2010, 107-124

Florian Elmer, Isabel Seifert, Heidi Kreibich, Annegret H. Thieken

© 2009 Society for Risk Analysis

doi: 10.1111/j.1539-6924.2009.01325.x

Received 12th September 2008; revised 27th May 2009;

accepted 1st October 2009.

“Experto credite”

Believe one who has proved it.

Believe an expert.

Vergil, Aeneid

Abstract

For the purpose of flood damage analyses reliable, comparable, comprehensive, consistent and up to date data are an indispensable need. Like in many other countries a data base with this kind of datasets does not exist in Germany. To establish it, standards have to be set for flood damage data collection. We approached this problem by questioning experts about their information needs for flood damage analysis. This survey is done by applying a Delphi-survey approach. The aptitude of the Delphi-approach to assess, structure and standardize expert knowledge is evaluated in this paper. In the survey a panel of 55 experts working in the field of flood damage analysis for insurances, engineering companies/consultancy, public water management and universities and other scientific institutions helped to identify common information needs. The multi-step Delphi-method proved to reduce the deviation of answers thereby enabling consensual results and also enhanced the quality by modifying group answers in the direction of experience based answers. There was also a high level of congruence in information needs between experts from different fields of employment which allowed the derivation of common standards.

Keywords: expert elicitation, flood risk analysis, direct damage, data collection, Delphi-survey

1. Introduction

1.1 Flood risk

The neighborhood to watercourses has always been a preferred place for settlements since people have always been drawn towards their shores. Flood risk exemplifies the tension at the interface of society, settlements and the environment. Floods are responsible for 20-30% of the economic losses caused by natural hazards worldwide (Douben and Ratnayake 2005). Even the death toll due to river floods is slightly increasing (Jonkman 2005). In the last decades, monetary flood losses in Germany have risen to billions of Euros. Examples for severe flood events are the Rhine floods in 1993 and 1995 with total damages of €530 million and €245 million, respectively, the Odra flood in 1997 with €330 million, the Danube and Northern Alps flood in 1999 with €410 million, the particularly severe Elbe and Danube floods in 2002 with a total damage of €11830 million and the most recent floods in 2005 (Alps and Danube) with €172 million and 2006 on the Elbe and Danube with €125 million (Munich Re 2008). The need for an improved risk assessment and for flood loss prevention is evident. However, limited financial resources demand an evaluation of flood defence schemes by means of cost-benefit-analyses in order to optimize investments. Therefore, thorough analyses, which include analysing and modelling actual and potential flood losses, have become indispensable parts of flood risk management and flood damage mitigation. For this, it is vital to know as much about damage as possible (Blong 1998).

Knowledge about damages can be retrieved by understanding the multiple processes that have contributed to the amount and type of damage. Reality teaches the most valuable lessons and therefore empirical data are vital for the analysis and understanding of processes and the calibration of models. Documentation of disastrous events is a prerequisite for detailed ex-post analyses of events and disaster response and serves as a basis for the improvement of the whole risk management including loss model and risk model validation (Hübl et al. 2002). Documentation should both include process information on the damaging event as well as damage data (Hübl et al. 2002).

During and after a disaster, different reasons and varying motivations to assess losses like the support for victims, adjustment of insured losses, scientific loss modeling and planning purposes lead to specific foci in the assessment of losses. This results in incomparable, isolated data sets, hosted by a number of organizations. In Germany damage data are gathered by different stakeholders, in different ways, for multiple purposes and at different times. A lot of flood damage data sets are surveyed by governmental agencies and insurance companies in the framework of loss compensation, but these data have to be supplemented with additional information on the hazard impact etc. in order to be useful for damage and risk modeling or planning purposes.

In contrast, there is a huge demand for a standardized and systematic collection of flood loss data with clearly defined and documented procedures (Downton and Pielke 2005). Constantly more efforts to collect flood loss data and to develop standardized methods are demanded by many authors and organizations (Ramirez et al. 1988, Mileti 1999, NRC 1999, Yeo 2002, WHO 2002, Guha-Sapir and Below 2002, Dilley et al. 2005, Handmer et al. 2005). The lack of reliable, consistent and comparable data is seen as a major obstacle for risk analyses and effective and long-term loss prevention (Changnon 2003, Downton and Pielke 2005).

First suggestions for standardized data collection have been made by NRC (1999) and Hübl et al. (2002). NRC (1999) recommended focusing on direct (monetary) losses (i.e. losses to human life, property and agricultural products, repair works at public infrastructure, cleanup and response costs). Hübl et al. (2002) stress the necessity of documenting the entire event. Both approaches do not focus on the damage survey at single affected entities (e.g. residential or business buildings and contents, street segments, flood defense structures, etc.). Such data are, however, essential for a better understanding of the damaging processes and the development of reliable loss models. In order to improve the situation, it is vital to know what kind of information is important for damage analyses, but information needs have not been surveyed and defined systematically so far. Therefore, the need to derive knowledge about the information contents that have to be covered through data collection on the object-scale forms the background for the survey described in this paper.

1.2 Expert elicitation

Knowledge about information needs is wide spread within a very heterogeneous community of experts who deal with flood risk and flood damage analysis. Parts of the community are not well-connected as the purposes of their work are different (e.g. civil protection agencies and insurances). Knowledge exchange is often hampered by concurring interests (e.g. actors in the organization of German civil protection (Streitz and Dombrowski 2003) or organizational constraints (e.g. the organization of flood hazard mapping in Germany – for an overview see Kleeberg, 2005). The overall quality of analyses could be enhanced by sharing data about losses, as actors are in general not able to establish a comprehensive data base on their own. The structured assessment of information needs from experts who deal with flood damage analysis is the starting point from which all other activities of standardizing flood damage data and their collection must start.

This focus fits very well into the field of elicitation theory. Curtis and Wood (2004) describe the subject of elicitation theory as “... *to design the best way to interrogate experts or lay people [...] in order to obtain accurate information about a topic in question.*” It faces the often encountered human behavior of employing heuristics based on prior experience when asked for stating an opinion despite paucity of data. Baddeley et al. (2004) show that this kind of behavior results in bias. It is the goal of elicitation theory to mitigate this bias.

In the geosciences, expert elicitation has been used to estimate probabilities, e.g. of geological hazards or climate change (Kerr 1996, Baddeley et al. 2004, Curtis and Wood 2004, Ye et al. 2008). While in this study probabilities play a minor role, the preliminaries like limited knowledge, prior experience, applying heuristics, herding behavior and the aim of mitigating the resulting biases are the same as well as the aim to quantify expert opinions.

1.3 Questioning techniques

For the purpose of this study, a suitable elicitation method had to be found to get a synthesis of expert opinions while limiting biases. The elicitation of knowledge from the community of flood loss analysts for the purpose of standardizing flood loss data collection is done by applying an expert survey. A number of potentially applicable questioning techniques have been considered for this purpose. We will introduce and compare two interviewing techniques, focus groups and (single) expert interviews, as well as the Delphi-method as a method with a more standardized questioning approach.

In a focus group, or group discussion, a moderator who does not belong to this group guides a discussion of approximately six to eight experts with similar backgrounds (Morgen 1998). The group members are appointed by the monitoring team and the topic is set by the team and discussed afterwards by the focus group. Finally, the discussion results are summarized by the monitoring team. In group discussions, there is a high degree of flexibility and subjective listening and sense making. Group discussions are generally more open, less predetermined and less standardized than surveys (Morgen 1998). The application of this method requires respect and understanding among participants and a certain degree of homogeneity within the group. A disadvantage is that particular experts might dominate the group and consequently bias the results of the discussion.

Expert interviews are normally only carried out once per interviewee. The amount of generated information about each participant is very high (Morgen 1998), and the technique is very useful for collecting ideas (Häder 2002). Usually, a guideline is used to structure the interview but not a standardized questionnaire. The method is not apt to structure diffuse issues (Häder 2002) or provide consensus.

In a Delphi-survey the same questionnaire is filled out several times. In the latter rounds the respondents receive feedback on the earlier answers. The idea is that Delphi participants get information about the group perspective, and are given the opportunity to clarify or change their views (Skulmoski et al. 2007). The goal is to reach consensus about one subject.

The Delphi-method was initially developed by Olaf Helmer and Norman Dalkey on behalf of the RAND Corporation in the 1950s as a tool for forecasting scientific and technological developments (Turoff and Hilz 1996). Despite being originally used solely for future research its field of application broadened during the 1970s and the method nowadays has become

operational in planning, decision-making processes and policy research. While the fields of operation became more and more diverse (for an overview, see Häder and Häder 1998), the composure of the method got lost to a certain degree. It still is usually applied to fields of limited knowledge or uncertainty (Zipfinger 2007). In parallel, attempts to define Delphi and to describe its essentials also diversified. Häder and Häder (1998) give an overview of different definitions and perspectives that focus either on Delphi as a research instrument, its performance or its fields of application. As they point out, the intentions and expectations of the people who use the method are the drivers behind the way of defining the method. Still two main directions can be classified: Delphi as a method to steer group communication and Delphi as a research technique. At present the focus is more on the second direction and descriptions stress the potential of the Delphi-method for problem solving and its ability to handle uncertainties. In the context of this research a simple, more technical, definition can be used that includes some hardly disputed aspects that are typical for Delphi:

The Delphi-method is a multi-step method with a feedback mechanism that tries to derive consensual results from a given sample. It is usually applied in fields of limited knowledge or high uncertainty and usually addresses experts (Zipfinger 2007).

Due to a missing undisputed working definition, most authors modify and adjust the approach and therefore create their own questioning instrument when applying the method (Häder 2002). Despite the diversity nearly all Delphi-surveys still have a number of characteristics in common (Zipfinger 2007).

- Use of a standardized questionnaire
- Participation of experts
- Anonymity of individual answers
- Statistical aggregation of individual answers to a group answer
- Feedback
- Iteration (at least two rounds)

A closer look and comparison of the proposed expert elicitation methods highlights both communalities and differences:

Focus groups and Delphi surveys collect data from individuals and analyze this data with regard to the research question. In Focus groups there is much more flexibility in questioning and answering as no standardized questionnaire is used. In contrast during a Delphi survey, the respondents are all confronted with the same questions and have the same choice of response options. This may be an advantage or disadvantage depending on the research question. Shortcomings and unknown connections may more easily be uncovered and corrected in group discussions while the major advantage of Delphi is the avoidance of group

dynamic aspects (e.g. opinion leaders, social control) because the participants are unknown to each other. Both techniques have the potential to lead to consensus, but with the Delphi method the pressure on the individual is limited and the process includes less subjectivity.

As mentioned above, interviews of experts generate much more data about each interviewee than the other techniques and are therefore great for aggregating ideas. With no feedback or discussion involved the answers cannot be modified or improved in the light of a group opinion. For the same reasons it is not possible to reach consensual results. Participation can be a critical issue in every survey but especially in the case of the Delphi-survey, return rates can decrease heavily between rounds therefore not producing valid results in the latter rounds (Keeney et al. 2001).

1.4 Objectives

The paper focuses on the evaluation of the Delphi-method as a method to elicit expert knowledge and to support consensual results as a basis for the standardization of flood damage data collection. Its goal is to judge the aptitude of this survey instrument for bringing together expert's needs and knowledge from a broad field of flood damage analysis in a structured way that allows the development of standards from the results.

The next section covers the processes and methods for developing the survey layout, selecting the experts, conducting the survey, assessing the resulting data, and analyzing those data. Chapter three analyzes the aptitude of the Delphi-method for reaching consensus. To test whether standardization is allowed a closer look is taken on the expert's survey behavior over time and on the independence of groups with different fields of employment. Some concluding remarks with respect to the objectives and an outlook on future research close the paper.

2. Material and methods

2.1 Method selection

The Delphi method was selected for its ability to assess expert knowledge in a structured and systematic way and get well-defined group opinions. The aim to develop standards required a survey-technique that supports coincidence or even consensus building but at least reduces alternatives through feedback. Other advantages are not exclusive for Delphi but still very important:

- The multi-step approach allows to react to eventual shortcomings due to the survey managements limited knowledge about information needs as suggestions made by participants can still be taken into account in later rounds

- Additional information can be retrieved without overloading one single questionnaire
- Many experts do not collect damage data themselves. Therefore they may have to rethink their needs without being biased by the characteristics of already available data sets. Their lack of experience is helped by the “I am not certain / I don’t exactly know”-approach of Delphi

Last but not least the equal representation of heterogeneous groups and hence the avoidance of domination by one group through quantity or strength of personality were considered as indispensable and a precondition for general acceptance of the resulting standards for the entire community presented by the participants.

All these advantages led to the selection of Delphi despite possible setbacks e.g. trying to assess experience- and application based knowledge with a method that can only work properly in areas where there is room for flexibility, compromise and taking other opinions into concern. Expert answers might be – to a certain degree – based on strong experience and therefore the participants may be reluctant to change their views. As most experts should know which information they need but not how to assess it, we assumed nevertheless that the “limited knowledge” criteria is fulfilled.

2.2 Survey layout

For practical reasons the expert-survey was conducted online as a “Tele-Delphi” (Zipfing 2007). It contains the round based form of the (conventional) paper-and-pencil Delphi-method but uses new media and applications that help to spare time and cut down costs. Aside from the integration of an algorithm that changes the order of questions randomly to enhance concentration, further impacts of using the internet in a conventional round-based Delphi are not expected (Zipfing 2007). As communication was mostly realized through e-mail it was clear that all experts have routinely access to a network-connected computer. The survey was conducted using the professional software and services “umfragecenter” provided by Globalpark GmbH (2006). The package allows

- to react quickly to problems and enables standardized (one-to-many) communication
- to implement special question types easily
- to keep the questionnaire flexible and feature filtering, and
- to retrieve results in digital format and import them easily into analysis programs (some standard statistics can be done within the survey program-system).

The programming of the questionnaires was also done by using this software.

The survey consisted of three rounds. The first round included two parts. In an introductory part all experts were questioned about their experience with damage and risk analyses as well as their experience with and their evaluation of different methods of data recording. Afterwards, the panelists could choose one or more of six flood damage sectors to answer, depending on their expertise for the respective sectors. This choice directed them to the central part of the survey where the panelists were asked to evaluate the importance of a number of items for flood damage analysis. New items could be added to the list. The original items were selected in a multi-step process. After a careful review of existing flood damage data collection questionnaires, an expert-workshop on flood damage data collection was organized. The members of the project-team who already had experience in flood damage assessment and analysis started with the workshop results and created an initial list of items that could be important for flood damage analysis. This list was circulated and discussed with cooperating flood loss analysts who supplemented additional items. We generated a first questionnaire and performed a pretest to identify and eliminate weak points. Afterwards the final version of the list of items formed the central part of the questionnaire in round one. This first round took place from 20 October to 21 November 2006.

In the second round only the central evaluation part was repeated. For all items the median of the answers of round one was given as feedback to the panelists. Items that had received more than 90% of the answers in two neighboring ranks with one class getting 60% of the answers were not reconsidered in the second round since it was assumed that consensus about their importance had already been achieved. However, items that were added by the experts during the first round could be evaluated by the whole panel in the second round. The second survey took place from 5 December 2006 to 4 January 2007.

The third round of the survey took place from 18 February to 4 April 2007. The survey was again sent to all experts that answered the questionnaire in round one. To get a clear cut picture of the most important criteria, experts were asked to rank by importance those 25 to 40 information criteria for each damage sector that got the highest ratings in the first two rounds. This range was derived from the question about the ideal length of an assessment questionnaire combined with a natural breaks approach to avoid expelling attributes whose ratings were very close. The feedback was given by ordering the criteria according to their average ratings in the first two rounds. As the type of questioning and the scale differed from the first two rounds, the answering behavior in this round could not be analytically compared to the previous rounds. That means, the “classical” Delphi only contained two rounds. Nevertheless, some aspects were also considered in the last round. At the end of the third questionnaire comments on a proposal how to transfer the results into practice as well as feedback on the survey as a whole could be given.

Judging the importance of single information criteria or attributes for flood damage analysis was the main goal of the survey. While the introductory and closing questions had other

intentions and used different scales that were fit for their respective purposes (for example five classes of professional experience), only the questions about the information criteria were asked according to the Delphi-approach. For these criteria the use of a single scale was important to make the results of different attributes as well as the results of one attribute in different rounds comparable. A bipolar scale with six values ranging from “information is extremely important for flood damage analysis” to “information is completely unimportant for flood damage analysis” was selected. The highest importance was coded with 1, the least with 6. The values in between could be checked but were not described in words. The 1 to 6 scaling uses the connotation to marks at school in Germany and Austria and is therefore very well known to the vast majority of experts.

In the questionnaires of rounds one and two, all information criteria were grouped thematically. A single question per topic (e.g. flood characteristics at the damaged object, location and size of the affected object, risk awareness of the property owners) requested to rate the importance of the associated attributes. While the topics were the same for all economic sectors, the proposed attributes within one topic varied (Table II.1). Risk awareness in the residential sector shall serve as an example for the wording of the questions:

“Which information should be collected about risk awareness?

Please judge the importance of the following attributes for a comprehensive damage analysis by attaching a value between 1 meaning “information is extremely important” and 6 “information is completely unimportant” to each information criteria. You can tune your answer by using the values between these extremes.”

In the annex of this paper a complete list of all the attributes in the residential (ANNEX A) as well as the commercial and industrial (C&I, ANNEX B) damage sectors is given.

Table II.1: Number of items for all damage sectors and the survey rounds 1 and 2 per thematic topic

Thematic topic	Damage sector											
	Residential		Commerce and industry		Traffic infrastructure		Municipal infrastructure		Agriculture and forestry		Waterways	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Direct damages	11	11	11	12	11	10	11	10	11	10	11	14
Cleaning	4	4	4	3	4	4	4	3	4	2	4	4
Functional interruption	6	6	5	3	5	3	5	2	5	3	5	5
Flood event and its object-related impact	13	13	13	14	13	15	13	9	13	13	13	12
Location and size of the object	13	13	13	14	8	8	13	13	13	13	7	8
Type, use and equipment of object	17	17	21	21	15	15	17	15	26	28	12	12
Precautionary measures, flood protection	4	5	6	5	6	6	6	4	6	7	6	6
Emergency measures and warning	6	6	6	5	6	6	6	4	6	6	6	5
Risk awareness	7	7	11	11	11	13	12	11	11	9	15	13

In rounds one and two this wording was used throughout the questionnaire. Only the name of the topic was changed according to the thematic field. In round three the thematic differentiation was not continued. Experts were asked to rank all proposed attributes in the order of their general importance for flood damage analysis.

2.3 Expert panel

The topic of the survey provides the basis for the selection of experts (Gisholt 1976). The selection process was oriented on the process described by Okoli and Pawlowski (2004) with some modifications:

As a starting point, the names of experts from the research community and from major governmental and private institutions dealing with flood risk and flood damage analysis were collected by the project partners and formed the initial list of potential participants. In a second step the experts on the list were contacted and asked for a self-rating about their ability

to contribute to the survey topic and which of the six damage sectors (Residential, Commerce and industry, Traffic infrastructure, Municipal infrastructure, Agriculture and forestry, Waterways; see Table II.1) they could answer questions to as well as their willingness to participate. They were also asked to name other experts in their working fields who might be interested to take part and contribute. A number of experts withdrew their names or named someone they rated as better qualified. To a large degree, the experts already addressed were named again. This was seen as a hint that a large part of the community was already represented in the initial lists. From the additional experts those were selected which helped to close gaps due to equal representation of the four working fields and coverage of all six relevant damage sectors. The selected experts represent university institutes and major research institutions (working field Scientific institutions / universities), reinsurers and insurance companies (Insurances), federal and state agencies as well as agencies from flood prone municipalities (Governmental agencies) and leading engineering consultants (Engineering consultancy). They were contacted and asked to participate and give some personal information to sketch their professional background and assess their expertise (see Tables II.2, II.3 and II.4 in this section). The overall return rates for all three rounds are shown in Figure II.1. Of 98 total contacts, 55 experts agreed to take part. 45 then answered the questionnaire of round one correctly and were contacted again in the latter rounds. In this panel of 45 the four working fields are represented quite equally (10 Insurances, 14 Governmental agencies, 12 Scientific institutions / universities, 9 Engineering consultancy), while participation showed huge differences between damage sectors (Figure II.2).

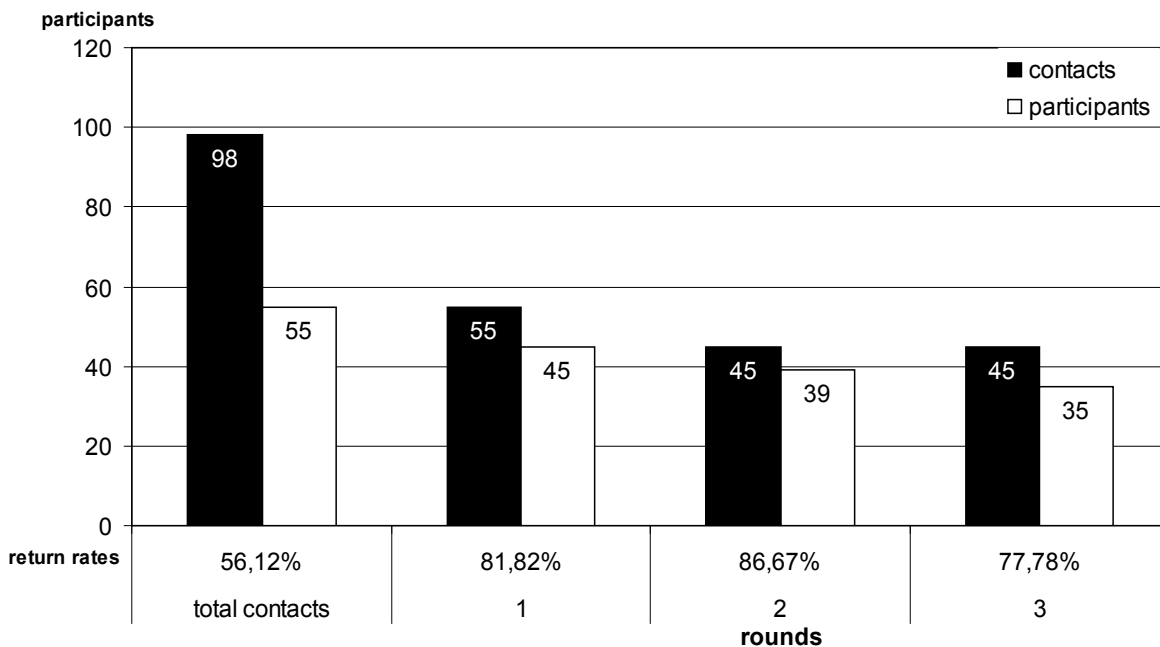


Figure II.1: Return rates for initial contacts and survey rounds

To match scientific standards in statistical analysis the number of returns is of special importance. For in-depth analysis only those respondents could be taken into account who

answered the questions for a particular damage sector in round one and round two. The answering behavior was not further tracked in round three. While overall return rates were good (Figure II.1), not all respondents had to answer questions to each damage sector. Only return numbers for the residential and the commerce and industry (C&I) sectors were high enough to perform valid statistical analyses (Figure II.2). Since many experts answered questions on two or more sectors there should not be a systematically biased answering behavior between sectors.

29 of the 45 experts chose to answer the residential sector related questions in round one and 24 of the 29 did so in round two (one expert who did not take part in round one did so in round two, but has to be excluded for the following analyses). The numbers for the C&I sector are 28 of 45 in round one and 22 of 28 in round two. Further analyses include this selection of 24 and 22 experts, respectively. Return numbers for all sectors can be seen in Figure II.2.

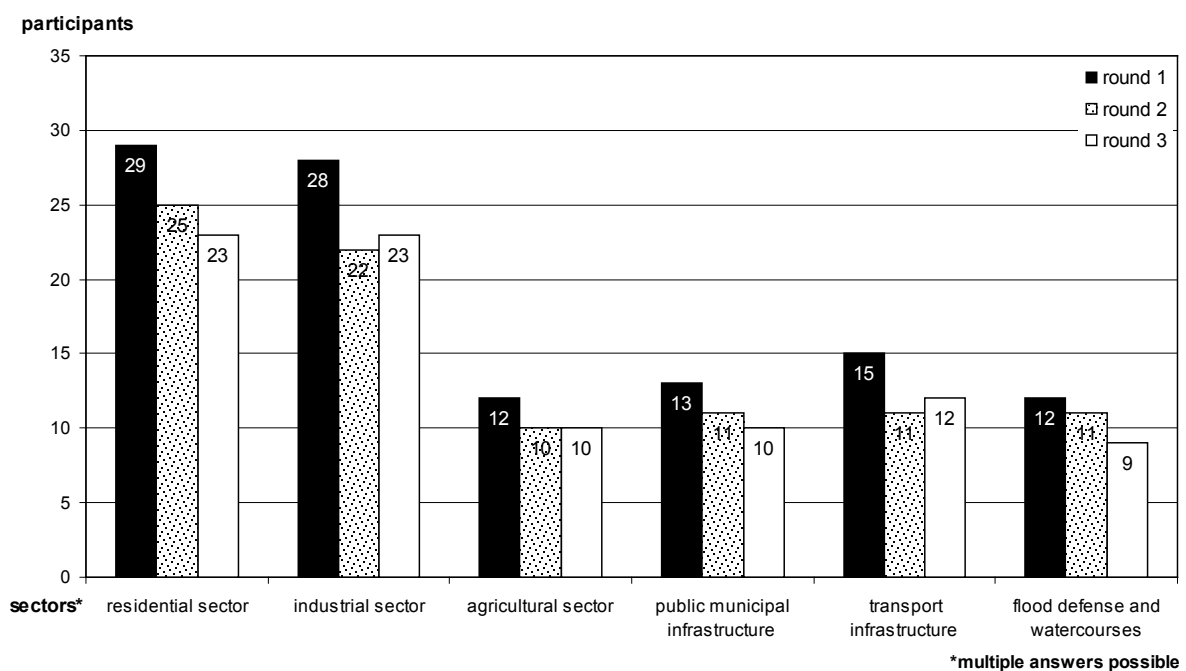


Figure II.2: Returned questionnaires per damage sector and survey round

The number of attributes also had to be limited to those that were rated in round one and round two. That means all attributes where consensus was reached in round one and all attributes that were additionally rated in round two had to be excluded. As a result there is a list for each sector with the attributes that were identical in round one and round two (see numbered attributes in ANNEX A and ANNEX B). The dataset for further analysis finally consists of the answers of 24 experts for the 73 remaining criteria in the residential sector and 22 experts and 80 criteria in the C&I sector in round one and round two, respectively.

The distribution of experts within the four working fields is shown in Table II.2. To evaluate whether common information needs allow standardized damage assessment, the following analyses will focus on differences between the four groups.

Table II.2: Sub panels for further analyses – field of professional activity

Field of professional activity	Number of experts in sector	
	Residential	C&I
Insurances	8	8
Governmental agencies	6	5
Scientific institutions / universities	5	5
Engineering consultancy	5	4
Total	24	22

In Table II.3 the panel is divided into experts with broad or little experience in damage data collection.

Table II.3: Sub panels for further analyses – experience in working with self-collected damage data

Experts who use self-collected data for analysis	Number of experts in sector	
	Residential	C&I
Routinely or often	13	13
Seldom or never	11	9
Total	24	22

Table II.4 shows the panel sizes for groups according to their professional experience. Individual answers were aggregated into two classes of “up to five years of professional experience” and “more than five years of professional experience” in the field of flood damage analysis. The reason for the divisions shown in Table II.3 and Table II.4 is that practical experience in gathering data as well as long professional experience probably have a negative effect on the flexibility of experts to change their opinion as they are closely familiar with data collection or flood risk and flood damage analysis, respectively.

Table II.4: Sub panels for further analyses – professional experience

Professional experience in flood damage analysis	Number of experts in sector	
	Residential	C&I
Up to 5 years	9	10
More than 5 years	15	12
Total	24	22

2.4 Methods for analyses

What sets the Delphi-method apart from other round-based survey methods is the feedback mechanism. It sheds light on the group answers and enables the participants to rethink their rating. The application of this feedback mechanism can be interpreted as influential when a change in the answering scheme can be measured. The assumption is that the feedback of the group answer (e.g. the median of all answers) provides an orientation point and limits the spread of answers in the next round. In a heterogeneous sample where different or even competing interests or different schools of thought are represented, the feedback might not result in a convergence of answers. Still the Delphi-method can reveal such differences and is valuable to distinguish groups with dissent. Trend towards consensus is measured by comparing the standard deviations of answers in round one for each attribute to the standard deviations in the second round. The difference between the deviations for each attribute reveals whether there is a trend. When the result decreases from round one to round two a trend towards consensus is detected. An increase marks a gain in the deviation of answers.

The theory of scales of measurement, as established by S.S. Stevens in the 1940's (Stevens 1946) does not allow this kind of analysis as the scale used (bipolar with six values) is ordinal and might only allow an interpretation as being interval scaled, but not metric. Still, this strict pattern of constrains is criticized by numerous authors (for an overview, see Velleman and Wilkinson 1993). They advocate an open minded approach to statistical data analysis: "Approaches to statistics that start from an *a priori* scale type and then proscribe the kinds of hypotheses that may be considered or the statistical methods and tests that may be computed based on that scale type are simply bad science and bad data analysis (Velleman and Wilkinson 1993)." On this note, applying the arithmetic mean and standard deviation to the survey data has the potential to produce plausible results and should therefore be used if the "permissible" methods (here e.g. spread of answers, quartiles) don't provide enough details.

The other key feature of the Delphi-method approach is the possibility to enhance the quality of results. A prerequisite is that the participants must be willing to rethink their opinion and eventually change their answers when confronted with the feedback of the whole panel

(willingness to adjust). But this alone would not improve the results. Therefore some assumptions have to be made: First, experts with experience in data gathering or with a longer working record in the field of flood risk and flood damage analysis might produce high quality or at least reality-tested results. Second, they might be less willing to adjust their ratings thus enhancing their influence on the final group answer. Third, all experts, also the less experienced, can contribute reasonably to the topic. The enhancement of the quality of answers is achieved by effectively shifting the weights of individual answers throughout the rounds (they count the same in the first round) towards the more educated ratings. This is further accounted for in section 3.3.

Another point that helps to improve the quality of the results is mentioned in section 1.3. The Delphi-method avoids problems and disadvantages of other group survey techniques and still allows interaction between participants and the generation of group answers.

As an indicator for the willingness to adjust answers the average distance between the feedback signal (median of all answers X for an item in round one for the residential sector, $\frac{1}{n} \sum_1^n \frac{x_{1,k_i} + x_{1,k_i+1}}{2}$, and for the C&I sector, $\frac{1}{n} \sum_1^n \frac{x_{1,k_i} + x_{1,k_i+1}}{2}$) and the individual answers of the selected experts (round 1: $x_{1,n+1}$, round 2: $x_{2,n+1}$) is calculated for each item in rounds one and two. The difference between the results serves as an indicator whether the answers for an item show a trend towards the feedback signal or not. A positive value indicates a trend towards the signal (Equations (1) and (2)), a negative value means that the answers differ more from the feedback signal than in round one.

Equation (1) Trend towards signal - residential sector

$$\left| \left(\frac{1}{n} \sum_1^n \frac{x_{1,k_i} + x_{1,k_i+1}}{2} - x_{1,n+1} \right) \right| - \left| \left(\frac{1}{n} \sum_1^n \frac{x_{1,k_i} + x_{1,k_i+1}}{2} - x_{2,n+1} \right) \right| > 0 \quad (1)$$

Equation (2) Trend towards signal - C&I sector

$$\left| \left(\frac{1}{n} \sum_1^n \frac{x_{1,k_i} + x_{1,k_i+1}}{2} - x_{1,n+1} \right) \right| - \left| \left(\frac{1}{n} \sum_1^n \frac{x_{1,k_i} + x_{1,k_i+1}}{2} - x_{2,n+1} \right) \right| > 0 \quad (2)$$

With: n : Sample size

k_i : Sample elements (experts)

X_1 : Value (answer) of element k_i in round 1

X_2 : Value (answer) of element k_i in round 2

Slightly different equations have to be used because the median is calculated differently for odd (residential sector) and even (C&I sector) numbers.

The aim of the survey – standardization of flood loss data collection - can only be achieved if the selected experts represent one community. The most important disruptions in the field of flood loss analysis are along the fields of employment. To make sure that the formation of group answers, which form the base for the collection standards, makes sense, it is necessary to prove that expert's answers from the four fields of employment are not significantly different. The H_0 –hypothesis for this test is: “The answers of experts from the groups are not significantly different for this attribute”. To test this hypothesis, the Kruskal-Wallis-test (H-test) for independence (see Equation (3)) is performed for all attributes in both loss sectors and both rounds, at a significance level of $\alpha=0.05$.

Equation (3) Kruskal-Wallis-test of independence

$$H = \frac{12}{n(n+1)} \left(\sum_{i=1}^{k-1} \frac{(R_i)^2}{n_i} \right) - 3(n+1) \quad (3)$$

With: n: Number of attributes

R_i : Rank for every attribute

n_i : Single attribute

k: Number of groups (classes)

3. Results

3.1 Consensus

To analyze the behavior of the experts in terms of their tendency towards consensus, the standard deviations are compared for all 73 selected attributes in the residential sector.

A Kite-diagram (Figure II.3) shows the results. It is based on the absolute values of the standard deviations. Every radiant represents one attribute. The dotted area with the black outline represents round one, the black area shows the results for round two. 64 attributes show a decrease in the standard deviation of answers while the standard deviation has

increased in only nine cases. When differentiating the standard deviations of round one and round two, an average diminution of 0.27 occurs.

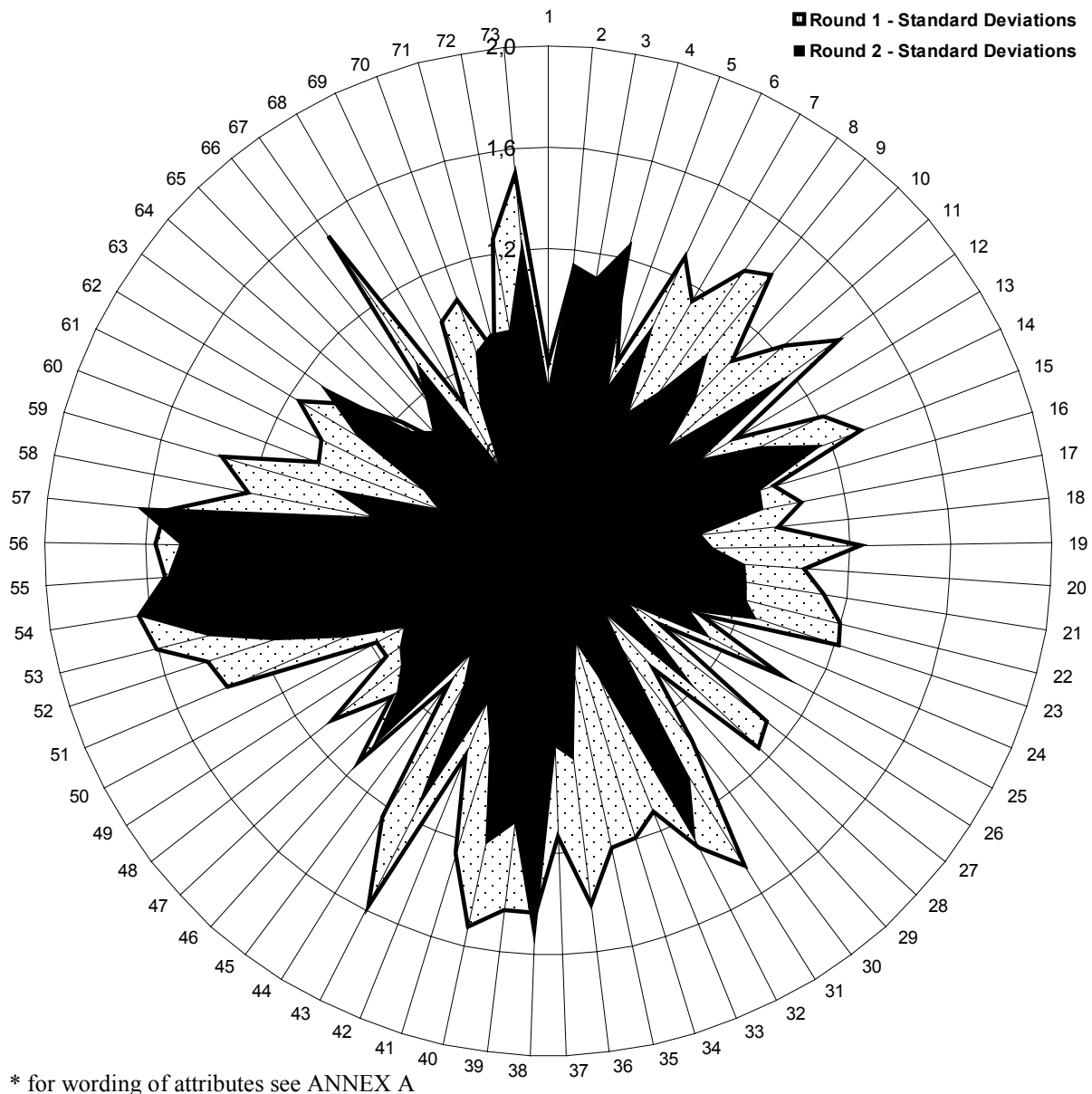


Figure II.3: Standard deviations for the residential sector*

The same was done for the 80 selected attributes in the C&I sector. The standard deviation is higher in round one for 73 attributes. For six attributes the deviation of answers is higher in round two. One attribute has the same standard deviation in both rounds (Figure II.4). The average diminution of the standard deviation for all attributes is 0.32 in round two related to round one.

While the results of judging the same items in both sectors show some similarities, we did not compare them as there are differences in the items analyzed (see annex) and the objective was to explore expert behavior and to develop separate standards for each sector. For the same

reasons a thematic differentiation of items was not applied in the analysis of the consensus building process.

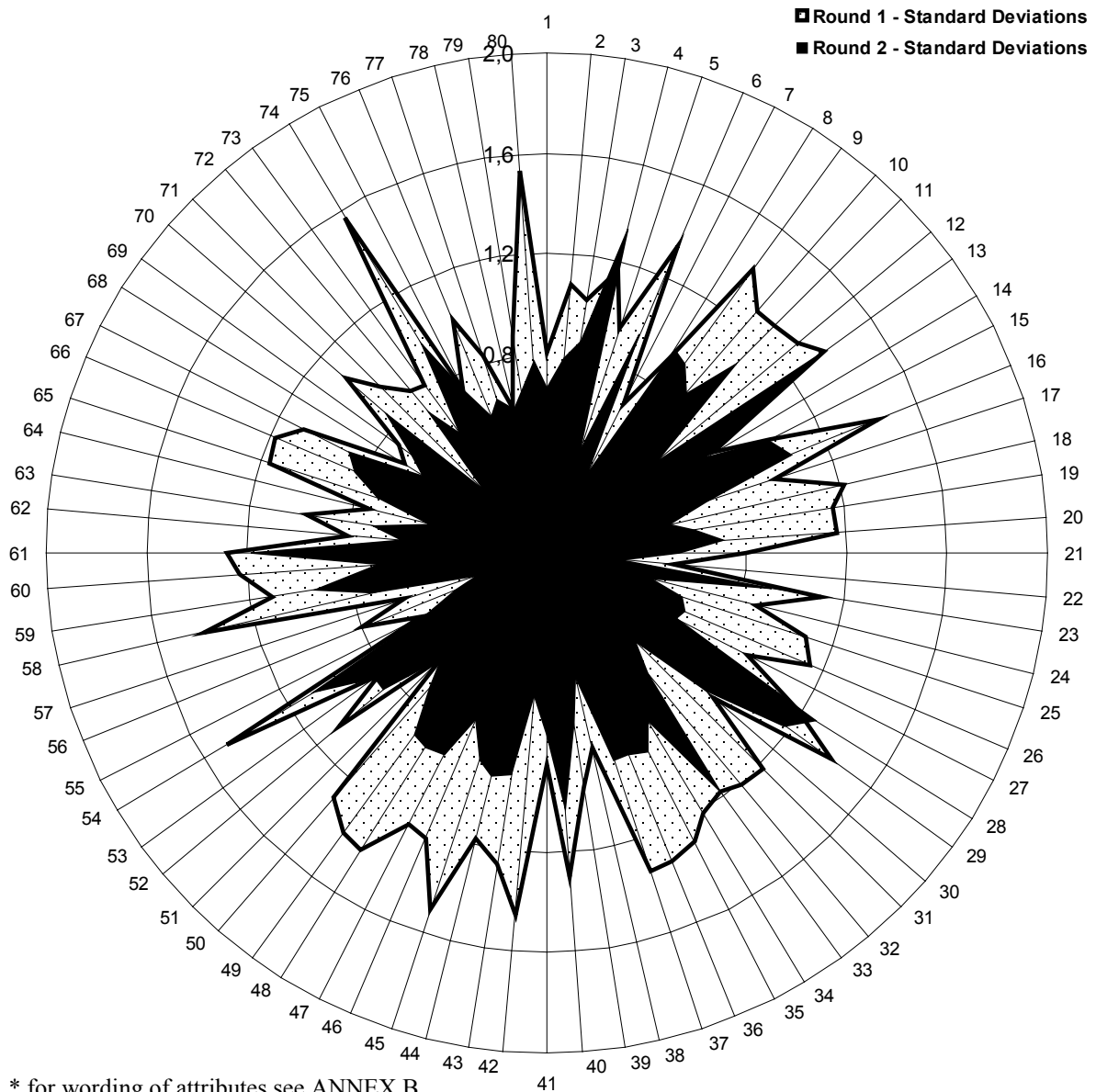


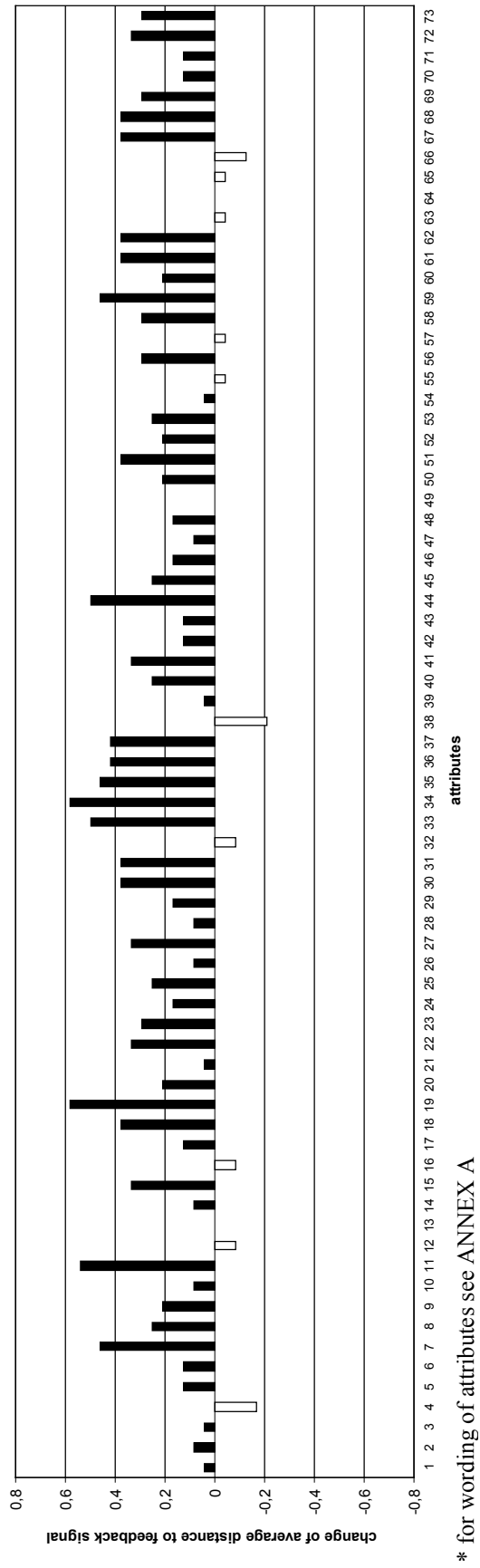
Figure II.4: Standard deviations for the C&I sector*

The survey method clearly supports consensus as the vast majority of attributes show a decrease in the deviation of answers. The decrease is remarkable as the average standard deviation in round one was only 1.13 in the residential and 1.08 in the C&I sector. With an average standard deviation of less than one in the second round (using a 6-step scale) the results show a high level of congruence between experts for both sectors.

3.2 Willingness to adjust

For testing the willingness of experts to reconsider their answers in the light of the panel feedback, the calculations for measuring the distance of single answers to the feedback signal (Equation (1), Equation (2)) are done for the whole sample of both sectors.

In the residential sector 63 of 73 attributes show a trend towards the feedback signal or stay even. The average distance between the values of single answers and the median is 0.83 in round one and only 0.63 in round two. That means an average reduction of 0.20.

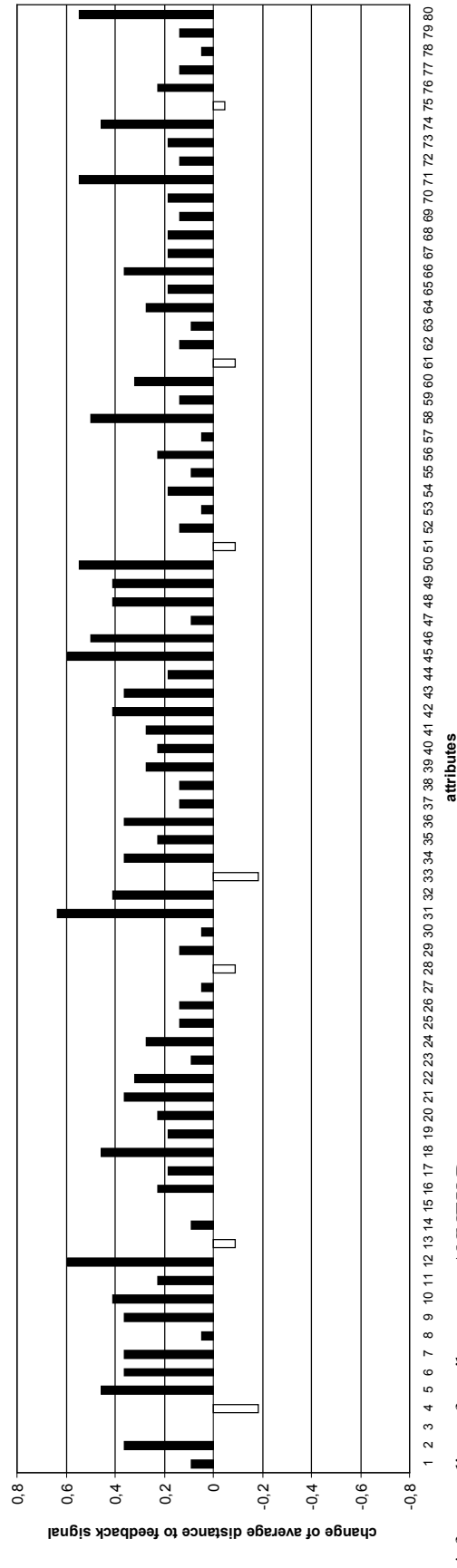


* for wording of attributes see ANNEX A

Figure II.5: Willingness to adjust, residential sector*

The black bars in Figure II.5 indicate this trend towards the feedback signal while the inverted white bars indicate that for these attributes the value of the average answer has become more distant from the median in round one.

A similar picture can be seen in the C&I sector (Figure II.6): 73 of 80 attributes show a trend towards the signal. The average reduction in the distance from the median in round one is 0.22 and therefore slightly larger than in the residential sector. The average distance is 0.79 in round one and 0.57 in round two.



* for wording of attributes see ANNEX B

Figure II.6: Willingness to adjust, C&I sector*

The results show the willingness of the experts to use the panel feedback as a guideline. The feedback-mechanism obviously does work in this field. In the next section we will analyze whether this also applies to sub panels with common characteristics.

3.3 Influence of sub sample membership

The same indicator is also used to analyze and characterize the behavior of groups of panelists with common characteristics. This could give hints which groups influence the final results most, e.g. by staying with their answers through all rounds.

As a first grouping attribute the field of employment is used. This divides the panel into four groups (Table II.5).

Table II.5: Residential and C&I sector: Willingness to adjust answers, by field of employment

Field of employment	Average reduction in distance to feedback signal	
	Residential	C&I
Insurance	0.16	0.17
Governmental agencies	0.24	0.36
Scientific institutions / universities	0.22	0.24
(Engineering) consultancy	0.20	0.14
Total	0.20	0.22

In the residential sector the differences in the trend towards the feedback signal between groups of experts are obviously not very large (0.16 – 0.24). The Kruskal-Wallis test on independence applied to the individual change in difference to the feedback signal for all attributes shows no influence of group membership for 67 of 73 attributes (95% probability level).

The picture for the C&I sector is a little different as the average reduction in distance to the feedback signal differs more between the single groups. Still the tendency is the same as all group answers show a trend towards the signal (Table II.5) and the Kruskal-Wallis test shows no group related influences for 74 of 80 attributes. Therefore, experts from the different fields of professional activity show no significantly different behavior in their willingness to adjust. The results do not differ too much and the willingness to adjust is given in all groups. For the six attributes in each sector which failed the Kruskal-Wallis test no pattern could be found as these items are not the same in both sectors and belong to different thematic fields.

The question on the experience in working with self-collected data allowed four answers. In the following, the panel is divided in a group of experts who routinely or often work with own

data, and experts who never or seldom work with such data (Table II.3). This is relevant for the goal of the survey to identify user needs and develop standards for data collection from this information, as experts with experience in data gathering might produce higher quality or at least reality-tested results. This assumption can be confirmed: In the residential sector the answers of the more experienced experts show an average reduction in distance to the feedback signal of 0.18 compared to 0.22 for the other group. The respective numbers for the C&I sector are 0.14 for the first group and 0.35 for the second group.

A third field that might influence survey behavior is work experience. To test whether experts with longer experience in the field of flood loss analysis are less willing to adjust their answers towards the feedback signal, the sample was divided as shown in Table II.6.

Table II.6: Willingness to adjust answers, by professional experience

Professional experience in flood damage analysis	Average reduction in distance to feedback signal by sector	
	Residential	C&I
Up to 5 years (group one)	0.24	0.25
More than 5 years (group two)	0.18	0.20
Total	0.20	0.22

The difference between the average distances is larger for the inexperienced group than for the experienced group (Table II.6). The picture for the C&I sector is similar. The value for group one is 0.25 compared to 0.20 for group two.

These results illustrate, that people with little or no experience in assessing flood damage data are more willing to adjust their answers to the feedback signal thus enlarging the influence of the other group and therefore – if the assumption is correct – enhancing the quality of the answers. A similar conclusion can be drawn for the influence of overall work experience: The more experienced the experts are, the more they stay with their answers. The influence of the feedback is limited for this group in comparison to experts who are new to the field of flood loss analysis.

3.4 Standardization

The Kruskal-Wallis test is applied to the four groups of experts that are employed in different fields. The calculation is done for all attributes in both sectors and both rounds. If the asymptotic significance is beyond 0.05 the probability that answers for this attributes are different because of group-membership is more than 95%.

For most criteria an influence of the sub panel-membership is unproven on the $\alpha=0.05$ - level (Table II.7). Only for a small number of attributes a significant influence of sub sample membership could be assumed.

Table II.7: Test for independence – expert groups classified by fields of employment

$\alpha \geq 0.05^*$		
Independent attributes		
Sector and round	Number	Percentage
Residential R 1 (81 attributes)	76	93.83%
C&I R 1 (90 attributes)	83	92.22%
Residential R 2 (82 attributes)	75	91.46%
C&I R 2 (88 attributes)	84	95.45%

* all attributes with $\alpha < 0.05$ are marked in the annex with # for R 1 and * for R 2

With the number of attributes (81 and 90) and the selected probability-level of 95% it should be expected that 5% of all attributes have an asymptotic significance of 0.05 even without any sub panel influence. The number of attributes with an asymptotic significance of less than 0.05 is in this range (Table II.7).

Thus we can conclude that all samples are part of the same population. As the influence of sub sample-membership is limited, the heterogeneity of the expert panel does not affect the approach to an extent that would hinder the development of standards from the panel answers.

3.5 Towards standardized damage data collection

The results shown so far, allow the compilation of a standard catalogue of items that should be recorded in case flood losses are analyzed. The “candidates” for this catalogue were more thoroughly specified in round three with a ranking approach (see section 2.2). Two examples shall be given on the results of the standardization process. Table II.8 presents the 15 most important information items that should be assessed after a damaging flood event on residential objects. In Table II.9 the respective results are shown for the commerce and industry sector.

Table II.8: List of items with importance for flood damage analyses in the residential sector

Item name	Round 1*		Round 2		Round 3
	Rating 1 (%)	Rating 1+2 (%)	Rating 1 (%)	Rating 1+2 (%)	Average rank
Monetary damage (absolute value for reconstruction or replacement in monetary units)	83.33	96.67	Consensus already reached		5.68
Top water level / maximum water depth in building	90.00	93.33	Consensus already reached		5.73
Damages to residential and other buildings (e.g. outbuildings, garages)	93.33	96.67	Consensus already reached		5.86
Damages to contents	90.00	96.67	Consensus already reached		7.23
Address or geographical position (coordinates)	76.67	90.00	Consensus already reached		8.64
Monetary value of the object	80.00	90.00	Consensus already reached		10.14
Duration of inundation	80.00	90.00	Consensus already reached		10.59
Type of building (e.g. detached house / apartment building)	63.33	90.00	Consensus already reached		10.77
Utilization of basement	76.67	93.33	Consensus already reached		11.18
Flood type (inundation, backwater, etc.)	83.33	93.33	Consensus already reached		11.45
Intrusion threshold	63.33	76.67	84.00	96.00	11.86
Percentage of monetary damage relative to the total value of the affected object (loss ratio, degree of damage)	56.67	66.67	80.00	92.00	12.23
Floodwater contaminated with oil, chemicals, sewage	73.33	86.67	84.00	96.00	12.45
Region, municipality or postcode-boundary	53.33	76.67	76.00	92.00	12.55
Name of the body of water that caused the damages	56.67	76.67	68.00	88.00	12.55

* Consensus criteria: Rating 1 (60%) AND rating 1+2 (90%)

Table II.9: List of items with importance for flood damage analyses in the C&I sector

Item name	Round 1*		Round 2		Round 3
	Rating 1 (%)	Rating 1+2 (%)	Rating 1 (%)	Rating 1+2 (%)	Average rank
Damages to buildings and other structures (e.g. production facilities, brickwork retention basins)	92,86	95,43	Consensus already reached		4,59
Monetary damage (absolute value for reconstruction or replacement in monetary units)	78,57	92,86	Consensus already reached		5,41
Top water level / maximum water depth in buildings	89,29	100,00	Consensus already reached		7,41
Damages to contents (storage goods and technique for production included)	85,71	96,42	Consensus already reached		7,68
Costs caused by business constraints or interruptions (includes costs for replacement during the constraints)	75,00	92,86	Consensus already reached		8,95
Address or geographical position (coordinates)	78,57	92,86	Consensus already reached		9,14
Duration of business interruption	85,71	96,42	Consensus already reached		9,27
Monetary value of object BEFORE flooding (equipment, goods and storage, open space, vehicles, etc.)	64,29	89,29	81,82	95,46	10,86
Type of building / utilization (administration building, production facility, depot, etc.)	67,86	89,29	81,82	100,00	10,86
Number of affected objects (physical units, e.g. number of affected vehicles, buildings or floors)	57,14	92,85	86,36	100,00	11,09
Duration until continuation of operation without constraints	67,86	85,72	86,36	95,46	11,36
Event date	82,14	92,86	Consensus already reached		11,36
Duration of inundation	75,00	92,86	Consensus already reached		11,82
Flood type (inundation, backwater, etc.)	57,14	96,42	90,91	100,00	11,86
Sector	75,00	82,14	72,73	95,46	12,09

* Consensus criteria: Rating 1 (60%) AND rating 1+2 (90%)

In the further process of developing practical recommendations for damage data collection the number of items was not limited to 15, but could vary between damage sectors.

4. Conclusions

The results of the first two rounds of a multi-step Delphi-method expert survey were analyzed in order to test the usefulness of the method for the assessment of expert knowledge, pushing consensus and standardization in the field of information needs for flood damage analysis. The obvious decrease in the deviation of answers from round one to round two revealed a tendency towards consensus.

By taking the feedback signal into concern the willingness of experts to reconsider the answers in the light of the feedback became immanent. To ensure that this also means an increase in the quality of answers, the influence of experts with certain common characteristics was analyzed. The field of employment showed little influence on the willingness to correct answers – an important fact when trying to reach closer cooperation between those fields. The negative correlation between experience and willingness to adjust answers proved that experts with longer working experience in the field of flood loss analyses and experts who have experience in collecting damage data themselves have moderately stronger influence on the final results than less experienced experts thus enhancing the quality of the results.

Finally it was tested whether experts from different fields of employment belong to a common population. The results reinstated this assumption and therefore allowed the standardization of damage data collection based on common information needs.

Delphi is a method that has great potential in assessing expert knowledge in a structured way, enhancing consensus between the experts and still giving all participants their share of influence on the results hence creating no “losers”. In contrast to most former applications it is also possible to apply the method to fields where experience and knowledge are not the base for projections but for actual needs. In the field of flood damage analysis it can be applied whenever valuable information are wide spread within the community and the “true” result is difficult or impossible to obtain.

The actual value of the presented study is that it establishes clear cut catalogues of information items to assess after a flood event and specifies those items for the most important damage sectors. The catalogues are made operational for use in practice and for the general public in the form of flood damage data collection guidelines by adding rules for measuring and assessing the information items. The guidelines are published in the final project report (Thieken et al. 2010). For these guidelines, the methodological findings from the analysis of the residential and C&I sectors were assigned to the other sectors (agriculture, public municipal infrastructure, transport infrastructure, flood defense and watercourses; see Figure II.2: Returned questionnaires per damage sector and survey round). Still, it could be a very rewarding task to run the analyses described in the paper for these sectors as the expert

base was too small in our study. Transnational studies could help to recruit a sufficient number of experts.

Further results of the project can be found in the report and in the works of Thielen et al. (2008) and Thielen et al. (2009). For data assessed according to the guidelines a flood damage database was developed to store and process damage cases for all relevant sectors (<http://nadine.helmholtz-eos.de/HOWAS21.html>). In the future it could be very interesting to compare the expert's group opinion about the necessary information for comprehensive flood damage analysis with actual damage data to test the closeness of agreement and reveal differences.

Acknowledgements

This research was funded by the German Ministry of Education and Research (BMBF) within the framework of the project MEDIS – Methods for the Evaluation of Direct and Indirect Flood Losses (No. 0330688). Participation of all experts in the surveys is gratefully acknowledged.

ANNEX

ANNEX A. Identification numbers for items in the residential sector (Figure II.3, Figure II.5)

Topic	Identification number	Attribute
Type of damage	1	Damages to supply lines (water pipes, power supply and communication lines)
	2	Damages to vehicles
	3	Damages to appurtenant structures (e.g. access road, parking spaces, outside lighting, fences etc.)
	4	Damages to landscaping and gardens
Information about direct damages	5	General qualitative description of damages
	6 #	Photographic documentation of damages
		Number of affected objects (physical units, e.g. number of affected vehicles, affected floors)
	7	Damaged area of the affected object (size)
	8	Percentage of damaged area relative to the total area of the affected object
	9	Detailed list of affected elements

	10	Ordinal scaled damage classification (e.g. serious, medium, minor damage to object)
		Monetary damage (absolute value for reconstruction or replacement in monetary units)
	11	Percentage of monetary damage relative to the total value of the affected object (loss ratio, degree of damage)
		Floor by floor damage assessment
	12 #	Most expensive single damage
	13	Mode of loss assessment
		Name of the surveyor
Cleaning	14	Time requirements for cleaning the affected object
	15	Personnel expenditures for cleaning the affected object
	16	Costs of cleanup efforts
	17	Disposal costs
Function interruption	18	Duration of unoccupancy
	19	Duration until full reoccupancy without constraints
	20 # *	Evacuation of the building
	21 *	Type and duration of supply / disposal constraints (e.g. blackout, telecommunication failure, accessibility)
	22	Other forms of functional interruptions (habitation)
	23	Costs caused by functional constraints or interruptions (includes costs for replacement during the constraints)
Event impact on object		Event date
	24	Type of triggering event (snow melting, thunderstorm, etc.)
		Point in time (day of the week, time)
		Flood type (inundation, backwater, etc.)
	25 # *	Name of the body of water that caused the damages
	26	Influence of dam failure
	27	Infiltration path (into the building, e.g. bottom-up, extraneous)
		Top water level / maximum water depth in building
	Duration of inundation	
	28	Flow velocity

	29	Floodwater contaminated with oil, chemicals, sewage
	30	Materials carried along by the floodwater (type and quantity) Proportion of contaminated materials
	31	Temperature of floodwater
	32	Groundwater level Annuality of the event Rise rate
	33	Region, municipality or postcode-boundary Address or geographical position (coordinates)
	34	Ground level elevation
	35	Intrusion threshold
	36	Lot size Type of building (e.g. detached house / apartment building)
Location and size	37 *	Number of floors
	38 *	Style of roof
	39 *	Geometric form of the building
	40	Base area of building
	41	Living space / effective area of building
	42	Basement area
	43	Height of ceilings Threshold of event annuality where damages occur Location relative to the body of water
		Utilization (only occupancy / mixed use) Utilization of basement
Use	44	Number of accommodation units Number of floors that are occupied by the affected accommodation unit
	45	Construction (building materials)
	46	Age of building
	47	Condition / edificial defects BEFORE the flood

	48	Appraisal of susceptibility to floods
		Monetary value of object
	49	Equipment standard of object (standard, upscale)
	50	Type (e.g. heating installation, distribution box) and location (cellar, ground floor) of building services engineering
	51	Size of the affected household (number of persons)
	52 # *	Number of particularly endangered persons (children, seniors)
	53	Ownership structure (lessee / owner of apartment or building)
		Contact person per object
	54	Age (head of the household)
	55	Sex (head of the household)
	56	Educational background (head of the household)
	57	Net income on-hand of the affected household
		Dominant language in the household
	<hr/>	
	58	Insurance coverage (existent / inexistent)
	59	Emergency plan or emergency set (existent / inexistent)
Precaution	60	Type of permanent measures for damage prevention (object protection system, e.g. flood protection wall, bulkhead windows and doors)
	61	Efficiency of permanent protection measures
		Partition of internal / external damage reduction
	<hr/>	
	62	Warning path, communication media (e.g. siren, fire brigade, radio, etc.)
	63	Warning information
	64	Available lead time
Warning	65	Type of emergency measures taken
	66	Efficiency of emergency measures taken
	67	Costs for safety measures (in case of an emergency)
	<hr/>	
	68	Publication of risk maps for the community
Risk awareness	69	Information about self-protection measures exist in the municipality
		Risk awareness / recognition of endangerment within the affected households (e.g. knowledge about the danger zone the building is situated in)

70	Emergency manual, viz. information about appropriate actions in case of an emergency do / do not exist
71	Flood experience of the affected household
72	Number of years the household is located at this place
73	Affixing high water marks to building
	Damages in the past (number, quantum of damages)

attributes with $\alpha < 0.05$ for R 1

* attributes with $\alpha < 0.05$ for R 2

ANNEX B. Identification numbers for items in the C&I sector (Figure II.4, Figure II.6)

Topic	Identification number	Attribute
Type of damage	1	Damages to supply lines (water pipes, power supply, gas and communication lines)
	2	Damages to vehicles
	3	Damages to appurtenant structures (e.g. stacking ground, parking spaces, includes technical equipment, as for example outside lighting, barriers, fences etc.)
	4	Damages to landscaping
Information about direct damages	5	General qualitative description of damages / damaged objects
	6	Photographic documentation of damages
	7	Number of affected objects (physical units, e.g. number of affected vehicles, buildings or floors)
	8	Damaged area of the affected object (size)
	9	Percentage of damaged area relative to the total area of the affected object
	10	Detailed list of affected elements
	11	Ordinal scaled damage classification (e.g. serious, medium, minor damage to object)
		Monetary damage (absolute value for reconstruction or replacement in monetary units)
	12	Percentage of monetary damage relative to the total value of the affected object (loss ratio, degree of damage)
	Building by building and floor by floor damage assessment	
	13	Most expensive single damage

	14	Mode of loss assessment Name of the surveyor
Cleaning	15	Time requirements for cleaning the affected object
	16	Personnel expenditures for cleaning the affected object Costs of cleanup efforts
	17 *	Disposal costs
Function interruption		Duration of business interruption
	18	Duration until continuation of operation without constraints
	19	Other forms of operating constraints Costs caused by business constraints or interruptions (includes costs for replacement during the constraints)
	20	Type and duration of supply / disposal constraints (e.g. blackout, telecommunication failure, accessibility)
Event impact on object		Point in time (day of the week, time) Event date
	21	Type of triggering event (snow melting, thunderstorm, etc.)
	22	Flood type (inundation, backwater, etc.) Flood type per affected object part
	23 *	Name of the body of water that caused the damages
	24	Influence of dam failure
	25	Infiltration path (into the building, e.g. bottom-up, extraneous) Top water level / maximum water depth in building Duration of inundation
	26	Flow velocity
	#	Floodwater contaminated with oil, chemicals, sewage
	27	Materials carried along by the floodwater (type and quantity) Proportion of contaminated materials
	28	Temperature of floodwater
	29	Groundwater level Annuality of the event

	Rise rate	
Location and size	30 * Region, municipality or postcode-boundary Address or geographical position (coordinates)	
	31 Ground level elevation	
	32 Intrusion threshold	
	33 Lot size	
	34 Number of company buildings	
	35 Base area of all company buildings	
	36 Effective area of all company buildings	
	37 Number of floors	
	38 Basement areas	
	39 Outdoor storage area	
	40 Open space (landscaping)	
	41 * Number and type of storage tanks e.g. oil, gas, chemicals, sewage) Threshold of event annuality where damages occur Location relative to the water body Contact person per object	
	Use	42 Sector
		43 Number of personnel at plant location BEFORE the flood event
44 Gross value added of the plant (monetary units for the previous year)		
45 # Gross capital assets of the plant (monetary units for the previous year)		
46 Business volume of the plant (monetary units for the previous year)		
47 Number of sub-suppliers BEFORE and AFTER the flood event		
48 Number customers BEFORE and AFTER the flood event		
49 Spatial distance to the majority of sub-suppliers		
50 Spatial distance to the majority of customers		
51 # Building construction (building materials)		
52 Age of building / assets		
53 Condition / edificial defects BEFORE the flood		

	54	Height of ceilings
	55 #	Monetary value of object BEFORE flooding (equipment, goods and storage, open space, vehicles)
	56	Type of building / utilization (administration building, production facility, depot, etc.)
		Type of basement utilization
	57	Type (e.g. heating installation, distribution box) and location (cellar, ground floor) of building services engineering
	58	Equipment standard of object (standard, upscale)
	59	Utilization of open spaces BEFORE the flood event
	60 #	Appraisal of susceptibility to floods
	61	Interactions of the affected plant with other sectors or networks (interdependencies)
	62 #	Insurance coverage (existent / inexistent)
		Emergency plan (existent / inexistent)
	63	Planning for failures
Precaution		Type of permanent measures for damage prevention (object protection systems)
	64	Efficiency of protection measures
	65	Type, number and coverage of relief and backup-facilities for affected units (production facilities etc.)
		Partition of internal / external damage reduction
	66	Warning path, communication media (e.g. siren, fire brigade, radio, etc.)
	67	Warning information
		Available lead time
Warning	68	Type of emergency measures taken
	69	Efficiency of emergency measures taken
	70	Costs for safety measures (in case of an emergency)
	71	Publication of risk maps for the community
	72	Information about self protection measures exist in the municipality
Risk awareness	#	Risk awareness / recognition of endangerment of the affected company (e.g. knowledge about the danger zone the building is situated in)
	73	Emergency manual, viz. information about appropriate actions in case of an emergency do / do not exist

74	Affixing high water marks to building
75	Appointment and training of safety officers or security
76	Regular disaster control exercises
77	Contact to and collaboration with local emergency management authorities
78	Integration in flood warning system
79	Flood experience in the affected company
80	Number of years the company is located at this place
	Damages in the past (number, quantum of damages)

all attributes with $\alpha < 0.05$ for R 1

* all attributes with $\alpha < 0.05$ for R 2

Chapter III:

Standardisierte Erfassung und Bewertung von Hochwasserschäden

Standardized collection and assessment of flood-damage data

Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 53(3), 2009, 198-207

Annegret H. Thieken, Isabel Seifert, Florian Elmer, Holger Maiwald, Sören Haubrock, Jochen Schwarz, Meike Müller, Jens-Olaf Seifert

© HyWa 2009.

Received 12th January 2009; revised 27th February 2009;

accepted 2nd March 2009.

“The nice thing about standards is that you have so many to choose from.”

Andrew S. Tanenbaum

Computer Networks, 2nd ed., p. 254

Abstract

Trotz der hohen Anzahl an Hochwasserschadensfällen in den letzten Jahren stehen relativ wenige Daten für eine detaillierte Analyse von Schadensprozessen zur Verfügung. Solche Analysen sind für die Validierung und Weiterentwicklung von Schadensmodellen jedoch unerlässlich. Um die Datenlage in Deutschland langfristig zu verbessern, werden in diesem Beitrag Vorschläge für eine standardisierte Erhebung von Hochwasserschäden vorgestellt.

Schlagwörter: Bewertung von Hochwasserschäden, Erfassung von Hochwasserschäden, Hochwasserschäden

Despite the high number of flood-damage events in recent years, there are comparatively few data available for detailed analyses of damage-inducing processes. Such analyses, however, are needed for the validation and updating of damage (or loss) models. In order to improve the data base in Germany in the long run, suggestions for the standardized collection of flood-damage data are presented in this paper.

Keywords: Assessment of flood damage data, collection of flood damage data, flood damage

1. Einführung

Verlässliche Abschätzungen von tatsächlichen und potentiellen Hochwasserschäden werden in der wasserwirtschaftlichen Praxis dringend benötigt. Eine gute Abschätzung tatsächlicher Hochwasserschäden kann im Ereignisfall helfen, finanzielle Mittel für Schadensregulierung und Wiederaufbau auf einer belastbaren Grundlage zu budgetieren. Die Unsicherheit von Schadensschätzungen und das fehlende Wissen über Hochwasserschäden wurden beispielsweise durch das Hochwasser im August 2002 verdeutlicht. Erste Schätzungen gingen von mehr als 22 Mrd. Euro Schaden in Deutschland aus. Dieser Wert wurde im November 2002 auf ca. 9 Mrd. Euro korrigiert (BMI 2002). Mittlerweile geht man für Deutschland von einer Schadenssumme von 11,6 Mrd. Euro aus (Munich Re 2007).

Die empirische Basis, um Schadensmodelle weiter zu entwickeln oder zu validieren, ist im Vergleich zu anderen Bereichen der Hydrologie und Wasserwirtschaft dünn. Die meisten Schadensmodelle beschränken sich auf den Wasserstand als Eingangsgröße. Mit so genannten Wasserstand-Schadensfunktionen werden potenzielle Schäden in verschiedenen Wirtschaftssektoren (Privathaushalte, öffentliche Gebäude, Dienstleistungssektor etc.) abgeschätzt. In Deutschland basieren viele Schadensmodelle auf der Datenbank HOWAS (HOchWASserSchäden), die über 4000 Schadensfälle aus den Jahren 1978 bis 1998 mit einem Schwerpunkt in Süddeutschland enthält (Buck und Merkel 1999) oder auf Expertenwissen. Die Schadenswerte und die aus HOWAS abgeleiteten Wasserstand-Schadensfunktionen weisen jedoch eine beträchtliche Streubreite auf (MERZ et al. 2004), die vermutlich durch unterschiedliche, aber nicht erfasste Randbedingungen der Einzelschäden (z.B. Vorsorgemaßnahmen) verursacht werden. Da die HOWAS-Datenbank seit einigen Jahren nicht mehr fortgeführt wird und die betreuende Arbeitsgruppe 2004 aufgelöst wurde, steht in Deutschland momentan keine aktuelle und abgestimmte Datengrundlage für Hochwasserschadensanalyse zur Verfügung. Durch diesen Datenmangel ist bislang auch wenig darüber bekannt, wie andere Einflussgrößen außer dem Wasserstand, z.B. die Fließgeschwindigkeit oder die private Vorsorge, Art und Höhe eines Hochwasserschadens beeinflussen. Will man Schadensmodelle verbessern, sind solche Erkenntnisse jedoch unverzichtbar.

Durch die Schadensereignisse der letzten Jahre, insbesondere durch das August- Hochwasser 2002, stehen prinzipiell neue Schadensdaten zur Verfügung. So wurden zahlreiche Schadensfälle im Zuge der Schadensregulierung durch Versicherungen oder im Rahmen der staatlichen Finanzhilfe dokumentiert. Diese Datenaufnahmen sind für die Entwicklung, Verbesserung oder Überprüfung von Schadensmodellen jedoch nur eingeschränkt nutzbar, da in der Regel keine oder zu wenig Informationen über die Hochwassereinwirkung (z.B. über den Wasserstand im Gebäude oder die Einstaudauer) und die Gebäudeeigenschaften dokumentiert werden.

Wissenschaftliche Einrichtungen haben daher zusätzliche Daten durch Vor-Ort- Begehungen oder Befragungen von Betroffenen erhoben. Beispielsweise wurden im Nachgang des August-Hochwassers 2002 Hochwasserschäden in Privathaushalten und Unternehmen mit Hilfe von Telefonbefragungen erhoben (Thieken et al. 2005; Kreibich et al. 2007). Neben den finanziellen Schäden wurden dabei zahlreiche Faktoren, die den Schaden beeinflussen könnten, abgefragt. Dazu gehören vor allem die Hochwassereinwirkung (Wasserstand, Dauer, Fließgeschwindigkeit), aber auch die Kontamination des Flusswassers durch Abwasser oder Öl sowie die Hochwasserwarnung und durchgeführte Notmaßnahmen, langfristige Vorsorgemaßnahmen und der Wert und die Eigenschaften des betroffenen Haushaltes/Unternehmens.

Um auf Basis der Erfahrungen aus dem August-Hochwasser 2002 die Datenlage über Hochwasserschäden in Deutschland langfristig zu verbessern, wurden im Rahmen des Forschungsprojektes „Methoden zur Erfassung direkter und indirekter Hochwasserschäden“ (MEDIS, s. Thieken 2008) Vorschläge für eine standardisierte Schadenserfassung in verschiedenen Schadenssektoren erarbeitet (Thieken et al. 2010). Diese Kriterienkataloge sind je nach Erhebungsziel modular einsetzbar. In diesem Beitrag werden einige Vorschläge exemplarisch für die standardisierte Erfassung von strukturellen und monetären Hochwasserschäden an Gebäuden vorgestellt. Zudem wird eine neue Hochwasserschadensdatenbank (HOWAS 21) präsentiert, die am Helmholtz-Zentrum Potsdam Deutsches GeoForschungsZentrum entwickelt und gepflegt wird und Daten für die Wissenschaft sowie die wasserwirtschaftliche Praxis bereitstellen soll.

2. Wie können Hochwasserschäden bewertet werden?

2.1 Was sind Hochwasserschäden?

Im Allgemeinen werden Hochwasserschäden in direkte und indirekte Schäden unterteilt. Direkte Schäden entstehen durch den physischen Kontakt mit dem Hochwasser, während indirekte Schäden zwar durch ein Hochwasser ausgelöst werden, aber räumlich oder zeitlich außerhalb des eigentlichen Ereignisses auftreten. Beide Schadensarten werden weiterhin in tangible und intangible Schäden unterteilt – je nachdem, ob sie monetär bewertet werden können oder nicht (Smith und Ward 1998). Im Projekt MEDIS wurde diese Schadensdefinition durch räumliche und zeitliche Aspekte erweitert (Abbildung III.1). Durch die Hochwassereinwirkung können Objekte, zum Beispiel Gebäude, Straßen, Maschinen, Deiche oder Feldfrüchte, durch Verschmutzungen und/oder Durchfeuchtung geschädigt oder zerstört werden. Darüber hinaus werden aber auch Schäden durch ansteigendes Grundwasser sowie langfristige Folgeschäden wie Schimmelbildung oder Frostschäden, die auf die physische Einwirkung des Wassers zurückgeführt werden können, zu den direkten Hochwasserschäden gezählt, obwohl sie erst nach dem eigentlichen Schadensereignis sichtbar

werden. Bei einer Schadenserfassung unmittelbar nach dem Ereignis werden diese direkten Folgeschäden oft noch nicht erkannt, können aber ein erhebliches Ausmaß erreichen.

Auch wenn der Fokus der Schadensabschätzung auf der Bewertung monetärer Schäden liegt, ist bei vielen Untersuchungen ein Hochwasserschaden nicht nur eine monetäre Größe. Gerade bei der Erstellung einer ersten Schadensbilanz wird der Schaden zunächst in physischen Einheiten erfasst (Anzahl betroffener Personen, Gebäude, km geschädigte Straßen etc.). Da der finanzielle Aufwand, um einen Schaden zu reparieren, auf Anhieb nur grob zu beziffern ist, können Einzelschäden zunächst qualitativ beschrieben und auf einer Ordinalskala klassifiziert werden, um das Schadensausmaß zu charakterisieren. So wurde im Rahmen des MEDIS- Projektes eine Klassifizierung struktureller Gebäudeschäden durch Schwarz und Maiwald (2007) entwickelt, die im Folgenden skizziert wird. Danach werden Konzepte zur monetären Bewertung von Hochwasserschäden erläutert.

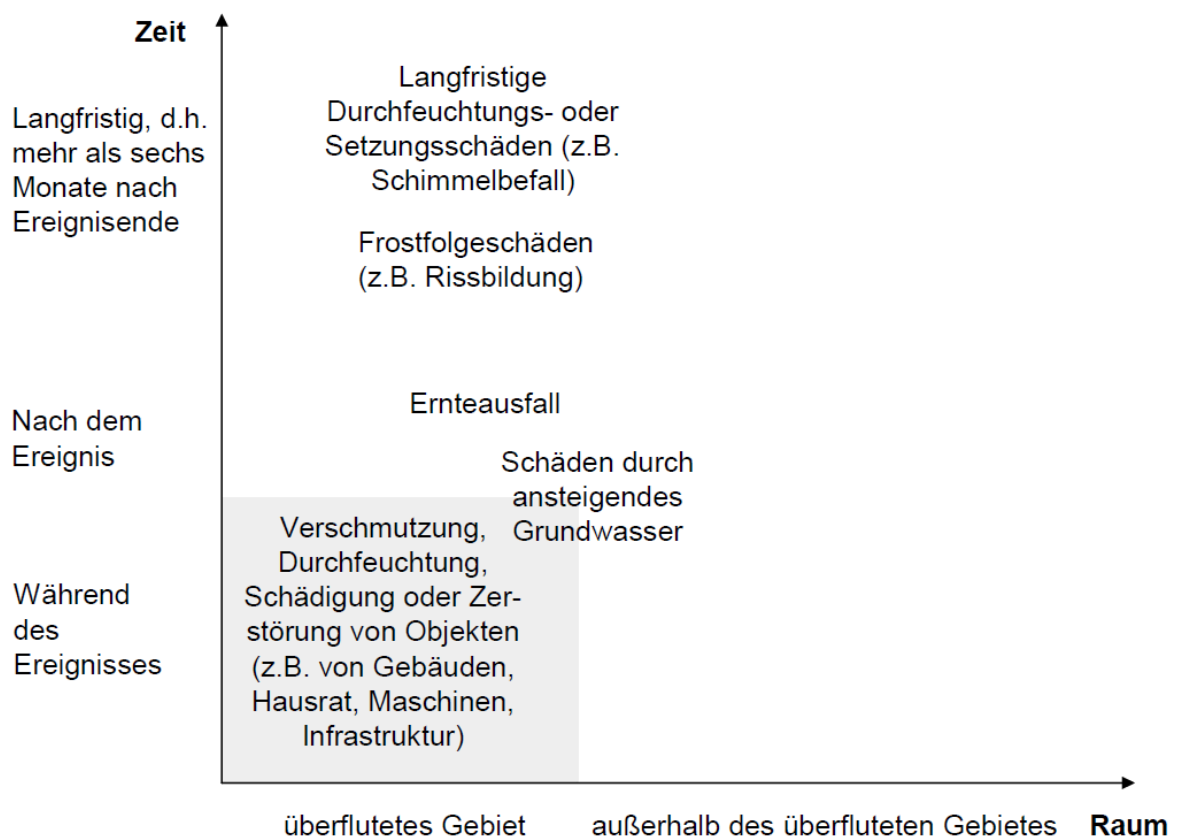


Abbildung III.1: Tangible direkte Hochwasserschäden mit Raum- und Zeitbezug (der graue Bereich kennzeichnet den überfluteten Bereich/Zeitraum; Quelle: Thielen 2008) - *Tangible direct flood damage in space and time (the grey area indicates the area and the duration of the inundation; Source: Thielen 2008)*

2.2 Einteilung struktureller Bauwerksschäden

Auf Grundlage der beim Zentrum für die Ingenieuranalyse von Erdbebenschäden (EDAC) schon vorhandenen (Schwarz et al. 2005) und der im Verlauf des MEDIS- Projektes erhobenen Schadensdaten an Gebäuden wird eine Einteilung der strukturellen Schädigung der

Bausubstanz in Schadensgrade vorgenommen. Entsprechend des Konzeptes erfolgt eine fünfstufige Differenzierung, die neben dem strukturellen Schaden auch die Durchfeuchtung berücksichtigt (Tabellen Tabelle III.1 und Tabelle III.2). In diesem Zusammenhang werden Mauerwerks-, Lehm-, Fachwerk- und Fertigteilbauten (Holzständerkonstruktionen und Trockenbauplatten) sowie Stahlbetonbauten als charakteristische Hauptbauweisen herausgearbeitet. Spezifika der Schadensbilder und der Schädigung werden untersucht, um verallgemeinerte Angaben für die einzelnen Bauweisen ableiten zu können.



a) Schadensgrad D1: reine Durchfeuchtung
Damage grade D1: Merely moisture penetration



b) Schadensgrad D3: Setzungen, Risse
Damage grade D3: Settlements, cracks



c) Schadensgrad D4: Einsturz von tragenden Bauteilen
Damage grade D4: Failure of structural elements



d) Schadensgrad D5: Kollaps des Gebäudes
Damage grade D5: Collapse of the building

Abbildung III.2: Beispiele von Schadensbildern und Zuordnung von Schadensgraden (Fotos: EDAC 2002) -
Examples of damage cases and assignment of damage grades (Pictures: EDAC 2002)

Tabelle III.1: Unterscheidung struktureller Schadensgrade infolge Hochwassereinwirkung (Schwarz und Maiwald 2007) - *Differentiation of structural damage grades due to flood impact (Schwarz und Maiwald 2007)*

Beobachtungen	Schadensgrad				
	D1	D2	D3	D4	D5
Durchfeuchtung der Wände und der Geschossdecken	■	×	×	×	×
Leichte Risse in tragenden Bauteilen		×	×	×	×
Eingedrückte Türen und Fenster		×	×	×	×
Austausch von Ausbauteilen erforderlich		■	×	×	×
Größere Risse oder Verformungen in Wänden und Decken			■	×	×
Setzungen			×	×	×
Einsturz von Bauteilen (Wände, Decken)				■	×
Einsturz des gesamten Gebäudes oder größerer Gebäudeteile					■
Abriss erforderlich					×

Erläuterungen: × beobachtete Schädigung kann bei entsprechendem Schadensgrad auftreten
 ■ charakteristischstes Merkmal für den entsprechenden Schadensgrad

Es lassen sich charakteristische Schadensbilder identifizieren (Abbildung III.2). Wiederholt beobachtete Versagensmerkmale können in Beschreibungen der Schadensgrade umgesetzt und verdichtet werden (vgl. Tabelle III.1). Als weiteres innovatives Element werden für den normalen Bauwerksbestand vier Hochwasser-Verletzbarkeitsklassen (HW-A bis HW-D) eingeführt (Tabelle III.2), wobei jede dieser Hochwasser-Verletzbarkeitsklassen Bauweisen gleicher bzw. ähnlicher Verletzbarkeit repräsentiert. Zusätzlich wird eine Hochwasser-Verletzbarkeitsklasse HW-E vorgeschlagen, um (regelkonform) hochwassergerecht ausgeführte Bauwerke zu berücksichtigen. Eine Präzisierung bleibt Auswertungen zukünftiger Hochwasserereignisse vorbehalten bzw. wäre mit einem Zeitpunkt stärkerer Bauwerkskontrolle, z.B. im Zuge von Wiederaufbaumaßnahmen, in Verbindung zu bringen.

Den einzelnen Bauweisen werden jeweils die charakteristischen Hochwasser-Verletzbarkeitsklassen unter Berücksichtigung möglicher Streubereiche zugeordnet (vgl. Tabelle III.3). Grau markiert ist die typische Verletzbarkeitsklasse für die allgemeinen Mauerwerksbauten, welche repräsentativ für den größten Teil des untersuchten Bauwerksbestandes ist.

Aus der Korrelation der Schadensgrade und der Überflutungshöhe stehen im Ergebnis Verletzbarkeitsfunktionen für die verschiedenen Bauweisen bzw. die entsprechende Verletzbarkeitsklassen zur Verfügung, mit denen die strukturelle Schädigung eines Bauwerks

oder eines betroffenen Bauwerksbestandes für konkrete Hochwasserszenarien bestimmt werden kann (Schwarz und Maiwald 2007, 2008).

Tabelle III.2: Definition der Hochwasser-Verletzbarkeitsklassen - *Definition of flood-vulnerability classes*

Merkmale der Bauweisen	Verletzbarkeitsklasse				
	HW-A	HW-B	HW-C	HW-D	HW-E
sehr empfindlich	O				
empfindlich		O			
normale Hochwasserresistenz			O		
erhöhte Hochwasserresistenz				O	
besonders hochwassergerechte Auslegung					O

Tabelle III.3: Einordnung der charakteristischen Bauweisen in die Hochwasser-Verletzbarkeitsklassen und Identifikation von Streubereichen (auf Basis der ausgewerteten Schadensdaten) - *Classification of building types in vulnerability classes and identification of ranges of scatter (on the basis of the evaluated data)*

Bauweisen bzw. Bauwerkstyp	Verletzbarkeitsklasse				
	HW-A	HW-B	HW-C	HW-D	HW-E
Lehmbauten (Lehm)	○				
Fertigteilmbauten (FT)		○			
Holzfachwerkbauten (FW)		○			
Mauerwerksbauten (MW)			<u>○</u>		
Stahlbetonbauten (STB)				○	
Stahlbeton- und Mauerwerksbauten in hochwassergerechter Ausführung Flood Resistant Design (FRD)					○

○ wahrscheinlichste Verletzbarkeitsklasse
○ dominante Verletzbarkeitsklasse für den Bauwerksbestand in den Untersuchungsgebieten
 ■ möglicher Streubereich
 ■ wenig wahrscheinlicher Streubereich, seltene Fälle

2.3 Monetäre Bewertung von Hochwasserschäden

Bei der Berechnung von monetären Hochwasserschäden sind zwei Konzepte, das Brutto- und das Nettokzept, zu unterscheiden. Während beim Bruttokzept der Neuwert des geschädigten Objektes zugrunde gelegt wird, wird beim Nettokzept der Zeitwert bewertet. Entsprechend wird im Bruttokzept ein finanzieller Schaden durch die Wiederherstellungs- oder Wiederbeschaffungskosten im Schadensjahr, d.h. zu aktuellen Preisen, angegeben, während beim Nettokzept der technische und ökonomische Verschleiß seit der Anschaffung bis zum Schadensjahr durch Abschreibungen berücksichtigt wird.

Beide Konzepte finden in der Praxis ihre Anwendung und sollten deswegen bei der Erfassung von monetären Hochwasserschäden berücksichtigt werden. Es ist dabei jedoch auf eine konsistente Trennung der beiden Konzepte zu achten. Das Bruttokzept kommt häufig im Rahmen der Schadensregulierung durch Versicherungen oder staatlichen Finanzhilfen zur

Anwendung, während das Nettokonzept für volkswirtschaftliche Betrachtungen, wie z.B. Kosten-Nutzen- Analysen im Rahmen wasserwirtschaftlicher Planungen, herangezogen wird.

Bei der Schadensregulierung wird immer nach dem aktuell entstandenen Schaden gefragt, und die Schadenskompensation richtet sich nach den Kosten zur Wiederherstellung oder Wiederbeschaffung des geschädigten Objekts zu aktuellen Preisen. Kosten-Nutzen-Analysen dienen dagegen der Abschätzung zukünftiger volkswirtschaftlicher Schäden, weshalb von der Schädigung des aktuellen Vermögensbestandes (Zeitwert) ausgegangen wird. Versicherungs- und Finanzhilfeschäden durch Hochwasser liegen daher systematisch über den volkswirtschaftlichen Schäden, die z.B. in der Kosten-Nutzen-Analyse für Hochwasserschutzmaßnahmen angesetzt werden.

In Abbildung III.3 wird dies anhand des Beispiels eines Hauses deutlich: Im Jahr 1980, dem Erbauungsjahr des Hauses, sind Neuwert und Zeitwert noch identisch und betragen 100 T €. Die Baukosten steigen zwischen 1980 und 1990 um 20 % und zwischen 1990 und 2000 um 18 %. Deshalb beträgt der Neuwert zu aktuellen Preisen des Jahres 1990 bereits 120 T € und steigt bis zum Jahr 2000 auf 138 T €. Die dargestellte Steigerungsrate entspricht dem mittleren Baupreisindex für den Hochbau, wie er vom Statistischen Bundesamt ermittelt wurde (Statistische Bundesamt 2008). Der Zeitwert des Hauses fällt in dieser Zeit gemäß § 7 Abs. 4 Einkommensteuergesetz (ESTG 2008) mit einer linearen Abschreibungsrate um 2 % pro Jahr. Würde das Haus also im Jahr 1980 zur Hälfte zerstört werden, betrüge der Schaden sowohl nach dem Brutto- als auch nach dem Nettokonzept 50 T €. Würde das Haus im Jahr 2000 ebenfalls zur Hälfte zerstört, so entstünde nach dem Bruttokonzept würde ein Schaden von 69 T €, nach dem Nettokonzept jedoch nur ein Schaden von 30 T €.

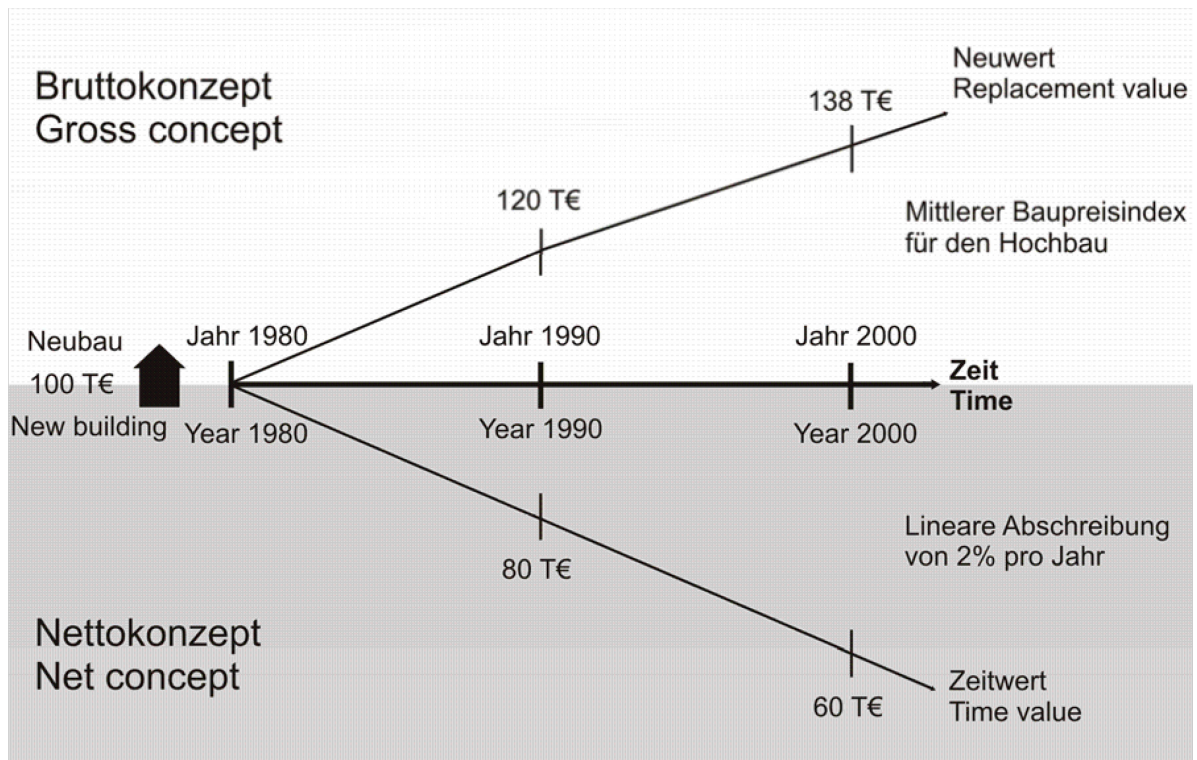


Abbildung III.3: Verdeutlichung des Brutto- und Nettokonzeptes am Beispiel eines Hauses - *Illustration of the gross-and-net concept by the example of a house*

Grundsätzlich können beide Konzepte zur Ableitung von absoluten (Schadensangabe in €) und relativen Schadensfunktionen (prozentualer Schädigungsgrad) herangezogen werden. Für das Jahr 1990 wäre bei einem Totalschaden, d.h. bei vollständiger Zerstörung, nach dem Bruttokonzept ein absoluter Schaden von 120 T € und für das Nettokonzept ein absoluter Schaden von 80 T € zu erwarten (vgl. Abbildung III.3).

Bei der Ableitung von relativen Schadensfunktionen wird der monetäre Schaden als Prozentsatz des Neuwertes oder des Zeitwertes des geschädigten Objektes ausgedrückt. Dabei ist darauf zu achten, dass sich die Angaben zum Schaden und zum Wert des geschädigten Objektes immer auf dasselbe Jahr beziehen. Des Weiteren ist genau zu überlegen, ob aufgrund der vorliegenden Daten das Nettokonzept oder das Bruttokonzept zum Einsatz kommen kann. Wird der monetäre Schaden beispielsweise auf der Grundlage von Rechnungen erhoben, so ist das Bruttokonzept zu verwenden, da diese Rechnungen die aktuellen Kosten zur Wiederherstellung des Schadens angeben, d.h. es handelt sich um Neuwerte. Bei einem monetären Schaden von 12 T € im Jahr 1990 und einem Neuwert von 120 T € würde der Schädigungsgrad somit 10 % betragen (vgl. Abbildung III.3).

Werden Schadensfunktionen dagegen aus synthetischen Daten abgeleitet – d.h. es existiert kein realer Schaden, sondern im Rahmen von Ortsbegehungen leiten Experten aufgrund von Gedankenexperimenten (z.B. „Wie hoch wäre der Schaden, wenn das Wasser x cm hoch stünde?“) einen Schadenswert ab – kann der Schaden sowohl als Zeit- als auch als Neuwert

ausgedrückt werden. Entsprechend sollte dann der Wert des Objektes bewertet werden. Entstände im Jahr 1990 beispielsweise ein Zeitwertschaden von 12 T €, so betrüge der Schädigungsgrad bezogen auf der Zeitwert 15 %; handelte es sich um einen Neuwertschaden, wäre der Schädigungsgrad nur 10 % (vgl. Abbildung III.3).

3. Welche Informationen werden für eine Schadensanalyse benötigt?

Für die Standardisierung der Erfassung von Hochwasserschäden wurden für sechs Schadenssektoren mit Hilfe von Expertenwissen Kriterienkataloge erarbeitet. Im Folgenden werden die methodische Herangehensweise und anschließend die wesentlichen Ergebnisse für den Schadenssektor Privathaushalte vorgestellt.

3.1 Methode: Expertenbefragung mit Delphi

Um die Standardisierung der Datenerfassung auf einer soliden Basis abzuleiten, wurde im Dezember 2005 ein Experten-Workshop veranstaltet, auf dem verschiedene Methoden zur Schadenserfassung aus Sicht unterschiedlicher Akteure und für verschiedene Schadenssektoren vorgestellt und diskutiert wurden. Die Workshop-Ergebnisse bildeten die Grundlage für eine, als Online-Erhebung nach der Delphi-Methode durchgeführte, Expertenbefragung zur Erfassung von Hochwasserschäden. Die Delphi-Methode ermöglicht eine strukturierte und systematische Erfassung von Expertenwissen. Durch einen Feedback-Mechanismus – die Befragten werden mehrere Male befragt und ab dem zweiten Durchlauf über das gemittelte Befragungsergebnis der vorhergehenden Runde informiert – eignet sie sich sehr gut zu einer Konsensfindung unter den Befragten.

Die MEDIS-Befragung fand in drei Runden statt. Der Fragebogen der ersten Runde (20.10.2006 bis 21.11.2006) enthielt einen allgemeinen Teil, in dem die Erfahrungen der Befragten mit Hochwasserschadensanalysen, Erhebungsmethoden und damit erhobenen Datensätzen sowie Einschätzungen zur resultierenden Datenqualität und zu Aufwand und Erhebungszeitpunkt der verschiedenen Methoden abgefragt wurden. Die Wichtigkeit der einzelnen Kriterien wurde im umfangreicheren zweiten Teil des Fragebogens mit Hilfe einer sechsstufigen Skala (1=Information ist äußerst wichtig bis 6=Information ist völlig unwichtig) erhoben. Dieser Teil des Fragebogens war nach sechs Schadenssektoren, d.h. Privathaushalte, Unternehmen (Gewerbe und Industrie), öffentliche Infrastruktur, Verkehrsinfrastruktur, Wasserbau und Gewässer sowie Land- und Forstwirtschaft aufgeteilt, wobei jeder Befragungsteilnehmer nur die Bereiche bearbeitet hat, für die er/sie sich als kompetent erachtete. Außerdem war die Möglichkeit vorgesehen, eigene, nicht genannte Kriterien anzugeben und zu bewerten sowie den Fragebogen zu kommentieren.

Im Fragebogen der zweiten Runde (05.12.2006 bis 04.01.2007) wurde auf den allgemeinen Teil verzichtet. Ansonsten entsprach der Aufbau dem Fragebogen der ersten Runde.

Zusätzlich wurden die in der ersten Runde von den Teilnehmern ergänzten Kriterien aufgenommen. Zu allen in der ersten Runde bewerteten Kriterien wurde der Median der Antworten als Feedback angegeben. Kriterien, die bereits sehr einheitlich bewertet worden waren, konnten nicht noch einmal bewertet werden. Auch konnte die Liste der Kriterien nicht mehr erweitert werden.

Die dritte Befragungsrunde (18.02.2007 bis 04.04.2007) enthielt pro Schadenssektor nur die Kriterien mit den höchsten Bewertungen. Diese sollten von den Teilnehmern in eine Rangfolge gebracht werden. Zudem sollten unverzichtbare Kriterien gekennzeichnet werden. Abgeschlossen wurde dieser Fragebogen durch wenige Zusatzfragen zu einer Hochwasserschadensdatenbank.

Die Expertenauswahl erfolgte wissensbasiert. Neben der fachlichen Eignung wurde auf eine gleichmäßige Repräsentation verschiedener Tätigkeitsbereiche geachtet. Von insgesamt 98 angeschriebenen Experten erklärten sich 58 zur Teilnahme an der Befragung bereit. Tabelle III.4 zeigt die Zusammensetzung des Panels. 55 Expertinnen und Experten erhielten Zugang zum Fragebogen der ersten Runde. Mit Hilfe von Maßnahmen zur Erhöhung des Rücklaufs (Anschreiben, Erinnerungsschreiben, Anrufe) wurde eine Rücklaufquote von 81,82 % (45 Fragebögen) erreicht. Diesen 45 Experten wurde dann der Fragebogen der zweiten und dritten Runde vorgelegt. 39 bzw. 35 beantwortete Fragebögen entsprechen einem Rücklauf von 86,67 % und 77,78 %.

Tabelle III.4: Zusammensetzung des Panels: Tätigkeitsbereiche - *Panel composition: Field of professional activity*

Tätigkeitsbereich	Experten
Versicherung	12
Verwaltung / staatliche Stellen	18
Wissenschaft	13
„Praxis“ (Ingenieurbüros etc.)	15
Gesamt	58

3.2 Vorschläge für eine standardisierte Erhebung der Dateninhalte

Die Ergebnisse der Expertenbefragung dienten als Grundlage, um Vorschläge für eine standardisierte Schadenserfassung zu erarbeiten sowie Hinweise für die Attributierung der Hochwasserschadensdatenbank HOWAS 21 zu gewinnen (s. Abschnitt 4). Generell zeigten die in den beiden ersten Runden bewerteten Kriterien in der zweiten Runde insgesamt eine geringere Streuung der Antworten. Die Konsensfindung wurde also durch die Verwendung der Delphi-Methode befördert (vgl. Elmer et al. 2010a).

Die Bewertung der wichtigsten Kriterien in den drei Befragungsrunden ist in Tabelle III.5 exemplarisch für den Sektor Privathaushalte aufgelistet. Die Werte in den Spalten „Erste Befragung“ und „Zweite Befragung“ repräsentieren den prozentualen Anteil der Antworten für die Kategorien 1 und 2 auf der sechsstufigen Befragungsskala (1=Information ist äußerst wichtig bis 6=Information ist völlig unwichtig) und beziehen sich auf die Gesamtzahl der Bewertungen für das jeweilige Kriterium. In der Spalte „Dritte Befragung“ ist der durchschnittliche Rang angegeben, der bei der Reihung der wichtigsten Kriterien erreichte wurde. Diese Liste wurde – zusammen mit einigen grundsätzlichen Überlegungen zur Schadensaufnahme – in ein Modul zur Schadenserfassung in Privathaushalten überführt, das neben der Beschreibung der Kriterien auch Informationen zur Messung (Dimension) und weitere Hinweise enthalten (vgl. Thielen et al. 2010). Darin wurden alle Kriterien in zwei Kategorien eingeteilt:

Mindestkriterien, deren Erfassung bei allen Erhebungen empfohlen wird. In HOWAS 21 wurden aus diesen Kriterien die Standardattribute abgeleitet. Soweit möglich wurden diese Kriterien für alle Sektoren angeglichen. Die Mindestkriterien für den Sektor Privathaushalte sind der Abbildung III.4 zu entnehmen. Thematisch wurden alle Kriterien vier Blöcken zugeordnet: Informationen zum Hochwasserereignis, Informationen zum geschädigten Objekt, Informationen über den Schaden sowie Informationen über die (lokale) Hochwasserabwehr. Die Blöcke geben bei der Datenerhebung eine logische Struktur für das Erhebungsinstrument (z.B. Fragebogen) vor. In HOWAS 21 orientieren sich die Datenorganisation und Datenrecherche an dieser Einteilung.

Optionale Kriterien, die je nach Erhebungsziel und Hochwassercharakteristik erhoben werden sollten. Mit Hilfe dieser Kriterien können Erhebungen gezielt ergänzt bzw. angepasst werden. Gleichzeitig bleibt eine gewisse Einheitlichkeit der Erhebung gewährleistet. In HOWAS 21 wurden diese Kriterien als Zusatzinformationen in thematischen Attributfamilien gebündelt und ermöglichen bei speziellen Fragestellungen eine detaillierte Auswertung.

Ähnliche Kriterienkataloge wurden für die anderen Schadenssektoren abgeleitet und durch Vorschläge zu den Messgrößen und weitere Hinweise in Modulen zusammengefasst (vgl. Thielen et al. 2010).

Tabelle III.5: Liste von Kriterien mit Relevanz für Schadensanalysen im Sektor Privathaushalte (*: Konsenskriterien: Anteil der Antworten der ersten Runde für Rang 1: 60 %; Summe der Antworten der ersten Runde für Rang 1 und 2: 90 %; Quelle: Elmer et al. 2010a). - *List of items with relevance for damage analyses in the residential sector (*: Criteria for consensus: Share of answers of the first round for rank 1: 60 %; sum of answers of the first round for rank 1 and 2: 90 %, Source: Elmer et al. 2010a).*

Bezeichnung des Kriteriums	Erste Befragung		Zweite Befragung		Dritte Befragung
	Antworten für Rang 1	Antworten für Rang 1 und 2	Antworten für Rang 1	Antworten für Rang 1 und 2	Durchschnittlicher Rang
Monetärer Schaden (Kosten für die Wiederherstellung/ Reparatur bzw. Wiederbeschaffung des geschädigten Objektes)	83,33%	96,67%	Konsens bereits erreicht*		5,68
Maximaler Wasserstand bzw. Einstauhöhe	90,00%	93,33%	Konsens bereits erreicht*		5,73
Schäden an Wohngebäuden und anderen Bauwerken (z.B. Nebengebäuden, Garagen)	93,33%	96,67%	Konsens bereits erreicht*		5,86
Schäden am Hausrat	90,00%	96,67%	Konsens bereits erreicht*		7,23
Adresse oder geographische Koordinaten	76,67%	90,00%	Konsens bereits erreicht*		8,64
Monetärer Wert des Objekts	80,00%	90,00%	Konsens bereits erreicht*		10,14
Überflutungsdauer	80,00%	90,00%	Konsens bereits erreicht*		10,59
Gebäudetyp (z.B. Einfamilien-/Mehrfamilienhaus)	63,33%	90,00%	Konsens bereits erreicht*		10,77
Kellernutzung	76,67%	93,33%	Konsens bereits erreicht*		11,18
Art des Hochwassers (Überschwemmung, Rückstau etc.)	83,33%	93,33%	Konsens bereits erreicht*		11,45
Höhe der Einlaufschwelle	63,33%	76,67%	84,00%	96,00%	11,86
Prozentanteil des monetären Schadens in Bezug auf den Gesamtwert des geschädigten Objektes (Schädigungsgrad, relativer Schaden)	56,67%	66,67%	80,00%	92,00%	12,23
Kontamination des Flutwassers mit Öl, Chemikalien, Abwasser	73,33%	86,67%	84,00%	96,00%	12,45
Region, Gemeinde oder Postleitzahlenzone	53,33%	76,67%	76,00%	92,00%	12,55
Name des Gewässers, das den Schaden verursacht hat	56,67%	76,67%	68,00%	88,00%	12,55

Mindestkriterien im Sektor Privathaushalte			
Informationen zum Hochwasserereignis	Informationen zum Objekt	Informationen zum Schaden	Informationen zur Hochwasserabwehr
Ereignisdatum	Adresse, geographische Koordinaten	Wiederherstellungswert des gesamten Gebäudes	Vorhandensein von Hochwasserschutzmaßnahmen
Art des Hochwassers / Gefährdungsbild	Höhe der Einlaufschwelle	Reparaturkosten für Gebäudeschaden (Schadigungsgrad des Gebäudes)	Vorwarnzeit
Wasserstand	Gebäudetyp/-nutzung	Wert des gesamten Hausrats	
Überflutungsdauer	Kellernutzung	Wiederbeschaffung des geschädigten Hausrats (Schadigungsgrad des Hausrats)	
Kontamination des Flutwassers			

Abbildung III.4: Mindestkriterienkatalog Privathaushalte (*: Der Schadigungsgrad kann aus dem monetären Schaden und dem Gesamtwert des geschädigten Objektes berechnet werden.) - *Standard catalogue for the residential sector* (*: *Damage ratios are calculated from monetary losses and the total value of the damaged object.*)

4. Schadensdaten für die Wissenschaft und Praxis – die Hochwasserschadensdatenbank HOWAS 21

Zusätzlich zu den Kriterienkatalogen wurden bereits existierende Schadensdatensätze in einer neuen Hochwasserschadensdatenbank (HOWAS 21) zusammengeführt. Neben den Projektdaten wurden auch (Alt-)Datenbestände von Versicherungen, Behörden, Ingenieurbüros und wissenschaftlichen Einrichtungen schrittweise in HOWAS 21 integriert. Voraussetzung für die Aufnahme von Datensätzen in HOWAS 21 ist die Erfüllung der in Abschnitt 3 spezifizierten Anforderungen an die Dateninhalte sowie die Dokumentation der Datenerhebung. Die oben vorgeschlagenen Kriterienkataloge wurden daher in Abstimmung mit der Datenbankstruktur konzipiert, um neben den inhaltlichen Kriterien auch die Integration der Daten in HOWAS 21 zu gewährleisten.

4.1 Struktur und Datenbankkonzept

HOWAS 21 wurde als objektspezifische Hochwasserschadensdatenbank realisiert. In der Datenbank werden wesentliche Daten zum Ereignis, zum geschädigten Objekt, zum aufgetretenen monetären Schaden und zu den Schaden beeinflussenden Faktoren (z.B. Wasserstand) sowie zur Hochwasserabwehr zu jedem Objekt festgehalten (vgl. Abbildung III.4). Darüber hinaus werden das entsprechende Hochwasserereignis, der zugehörige Sektor (Privathaushalte, Unternehmen, öffentlicher Sektor, Landwirtschaft etc.) sowie Informationen zur Datenerhebung pro Objekt dokumentiert.

Da in HOWAS 21 auf Altdatenbestände nicht verzichtet werden kann, wurden aus der Kategorie der Mindestkriterien einige unverzichtbare Größen, wie Schaden, Wasserstand, Ereignis und räumliche Verortung (Gemeinde) ausgewählt. Das Vorhandensein dieser Kriterien bildet den Minimalmaßstab für die Integration von Altdaten in HOWAS 21. Außer den Kriterien/Attributen zur Schadensanalyse werden in HOWAS 21 auch Metadaten zu den einzelnen Datensätzen (z.B. Erhebungsmethode, Erhebungszeitpunkt, Methoden der Datenaufbereitung der einzelnen Attribute, Annahmen bei der Erhebung) abgelegt, die eine Einschätzung der Qualität und der Vergleichbarkeit der Teildatensätze gewährleisten sollen.

4.2 Nutzer und Nutzungskonzept

Das Nutzungskonzept von HOWAS 21 ist in Abbildung III.5 dargestellt. Die Administration der Datenbank erfolgt durch das Deutsche GeoForschungsZentrum Potsdam (GFZ). Des Weiteren gibt es drei Nutzergruppen, die in unterschiedlichem Maße Zugang zur Datenbank haben:

- Nutzergruppe I (Datenanbieter): Zu dieser Gruppe gehören alle Nutzer, die eigene Schadensdaten in einem bestimmten Umfang und angemessener Qualität für HOWAS 21 zur Verfügung stellen. Sie haben einen vollständigen (Lese-) Zugriff auf die Datenbank.
- Nutzergruppe II (Nutzer ohne eigene Schadensdaten): Nutzer, die keine eigenen Schadensdaten einspeisen können, erhalten für öffentlich finanzierte Projekte eingeschränkte Nutzungsrechte.
- „Welt“: Für die interessierte Öffentlichkeit steht die Recherche in den Datenbeständen sowie eine Auswahl allgemeiner Informationen und Auswertungen zur Verfügung.

Der Administration steht ein Beratungsgremium, gebildet aus Nutzern der Gruppe I zur Seite, das Fragen der Datenbereitstellung und der Weiterentwicklung von HOWAS 21 diskutiert.

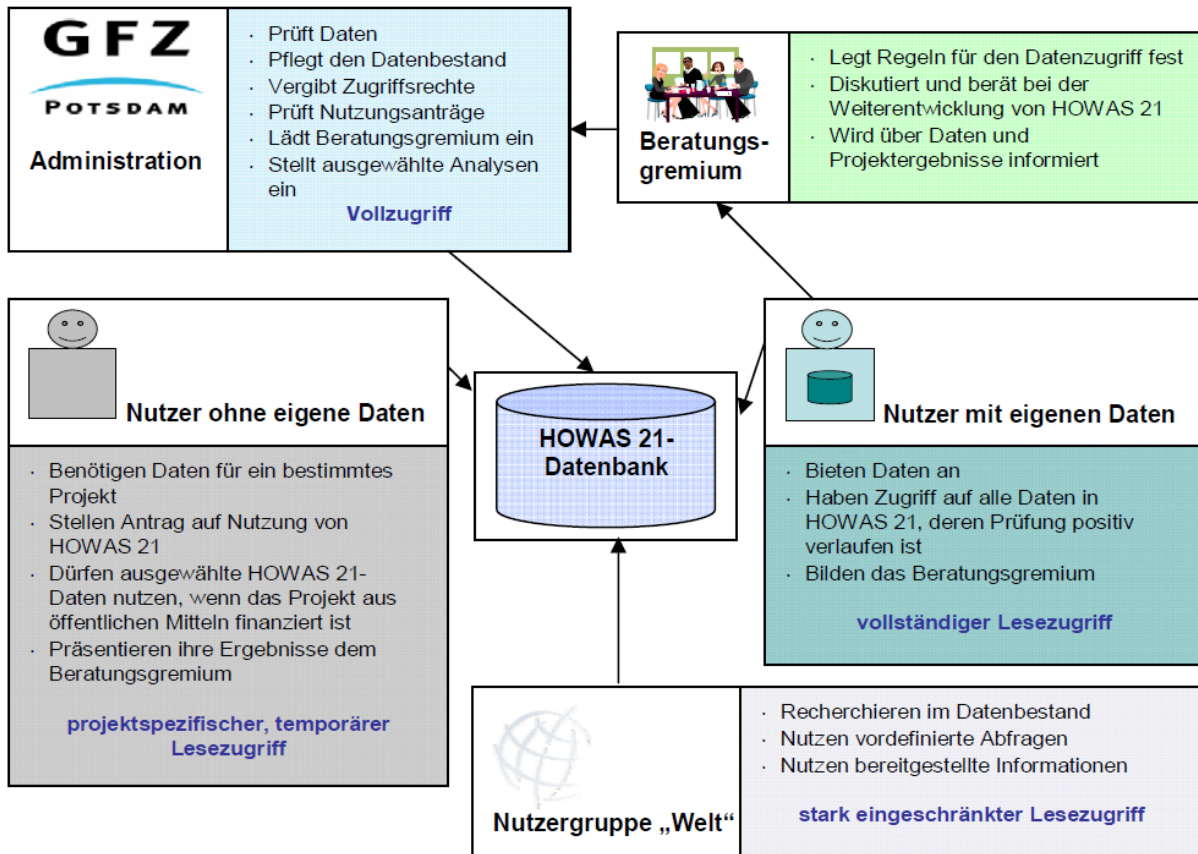


Abbildung III.5: Nutzungskonzept der Datenbank HOWAS 21 - *HOWAS 21 concept of database usage*

HOWAS 21 ist als relationale Datenbank implementiert und wird Nutzern über die „Natural Disasters Networking Platform“ (NaDiNe) der Helmholtz-Gemeinschaft im Internet bereitgestellt. Diese Plattform ist ein gemeinsames Projekt der im Helmholtz Earth Observing System (Helmholtz-EOS) zusammengeschlossenen Forschungszentren. Die Federführung liegt beim GFZ und dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR).

Datenrecherche, Datendownload und Nutzung der zur Auswertung der Datenbank HOWAS 21 bereitgestellten Softwareapplikationen erfolgen über das NaDiNe-Portal (<http://nadine.helmholtz-eos.de/howas21.html>). Die technische Umsetzung und die Implementierung der Datenbank erfolgen gemeinsam mit den Kollegen des NaDiNe-Projektes an GFZ und DLR.

Die oben eingeführten Nutzergruppen haben in unterschiedlichem Maße Zugang zu HOWAS 21 (vgl. Abbildung III.5). Die Auswahl der zur Verfügung gestellten Funktionalitäten im Webportal ist geregelt, indem den Nutzern verschiedene Rollen mit genau definierten Rechten zugewiesen werden.

4.3 Datenbestand und Bewertung der Datenqualität

Den Anfangsdatenbestand in HOWAS 21 bilden die im MEDIS-Projekt erhobenen Daten zu den Hochwasserereignissen 2005 in Südbayern und 2006 an der Elbe. Weiterhin wurde der Alt-Datenbestand der von der LAWA initiierten HOWAS- Datenbank mit Ereignisdaten von 1974 bis 1998 in HOWAS 21 integriert sowie Befragungsdaten aus dem RIMAX-Projekt MULTISURE. Vertreter der genannten Projekte und der LAWA bilden somit zunächst das Beratungsgremium, in dem Weiterentwicklungen und Nutzungen der Datenbank diskutiert werden. Die Integration weiterer Datenbestände und Nutzer im Jahr 2009 und darüber hinaus ist in Vorbereitung.

Die Datenbank kann ihren Zweck nur erfüllen und wird nur dann ausreichende Akzeptanz bei den Nutzern finden, wenn eine kontinuierliche Fortschreibung gewährleistet werden kann. Wichtige Aspekte dabei sind:

- die kontinuierliche Pflege des Datenbestandes,
- die Fortführung und Weiterentwicklung der technischen Plattform und des NaDiNe-Portals, um langfristig den Zugriff auf die Datenbank zu garantieren,
- die Akquisition und das Einpflegen aktueller Datensätze, um einer Veraltung des Bestandes entgegen zu wirken,
- die standardisierte Erhebung neuer Daten sowie
- Informationen zur Datenqualität.

Für die Integration der Datensätze werden zurzeit Konzepte erarbeitet, die eine Integration heterogener Schadensdaten standardisiert und effizient ermöglichen. Datensätze werden in HOWAS 21 nur integriert, wenn sie den oben genannten Anforderungen hinsichtlich des Parameterumfangs und der Dokumentation der Erhebungsmethoden genügen. Alle Daten werden zusätzlich einer Qualitätsprüfung durch die Datenbankadministration unterzogen.

Um die Nutzer der Datenbank für Fragen der Datenqualität zu sensibilisieren, wird derzeit auf Basis der Arbeiten von Wang und Strong (1996), van der Sluijs et al. (2005) sowie Zhu und Wang (2007) eine Methode zur Einschätzung und Darstellung der Qualität von Daten und Auswertungen erarbeitet. Dabei wird Datenqualität aus Sicht der Datennutzer mehrdimensional bewertet, und zwar nach folgenden Aspekten (Wang und Strong 1996, Zhu und Wang 2007):

- Intrinsische Datenqualität (z.B. Genauigkeit, Glaubwürdigkeit),
- Kontext-bezogene Datenqualität (z.B. Relevanz des Dateninhalts für die
- Fragestellung des Nutzers, Vollständigkeit, Aktualität der Daten),

- Qualität der Datenpräsentation (z.B. Interpretierbarkeit, Verständlichkeit, Konsistenz der Dateninhalte und Bezeichnungen) und
- Qualität des Datenzugangs (z.B. Zugänglichkeit/Nutzbarkeit der Daten, Sicherheit gegenüber unautorisierten Zugriffen).

In HOWAS 21 werden ausgewählte Dimensionen der Datenqualität, wie das Alter der Daten, die Methode der Erhebung, der Stichprobenumfang, die Repräsentativität und Heterogenität des ausgewählten Datenkollektivs, mit Hilfe einer Rangskala von 0 bis 4 bewertet. Werden beispielsweise Wasserstand-Schadensfunktionen abgeleitet, erhält der Nutzer Informationen über die Datenqualität des zugrunde liegenden Datenkollektivs. Die erreichten Ränge werden für jede Dimension der Datenqualität in einem Spinnennetzdiagramm dargestellt (vgl. van der Sluijs et al. 2005). Somit kann der Nutzer auf einen Blick erfassen, bei welcher Dimension (z.B. Alter des Datenkollektivs, Stichprobenumfang) die Qualität des ausgewählten Kollektivs am besten und am schlechtesten ist. Für weniger erfahrene Nutzer werden zusätzlich allgemeine Hinweise zur Verwendung und Auswahl von Schadendaten sowie zur Verbesserung der Qualität der Auswertungen gegeben.

5. Fazit

Mit den hier präsentierten Vorschlägen für eine standardisierte Aufnahme und Bewertung von Hochwasserschäden sollen die Qualität, Konsistenz und Verfügbarkeit von Hochwasserschadensdaten in Deutschland langfristig verbessert werden, damit in Zukunft eine abgestimmte und aktuelle Datenbasis für die Hochwasserschadensanalyse und insbesondere für die Entwicklung von Schadensfunktionen zur Verfügung steht. Um zu erreichen, dass sich in den nächsten Jahren tatsächlich die Datenlage verbessert, sind neben den hier vorgestellten Ansätzen zur Kategorisierung von strukturellen Bauwerksschäden und zur Dokumentation weiterer Parameter, die Höhe und Ausmaß eines Hochwasserschadens bestimmen können, weitere Anstrengungen erforderlich. Insbesondere sind die hier vorgestellten Konzepte bei zukünftigen Erhebungen zu berücksichtigen und die Daten, z.B. durch die Datenbank HOWAS 21, einem breiten Nutzerkreis zugänglich zu machen. Sollen die Konzepte Eingang in die Praxis finden, sind die hier gezeigten Ansätze durch konkrete Merkblätter und Erhebungswerkzeuge für die Arbeit vor Ort zu ergänzen.

Zusammenfassung

In diesem Beitrag wird zunächst der derzeitige Stand der Erfassung und Sammlung von Hochwasserschadensdaten in Deutschland skizziert und bewertet. Damit sich in Zukunft die Datenlage verbessert, werden Vorschläge für eine standardisierte Aufnahme und Bewertung von Hochwasserschäden präsentiert. Diese Vorschläge umfassen einerseits ein System zur

Klassifizierung von Bauwerksschäden sowie andererseits Kriterienkataloge, mit denen die wesentlichen Faktoren, die das Ausmaß von Hochwasserschäden bestimmen, dokumentiert werden können. Das methodische Vorgehen und einige Ergebnisse werden exemplarisch für den Schadenssektor Privathaushalte aufgezeigt. Abschließend werden Aufbau, Nutzungskonzept und Datenbestand der neuen Hochwasserschadensdatenbank HOWAS 21 vorgestellt.

Summary

In this paper, the current state of the documentation and collection of flood-damage data in Germany is outlined and evaluated. In order to improve the data bases in the future, suggestions for the standardized collection and assessment of flood damage data are presented. These suggestions contain a system for the classification of structural building damage, on the one hand, and on the other hand, a list of items that can be used to document the most important factors that govern the extent of flood damage. Methods and some results are exemplarily shown for the residential sector. Finally, structure, use concept, and data stock of the new flood damage data base HOWAS 21 are presented.

Danksagung

Die dargestellten Ergebnisse wurden im Rahmen des Projektes MEDIS – Methoden zur Erfassung direkter und indirekter Hochwasserschäden erarbeitet. Wir danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (FKZ: 0330688) für die finanzielle Unterstützung.

Chapter IV:

Influence of flood frequency on residential building losses

Natural Hazards and Earth System Sciences, 10, 2010, 2145–2159

Florian Elmer, Annegret H. Thieken, Ina Pech, Heidi Kreibich

© Author(s) 2010. CC Attribution 3.0 License.

doi:10.5194/nhess-10-2145-2010

Received 30th April 2010; revised 21th July 2010;

accepted 9th September 2010.

“We're all downstream.”

Ecologist's motto adopted by Margaret &
Jim Drescher,

Windhorse Farm, Nova Scotia

Abstract

For the purpose of flood risk analysis, reliable loss models are an indispensable need. The most common models use stage-damage functions relating damage to water depth. They are often derived from empirical flood loss data (i.e. loss data collected after a flood event). However, object specific loss data (e.g. losses of single residential buildings) from recent flood events in Germany showed higher average losses in less probable events, regardless of actual water level. Hence, models that were derived from such data tend to overestimate losses caused by more probable events. Therefore, it is the aim of the study to analyse the relation between flood damage and recurrence interval and to propose a method for considering recurrence interval in flood loss modelling. The survey was based on residential building loss data (n=2158) of recent flood events in 2002, 2005 and 2006 in Germany and on-site recurrence interval of the respective events. We discovered a highly significant positive correlation between loss extent and recurrence interval for classified water levels as well as increasing average losses for longer recurrence intervals within each class. The application of principal component analysis revealed the interrelation between factors that influence the damage extent directly or indirectly, and recurrence interval. No single factor or component could be identified that explained the influence of recurrence interval, which led to the conclusion that recurrence interval cannot substitute, but complement other damage influencing factors in flood loss modelling approaches. Finally, a method was developed to include recurrence interval in typical flood loss models and make them applicable to a wider range of flood events. Validation including statistical error analysis showed that the modified models improve loss estimates in comparison to traditional approaches. The proposed multi-parameter model FLEMOps+r performs particularly well.

1. Introduction

Flood risk can be defined as the probability and the magnitude of expected losses that result from interactions between flood hazard and vulnerable conditions (UNISDR, 2004). It exemplifies the tension at the interface of society, settlements and the environment and is the price to pay for the benefits of using water resources in multiple ways. The economic and societal implications are considerable. Floods are responsible for 20-30% of the economic losses caused by natural hazards worldwide (Douben and Ratnayake 2006). Even the death toll due to (freshwater) floods shows a slight increase from 1975-2001 (Jonkman 2005). In Germany, the severe flood event in August 2002 caused monetary losses of more than 11 billion Euros (see Engel 2004, for an event description) and 21 casualties. In the aftermath the assessment of flood losses for compensation purposes and, in the medium term, for cost-benefit analyses of flood protection measures and flood risk management in general, became an urgent need. Thorough analysis and a subsequent assessment of the risk are indispensable

parts of managing the risk and mitigating flood damages, thereby enhancing the benefits of risk management and limiting costs of damage mitigation measures.

Flood damages are usually divided in direct and indirect damages which are further divided in tangibles and intangibles (Smith and Ward 1998). Most studies concentrated on direct tangible losses as the assessment of indirect damages, while very important, remains methodologically difficult. It is often only approached implicitly, e.g. by using risk aversion concepts to account for the disproportional increase in indirect losses (and intangibles) of extreme events (e.g. Merz et al. 2009). Intangibles are even more difficult to assess, although some recent studies revealed the important implications they can cause (Siegrist and Gutscher 2006). While we acknowledge the importance of these damages, this study only accounts for tangible direct losses to residential buildings. For the purpose of the study this narrowed approach was suitable as the influence of flood frequency on direct flood losses could be clearly demonstrated.

Flood risk science can resort to decades of research. Extensive overviews of flood loss assessment studies are given by Smith (1994), Büchele et al. (2006) and Merz (2006). Seminal analyses on flood loss functions started in the UK in the early 1970s. They were summarized in the “Blue Manual” (Penning-Rowsell and Chatterton 1977) and are perpetuated ever since (“Multi-coloured Manual”, Penning-Rowsell et al. 2005). The data and loss functions still are the standard approach for flood loss analysis and estimation in Great Britain.

In state-of-the-art loss estimation, mostly water level is taken as the main impact-parameter in so called stage-damage-curves, which estimate a certain degree of damage or absolute damage based on the inundation depth. Besides the Multi-Coloured Manual of the Flood Hazard Research Centre (FHRC) at Middlesex University (Penning-Rowsell et al. 2005), examples for this approach are the flood loss functions developed by the International Commission for the Protection of the Rhine (Egli 2002), Hydrotec (2002), Emergency Management Australia (E.M.A. 2003) and the Federal Emergency Management Agency (FEMA – Scawthorn et al. 2006).

In Germany, the first studies that dealt with flood loss analysis were closely linked to the flood loss database HOWAS (Kiefer 1976, Meon et al. 1986, Günther and Schmidtke 1988) run by the Bavarian Water Agency (Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft). Buck and Merkel (1999) analysed the datasets and the data quality. They concluded that square-root functions are the best approach to estimate losses. Later works used the HOWAS data sets and advanced in the data analysis (e.g. Merz and Gocht 2001, Merz et al. 2004). Merz et al. (2004) demonstrated the high uncertainty of stage-damage functions that are derived from empirical data (i.e. loss data collected after flood events) and suggested to consider more factors – besides water level and building use – in loss modelling.

Several authors, e.g. Penning-Rowsell et al. (2005), Buck et al. (2008) emphasized the variability of the objects at risk and provided loss functions for a wide range of representative objects that have undergone very detailed analyses in terms of the values at risk and their resilience. These approaches are based on synthetic, i.e. what-if loss data and analyses.

In order to learn more about damage processes, extensive datasets about flood losses and a range of damage influencing factors were surveyed in Germany after floods in 2002, 2005 and 2006 (Thieken et al. 2005, Kreibich and Thieken 2008). The influencing factors were divided into impact factors e.g. water depth, contamination, and resistance factors like type of building, preparedness, early warning (Thieken et al. 2005). In the aftermath, Thieken et al. (2008) and Kreibich et al. (2010) developed flood loss estimation models for the residential and for the commercial sector (FLEMOps and FLEMOcs, respectively) that include information about the objects at risk and consider water level, flood water contamination and precautionary measures at the object as impact factors. The models were derived from actual data surveyed after the 2002 flood event in the Elbe and Danube catchments (FLEMOps). For the derivation of FLEMOcs additional empirical data from events in 2005 (Danube) and 2006 (Elbe) were also considered. Model validation demonstrated the improvements and reliability of the new models. However, transferability of the model applications in space and time are still limited (Thieken et al. 2008).

Apel et al. (2009) exemplified that the imminent uncertainties in loss estimation and the huge deviance of estimates have their origins more in the loss modelling approach than in the hydraulic modelling. De Moel and Aerts (2009) showed that this also applies to a comparison of the uncertainties in land-use data, water depth data, and stage-damage curves: The use of different stage-damage curves caused much higher deviations in loss estimates than different sources of land-use or water depth information. Merz and Thieken (2009) preselected plausible loss modelling approaches in terms of applicability to their research area. Under this condition they got similar contributions from flood frequency estimations, inundation scenarios and damage estimations to overall uncertainty. Including all available models without preselecting heavily extended the uncertainty bounds of the flood risk curves in their work. Hence, putting emphasis on the improvement and validation of loss models might cause the highest gain in risk estimation accuracy.

The amount of damage is determined by the combination of impact and resistance. It is the challenge in loss modelling to identify how and to which degree they influence damages. Thorough analysis of flood events, damages and the underlying processes is the way to fulfil this task. Therefore, information about actual damages caused by flooding are necessary and have to be collected, analysed and made accessible (Thieken et al. 2009). A substantial set of data is necessary, because no two flood events are the same. Flood characteristics vary strongly in time and space. Different river basins can be affected in one event and even for a single flood event within only one catchment the flood characteristics differ. It is important to

keep in mind that flood magnitude varies along a river network and also for each time step during the event. A single event never has a homogeneous recurrence interval. Generally, when comparing single events, extreme events cause higher accumulated damages than more likely events as they affect larger areas and cause a bigger share of deep inundation. Furthermore, for the same reasons they aggravate indirect effects e.g. business interruptions.

Analyses of data from events in 2002, 2005 and 2006 showed that average building losses for private households were much higher in the flood event in August 2002 in the Elbe catchment than in the other events. This event has caused enormous losses and was much more extreme in terms of recurrence intervals than the flooding in the Danube region at the same time and the events in August 2005 (Danube catchment) and March/April 2006 (Elbe) (Figure IV.1).

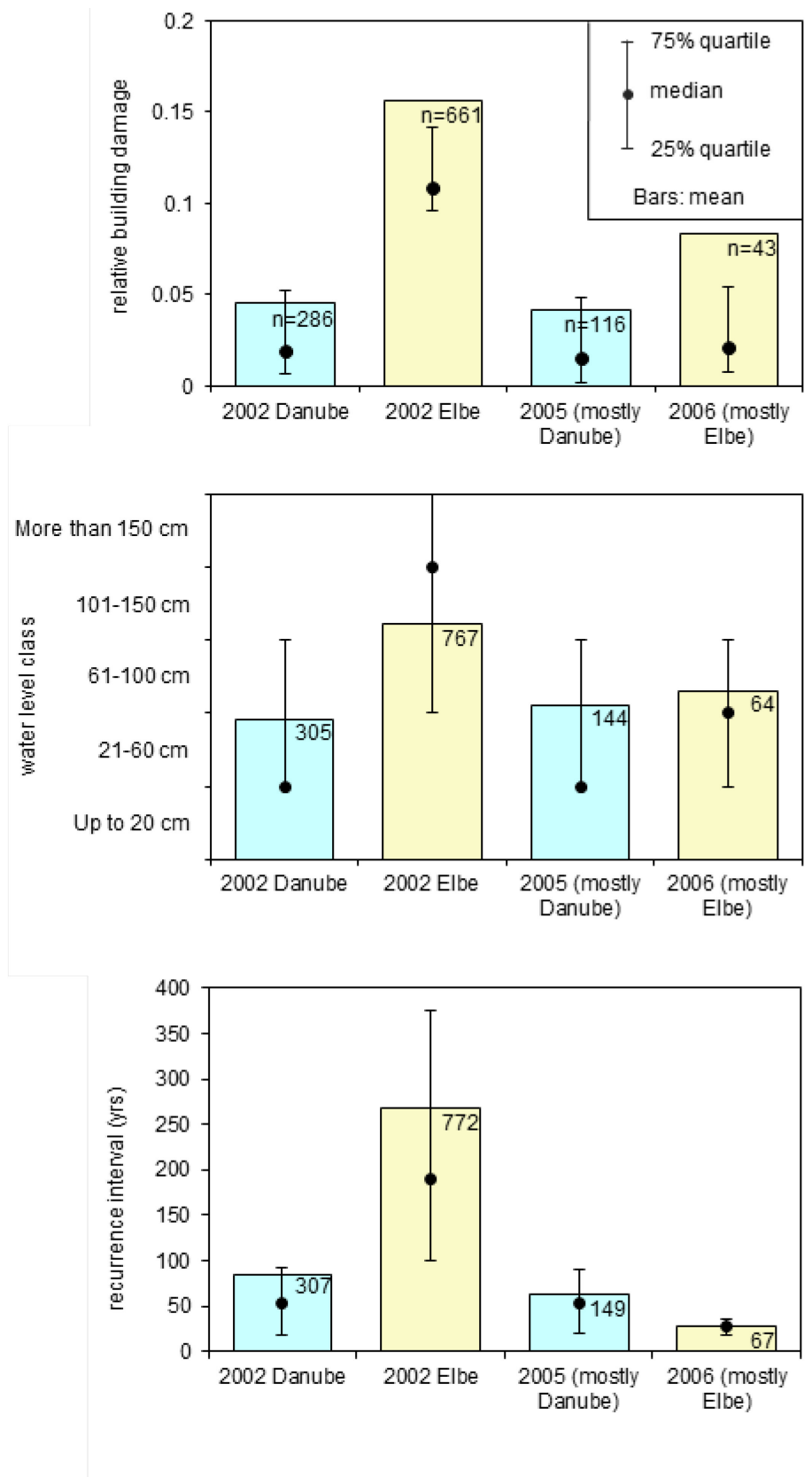


Figure IV.1: Comparison of flood event averages: building loss ratios, water level classes, recurrence intervals (top to bottom) for cases with loss information

Associated with this flood magnitude were much higher relative loss averages in the Elbe catchment. The water level class affiliations show a similar pattern but were less distinct than the differences in average loss ratio (Figure IV.1). We hypothesise in this paper that floods with high probabilities and low magnitude primarily affect objects whose inhabitants have previously experienced flooding or at least gathered information about flood damage mitigation and that damages are lower because permanent and temporal resistance are higher due to better preparedness and precautionary measures.

In Figure IV.2 this hypothesis is exemplified: A flood that occurs on average every ten years affects buildings 2 and 3 (dark blue). Due to the exposition of the buildings, the inundation depth at each building (stage) is different and hence we expect a higher loss ratio in building 3 than in building 2. In an event with a recurrence interval of 100 years, the cumulative losses are apparently higher as a bigger number of objects, in this example all four buildings, are affected (light blue). On the object-scale the inundation depth is the same for building 1 in the HQ100-event than for building 2 in the HQ10-event. This also applies to building 3 and building 4, respectively. State-of-the-art loss estimation models apply the same function to affected buildings of the same type (black graph). But we assume that there is a difference in loss extent (ΔD) if these buildings are affected by events of different probability (dark blue and light blue graphs). None of the models mentioned above considers this difference.

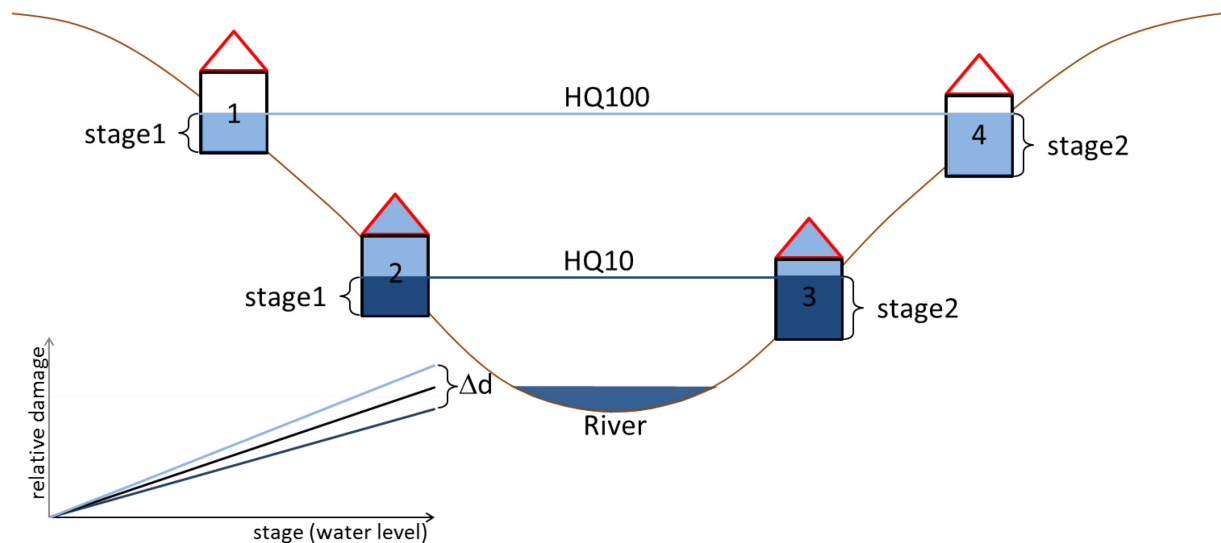


Figure IV.2: Object losses caused by floods of different probability

Consequently, this study analyses the relation between flood damage and recurrence interval with the intention to propose a method for considering this relation in flood loss modelling.

For this purpose we address the following three main questions in this paper:

- a) Is there a correlation between loss extent and recurrence interval that is not only a result of the greater spatial extent and the higher water levels in extreme events?

- b) Which damage influencing factors are altered by changes in flood frequency?
- c) How can the findings be accounted for in flood loss estimations?

In the first step (a), the basic question had to be answered before further analyses could be conducted. Flood frequency (in terms of recurrence interval or exceedance probability) describes a characteristic of an event but is not an impact or resistance factor itself. In the second step (b) we wanted to find the causes of the differences in the object specific loss extent in high and low probability flood events. For this purpose, we analysed which damage influencing parameters change with flood probability.

At last these results were utilised by finding ways to integrate recurrence interval in existing flood loss models (c). The usefulness of this step was judged by validating and comparing the accuracy of losses estimated by the “traditional” and modified loss models.

The paper is structured as follows: In chapter 2 all data analysed in the survey are described. Chapter 3 presents the methods and models used and the purposes for applying them for data analyses. The order in this chapter is repeated in chapter 4 “Results and discussion”; the sequences of presenting the methodologies and showing the respective results coincide.

The “Conclusions” section (chapter 5) sums up the most notable findings and translates them into recommendations for future flood loss analyses and closes with a short outlook on future research assignments.

2. Data

For the analyses, data about flood losses in the residential sector were used. The data set contains information about

- building losses
- building loss ratios
- site-specific recurrence interval of the flood event (values, classified)
- water level (classified) above ground surface

for every single loss case, and additional information about relevant loss influencing parameters.

2.1 Flood loss data

In the aftermath of the severe flood in August 2002 that hit the rivers Elbe, Danube and tributaries, 1697 households responded to a standardised questionnaire that contained about 180 questions. The survey addressed the following topics: flood warning, precautionary measures, flood impact, emergency measures, evacuation, contamination and cleaning-up,

characteristics of the affected household contents and buildings and losses to contents and buildings, recovery of the households, and information about flood experience as well as socio-economic variables. Many topics were covered by several questions and most questions offered multiple categories of answers. Hence data aggregation was necessary. The derived indicators and the complete survey are described in detail by Thielen et al. 2005, Thielen et al. 2007 and Kreibich et al. 2005.

The data base was further extended by a second survey in 2006. Households affected during the August 2005 flood in the Danube catchment and in the March/April 2006 flood in the Elbe region were surveyed via telephone-interviews using a computer-aided questionnaire that is based on the questionnaire used in 2003. A digital version of this questionnaire can be found at <http://www.gfz-potsdam.de/portal/gfz/Struktur/Departments/Department+5/sec54/Ressourcen/Dokumente/Questions+MEDIS?binary=true&status=300&language=de>.

In this second survey, a total of 461 flood-affected households were interviewed. 317 of the interviews addressed households in the Danube catchment and 144 in the Elbe catchment. As there were also minor floods in the Elbe catchment in 2005 and in the Danube catchment in 2006, a limited number of loss cases from these events were also assessed in the 2006 survey. Most interviews took place six to 18 months after the damaging flood event. Only household members could be contacted who still lived in or had already returned to the damaged building. Effectively, heavy or total losses are probably underrepresented in the data set. In reality, these losses are quite uncommon and, given the size of our sample, this underrepresentation should not bias the results significantly.

The analyses required data about building losses and water levels, which could be directly taken from the interview answers.

2.2 Additional data

Additional necessary information items to supplement the data sets were loss ratios and object specific flood recurrence intervals. To calculate loss ratios, actual losses as given in the interviews were divided by the building values, which were estimated as follows. Building values (replacement costs) were estimated by using actuarial valuation methods. The VdS guideline 772 1988-10 (Dietz 1999), commonly used in the insurance sector, offers a method to estimate absolute building values in “Mark 1914”. The results can be transferred to replacement costs for any given year by a correction factor. Necessary information to apply this method was taken from interview answers concerning total floor space, basement area, number of storeys and roof type. To compare all monetary information, the year 2006 was used as a reference. Building values were transferred to replacement costs as of 2006 by applying the building price index published by the German Federal Statistical Office (Statistisches Bundesamt 2009).

The recurrence intervals of the described flood events at the specific locations of the damaged objects were assigned to the damage cases as the best possible estimation for flood probability. This approach does not treat flood events as temporally and spatially coherent, based on a stationary uniform flood probability (e.g. “Millennium flood”). It considers the variations in return period along the river network, but doesn’t differentiate the probability to be flooded for objects located at the same river stretch. To be as accurate as possible, the recurrence intervals had to be calculated for the highest possible spatial resolution. For all gauges in the study areas where discharge information were obtainable, the annual maximum series (AMS) were derived from the discharge data. An estimation of the flood recurrence interval was done for all time series with records of at least 30 (hydrological) years. The Generalised Extreme Value (GEV) distribution function was fitted to the AMS of more than 120 gauges using the L-Moment method. The resulting recurrence intervals for maximum annual discharges in 2002, 2005 and 2006 were assigned to the respective catchments of each gauge. Boundaries for areas or river reaches with the same recurrence interval were defined by the first major tributary downstream of the gauge and include ungauged tributaries that disemboque in between. The catchment boundaries were taken from the CCM River and Catchment database for Europe (Vogt et al. 2007). At the confluence of major affected rivers (e.g. Elbe and Mulde rivers at Dessau, Saxony-Anhalt) official reports and other sources were used as complementary information to decide which river contributed most to the reported losses.

2.3 Integrated data set

The survey data sets were merged and supplemented with additional information on building values and recurrence intervals. The complete data set contains 2158 residential loss cases. Spatial distribution of gauges and loss cases is illustrated in Figure IV.3.

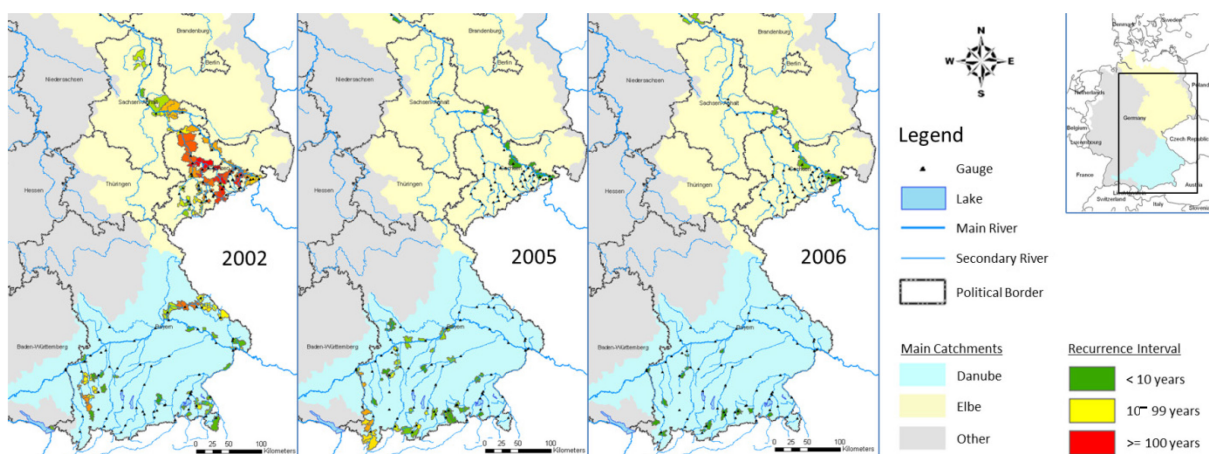


Figure IV.3: Recurrence intervals for post code (ZIP) zones with loss data

Cases where no information about monetary losses to buildings was given had to be excluded. So the dataset for this analysis was reduced to 1327 household interviews. The number of cases with building loss information as well as information about water level and recurrence interval can be found in Table IV.1.

Table IV.1: Building loss cases per recurrence interval and water level class combination

		Water level above ground surface (cm)					total
		Up to 20 cm	21 - 60 cm	61-100 cm	101 - 150 cm	More than 150 cm	
Recurrence interval	1 - 9 years	76	5	6	2	10	99
	10 - 99 years	215	64	62	33	39	413
	100 years and more	208	96	91	133	268	796
total		499	165	159	168	317	1308

Italics: ≤ 10 loss cases in class; no further analyses

3. Methods

Analyses by Thielen et al. (2007) showed that water level is the most important factor that determines the extent of building losses. In a given data set that represents loss cases caused by a single flood event, the different water levels form a unique pattern of distribution (distribution curve) that depends on the spatial distribution of settlements in the flooded area, and on geomorphology. In different events, this distribution curve can vary due to shifting event characteristics, even if the same region is affected (Merz 2006). To eliminate these variations and analyse only the influence of recurrence interval, the complete data set is classified by water level and recurrence interval. The five water level classes are coherent with the classification in the model FLEMOps (Büchle et al. 2006, Thielen et al. 2008).

3.1 Recurrence interval and building losses

First, building losses and building loss ratios were correlated with recurrence intervals for all 1308 cases. The Spearman-Rho correlation coefficient was used to calculate the significance of the correlation. The correlation is interpreted as significant when α does not exceed the 0.05 level (two-sided).

For the classification of recurrence interval we looked for significant breaks in the distribution of loss ratios along all cases that are ordered according to their recurrence intervals. By applying the Epanechnikov-kernel (local linear regression with 40% of standard bandwidth)

potential breakpoints were identified. For the loss cases within each resulting class no more positive trends were found. The class borders were interpreted as significant changes in the influence of flood recurrence interval on loss extent or damage influencing factors.

The Kruskal-Wallis-test (H- test) for independence was performed for all water level classes with the significance level set at $\alpha=0.05$. Afterwards the Spearman-Rho correlation coefficient between building losses and recurrence intervals was calculated for each water level class. The value of the correlation index and its significance determined whether analysing the influence of the “extremeness” of a flood event on loss extent was reasonable and statistically valid.

3.2 Dimensions of recurrence interval (flood frequency)

For a number of items it was tested how they are linked to recurrence interval. The selection of these items was oriented on Thielen et al. (2005). Only attributes that were obtained in the 2006 as well as 2003 survey or indexes that could be derived from answers in both surveys in an analogous manner were considered. Table IV.2 gives an overview of the selected factors, their scale, and measure and whether they are an impact or resistance factor.

Table IV.2: Selected items for principal component analysis

Item number	Information item	Scale and measure	Impact (i) or resistance (r) factor
1	Water level above top ground surface	cm	i
2	Flood duration	hours	i
3	Flow velocity indicator	Indicator values (1= stationary; 3=fast flowing)	i
4	Early warning time	hours	r
5	Quality of warning information („Did you know from the warning information how to protect you and your household against flooding? “)	Ordinal scale with six values: 1 - I knew exactly; 6 - I didn't have the slightest idea	r
6	Emergency measures indicator	Indicator values (0=no emergency measures to 17=maximum number of emergency measures)	r
7	Time for mitigation measures (working hours)	hours	r
8	Time delay after warning till starting with mitigation measures	hours	r
9	Contamination indicator	Indicator values (0=no contamination; 6=heavy contamination)	i
10	Precaution indicator	Indicator values (0=no precaution; 38=perfect precaution)	r
11	Personal opinion about the efficiency of private precautionary measures	Ordinal scale with six values: 1=very effective, can reduce flood losses significantly; 6=totally useless	r
12	Flood experience indicator	Indicator values (0=no prior flood experience; 9=recently or frequently affected by flood events)	r

Principal Component Analysis (PCA) with varimax rotation was used to aggregate the number of items to a smaller number of dimensions (principal components). The number of components is limited to those components with eigenvalues exceeding one. Recurrence interval is excluded from this kind of analysis. After conducting the PCA the resulting components were correlated (Spearman-Rho correlation coefficient) with the unclassified recurrence interval data. Significant correlations were interpreted in terms of the mutual connections between flood frequency and damage influencing dimensions.

3.3 Flood loss modelling approaches

To evaluate whether including recurrence interval in modelling flood losses really improves the accuracy of results, flood loss estimation models that take into account recurrence interval

were developed, validated and compared to models that do not include recurrence interval. Different modelling approaches as well as modified versions of these approaches that consider recurrence interval were analysed.

We used linear, square root and polynomial stage–damage curves. All these approaches are used in practice and their performance has been tested in previous studies (e.g. MURL 2000, IKSr 2001, Hydrotec 2002). The fourth model tested is the flood loss estimation model for the private sector (FLEMOps) (Thieken et. al. 2008). In the basic FLEMOps model, five water level classes, three building types and two building quality classes are used as input. In the extended version (FLEMOps+), the combinations of three grades of flood water contamination and three classes describing the extent of private precautionary measures are added to the basic model (Thieken et al. 2008). All models were derived from the integrated data set, according to their basic principles. These loss model types were modified by including recurrence interval as additional parameter in the respective loss estimation functions.

For the linear, square root and polynomial model, the integration of recurrence interval was done by simply calculating a single loss function for each recurrence interval class. For this purpose, the loss cases were classified into three recurrence interval classes (see section 3.1). For each class, a regression function was derived that describes the correlation between building loss ratio and recurrence interval for all cases in the class. The naming convention for all models that consider recurrence interval is the name of the basic model and an additional “r” for recurrence interval.

3.4 The new Flood Loss Estimation Model FLEMOps+r

For FLEMOps+, a different approach was necessary as this extended model already considers scaling factors for each combination of contamination and precautionary measures. The parameters recurrence interval, extent of contamination and precautionary measures are not independent from each other, but interrelated. Hence multiplying multiple scaling factors would have exaggerated the influence of these factors. A complete classification includes combinations of all three factors without being biased by their interrelation. For the development of FLEMOps+r, a makeover of the model derivation approach was necessary: Multiplying a basic function with a scaling factor biases the outcome if the parameters, the function and the scaling factor are based on, are not independent. The parameter “water level” in the basic loss function is correlated with each of the parameters which contribute to the scaling factor. Therefore, the scaling factor was modified by calculating the relation of relative building loss (derived from the interview) and a reference relative building loss estimate for each case. The reference estimates were taken from the application of the basic FLEMOps that only considers water level and building characteristics. Eq. (1) shows the

formula used in FLEMOps for estimating the loss ratio D_{E_j} for a case j with an inundation depth in the water level class h , building type t and building quality q .

$$D_{E_j} = \frac{\sum_j^n D_{h_j}}{n_{h_j}} * \frac{\sum_j^n D_{tq_j}}{n_{tq_j}} * \frac{n}{\sum_n^1 D} \quad \text{Equation (1)}$$

The relations of all cases in each parameter combination class were averaged. The results for the respective class produced the new scaling factor. This approach removed the bias caused by the unequal distribution of water levels in the respective classes. We retrieved a new loss estimation model FLEMOps+r that considers water level, contamination, precaution, and recurrence interval as well as building characteristics without biasing the estimation results due to the correlation of the included parameters as given in Eq. (2).

$$D_{E2_j} = D_{E_j} * \sum \frac{D_{EpcT_j}}{D_{pcT_j}} * \frac{1}{n_{pcT_j}} \quad \text{Equation (2)}$$

Eq. (1) and Eq. (2) with:

j	(loss) case
D	relative loss (interview information)
D_E	estimated relative loss (FLEMOps)
D_{E2}	estimated relative loss (FLEMOps+r)
h	water level class
t	building type
q	building quality
p	precaution index value
c	contamination index value
T	recurrence interval class
pcT	parameter combination class
n	number of cases

3.5 Validation and model comparison

The resulting models were validated by using the Leave-one-out cross-validation method. This technique created an effectively independent sample from the existing data set. One loss case was removed and the model was derived from the remaining 1326 loss cases. Then, the parameter combination of the removed case was fed into the model and the relative loss for this case was estimated. This procedure was repeated for each loss case, i.e. 1327 times. The overall model error was calculated from the differences between the estimated values and the actual relative loss from the interview. Afterwards, a comparison of the errors for all models was conducted.

To additionally judge how well the models performed for special areas of interest, e.g. how well they estimated losses for high water levels (cf. Thielen et al. 2008) or low probability events, a bootstrapping algorithm was applied to the building loss values from the interviews. The sampling with replacement was done 10000 times. A confidence interval of 95% was calculated from the bootstrapped sample for each water level class and each recurrence interval class, respectively. The mean relative losses for the required classes, as estimated by each model, could then be analysed in terms of how well they fitted into the confidence interval, and how close they were to the mean relative loss per class, as taken from the interviews.

Nine model variants were compared: The linear, square root and polynomial models in their basic form and with separate functions for each recurrence interval class, and the FLEMOps model family. The basic FLEMOps model based on water level classes and building characteristics, “FLEMOps+” with additional information about contamination and precaution and the newly developed “FLEMOps+r” with water level, building type and quality, contamination, precaution and recurrence interval as influencing parameters. The model quality was rated by comparing the error statistics of each model. Hence the mean bias error (MBE), the mean absolute error (MAE) and the root mean square error (RMSE) were calculated from the estimation results. Furthermore, the average estimates per recurrence interval class and per water level class were plotted against the respective average losses from the interview answers. Comparing estimated class averages favours models that have separate functions for each of these classes and hence produce hardly any deviations between interview answers and estimates. Multi-parameter models (FLEMOps+ and FLEMOps+r) use only one (scaled) basic function and therefore could only come close to the results of the other models at best.

4. Results and Discussion

4.1 Recurrence interval and building losses

The Spearman-Rho correlation coefficient between specific recurrence interval per loss case and absolute building loss was 0.333, while the respective value for building loss ratio was 0.344. Both results were significant at the 0.01 level (two-sided). This did not necessarily indicate a special influence of this parameter, as low probability events also cause a higher share of deep inundation. Hence, the correlations were also calculated for separate water level classes to eliminate the influence of inundation depth. Table IV.1 shows how the data set was split into 15 subgroups by classifying the loss cases by recurrence interval and water level. Most subgroups contained enough cases to allow further analyses. Only the combination of high water levels and high flood frequencies occurred quite rarely.

Table IV.3: Spearman-Rho correlation coefficient for residential building loss and recurrence interval per water level class

Water level above ground surface		Relative building loss (class sizes from 131 - 439)	Absolute building loss [EUR], values as of 2006 (class sizes from 165 - 499)
up to 20 cm	Recurrence interval	.176(**)	.142(**)
21 - 60 cm	Recurrence interval	.200(*)	.158(*)
61-100 cm	Recurrence interval	.322(**)	.326(**)
101 - 150 cm	Recurrence interval	.187(*)	.259(**)
more than 150 cm	Recurrence interval	.134(*)	.211(*)

** Correlation significant at the 0.01 level (2-sided)

* Correlation significant at the 0.05 level (2-sided)

Bold values indicate an asymptotic significance in the K-W-test at the 95% level

For monetary losses the recurrence interval classes were significantly independent for four water level classes with the exception of the class “21-60 cm”, where the result was only significant on the 90%-level (Table IV.3). For loss ratios, independence was given for all classes on the 95%-level. The Spearman-Rho correlation coefficients for each water level class are not as pronounced as the results for the whole sample. Still, a positive correlation that is significant on the 95%-level was found in all classes for both, absolute and relative losses (Table IV.3).

The findings were further analysed by comparing average relative losses (means, medians, quartiles) for the 15 subgroups. Figure IV.4 illustrates the results.

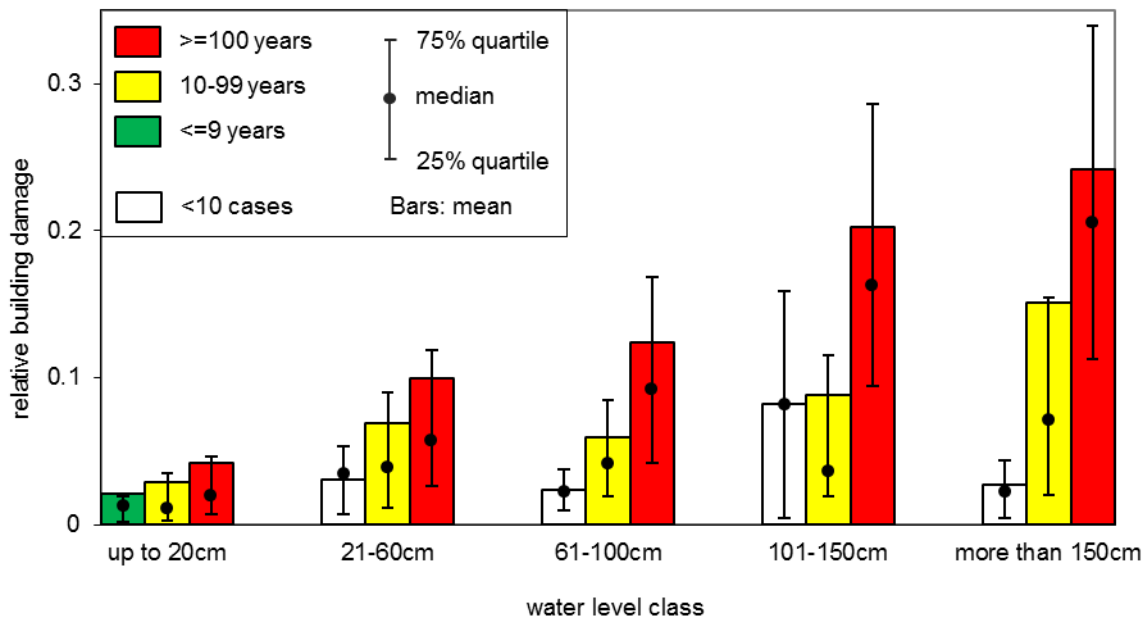


Figure IV.4: Comparison of average building loss ratios per water level and recurrence interval class

All subgroups with ten or fewer cases, i.e. the groups with a recurrence interval of less than ten years and a water level of more than 20 cm did not allow reliable conclusions. These groups were not excluded, but marked by the white bars as not significant. All other groups contained at least 33 and a maximum of 268 loss cases. Mean loss ratios increased with higher water levels, as expected, but there was also an almost steady increase of average building loss ratio in each water level class for increasing recurrence intervals: Average building losses were higher in extreme flood events regardless of water level, than in more frequent events.

4.2 Dimensions of recurrence interval

The results of a principal component analysis (pair wise deletion, available case approach) with the twelve selected items - loss information and recurrence intervals excluded - were as follows: The first four principal components with eigenvalues higher than one explained about 56% of the variance. Although this was not a very good result, we still considered the reduction in dimensionality from twelve to four with an explained variance of nearly 56% as sufficient. The share of explained variance per component was levelled to a certain degree by applying the varimax rotation to the matrix.

Table IV.4 shows the contribution of each parameter to the single components (i.e. the correlation between parameter and component). Values less than .5 were left out of the table for better readability; values higher than .5 describe the characteristics of the respective components and were marked by bold text. For item eleven there was no clear picture: The

highest component loading was only .458 for component 1. For information the Spearman-Rho Correlation coefficient between all items and Recurrence interval is also given in the table.

Table IV.4: Rotated component matrix; contribution of items to four principal components and Spearman-Rho correlation of components, items and recurrence interval

Item number	Information item	Component loadings				Spearman-Rho Correlation coefficient
		1	2	3	4	Recurrence interval
1	Water level above top ground surface		.728			.271^(**)
2	Flood duration	.600				.191^(**)
3	Flow velocity indicator		.739			.330^(**)
4	Early warning time	.796				.073^(*)
5	Quality of warning information				-.541	.298^(**)
6	Emergency measures indicator			.678		-.125^(**)
7	Time for mitigation measures (working hours)			.744		-.128^(**)
8	Time delay after warning till starting with mitigation measures	.764				.101^(**)
9	Contamination		.682			.257^(**)
10	Precaution indicator				.624	-.164^(**)
11	Personal opinion about the efficiency of private precautionary measures	.458				.136^(**)
12	Flood experience indicator				.757	.088
Spearman-Rho Correlation coefficient						
	Recurrence interval	.085	.326^(**)	-.302^(**)	-.292^(**)	1.000

Method: Principal component analysis; Rotation method: Varimax with Kaiser-normalisation. Rotation converged in six iterations.

** Correlation significant at the 0.01 level (two-sided)

* Correlation significant at the 0.05 level (two-sided)

We created generic terms that denote the significance of each component. The names are based on the contribution of the selected items to the four components as well as thematic proximity of items that were closely related to one component:

- Component 1: *Reaction* time (of the river system, the early warning system, the population)
- Component 2: *Load* (object specific flood impact characteristics)
- Component 3: *Response* (mitigation measures)
- Component 4: *Preparedness* (and experience)

These terms were used to interpret the results of the following analysis. There are moderate but highly significant correlations between recurrence interval and three of the four components. Recurrence interval was negatively correlated with components 3 (Response) and 4 (Preparedness), which lead to the assumption that mitigation is less pronounced in low probability events. We also concluded that flood experience is related to flood probability, as living in an area affected by frequent floods leads to a high level of flood experience. The positive correlation for component 2 hints to more pronounced flood impact characteristics in less frequent events. Component 1 (Reaction) showed no significant correlation with recurrence interval at all.

Findings by Siegrist and Gutscher (2006) showed the importance of experience in triggering mitigation behaviour. The same authors (Siegrist and Gutscher 2008) proved that only people who were affected by a flood can realistically assess the consequences of flooding. With regard to these findings it was surprising that the correlation with component 4 (preparedness/experience) that could have logically explained the influence of flood probability on losses, did not stand out at all. This is further confirmed by the fact that no significant correlation could be found between Recurrence interval and the flood experience indicator.

Recurrence interval was not clearly associated with only one, but quite equally with three components; thus, obviously various parameters change with variations in flood probability. For this reason, recurrence interval cannot substitute – or cannot be substituted by – one or a limited number of related parameters in flood loss modelling, but complement other parameters already included in existing loss estimation models. Hence, it was evident to include recurrence interval directly in the loss models.

4.3 Flood loss models

The linear, square root and polynomial models feature continuous functions. The stage-damage-curves in Figure IV.5 show the basic and the extended, i.e. including recurrence

interval (marked with r), models as derived from the integrated dataset. The plotted building loss cases form the base for model derivation. Their huge variability demonstrates the need to incorporate more parameters than only water level in flood loss modelling.

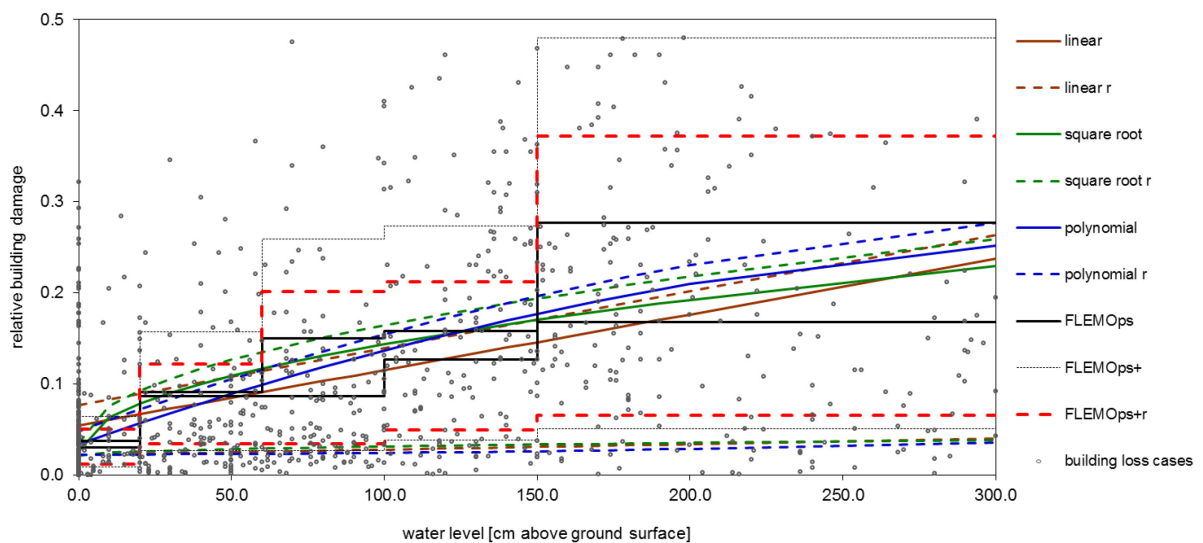


Figure IV.5: Stage-damage-curves for loss model functions

To integrate recurrence interval in the FLEMOps+ loss estimation model, the influence of combinations of recurrence interval and other important factors was quantified for our dataset: Combining precaution, contamination and recurrence interval classes resulted in 27 classes and included many classes with too little cases for deriving reasonable results (Table IV.5). A closer look at the distribution of loss cases among classes showed that many combinations are much more likely than others. This finding was further supported by the fact that classes with many cases are clustered in the parameter space formed by the three factors. Further analyses were limited to classes with a certain number of cases that still covered a vast majority of cases and hence will work for most loss estimations. The limit was set at a minimum of 30 loss cases per class. With this selection, less than 30% of all classes represented 73% of all cases. When a class contained less than 30 members it was aggregated with neighbouring classes based on the values of the combined parameters. All classes, where the expression of only one of the three parameters differed from the value of the same parameter in the original class by ± 1 , were added to this class. The selected factor combination classes and the respective scaling factors can be seen in Table IV.5.

Table IV.5: Parameter combinations, class averages and scaling factors

Contamination	Precaution	Recurrence interval		Relative building loss	Scaling factor
no	strong	1 - 9 yrs	average	0.02	0.3
			n	18	86
		10 - 99 yrs	average	0.02	0.4
			n	52	
		from 100 yrs	average	0.02	0.6
			n	28	132
	medium	1 - 9 yrs	average	0.01	0.5
			n	13	122
		10 - 99 yrs	average	0.05	0.6
			n	46	
		from 100 yrs	average	0.05	0.8
			n	32	
medium	strong	1 - 9 yrs	average	0.02	0.3
			n	40	
		10 - 99 yrs	average	0.04	0.5
			n	124	
		from 100 yrs	average	0.11	1.2
			n	193	
	medium	1 - 9 yrs	average	0.08	0.5
			n	3	56
		10 - 99 yrs	average	0.04	0.6
			n	29	126
		from 100 yrs	average	0.10	0.9
			n	20	121
little	1 - 9 yrs	average	0.08	0.6	
		n	5	51	
	10 - 99 yrs	average	0.07	0.9	
		n	18	214	
	from 100 yrs	average	0.14	1.1	
		n	39		
heavy	strong	1 - 9 yrs	average	0.04	0.7
			n	12	130
		10 - 99 yrs	average	0.08	0.9
			n	73	
		from 100 yrs	average	0.19	1.2
			n	254	
	medium	1 - 9 yrs	average	0.01	1.0
			n	1	8
		10 - 99 yrs	average	0.03	0.6
			n	4	43
		from 100 yrs	average	0.17	1.2
			n	5	46
little	1 - 9 yrs	average	1.0	1.0	
		n	0	10	
	10 - 99 yrs	average	0.05	1.5	
		n	4	49	
	from 100 yrs	average	0.19	1.2	
		n	17	154	
heavy	1 - 9 yrs	average	1.0	1.0	
		n	0	18	
	10 - 99 yrs	average	0.36	1.5	
		n	6	172	
	from 100 yrs	average	0.23	1.3	
		n	89		

Hatching: aggregated classes; Grey: not enough cases after aggregation

After the aggregation, only three classes (dark grey) remained where, even after adding all cases from neighbouring classes, the number of members was still less than 30. We concluded that these parameter combinations (heavy contamination in a frequent event) are highly unlikely. For calculations where such a combination occurred, no scaling factor was applied (i.e. in the model runs the scaling factor is set at 1).

4.4 Validation and model comparison

The basic square root, polynomial and linear function models and their respective versions that include recurrence interval as well as FLEMOps and its extensions were compared and cross-validated. Each model was derived 1327 times leaving out one loss case in every run. The error statistics were calculated for all cases that were estimated by all models (Table IV.6).

Table IV.6: Error statistics for relative loss estimates of cases estimated by all models

	Models without recurrence interval					Models with recurrence interval			
	linear	square root	poly-nomial	FLEMOps	FLEMOps +	linear r	square root r	poly-nomial r	FLEMOps +r
MBE (mean bias error)	0.00055	0.00024	0.00027	-0.00037	-0.01576	0.00005	0.00003	0.00018	-0.00099
RMSE (root mean square error)	0.12848	0.12520	0.12534	0.12331	0.12587	0.12406	0.12069	0.12174	0.11790
MAE (mean absolute error)	0.08445	0.08039	0.08048	0.07887	0.08061	0.07978	0.07591	0.07673	0.07302

Bold values: Best results

The newly developed FLEMOps+r had the smallest absolute and root mean square errors. The absolute value of the MBE was least for the square root model with separate regression functions per recurrence interval class. The MBE as a signed measure shows whether the models tend to overestimate or underestimate building loss ratios. The MBE for most models was quite small, with the exception of FLEMOps+ which overestimated relative losses to a higher degree than the other models. Especially models with separate functions for each recurrence interval class, but also all other models showed widely negligible biasing tendencies.

Bias is also one component of the mean squared error (and hence the RMSE) as the MSE equals the variance of the errors plus the square of the mean error. Therefore by minimizing the mean squared error, implicitly the bias as well as the variance of the errors is minimized as well. We interpreted the RMSE results in Table IV.6 in the way that FLEMOps+r offered the best “compromise” between reduced error variance and acceptable bias followed by the

square root T model (separate functions per recurrence interval class). As the RMSE is in the same units as the data, i.e. building loss ratios, it gives an impression about the size of a “typical” error. This is similar to the mean absolute error (MAE). The MAE for all models is slightly smaller than the respective RMSE, because the RMSE is more sensitive to and puts more weight on outliers. The MAE results in terms of model comparison reproduced the findings from the interpretation of the RMSE.

The average estimation of the relative loss per recurrence interval class and per water level class was calculated from the bootstrapped sample for all models. Figure IV.6 and Figure IV.7 illustrate the results for the three recurrence interval classes and the five water level classes, respectively. We plotted the mean estimates per class against the mean relative losses taken from the interviews. The error bars give the 95% confidence intervals. Values outside of this range point to an underestimation or overestimation in the respective classes.

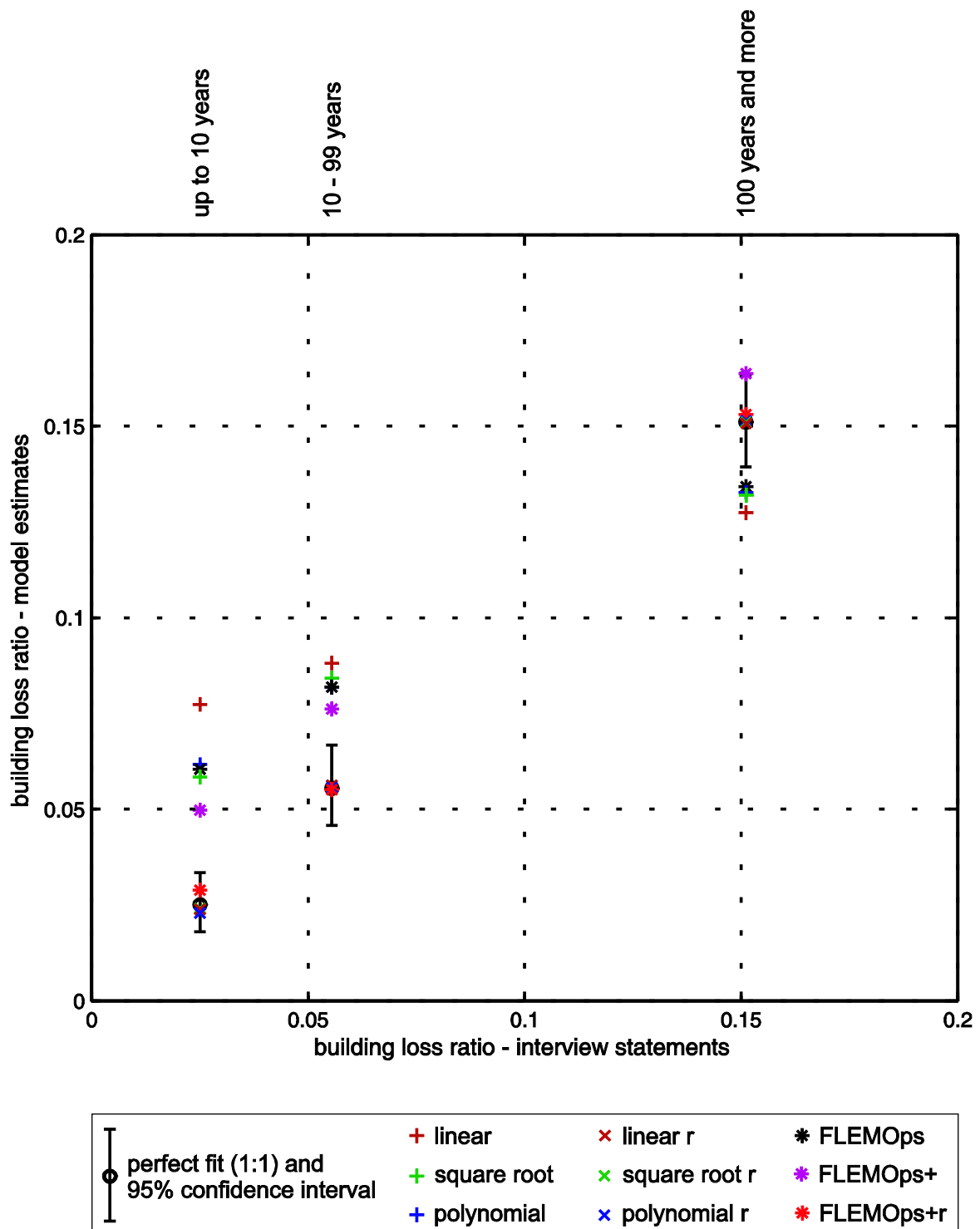


Figure IV.6: Model estimates and interview answers for three recurrence interval classes

All models without recurrence interval underestimated relative losses for events with high recurrence intervals and overestimated losses for more probable events with the exception FLEMOps+ which overestimated losses for all recurrence interval classes. This bias could be eliminated by considering recurrence interval.

To get a more complete overall picture about the performance and quality of the different models, the average estimates were also compared to the mean relative losses from the interviews for all water level classes (Figure IV.7).

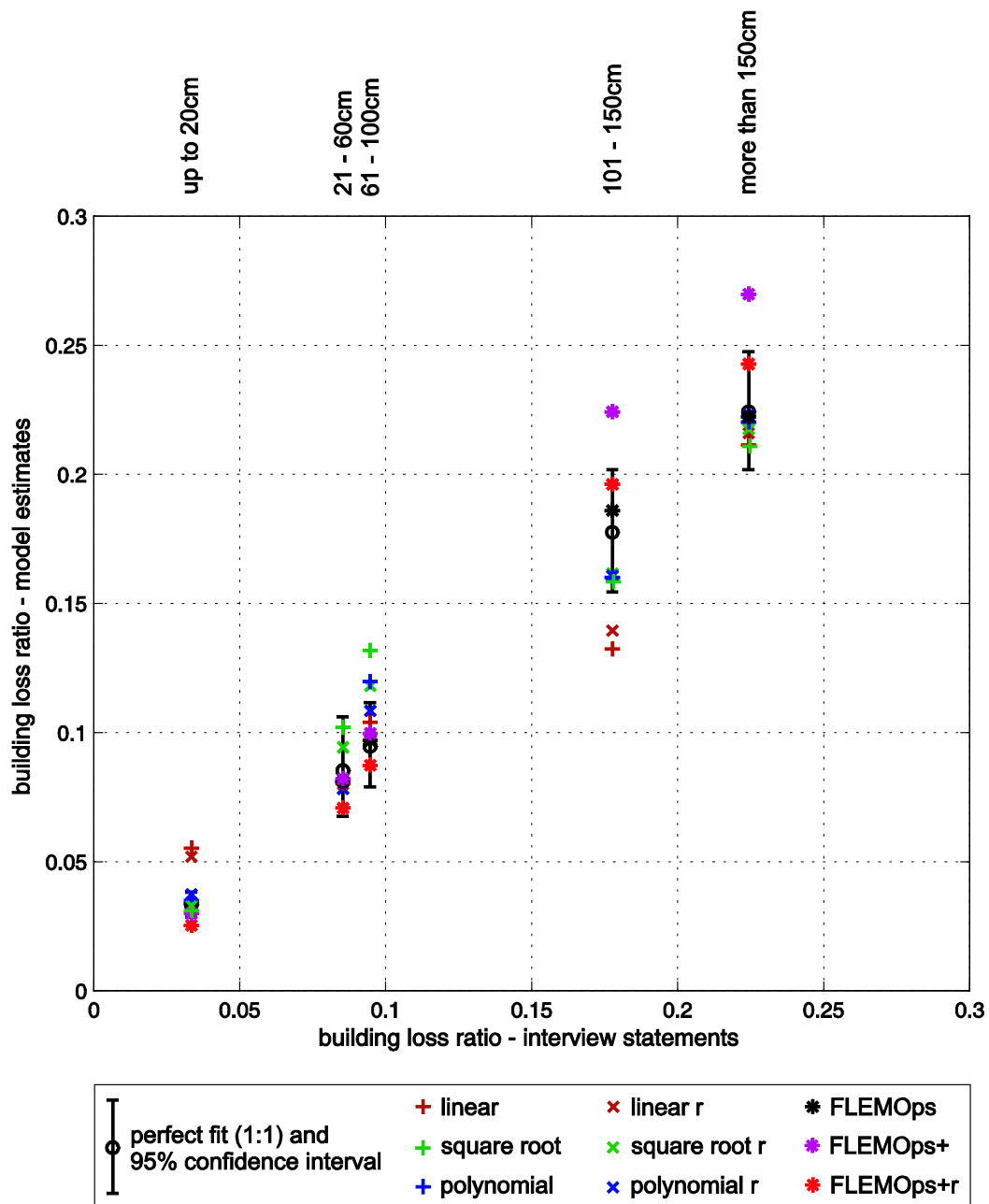


Figure IV.7: Model estimates and interview answers for five water level classes

The results for the water level classes did not show the clear cut picture as the results for the recurrence interval classes. The linear models overestimated relative losses for low water levels and underestimated for the 101-150cm water level class. The square root models as well as the basic polynomial model overestimated relative losses for moderate water levels (61-100cm). FLEMOps showed the best results. Average estimates by the modified polynomial T model were also within the confidence interval for all classes. The FLEMOps+

model showed a tendency to overestimate for high water levels while FLEMOps+r was the only model that underestimated losses for low water levels.

The comparison by water level class was closer to a fair judgement of the performance of the loss models in terms of estimating losses because water level is considered in all models. Still, a cautious interpretation of the results is required because some models, e.g. the basic FLEMOps model, are based on average losses per water level class and therefore were highly favoured by this approach. Statements about model quality that are based on the analysis of the error statistics give less illustrative but more reliable results.

5. Conclusions

A highly significant positive correlation was found between recurrence interval and loss extent. This correlation could not be fully explained by different water levels. Building loss ratios rise with decreasing probability of the damaging flood event at the object location. Recurrence interval is among the most important damage influences and hence, loss estimations should not apply a uniform loss function to low probability and high probability flood events.

We could not identify a single or a limited range of thematically related parameters that changed with and therefore could be explained by recurrence interval. In fact, different parameters contributed to the main principal components that were correlated with recurrence interval. These parameters were rather diverse thematically. Recurrence interval characterises flood impact more generally and therefore cannot replace but complement other main impact and resistance factors in flood loss modelling. Consequently, recurrence interval should be used as an additional parameter in currently available loss models. It is easy to obtain from discharge time series and improves the applicability of models to events of different likelihood.

The estimation of separate mean building loss ratios for five water level as well as three recurrence interval classes and the comparison to the respective mean loss ratios taken from the interview answers showed that those models, which consider all combinations of both parameters, produced the least biased results. Error analysis helped to rate the estimation accuracy of loss models. It showed that including more damage influencing parameters in loss modelling improves the accuracy of the estimations, if the interdependencies of the parameters are incorporated in the loss functions. The estimation of building losses can be significantly enhanced if the likelihood of the damaging event is considered in the modelling approach. The proposed multi-parameter model FLEMOps+r performs particularly well.

The basic advantage of including recurrence interval is that the object-oriented estimation of losses is supplemented by a new dimension on the event scale: So far only the impact and resistance parameters that cause or prevent damages at the object had been considered in loss

modelling, but now also ever changing flood characteristics are factored to some extent. Very often there is a discrepancy between the situation that caused those damages used for model development and the situation the model is applied to. Considering event probability reduces this discrepancy.

Employing the proposed model is especially useful if multiple event scenarios are used e.g. for comprehensive risk analyses. A set of impact scenarios is often differentiated by recurrence interval to cover the whole range of possible events. The estimation of risks should be more realistic if the loss models consider this differentiation between the impact scenarios.

The application of the proposed model has implications for risk management decisions in terms of cost-benefit analysis as it decreases the tendency of underestimating negative consequences of extreme floods and hence, increases the weight of these events in risk analyses. On the other hand, the influence of long and middle term hazard changes (e.g. climate induced changes in flood frequency and magnitude) is reduced to some degree: High magnitude events that become more frequent will have lower assigned damages under conditions of rising flood hazard while under conditions of reduced flood hazard, events of a certain magnitude become less probable and accordingly more damage prone.

Despite the advances in data assessment and model development there is still room for future research and improvement. Applying advanced statistical methods could help to elaborate in detail the complex interactions of damage influences in general and the connection between flood probability and damage generating parameters in particular. Empirically derived loss models usually suffer from a lack of information about damages caused by infrequent extreme events and hence are not very accurate in estimating the impact of such events. On the other hand, as it is the case in our data set, if such an event occurs, it is much more likely that assessment campaigns are set up. In the present data set, frequent events are underrepresented. This data gap could be closed by establishing a framework for continuously assessing flood losses and thereby creating an up-to-date data set that describes flood damages in Germany (or elsewhere) representatively.

Acknowledgements

Parts of this research were undertaken within the framework of the project MEDIS – Methods for the Evaluation of Direct and Indirect Flood Losses and funded by the German Ministry for Education and Research (BMBF, No. 0330688). The telephone surveys of affected households and companies following the 2002 flood were undertaken within the German Research Network Natural Disasters (DFNK). Funding by Deutsche Rückversicherung AG and BMBF (No. 01SFR9969/5) is gratefully acknowledged.

Chapter V:

Drivers of flood risk change in residential areas

Natural Hazards and Earth System Sciences, 12, 2012, 1641–1657

Florian Elmer, Jana Hoymann, Doris DÜthmann, Sergiy Vorogushyn, Heidi Kreibich

© Author(s) 2012. CC Attribution 3.0 License.

doi: 10.5194/nhess-12-1641-2012

Received 2nd September 2011; revised 16th February 2012;

accepted 5th April 2012.

Wenn die Hochwässer der letzten Jahre als besonders schwer empfunden worden sind, so liegt dies nicht nur an ihrer ungewöhnlichen Größe, sondern auch daran, daß in unseren Flußtäälern viel größere Werte aufgespeichert sind als früher.

Dr.-Ing. Wilhelm Soldan, 1927

Abstract

The observed increase of direct flood damage over the last decades may be caused by changes in the meteorological drivers of floods, or by changing land-use patterns and socio-economic developments. It is still widely unknown to which extent these factors will contribute to future flood risk changes.

We survey the change of flood risk in terms of expected annual damage for residential buildings in the lower part of the Mulde River basin (Vereinigte Mulde) between 1990 and 2020 in 10-yr time steps based on measurements and model projections. For this purpose we consider the complete risk chain from climate impact via hydrological and hydraulic modelling to damage and risk estimation. We analyse what drives the changes in flood risk and quantify the contributions of these drivers: flood hazard change due to climate change, land-use change and changes in building values.

We estimate flood risk and building losses based on constant values and based on effective (inflation adjusted) values separately. For constant values, estimated building losses for the most extreme inundation scenario amount to more than 360 million € for all time steps. Based on effective values, damage estimates for the same inundation scenario decrease from 478 million € in 1990 to 361 million € in 2000 and 348 million € in 2020 (maximum land-use scenario). Using constant values, flood risk is 111% (effective values: 146%) of the 2000 estimate in 1990 and 121% (effective values: 115%) of the 2000 estimate for the maximum land-use scenario in 2020. The quantification of driver contributions reveals that land-use change in the form of urban sprawl in endangered areas is the main driver of flood risk in the study area. Climate induced flood hazard change is important but not a dominant factor of risk change in the study area. With the historical exception of the economic effects in Eastern Germany following the German reunification, value developments only have minor influence on the development of flood risk.

1. Introduction

Losses from natural disasters have dramatically increased during the last few decades, and in terms of economic losses, floods have been the most severe event type (Munich Re 1997, 2004). It is expected that flood risk will continue to rise in consequence of a combination of climate change (e.g. Kundzewicz et al. 2005) and an increase in vulnerability, e.g. due to increasing flood plain occupancy, value increase in endangered areas and changes in the terrestrial system, e.g. land cover changes and river regulation.

While the concept of climate change and global warming is widely accepted, the impacts on the regional and local scales can be very different and require a closer look. In terms of the increase in flood hazard, recent studies show a mixed picture in Germany and Central Europe. Large scale flood regimes are affected differently by climate induced meteorological changes (Hattermann 2005). Petrow et al. (2009a, b) analysed the frequency and magnitude of extreme flood events in Germany over the course of 52 yrs (1951 to 2002). Positive trends (increase in magnitude and frequency of extreme discharges) could be found for the western, southern and central parts of Germany, while in the northeast changes in flood behaviour are small and not field significant. Generally, changes in the winter season exceed those in the summer. Other studies (Merz and Blöschl 2009, Blöschl and Montanari 2010, Veijalainen et al. 2010, Prudhomme et al. 2010) discuss whether there is any significant increase in flood hazard at all.

Besides the impact of hazard change on flood risk, the accumulation of values in flood prone areas and changes in values are discussed as possible drivers for changes in risk. Indeed, the analysis of Barredo (2009) suggests that the past changes in economic losses are related to the latter two factors.

Land-use changes for the Elbe basin were analysed and land-use projections were developed within the GLOWA-Elbe framework (“Global Change Impacts on the Water Cycle in the Elbe River Basin”, a German governmental funded research initiative) by Hoymann (2010, 2011). These projections are used to analyse future risk developments within this study. Approaches integrating both land-use changes and flood hazard changes were undertaken by Archer et al. (2010), Orr and Carling (2006), De Roo et al. (2003) and Bronstert et al. (2002) and analyse the impact of land-use changes on flood discharges. A broad approach on the national scale that considers a range of flood risk drivers for fluvial and coastal floods was presented by Hall et al. (2003) for England and Wales. It combines quantified risk analysis and also resorts to expert appraisal for judging the influence of risk drivers to project future (2030 to 2100) flood risk under different scenario conditions.

Recent studies by Feyen et al. (2009), Bouwer et al. (2010) and te Linde et al. (2011) focus on both the impact of land-use changes and climate induced flood hazard changes and their influence on flood damage. Te Linde et al. (2011) investigated possible flood risk scenarios

along the entire Rhine River and quantified the contribution of climate change and land-use changes to overall risk change. They considered two climate change scenarios, two land-use scenarios and the official flood protection targets of seven sections of the Rhine. An extreme inundation scenario was taken from the International Commission for the Protection of the Rhine “Rhine Atlas” (ICPR 2001) to calculate potential damage and damage expectations for a number of land-use classes. Their analyses revealed a huge increase in expected annual damage (EAD) ranging from 54% to 230% in 2030 compared to 2000, depending on the climate change and land-use scenario. Approximately three-quarters of the increase were attributed to the climate change. These findings diverge from the assessments of the observed trends in economic losses in Europe, where no climate signal was detected (Barredo 2009). Merz et al. (2010a) identify and describe the types and magnitude of changes in flood risk in Europe and the associated increase of uncertainty and analyse and discuss the implications for flood risk management.

To our best knowledge, no research has so far tried to close the whole risk chain from climate impact via hydrological and hydraulic modelling to damage and risk estimation while also considering building stock and value developments. Our first objective is to set up this model chain at the example of a meso-scale catchment in Germany. Second, we model the development of potential damage in the study area over time and transfer this damage to risk estimates. Third, we analyse which drivers cause the change of flood risk and quantify the contributions of these drivers: flood hazard change (change of the probability of events of a certain magnitude), land-use change (changes in residential area and the associated building stock composition) and changes in building values in terms of reconstruction costs for potentially affected residential buildings.

The paper has the following structure: Sect. 2 presents the study area, followed by Sect. 3 “Data and methods” that first gives an overview of the approach and then presents the data and models used in each step of the risk chain (climate and meteorology – hydrology – hydraulics – land-use and building stock – building values – damage – risk). Intermediate results from all chain links, the results of the damage estimates and risk analysis, and the quantification of the aforementioned influences to overall flood risk are presented and discussed in Sect. 4. Finally, we conclude our analysis and provide an outlook and recommendations for future research.

2. Study area

The study area comprises the lower part of the Mulde catchment downstream of the confluence of Zwickauer Mulde and Freiburger Mulde (Figure V.1). The Mulde River is a sinistral tributary to the Elbe River with a total length of 290 km (including Zwickauer Mulde) and a length of 124 km from the confluence of the main frontal flows (Zwickauer

Mulde and Freiburger Mulde) to the Elbe River, the Vereinigte Mulde reach. All main frontal flows originate in the Ore Mountains. The Vereinigte Mulde River is located in the North German Plain and its catchment area is 2054 km². Cities located along the Vereinigte Mulde River are Dessau, Bitterfeld, Wolfen, Bad Dübener, Wurzen and Eilenburg.

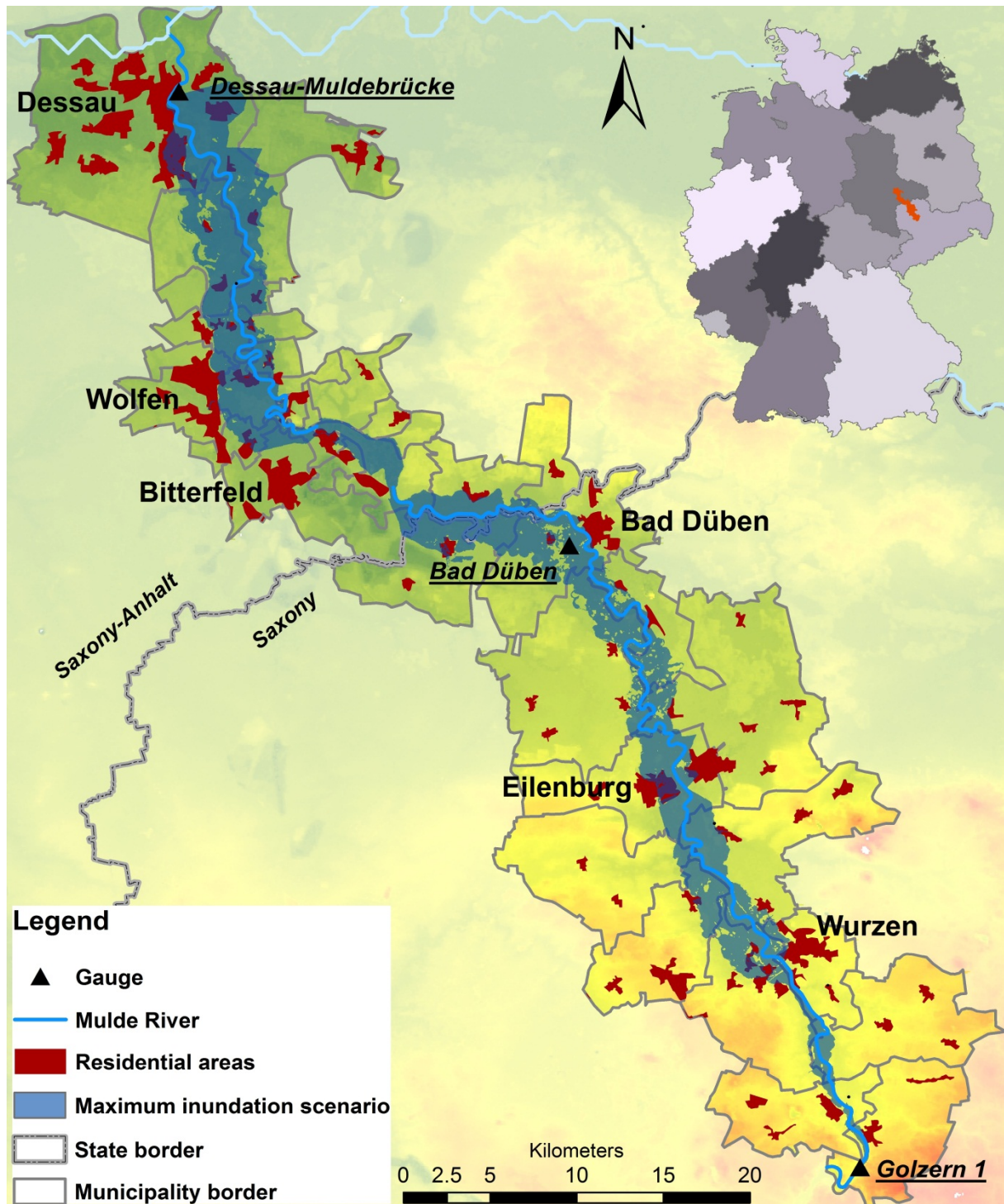


Figure V.1: Study area "Vereinigte Mulde" (municipality borders as of 2000)

The study area contains 35 municipalities in their administrative borders of the year 2000. It comprises those municipalities which are partly inundated from an extreme event with a

return period at gauge Golzern 1 of $T=1000$ yr (probability as of 2000), corresponding to the maximum inundation scenario (S9) generated for this research. Municipalities that are located in the catchment but are not affected by the maximum scenario (approximately 1000 km²) are excluded. The total area of the affected municipalities and thus the study area is 1063 km², of which about 8.4% were covered by residential areas in 2000 (Corine Land Cover 2000, Keil et al. 2005). Because of constraints in hydraulic modelling, no inundation scenarios could be created for the river reach from the gauge at Dessau-Muldebrücke to the Elbe River. This results in moderately underestimating damage and risk for the city of Dessau.

The region has undergone major socioeconomic changes since 1990. Due to the economic problems after the reunification of Germany, the population decreased rapidly while, in the same time span, residential areas spread due to changes in the building of new residential structures. Unrestrictive policies and changes in demand resulted in single-family homes being the huge majority of houses build after 1990. This fact, combined with an increase of living space per capita, led to land consuming settlement patterns despite the population decrease. The land-use and building stock projections take this very special development into account.

Flooding of the Mulde River is a common natural hazard in the region. The August 2002 flood in the Elbe basin also affected the study area severely (Haase et al. 2003, Engel 2004, BfG 2006, LuG 2009), causing many dike breaches and damage at other flood protection and river management structures and massive losses; e.g. residential damage in the city of Eilenburg amounted to 77.12 million € (Apel et al. 2009).

In terms of climate induced flood hazard changes, the Mulde area is located in a transitional zone. The study by Beurton and Thielen (2009) on the regionalisation of flood regimes in Germany indicates that the study area cannot be directly assigned to one of the three major flood regime regions in Germany. Neither can it be regarded as a region with significant trends in flood frequency and magnitude (Petrov and Merz 2009).

3. Data and methods

The central idea of our approach is to provide analyses on flood risk change and driver contribution based on a complete risk chain. This was realized in a model cascade, which accounts for all risk chain links and considers scenarios of climate change, land-use change and asset value development (Figure V.2).

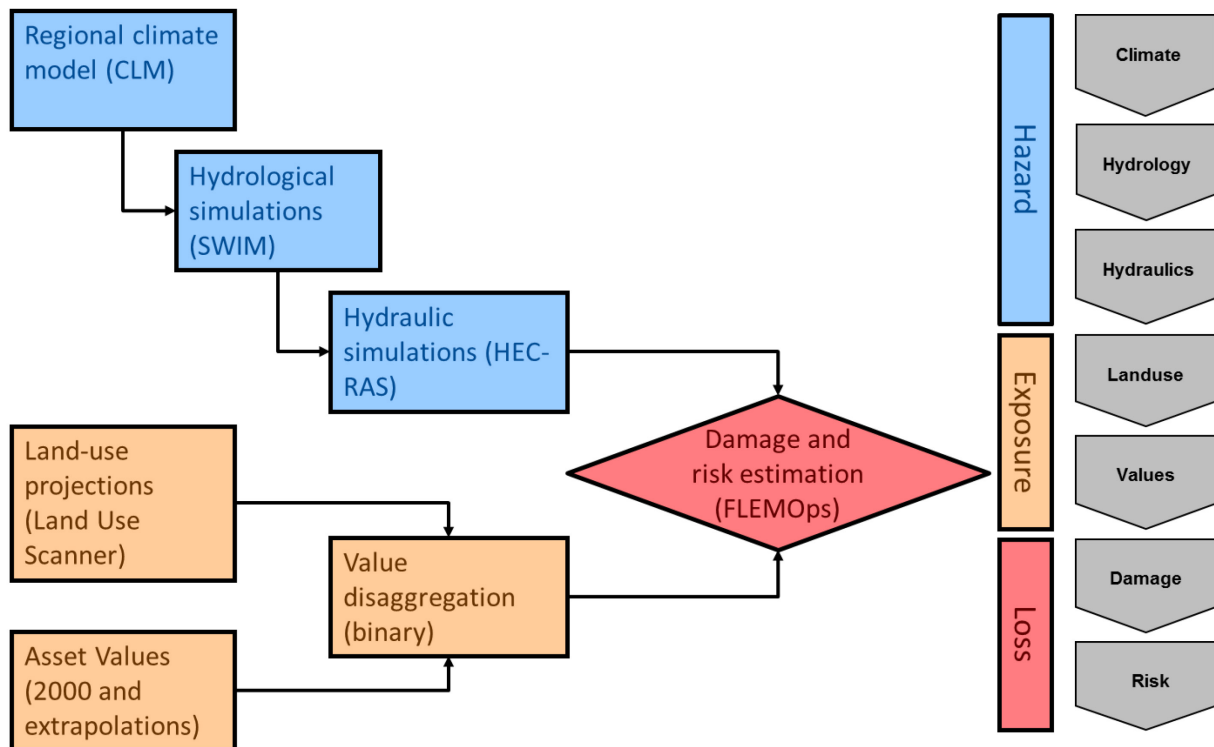


Figure V.2: “Flood Risk Chain” – Chain links and models

Risk was calculated in terms of expected annual damage (EAD) for 1990, 2000, 2010 and 2020 using sets of damage estimates with consistent scenario assumptions. Changing one parameter at a time, the contribution of flood risk drivers (flood hazard, land-use and building stock, building values) to overall risk change was quantified.

3.1 Quantification of the flood hazard

We defined the flood hazard for four points in time in ten year intervals based on the discharge time series for the preceding 50 yr (e.g. the flood hazard in 1990 is based on the discharge time series 1941 to 1990, see Figure V.3). Discharge data provided the input for inundation modelling and they were also used in the extreme value statistics to calculate flood probabilities. We used daily discharge data for full hydrological years (1st of November to 31st of October). Measured discharge data were used for the time period 1941 to 2000, and simulated discharge data, generated by a hydrological model with climate input based on a future climate scenario, were applied for the time period 2001 to 2020.

Two discharge gauges were used in this study (Figure V.1). Golzern 1, the most upstream gauge in the study area is used as the reference gauge and as interface to the hydraulic modelling. Uninterrupted discharge measurements are available since 1935. For the Bad Dübener gauge, daily discharge data are available for 1961, onwards.

Discharges corresponding to nine defined return periods (2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000 yr) were computed based on extreme value statistics for Golzern 1 for 2000. These peak flows

were used in a hydraulic model to create a set of inundation scenarios. The discharges for Bad Dübener See gauge were extracted from these inundation scenarios and return periods were calculated for the Bad Dübener See based on discharge time series (measured and modelled).

To project the risk changes associated with climate change according to the IPCC A1B emission scenario (A1: very rapid economic growth, global population peaks in mid-century, new technologies; B: balanced use of energy sources, IPCC 2000), we applied climate data which have been dynamically downscaled from the ECHAM5 General Circulation Model (GCM) using the regional climate model (RCM) COSMO-CLM with a 0.2° horizontal resolution, provided by Deutsches Klimarechenzentrum (German Climate Computing Center - DKRZ 2006, 2007). The downscaled climate data were used to drive the regional hydrological model SWIM, which computes the discharge values at the reference gauge Golzern 1.

SWIM (Krysanova, Wechsung et al. 2000, Krysanova, Müller-Wohlfeil et al. 1998) is a process based semi-distributed hydrological model. For this study it was set up for the Mulde catchment using the following spatial input data: a digital elevation model (DEM; 25m-DEM from BKG within Germany), land cover data (CLC) and soil data (BUEK 1000). Observed climate time series based on the DWD station network (data set prepared by PIK using 264 climate stations, Österle et al. 2006) were used as input for model calibration and validation. The time series of meteorological data were interpolated onto a 1 km² grid, and aggregated to subcatchment average mean values using universal kriging with elevation for temperature data and the inverse distance weighting method for precipitation, humidity and radiation. Daily precipitation data were corrected for undercatch errors, depending on wind speed and the aggregation state of the precipitation (Yang et al. 1999). The SWIM model was calibrated automatically using the SCE-UA algorithm (Duan et al. 1992, 1993, 1994) over a period of five years from 1991 to 1995 with one year for model initialization, and the results were further fine-tuned manually. For the calibration period the Nash-Sutcliffe efficiency (Nash and Sutcliffe 1970) at Golzern is 0.75 with a bias of 2.4%; for the validation period (1961 to 2000 excluding 1991 to 1995) these values are 0.83 and -2.3%. The performance of the model was evaluated visually with respect to daily flows, average and maximum monthly flow regimes, average and maximum annual discharges and flow exceedance curves at more than 20 gauges within the Mulde catchment, but the results cannot be shown here.

In order to generate discharge data for the scenario period 2001 to 2020, the hydrological model was run using the RCM data. These data were also mapped to subcatchments and a bias correction using quantile mapping (Piani et al. 2010) was applied to all climate variables based on the measured climate data interpolated to subcatchments.

To characterize the flood hazard, we computed the extreme value statistics at gauges along the study reach. A set of probability distribution functions was fitted to four 50-yr time series (1941-1990 till 1971-2020), as shown in Figure V.3 for gauge Golzern 1.

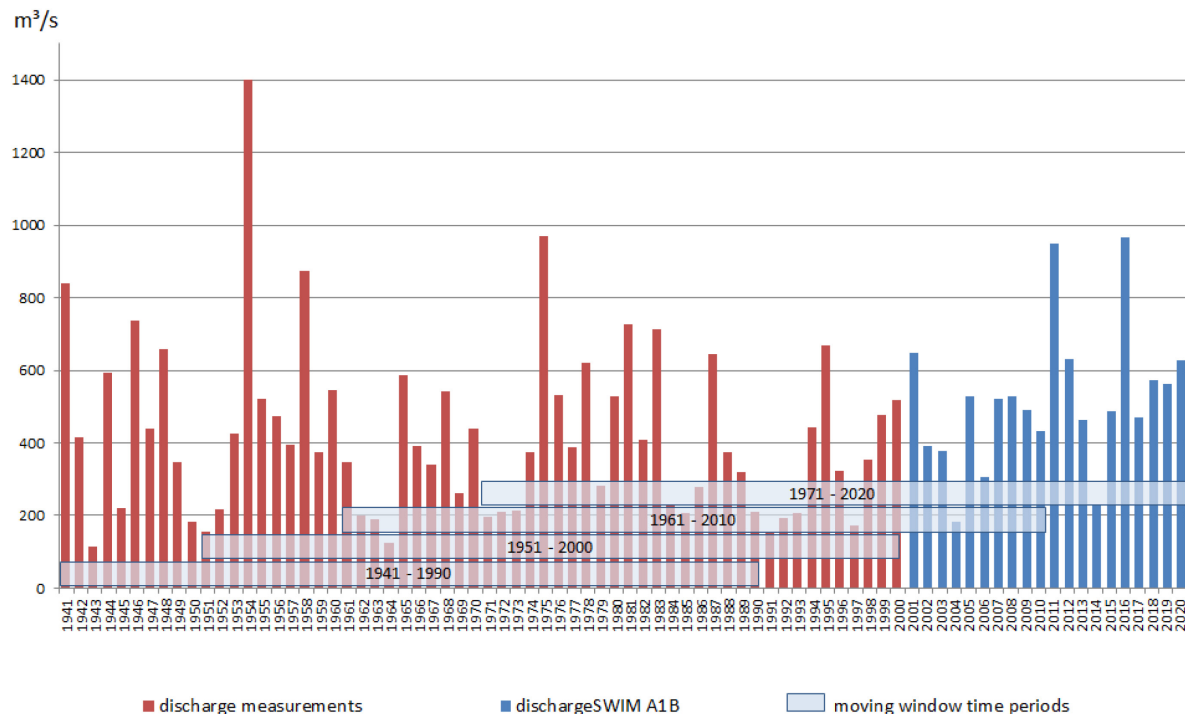


Figure V.3: Golzern 1 – Annual maximum series (AMS) of mean daily discharge 1941 to 2020 and shifting windows for flood hazard analysis

The resulting return periods are associated with the last year of each time slice. Since several probability distribution functions may satisfactorily describe the data variability, we based our assessment on a composite distribution function approach (Wood and Rodríguez-Iturbe 1975). The composite function resulted from weighting the distribution functions based on likelihood weights. Flood hazard was expressed as recurrence interval. The probability of each discharge was calculated for 1990, 2000, 2010 and 2020 based on 50 yr discharge time series. Recurrence intervals provided the input for modelling inundation scenarios and were considered in the damage model as one parameter for loss estimation. Finally, they were taken into account to determine flood risk in terms of EAD.

The hydraulic simulations were carried out using the HEC-RAS (USACE 2010) model setup for the reach between gauges Golzern 1 and Dessau-Muldebrücke. From Golzern 1 to Bad Dübén, the model was based on detailed cross-sections provided by LTV (Landestalsperrenverwaltung) Sachsen. In the downstream part of the reach, the cross-sections were extracted from the DEM with 25x25 m horizontal resolution.

The model was calibrated in a steady-state using the flow boundary conditions at Golzern 1, Bad Döben and Priorau gauges and normal depth as the downstream boundary. Modelled water depths from the steady-state run were interpolated and intersected with the DEM25. The resulting water depths at several points were compared with the high water marks and inundation areas from the 2002 flood compiled by DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt) and BKG (Bundesamt für Kartografie und Geodäsie) (Figure V.4). Manning's roughness coefficients were manually adjusted to reduce the RMSE between measured and simulated water stages and to achieve the best estimations of flood areas, characterised by flood area indices (F1, F2, F3), which are defined as follows:

$$F1 = M1D1 / (M1D1 + M1D0 + M0D1)$$

$$F2 = (M1D1 - M1D0) / (M1D1 + M1D0 + M0D1)$$

$$F3 = (M1D1 - M0D1) / (M1D1 + M1D0 + M0D1)$$

M0D0 denotes the raster cells modelled as dry and observed dry, M0D1 denotes cells modelled as dry and observed as wet, M1D0 denotes cells modelled as wet and observed dry, and M1D1 denotes cells modelled as wet and observed wet.

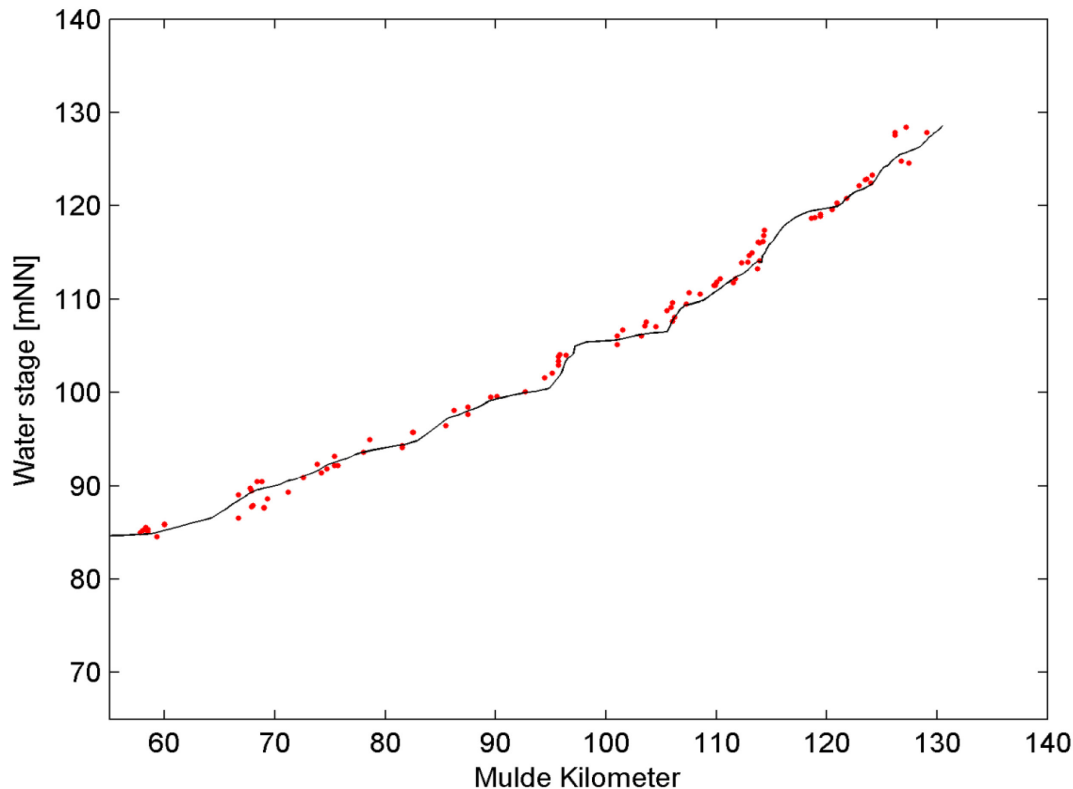


Figure V.4: Water stage profiles along the Mulde – Simulation results from steady-state run (black line) vs. observed values (red dots)

From 118 high-water marks, 70 points are inundated in the modelling results and 48 are simulated as dry. RMSE for water depths after interpolation and intersection with the DGM25 amounts to 0.66 m.

Flood area indices were computed for two different model domains, which used different roughness parameterisation, and finally for the whole domain:

- The whole modelling domain from gauge Golzern 1 to Dessau-Muldebrücke
- From Golzern 1 to the border with Saxony-Anhalt (Saxony)
- From the border of Saxony to the gauge Dessau-Muldebrücke (Saxony-Anhalt)

The results are summarised in Table V.1.

Table V.1: Performance statistics of the inundation model in terms of flood area indices (FAI)

FAI / Domain	Whole domain	Saxony	Saxony-Anhalt
F1	0.77	0.85	0.68
F2	0.61	0.8	0.38
F3	0.7	0.75	0.65

The results for the whole domain can be regarded as satisfactory and compare well with similar studies (Horritt and Bates 2001, 2002). The model performance for the Saxon part of the reach appeared to be better than the part in Saxony-Anhalt. Manning's roughness values between 0.04 and 0.16 $m^{1/3}s^{-1}$ were achieved in the calibration process.

Inundation scenarios were derived for return periods of 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500 and 1000 yr based on extreme value statistics at Golzern 1 gauge. A typical flood hydrograph was derived from a cluster analysis of the historical flood hydrographs based on the approach of Apel et al. (2006) and upscaled to the selected return periods. The unsteady scenario runs assumed the normal depth as downstream boundary condition. Steady flows corresponding to the initial discharges of the flood hydrographs were used as initial condition. The maximum simulated water stages were intersected with the DEM25 using the HEC-GeoRAS tool to obtain inundation depths.

Flood protection measures are not taken into account due to the lack of consistent information on such structures.

3.2 Exposure

Damage modelling for residential buildings requires information on spatial distribution specific value as well as quality of the building stock.

Our survey used land-use data from CLC1990 and CLC2000 that were published in 2005 (a revised version of CLC1990 is included in the CLC2000 data set). These data were derived from Landsat satellite imagery and provide a consistent land-use classification for Europe (for details, see Keil et al. 2005).

We reclassified CLC data into two classes – residential and non-residential - aggregating class 111 (Continuous urban fabric) and 112 (Discontinuous urban fabric) to residential land-use. All other classes are aggregated to non-residential land-use as we did not assign any residential building values to these classes. Land-use projections for 2020 were taken from Hoymann (2010, 2011) who developed land-use scenarios for the entire Elbe basin. The 2010 projections are an interpolation of year 2000 input data derived from CLC2000 land-use information and year 2020 projections. Hoymann based the projections on calculations of the demand for residential land-use. The allocation of residential land-use was then modelled with the GIS-based Land Use Scanner (LUS) model (Hilferink and Rietveld 1999, Schotten et al. 2001, Hoymann 2008) that allocates land-use changes to grid cells using regional claim sets (land-use demand) and suitability maps (current land-use, physical suitability, distance relations, regional spatial planning, nature protection areas). The LUS application for the Elbe basin assigns land-uses to a 250m-grid. For this survey we used a derivative of the land-use change scenarios which provide the proportion of expected residential land-use per grid cell. The different land-use change scenarios were based on the IPCC emission scenario storylines A1 (rapid economic growth) and B2 (local environmental sustainability) (IPCC 2000). These global storylines were transferred to the regional developments in the Elbe basin. To consider regional influences, both trajectories were combined with two different land-use policies: maintaining the current (weak) land-use policy (⁰) and restrictive land-use policy (⁺) (Hoymann 2011, details in Hartje et al. 2008). Four residential land-use development scenarios were used in this survey for 2010 and 2020, respectively:

A1⁰: Globalisation with weak spatial planning policy

A1⁺: Globalisation with very restrictive spatial planning policy

B2⁰: Differentiation with weak spatial planning policy

B2⁺: Differentiation with very restrictive spatial planning policy

To make land-uses comparable for the whole research period, some modifications were conducted on the CLC data: CLC1990 and CLC2000 polygons are intersected with the 250m-grid from the LUS projections. The proportion of residential land-use in each cell was identified and assigned as cell value to the respective residential land-use grids for 1990 and 2000.

A complete set of building values on the municipality level was created within the CEDIM framework by Kleist et al. (2006) for the year 2000. The cost approach was selected to value buildings and consequently, values were given as reconstruction costs, i.e. the market price of the construction works for restoring a damaged building.

The values were disaggregated, i.e. distributed to the respective land-use units. Thielen et al. (2006) and Wunsch et al. (2009) applied and tested various disaggregation approaches and analysed the influence of these disaggregation schemes on the uncertainty of flood damage estimations. They commended the application of a binary disaggregation approach when using CLC data. The appropriateness of this disaggregation approach was confirmed by our own tests using it for damage estimations in the Saxon parts of the Mulde basin.

The total value of residential buildings for each municipality was taken from Kleist et al. (2006) and this figure was divided by the residential area (m²) as taken from the land-use information for the year 2000 to get a specific value per square meter for residential land-use only. These values were then multiplied with the proportion of residential land-use per grid cell resulting in a monetary building stock value for each grid cell. The latter step was done for the 1990 and 2000 land-use information and all 2010 and 2020 land-use scenarios. Damage and risk estimations are comparable for different points of time because the building values per m² are constant and, accordingly, the influence of inflation is externalised.

To analyse the influence of building value changes with time, values in terms of reconstruction costs were time adjusted by using official indexed construction prices (Baupreisindex – BPI, DESTATIS 2010b) for 1990 and 2010 and a linear extrapolation of this index for 2020. The BPI gives the development of construction prices relative to a reference year (for this study the year 2000) and can be interpreted as the inflation of building construction prices. The inherent changes in building values are identified by the inflation-adjustment of time adjusted values with indexed consumer prices (Verbraucherpreisindex – VPI, DESTATIS 2012). The BPI is based on the prices for construction works. These construction works contribute only a small degree to the calculation of the VPI and hence this influence was ignored for our calculations. These adjusted values will be referred to as “effective values” or “effective value changes” in contrast to the “constant values” in the preceding paragraph.

Municipal building stock characteristics were originally derived from a Germany-wide data set for the year 2000 created by INFAS Geodaten in combination with official statistical data about building type and quality. Average building quality per municipality (5 classes, aggregated for use in the applied damage model to only two classes: high quality and medium/low quality, see Thielen et al. 2008) and the composition of residential building stock in terms of percentages of single-family houses, semi-detached/detached and multi-family houses is provided on the municipality level for 2000. Since only a few municipalities

in Germany (and none in the study area) had a high average building quality, we assumed that the class affiliation (medium to low average building quality) remains constant for all municipalities in the study area, all points in time and all scenarios.

The composition of residential building stock in Germany in terms of building types was retained by applying a cluster-centre approach (Thieken et al. 2008) based on the share of the three building types in 2000. This resulted in five cluster centres to which all municipalities were assigned. To calculate the building stock composition for the study area in 1990, 2010 and 2020, a linear extrapolation following official statistics about builds and demolitions for each building type at the district level (Landkreise and Kreisfreie Städte) from 1995 to 2004 (DESTATIS 2010a) was used. The linear trend was applied to the reference data from Thieken et al. (2008) on the municipality level for 2000 and extended back to 1990 and forward to 2010 and 2020. We assumed uniform trend behaviour for all municipalities within one district.

The building stock compositions for each municipality and point in time are related to the year 2000 cluster-centres. Cluster “borders” were constructed in a de Finetti diagram (Tri-Plot freeware by Graham and Midgley 2000) and the direction and magnitude of the changes in building stock composition for each municipality are given.

3.3 Flood damage and flood risk

We used a modified version of the multi-criteria Flood Loss Estimation Model for the private sector (i.e. residential buildings) FLEMOps (Thieken et al. 2008, Elmer et al. 2010b) to estimate flood damage to residential buildings. A number of stage damage functions exist (see, e.g. Merz et al. 2010b for a review) and some models provide a number of functions to account for, e.g. different building types or loss sectors, but FLEMOps is the only validated empirical multi-factor damage model for Germany. Contrary to simple stage-damage functions, FLEMOps uses additional parameters such as building type, building quality and flood probability in the damage calculation procedure. The damage modelling process on the meso-scale is given in Figure V.5.

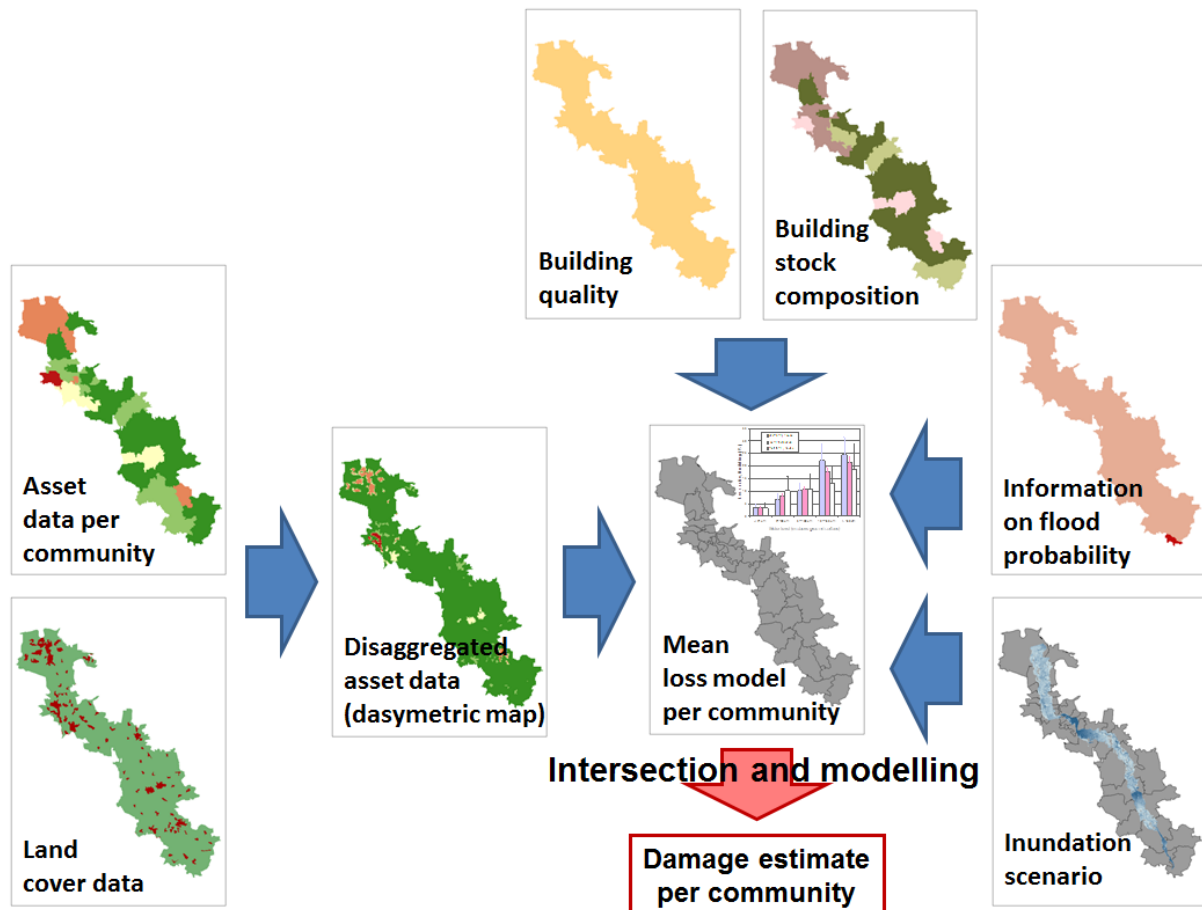


Figure V.5: Steps for meso-scale flood damage estimation with FLEMOps+r

FLEMOps is derived from empirical damage data of 2158 residential loss cases in Germany acquired after floods in 2002, 2005 and 2006 (Thieken et al. 2005, Kreibich and Thieken 2008). The latest model version FLEMOps+r considers water level, building type and building quality and additionally the effects of flood probability (in terms of recurrence interval), precautionary measures and water contamination (Eq. (1)) and is presented and validated in Elmer et al. (2010). However, in this study we ignored the influence of the latter two factors since no reliable methodology is available to model scenarios for precaution and contamination. A plausibility check for this version is undertaken for four Saxon municipalities in the Mulde catchment with more than 300 damaged residential buildings in the 2002 flood event (Eilenburg and Bennewitz in the study area, Grimma just south of the gauge at Golzern and Döbeln at the Freiberger Mulde River). Official damage data were provided by Sächsische Aufbaubank (SAB - Saxon Bank for Development) for the 2002 event. Results from the comparison with modelled damage using the 2002 flood extent information are very satisfactory: an underestimation of just 12% with estimates for the single municipalities ranging from -32% to +12% of the official residential damage.

Eq. (1) was used to estimate relative building damages D_E for each scenario.

$$D_{E_j} = \left(\frac{\sum_j^n D_{h_j}}{n_{h_j}} * \frac{\sum_j^n D_{tq_j}}{n_{tq_j}} * \frac{n}{\sum_n^1 D} \right) * \sum \frac{D_{E_{pcT_j}}}{D_{pcT_j}} * \frac{1}{n_{pcT_j}} \quad \text{Equation (1)}$$

Eq. (1) with:

- j* (damage) case
- D* relative damage (interview information)
- D_E* estimated relative loss
- h* water level class
- t* building type
- q* building quality
- p* precaution index value (=1)
- c* contamination index value (=1)
- T* recurrence interval class
- pcT* parameter combination (precaution, contamination and recurrence interval) class
- n* number of cases

EAD was used as the indicator to describe flood risk (RI). The risk was defined as the probability of an impact times the damage assigned to the magnitude of this impact. The EAD was computed by integrating the area under the risk curve, which is constructed through interpolation of the discrete flood scenarios used in this study (Eq. (2)).

$$RI = E\{D\} \approx \sum_{i=1}^n D_i \left(\frac{P_i + P_{i+1}}{2} \right) |P_i - P_{i+1}| \quad \text{Equation (2)}$$

Eq. (2) with:

- RI* Risk
- E{D}* damage expectation
- i* scenario number
- n* number of scenarios
- D* damage
- D_i* damage scenario
- P* probability

P_i scenario probability

3.4 Quantification of risk change drivers

For the separation and quantification of the contribution of risk influencing factors to overall risk change, the risk influencing parameters (flood hazard associated with climate change, land-use, building values) were changed one-at-a-time. This resulted in three single-driver scenarios, which were compared to the reference scenario.

4. Results

4.1 Flood hazard

The peak discharges of the synthetic events are presented in Table V.2 and correspond to the recurrence intervals of $T = 2$ (S1), 5 (S2), 10 (S3), 20 (S4), 50 (S5), 100 (S6), 200 (S7), 500 (S8), 1000 (S9) years for Golzern 1 in 2000. Recurrence intervals for other points in time vary (see Figure V.6). Modelled discharges at Bad Döben are smaller for the same scenarios because constant volumes are routed downstream and the hydrographs experience attenuation (Table V.2).

Table V.2: Discharges and flooded area for inundation scenarios S1 to S9

Scenario	Discharge [m ³ /s]		Inundated area [km ²] (Golzern 1 to Dessau- Muldebrücke)
	Golzern 1	Bad Döben	
S1	352	324	127
S2	569	515	151
S3	725	659	162
S4	881	802	169
S5	1090	984	178
S6	1251	1118	184
S7	1418	1230	189
S8	1650	1371	194
S9	1842	1462	197

Figure V.6 shows the changes of return periods with time for all selected scenarios. The change in time was computed in 10-yr slices as shown in Figure V.3.

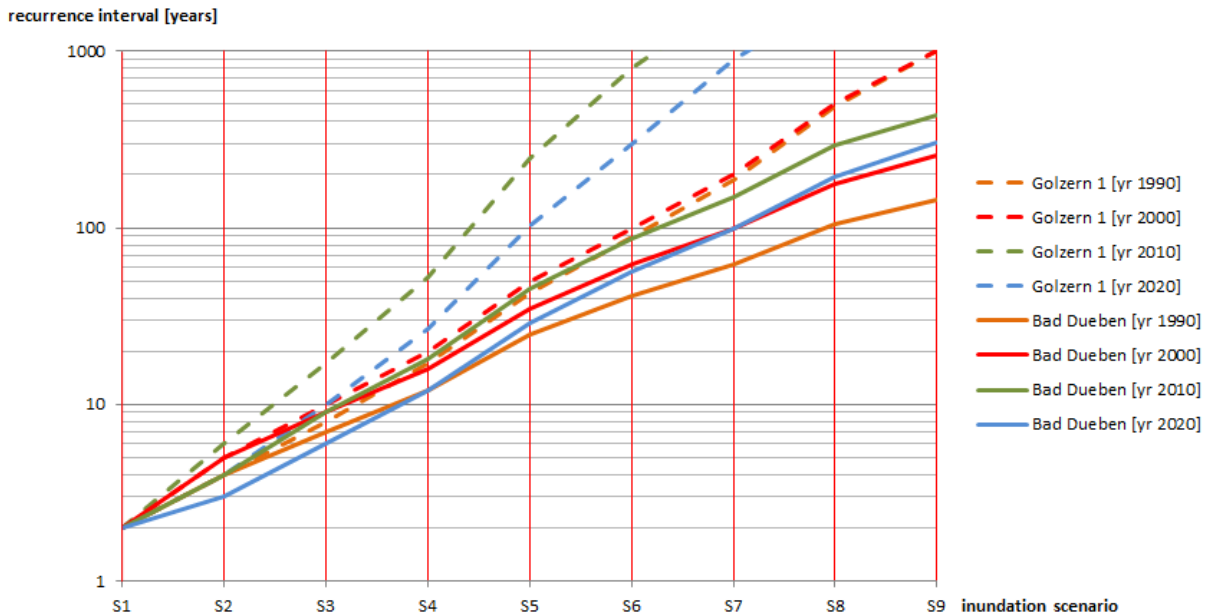


Figure V.6: Recurrence intervals for inundation scenarios at gauges Golzern 1, Bad Düben

The dotted lines give recurrence intervals for Golzern 1, the solid lines for Bad Düben. The calculated flood probabilities show no constant increase or decrease. For the different points in time, flood hazard ranks differently, e.g. the probability of a S2 scenario discharge at the Bad Düben gauge is highest in 2020 and lowest in 2000, while for the S9 scenario discharge the probability ranking is 1990 – 2000 – 2020 – 2010. Single extreme events (e.g. events in the 1950s which are included in the hazard estimation for 1990 but not for 2000) have a dominant influence on hazard estimation and, for short periods of time, will exceed the influence of long term developments. Hence, it might be better to speak of (natural) climate driven hazard variability than hazard change.

Recurrence interval is used as a damage influencing factor in damage modelling. For this purpose, the recurrence intervals are classified (class 1: 1 to 9 yr; class 2: 10 to 99 yr; class 3: ≥ 100 yr), and each gauge catchment in each scenario at every point in time is assigned to one of the three classes (e.g. for 1990, the catchment area of Bad Düben in scenario S9 is assigned to recurrence interval class 3; see Figure V.6). Between time steps there are only a few changes in recurrence interval class.

4.2 Exposure

Residential land-use corresponding to the CLC classes 111 and 112 covered 7.9% of the study area in 1990 and 8.4% in 2000 and shows further increase in the projections for 2010 and 2020. The share of residential land-use is given in Table V.3 for 1990, 2000 and the extreme projections B2⁺ and A1⁰ for 2010 and 2020.

Table V.3: Development of residential land-use 1990 to 2020

Residential Land-Use	1990	2000	2010		2020	
			B2 ⁺	A1 ⁰	B2 ⁺	A1 ⁰
% of total area	7,9	8,4	8,5	8,7	8,7	9,1
% of 2000	94,2	100	101,5	103,8	103,2	108,0

While urban sprawl slows down after 2000, this decrease is twice as high for the “Differentiation scenario” with much stricter land-use policy (B2⁺) than for the “Globalisation scenario” with weak spatial planning policy (A1⁰).

Effective building values are adjusted for the different points in time by applying the BPI construction price index (DESTATIS 2010b) and the VPI consumer price index (DESTATIS 2012). The BPI and VPI development over the past 20 yr can be seen in Figure V.7.

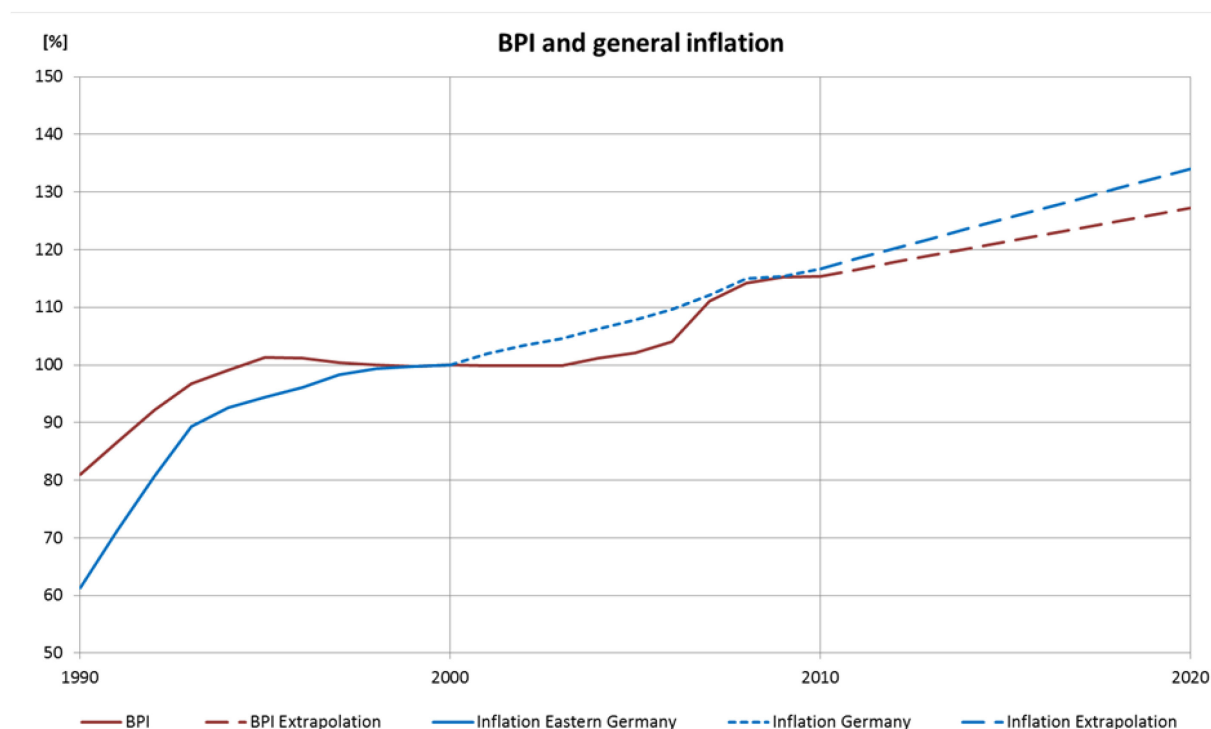


Figure V.7: Construction prices (BPI) and general inflation (VPI) - development and extrapolation to 2020 (base year 2000=100%)

BPI shows periods of stagnation (1995 to 2003) and rapid growth (up to 8% p.a. – 2007). Overall, there is a positive linear trend that is extrapolated to 2020. The increase of consumer prices in Germany since 2000 is nearly constant and the linear trend for this time span is extrapolated to 2020. Consumer prices for Eastern Germany show a similar pattern from 1994 to 2000. From 1990 to 1993 there is a steep rise in consumer prices following the German

reunification. This increase substantially exceeds the rise of building construction costs and thus results in a decrease of effective building values. Effective as well as constant asset values are used in the form of raster maps as input for flood damage modelling.

The composition of the building stock is closely related to land-use change patterns. Urban sprawl is the dominant process of residential development in the Mulde basin (Hoymann 2010). This is consistent as new buildings are nearly exclusively of the single-family home type. Figure V.8 shows the development of building stock composition in the study area. Each axis of the diagram gives the share of the respective residential building type, summing up to 100% (in a clockwise direction). Every red arrow represents one municipality in the study area, stating the direction and magnitude of the development from 1990 to 2020. Cluster centres for all German municipalities for the year 2000 are marked by crosses named C1 – C5. The building type clusters can be characterised as:

- C1 dominated by multi-family homes
- C2 mixed (high share of multi-family homes)
- C3 mixed (high share of detached and semi-detached homes)
- C4 mixed (high share of single-family homes)
- C5 dominated by single-family homes

A clear cluster affiliation for each municipality in the study area at every point in time is performed by minimizing the distance to the next cluster centre.

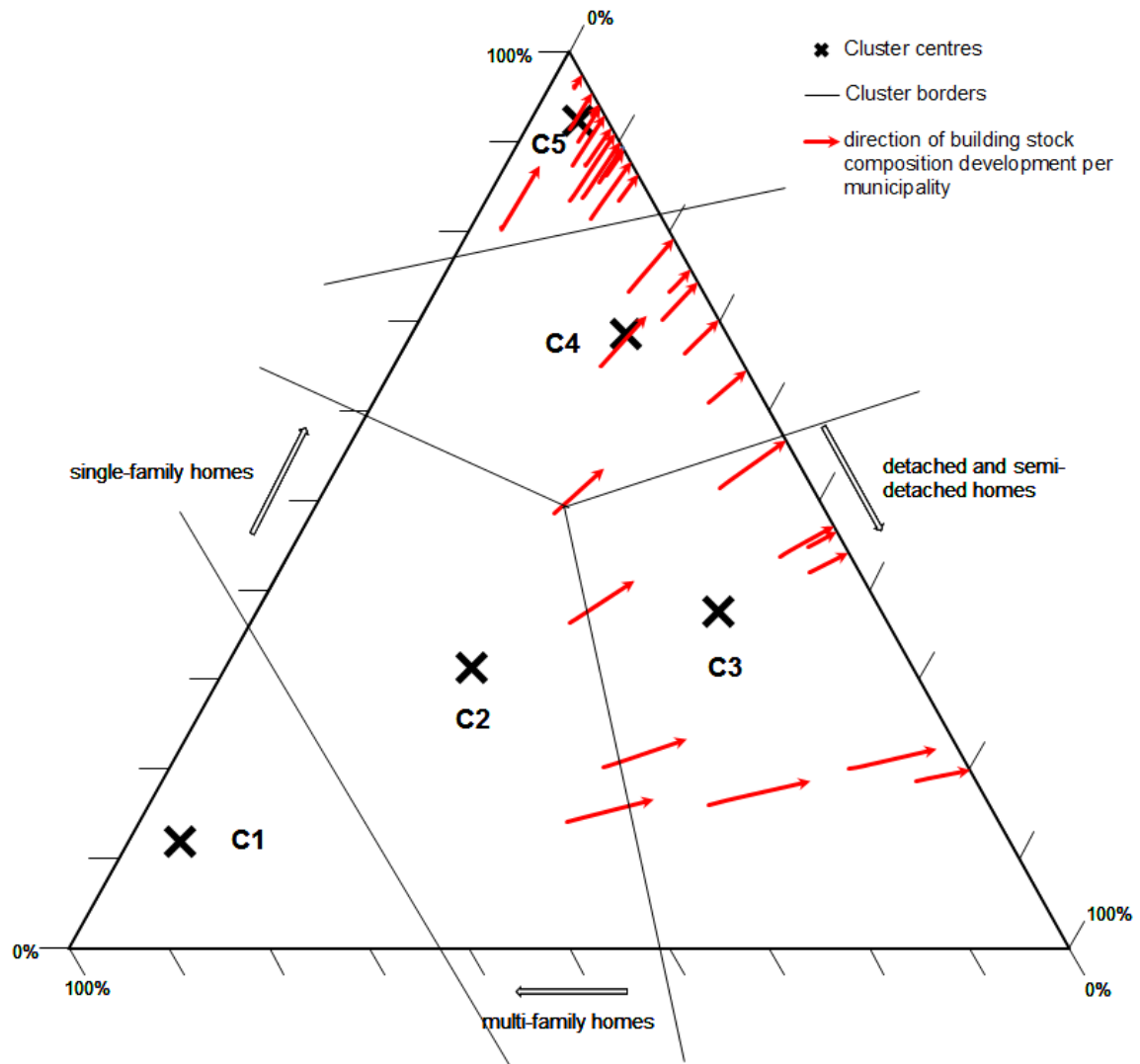


Figure V.8: Development of building type composition in the study area 1990 to 2020

For all municipalities, regardless of original cluster membership, the share of single-family homes is rising while the percentage of multi-family homes drops. Shares of detached and semi-detached homes show a slight increase in most and a remarkable increase in some (C2, C3) municipalities.

4.3 Flood damage and flood risk

The maximum estimated flood damage for residential buildings in the study area for the most extreme inundation scenario (S9) is 366.6 million € using constant values (A1⁰ land-use scenario in 2020, Figure V.9a) and 477.8 million € (1990, prices as of 2000) using effective values (Figure V.9b). Damage estimations for the (high probability) inundation scenario S2 are one order of magnitude smaller (see Figure V.9).

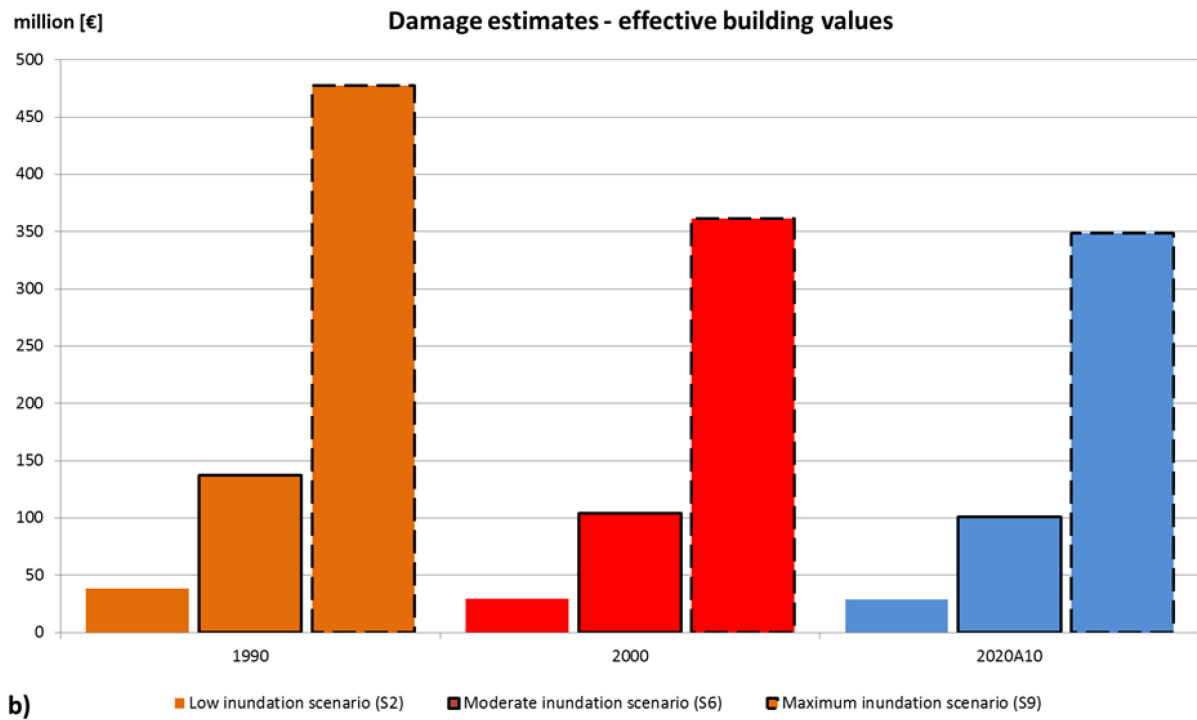
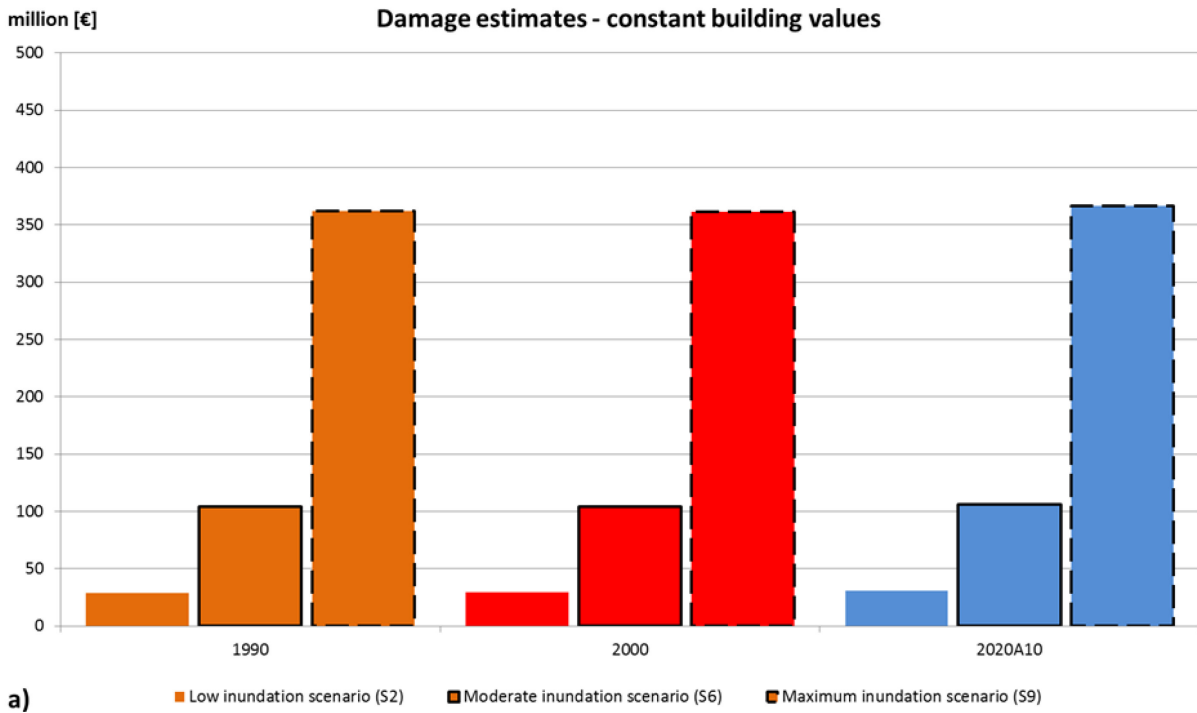


Figure V.9: Estimated damage using a) constant building values and b) effective building values for selected inundation scenarios

While the estimated damage for the study area varies by more than an order of magnitude depending on the inundation scenario, the relative change of damage over time is nearly constant for all inundation scenarios (constant values, Figure V.9a). The picture is different when effective building values are used: While the changes from 2000 to 2020 (A1⁰ scenario

conditions) are relatively small, damage estimates for 1990 are more than 30% higher than for 2000 with only minor differences between scenarios. Other scenario conditions (A1⁺, B2⁰, B2⁺) result in similar differences of estimated damage from 2000 to 2020.

The integration of the risk curve over damage estimates for all return periods results in estimations of EAD. Changes in EAD with time (Figure V.10) show an increase from 2000 to 2020 for all scenarios and constant as well as effective values. EAD development from 1990 to 2000 shows decreasing risk for constant (from 21.8 million € to 19.7 million €) as well as for effective values (28.8 million € to 19.7 million €). This huge decrease when using effective values can be attributed to the steep rise of general inflation after 1990 and should be seen as an exceptional economic situation in the historical context.

Different land-use scenarios result in maximum differences of EAD between scenarios of 0.2 million € (or 1%) for 2010 and 0.7 million € (approximately 4%) for 2020.

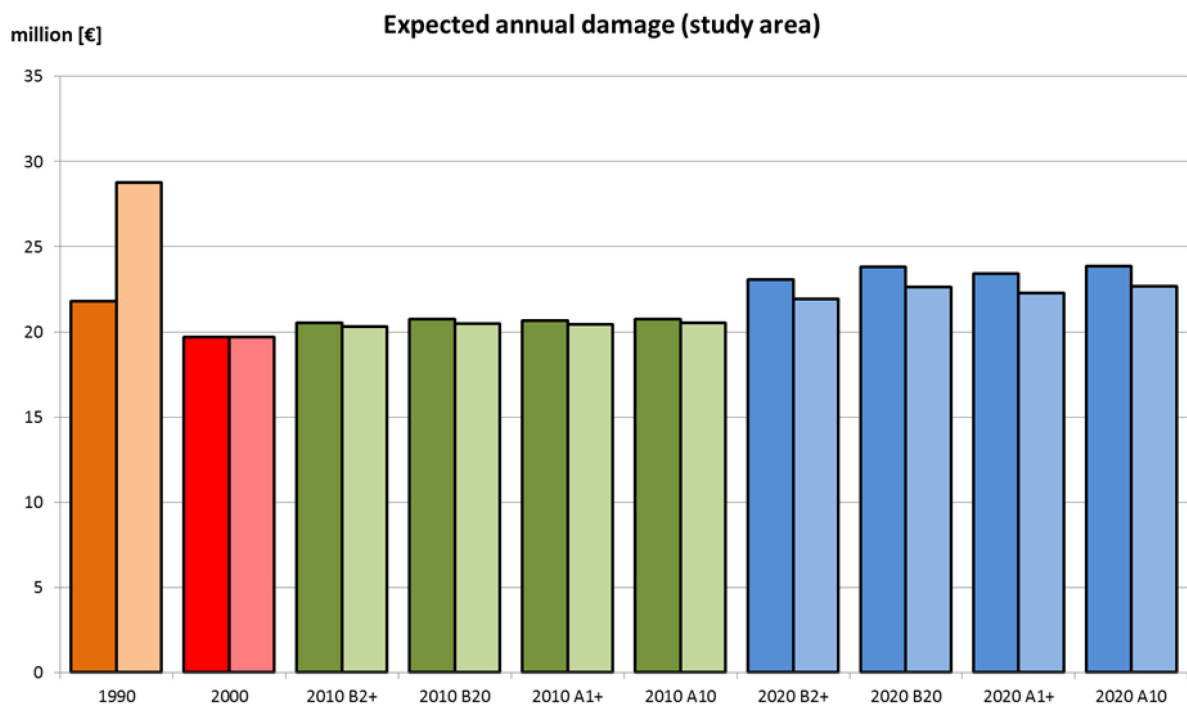


Figure V.10: Flood risk (EAD) development for the study area 1990 to 2020. Dark colours indicate the use of constant, light colours the use of effective values

A closer look at the results of the municipality level reveals that the spatial variability of risk in the study area is quite high. It becomes evident that the major cities of Dessau and Eilenburg contribute $\frac{2}{3}$ to the total EAD as of 2000. The share distribution shown in Figure V.11 is characteristic for all points in time, which is explained by relatively homogeneous land-use and building stock development.

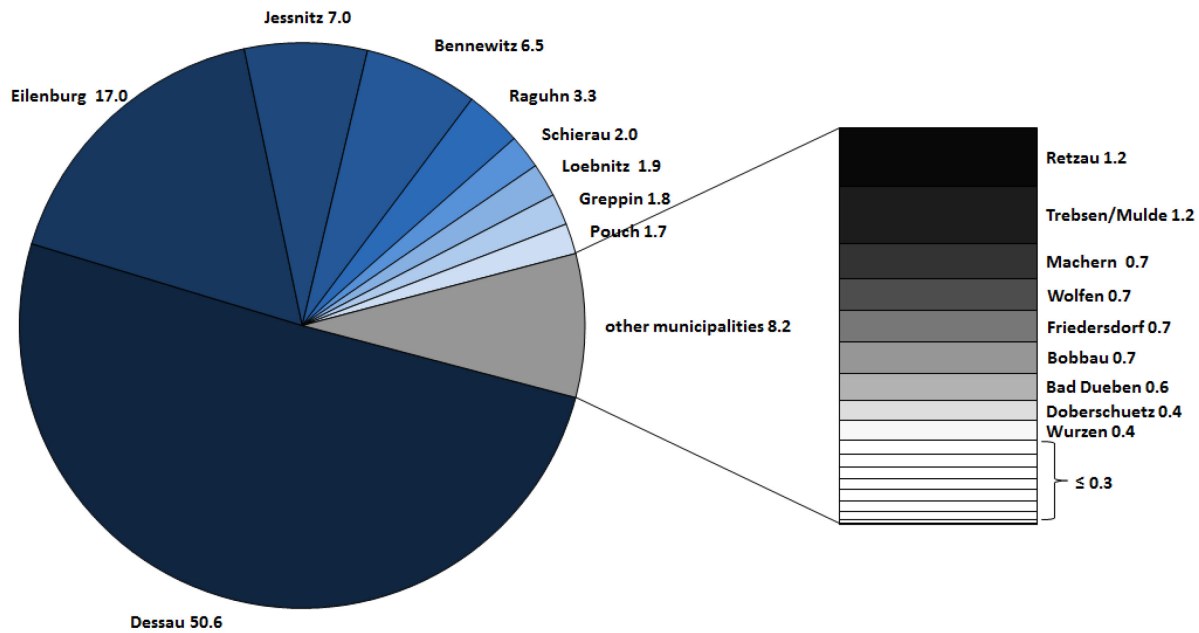


Figure V.11: Contribution of different municipalities to study area EAD as of 2000

Small to moderate events with recurrence intervals of up to 20 yr dominate risk expectation as exemplified in Figure V.12 for the year 2000. This result is in accordance with earlier studies by Merz and others (Merz 2006, Merz et al. 2010a, Merz and Gocht 2001). It is important to keep in mind that flood protection is omitted in this study. The insertion of protection targets would erase damage caused by floods smaller than the design flood and hence influence the contribution share of events of different magnitude.

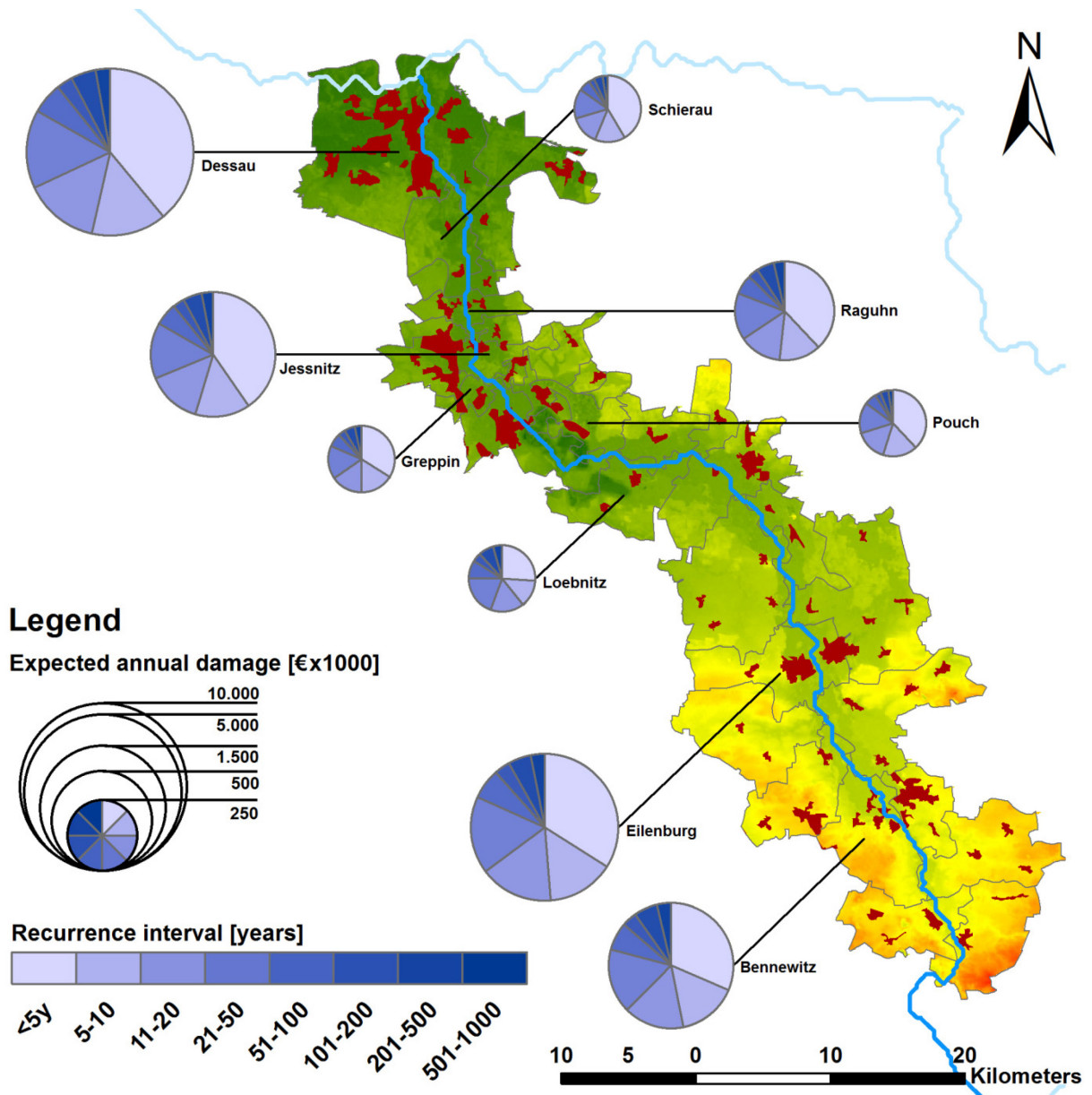


Figure V.12: Contribution of event magnitude to EAD in 2000 for the most affected municipalities

On the municipality level, relative risk changes over time vary greatly. Small scale developments, e.g. in land-use change have significant influence and can lead to strong changes in EAD. Still, the risk change over time in the entire study area is dominated by and hence very similar to the development in the large municipalities.

4.4 Quantification of risk change drivers

Estimating damage and risk in monetary values without adjusting them to a given reference year would give the reconstruction costs – the financial damage – at the time when the damage is realized or the risk is accounted for. But in this concept, inflation is not externalised and thus risk comparisons over time are biased. This can be avoided by using constant values (per unit of area). In this study, constant year 2000 values per m² were used

for all points in time. Nevertheless, construction price development can differ from general inflation and hence, an effective change of building values with time is possible. To consider the influence of these inherent value changes as a driver of flood risk, we adjust year 2000 values to 1990, 2010 and 2020 prices by applying the BPI and correct the results for general inflation (VPI). Consequently, the monetary results (damage/risk estimations) are given in € at the prices of the base year 2000. The effective value of residential buildings in the study area decreased rapidly after the introduction of the “Deutsche Mark” in Eastern Germany in 1990 due to special economic effects: The harmonisation of consumer prices in both parts of Germany resulted in high inflation rates in Eastern Germany until 1993. The increase of building construction prices was much smaller in these years. Since the mid-1990s, the volatility of the BPI was still higher than that of general inflation but both show similar trend behaviour (see Figure V.7).

Very few areas changed from residential use to other land-use types in the time frame of our study. All significant changes were settlement expansions, predominantly into prior agricultural areas. This expansion is a highly homogenous process. Demand and supply of living space changed abruptly in 1989/1990 in Eastern Germany and since then, single-family houses make up more than 90% of new residential buildings in the study area. As the FLEMOps+r damage model considers differences in relative damage due to building types, the relation between land-use increase and increase of (estimated) damage is not linear.

The moving window approach to derive gauge specific flood hazard and its change by applying extreme value analyses and the fact that no significant trends are detected for extreme discharges in the study area is reflected in the hazard specific risk estimates: There is no steady increase with time.

Table V.4: Overall risk change compared to single parameter risk change for the study area

Year/ Scenario	Expected annual damage				
	Hazard	Land-use and building type	All (constant values)	Effective building value	All (effective building value included)
1990	21.897.442 €	15.848.608 €	21.788.503 €	26.009.414 €	28.781.278 €
	111 %	80 %	111 %	132 %	146 %
2000	19.690.098 €	19.690.098 €	19.690.098 €	19.690.098 €	19.690.098 €
	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
2010 A10	20.443.715 €	23.074.321 €	20.754.312 €	19.467.214 €	20.523.674 €
	104 %	117 %	105 %	99 %	104 %
2010 A1+	20.443.715 €	22.981.878 €	20.673.118 €	19.467.214 €	20.443.381 €
	104 %	117 %	105 %	99 %	104 %
2010 B20	20.443.715 €	23.054.057 €	20.734.970 €	19.467.214 €	20.504.546 €
	104 %	117 %	105 %	99 %	104 %
2010 B2+	20.443.715 €	22.846.038 €	20.550.287 €	19.467.214 €	20.321.916 €
	104 %	116 %	104 %	99 %	103 %
2020 A10	23.113.710 €	25.922.105 €	23.841.090 €	18.713.324 €	22.658.396 €
	117 %	132 %	121 %	95 %	115 %
2020 A1+	23.113.710 €	25.453.723 €	23.436.873 €	18.713.324 €	22.274.231 €
	117 %	129 %	119 %	95 %	113 %
2020 B20	23.113.710 €	25.901.276 €	23.817.529 €	18.713.324 €	22.636.004 €
	117 %	132 %	121 %	95 %	115 %
2020 B2+	23.113.710 €	25.051.534 €	23.069.287 €	18.713.324 €	21.924.880 €
	117 %	127 %	117 %	95 %	111 %

The separation of influences on overall risk change shows major differences in the contribution of the three drivers to risk increase (Table V.4). Based only on the development of effective values, risk in 1990 is 132% of the risk in 2000. The further decrease is small: Starting in 2000, the decrease is 1% to 2010 and 5% to 2020 for our test case.

Climate induced hazard change leads to changes in damage risk of 17% maximum from 2000 to 2020. But the hazard shows strong fluctuations. As stated before, climate change and flood hazard change analyses from earlier studies showed no or minor changes for the region and these findings are affirmed here. Hence, the influence of climate change on risk development cannot be interpreted for this region, but the flood hazard fluctuations give an impression of the magnitude of the influence of climate – or better flooding – variability.

The third type of development considered in this analysis was changes in land-use and building stock composition. With this parameter as single influence risk in 2000 is 20% higher than 1990 and increases by a maximum of 32% (A1⁰-scenario) from 2000 to 2020. This parameter can be influenced by regional and national (land-use) policies. The maximum risk increase of 21% (constant values) or 15% (effective values) can be lowered by up to 4 percentage points (2000 to 2020) when applying strict regulations to the development of residential areas (+-scenarios).

5. Conclusions

In this study we established a flood risk chain from climate influences on meteorology over hydrological and hydraulic modelling to damage and risk estimations, using measured data and state-of-the-art modelling approaches. The results show high flood risk in the area and an increase of this risk for residential buildings from 2000 to 2020. When using constant building values, a slight decrease of flood risk is found from 1990 to 2000 that can be attributed to a decrease in the flood hazard. Based on effective values, there is a distinct reduction of EAD for this time frame.

The spatial risk distribution and the risk contribution of events of different probability show that risk for the study area is dominated by the residential areas of the major cities. Frequent events with recurrence intervals up to approximately 50 yr cause more than 80% of the annually expected damage.

Attribution of risk changes to single drivers showed that the expansion of residential areas is the main driver of flood risk in the study area. Consequently, the potential influence of local and regional land-use policies is substantial and could contribute significantly to short-term and/or medium-term risk mitigation: As for land-use scenarios that assume strict land-use policies (+-scenarios), the risk increase is considerably limited.

Climate induced flood hazard change is also an important but not a dominant factor of risk change in the study area. However, for a detailed analysis of hazard change, the study period might be quite short, and in the long term, global warming might change the flood regime in northeastern Germany in a way not accounted for in our analysis.

The influence of effective value development must be interpreted with caution: The overall influence of effective value changes appears to be weak. Construction price and consumer price indexes show concurring trend behaviour since the mid-90s and differences can be explained by the higher volatility of construction prices as they are more influenced by economic cycles than general inflation. The distinct reduction of EAD from 1990 to 2000 is caused mainly by value changes. This is an effect of historically exceptional economic developments in Eastern Germany in the early 1990s. The benefit of using effective values in future research seems questionable, at least if damage (and building value) is defined as reconstruction costs, i.e. the cost approach is selected to value residential buildings. Using real estate market prices as building values, i.e. the sales comparison approach, might result in different recommendations.

Some more points should be accounted for in future research: Protection measures were not considered in this study due to a lack of data. Protection structures like dams reduce the influence of high-probability flood events on flood risk. This has implications for risk comparison. Flood hazard does not change evenly over time for the entire range of event probabilities (see Figure V.6). Relative risk change from time to time that considers the whole range of event probabilities is different from relative risk change when high probabilities are omitted. If available, such data should be included to make flood risk assessment more realistic. Official statistics will probably take a large step forward in data quality in terms of up-to-dateness and accuracy after the 2011 census in Germany. Current approaches and data sets (e.g. building stock) should be checked and updated accordingly. For the study period, our risk estimation concentrated on residential buildings as an indicator for flood risk. A comprehensive risk assessment should include all economic sectors. We used the best available data and models, but an ensemble approach would allow for better estimation of the inherent uncertainties of the model chain. Finally, expanding the approach to the macro-, i.e. national, scale would enable the calculation of trans-basin flood risk and hence the overall flood risk associated with large scale events.

Acknowledgements

The survey was undertaken and partly financed under the framework of CEDIM – Center for Disaster Management and Risk Reduction Technology. This work is a contribution to the "Helmholtz Climate Initiative REKLIM" (Regional Climate Change), a joint research project of the Helmholtz Association of German research centres (HGF).

We gratefully thank Sören Haubrock and Dung-Viet Nguyen for their help in model coupling and the automatisisation of the model chain. Janek Zimmer and Yeshewatesfa Hundecha supported us with climate data services and data processing.

Chapter VI:

Summary and main conclusions

The aim of this thesis was to add improvements to flood risk analysis. As stated in the introduction, we approach three areas of interest in this thesis where flood damage estimation and flood risk analysis show major gaps and shortcomings: Flood damage assessment, flood damage modelling and the associated uncertainties and the analysis of flood risk change and its drivers.

The standardisation of flood damage assessment is necessary to solve the lack of empirical flood damage data. We interviewed flood damage experts from science, insurance industry, engineering and public institutions to find answers to the core question “Which criteria form the minimum stock for comprehensive flood damage analysis?” and used the results to establish flood damage assessment standards for sectors that cover the vast majority of observed flood losses and a consistent data base of flood damage to residential buildings (HOWAS 21) based on these standards.

For the interviews we applied a scheme known as the Delphi technique. This interview scheme is mostly used in the humanities and social sciences. A Delphi-survey consists of multiple rounds and the results of the previous round are given as feedback to the participants. In Chapter II we tested the adequacy of this approach for the intended purpose of knowledge based standard development to ensure the validity of the standards.

The results reinstated that experts from different fields of employment belong to a common population and therefore damage data collection can be standardised based on common information needs. More experienced experts have stronger influence on the final results than less experienced experts thus enhancing the quality of the results. The Delphi-method proved to be very suitable for assessing expert knowledge in a structured way and for enhancing consensus. In the field of flood damage analysis it can be applied whenever valuable information are wide spread within the community and the “true” result is difficult or impossible to obtain. We showed that the Delphi-method is applicable not only for targeting “soft” topics (e.g. scenarios of future developments) but also in a field where experience-based knowledge guides the experts’ answers.

The identified “minimum assessment criteria” and a matching flood damage database are presented in Chapter III.

The establishment of clear cut catalogues of information items to assess after a flood event for the most important damage sectors i.e. residential buildings, commerce and industry, agriculture, public municipal infrastructure, transport infrastructure, flood defence and watercourses is the major achievement of the survey. For Germany, this was the first release of flood damage assessment standards. The catalogues are made operational for use in practice and for the general public in the form of flood damage data collection guidelines (Annex A). The guidelines also contain rules for measuring and assessing the information items that go beyond the survey results and are published in Thielen et al. (2010). For data

assessed according to the guidelines we developed a flood damage database to store and process damage cases for all relevant sectors. The HOWAS 21-database bridges the gap that arose when the original (state run) HOWAS-database was not continued. It is a complete redesign and uses different technical (relational data base, web-based), user (user groups with different access rights) and content-related (multi-source data, contains data sets that include indispensable key criteria) concepts. The database is operated by Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ and can be accessed online (<http://nadine.helmholtz-eos.de/HOWAS21.html>).

We recommend to expand the expert base to larger numbers of damage experts, especially for the damage sectors (traffic infrastructure, municipal infrastructure, agriculture and forestry and waterways) with only few specialised experts, e.g. via transnational/European cooperation. Assessment standards can be further enhanced by comparing expert judgements from the Delphi-survey and the results of real world data analysis to better understand the experts' perception and response behaviour.

It remains a major challenge to establish a framework for the continuous assessment of flood damage. Damage assessment needs to become independent from occasional interest, temporary resources and assessment campaigns in order to retrieve an up-to-date data set that describes flood damage in Germany (or elsewhere) representatively. It requires permanent activities and resources to improve and maintain the outreach of the assessment guidelines, incite data exchange and centralized data storage and achieve the participation of the main players of the community.

In order to improve the understanding of flood damage generation and damage modelling we proceeded from research on the generation, provision and quality assurance of damage data to analysing such data sets.

Flood damage models are the main source of uncertainty in flood damage and subsequently flood risk estimation and thus the improvement of damage models has the highest potential for reducing estimation uncertainties. In Chapter IV we intended to further develop flood damage models and validate the improvements. The second research question asked for systematic and thereby quantifiable differences of damage extent in extreme and frequent flood events that cannot be explained by water level. And if there were any differences, we also wanted to know what direct damage influences cause these differences and how this can be accounted for in damage modelling.

We used 1308 damage cases to test the influence of different factors on flood damage extent, analyse the significance of event probability (in terms of recurrence interval) as damage influencing factor and develop methods to add this factor to simple stage-damage curves as well as advanced multi-parameter models. We compared the original and modified damage models and validated our results to ensure model quality.

Systematic differences in object-scale damage extent in events of different probability were affirmed and quantified: Building damage ratios rise with decreasing probability of the damaging flood event at the object location and this is not fully explained by inundation depth. Recurrence interval is among the parameters that show strongest correlation with damage extent. However, we could not clearly identify the direct damage influences “behind” flood probability: No single parameter or set of thematically related parameters is the dominant driver of the correlation of damage extent and event probability.

As a last step we conducted an error analysis on the results of our model validation that showed that including more damage influencing parameters in damage modelling improves the accuracy of the estimations if the intercorrelations of the model parameters are accounted for in the damage functions. The newly developed damage model FLEMOps+r (Flood Loss Estimation MOdel for the private sector + recurrence interval) that includes water level, building type and quality, flood water contamination, precaution and recurrence interval to estimate building damage, performed best in this analysis.

As we could proof the significant influence of flood probability on flood damage we conclude that a uniform damage function must not be applied to low probability and high probability flood events in damage estimations. The use of a damage model that accounts for event probability has direct implications for risk management decisions in terms of cost-benefit analysis: The tendency of underestimating negative consequences of extreme floods is decreased and hence, the weight of these events in risk analyses increases. On the other hand, the influence of long and mid-term hazard changes (e.g. climate induced changes in flood frequency and magnitude) is reduced to some degree: High magnitude events that become more frequent will have lower assigned damage under conditions of rising flood hazard while under conditions of reduced flood hazard, events of a certain magnitude become less probable and accordingly more damage prone.

FLEMOps+r is a multi-parameter damage model and from the validation results we conclude that models of this type are superior to pure stage-damage-functions and represent a balance between comprehensiveness and feasibility. Using recurrence interval as model parameter is a fairly inexpensive task in that it can be easily obtained from discharge time series. Therefore we see the inclusion of this parameter as an efficient way to improve damage estimations.

Another advance was the validation of the damage models. So far, this is infrequently exercised and not a standard procedure; but without this step reliable statements about model performance are impossible. We hence strongly recommend including validation as an integral part in the process of damage model development.

However, our central contribution to damage modelling is the enhancement of event-independent applicability of damage models. We supplement damage estimation with a new dimension on the event scale: Additionally to impact and resistance parameters we now

account for the heterogeneity of floods and flood characteristics in terms of different flood probabilities at various river reaches. The consideration of heterogeneity and thus the application of a respective model are also useful if multiple event scenarios are used to cover the whole range of possible event probabilities. The risk estimations are more realistic if the applied damage model considers this differentiation between the impact scenarios in a flood risk analysis.

In Chapter IV we concentrated on the improvement of damage models. Nevertheless, simplified damage models are not only responsible for huge estimation uncertainties but also hamper analyses aimed at identifying the reasons for risk changes because potential causes are not mirrored in the model parameters. So we applied the new multi-parameter damage model FLEMOps+r (see Chapter IV) to analyse risk change and the drivers responsible for this change in a case study that is presented in Chapter V “Drivers of flood risk change in residential areas”. The model is an integral part of the approach to answer research question three: “How can past, present and future flood risk be assessed and what are the drivers of flood risk change?” For this purpose we established a risk chain, i.e. a chain of input data and model results that are built on each other, starting with climate scenarios and land-use information to finally calculating risk in terms of damage expectation. This chain allowed us to analyse risk development and to separate the drivers behind this development.

The approach required the consideration of expertise from many fields to realise the flood risk chain. The combination of impact scenarios (e.g. land-use scenarios, inundation scenarios) from the different elements in the risk chain result in detailed and realistic flood risk scenarios that show risk, risk distribution and risk development in the study area.

We combined the results from the different input data sets and models in a variant of the FLEMOps+r model. Damage estimation was partly automated to perform large numbers of calculations. We transferred flood damage to flood risk by integrating sets of damage estimations based on inundation scenario sets with varying recurrence intervals. Manipulation of single damage influences helped to quantify the contribution of each parameter to flood risk change and hence the identification of the most important risk change drivers.

Our results show high and still growing flood risk in the study area. The expansion of residential areas into flood prone areas is the main driver and a steady source of residential flood risk increase. The influence of building value changes on risk change is generally small, when adjusted for inflation. Climate induced flood hazard change is not a dominant factor of risk increase in the study area. Consequently, the potential influence of local and regional land-use policies is remarkable and can contribute significantly to short-term or medium-term risk mitigation. We also conclude from the fact that risk estimates are very sensitive to changes in the hazard that the flood hazard is a powerful factor in flood risk change, but this does not materialise in the relatively short period of time surveyed in our study. Thus we

recommend extending the study period in risk surveys that focus on climate induced hazard change.

The model chain that has been developed in this study is scalable and applicable and can therefore be employed for further study areas or time frames. Using an ensemble approach, i.e. several models and input data scenarios in all modules of the risk chain will allow for better estimation of the inherent uncertainties of the model chain.

In our opinion, the use of residential building damage as risk indicator was appropriate for the following reasons: It is a relevant loss sector, the number of elements at risk is high and the distribution of these elements is closely linked to population distribution and the distribution of the elements at risk of other loss sectors (agriculture and, to a lesser degree, watercourses excepted). Due to the comparably high quality and quantity of available damage data we expected reasonable results. However, the final objective of comprehensive risk assessment requires including all economic sectors and the human dimensions of risk.

Furthermore we recommend expanding the approach to the macro-scale to enable the calculation of trans-basin flood risk for large scale events. Here, the bottleneck of inundation modelling is the most severe obstacle that must be overcome by the development of large scale hydraulic modelling or – during events – the derivation of inundation information from remote sensing data and digital elevation models. On the data side, updates and quality improvements in official statistics must be permanently observed and included in current approaches and data sets (e.g. building stock).

On-going research considers some of these points. Presently, a study on “Flood risk change in the Elbe basin” is conducted at the section Hydrology of Deutsches GeoForschungsZentrum for a larger area and a longer time period (until 2050). It is based on advanced hydraulic modelling results, a recalculation of the asset values and, wherever possible, by taking ensemble scenarios into account.

Finally I want to stress important points that emerged during the research presented in this thesis: Flood damage modelling is not as advanced as e.g. hazard assessment, but is well developed in comparison to damage modelling for other hazards. This is supported by the outcomes of international projects that review multi-hazard state of the art (e.g. MATRIX - New Multi-Hazard and Multi-Risk Assessment Methods for Europe, <http://matrix.gpi.kit.edu/>, ConHaz – Costs of Natural Hazards, <http://conhaz.org/>). Some of our works translate very well to other hazards: The assessment standardisation approach and centralised storage of damage data, the methodology for damage model derivation and - in the field of risk analysis - the consideration of the full chain of influences as exemplified in Chapter V all have the potential to trigger subsequent methodological improvements in other natural hazard areas with comparable time-space properties (e.g. the multi-risk study of Grünthal et al. (2006) for the city of Cologne).

My general impression is that data scarcity surpasses the influence of methodological developments. It is and remains the focal point that must be addressed to enhance the quality of risk analyses. This is confirmed by experiences regarding data availability - the review of damage data sources prior to conducting the expert's survey, the on-going difficulties to obtain and publish existing data the recurring challenge to organise damage data assessment following a flood -, and data analysis, where the number of data about damage cases repeatedly set limits to model developments. This point is neither new nor inventive but stresses the need of diligence work over fancy method developments.

References

- Apel, H., Aronica, G., Kreibich, H., and Thielen, A.: Flood risk analyses—how detailed do we need to be?, *Natural Hazards*, 49, 79-98, 2009.
- Apel, H., Thielen, A., Merz, B., and Blöschl, G.: A Probabilistic Modelling System for Assessing Flood Risks, *Natural Hazards*, 38, 79-100, 2006.
- Archer, D.R., Climent-Soler, D., and Holman, I.P.: Changes in discharge rise and fall rates applied to impact assessment of catchment land use, *Hydrology Research*, 41, 13-26, 2010.
- Baddeley, M.C., Curtis, A., Wood, R.: An introduction to prior information derived from probabilistic judgments: elicitation of knowledge, cognitive bias and herding. Geological Society, London, Special Publications, 239(1), 15-27, 2004.
- Barredo, J.I.: Normalised flood losses in Europe: 1970-2006, *Natural Hazards and Earth System Science*, 9, 97-104, 2009.
- Beurton, S., and Thielen, A.H.: Seasonality of floods in Germany, *Hydrological Sciences Journal - Journal des Sciences Hydrologiques*, 54, 62-76, 2009.
- Blong, R.: Damage: the truth but not the whole truth. *The Australian Journal of Emergency Management*, 13(4), 7-12, 1998.
- Blöschl, G., and Montanari, A.: Climate change impacts - throwing the dice?, *Hydrological Processes*, 24, 374-381, 2010.
- Bouwer, L.M., Bubeck, P., and Aerts, J.C.J.H.: Changes in future flood risk due to climate and development in a Dutch polder area, *Global Environmental Change*, 20, 463-471, 2010.
- Bronstert, A., Niehoff, D., and Burger, G.: Effects of climate and land-use change on storm runoff generation: present knowledge and modelling capabilities, *Hydrological Processes*, 16, 509-529, 2002.
- Büchle, B., Kreibich, H., Kron, A., Thielen, A., Ihringer, J., Oberle, P., Merz, B., and Nestmann, F.: Flood-risk mapping: contributions towards an enhanced assessment of

- extreme events and associated risks, *Natural Hazards and Earth System Science*, 6, 485-503, 2006.
- Bubeck, P., and Kreibich, H.: Natural Hazards: direct costs and losses due to the disruption of production processes, ConHaz Report WP01_2 3, 9/2011.
- Bubeck, P., de Moel, H., Bouwer, L.M., and Aerts, J.C.J.H.: How reliable are projections of future flood damage?, *Natural Hazards and Earth System Science*, 12, 3293-3306, 2011.
- Buck, W., and Merkel, U.: Auswertung der HOWAS-Schadendatenbank, (Analysis of the HOWAS data base), Institut für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik der Universität Karlsruhe, HY98/15, 1999.
- Buck, W., Kron, A., and Wetzel, A.: Nutzen-Kosten-Untersuchung für ein Sturmflutsperrwerk. "Was-wäre-wenn"-Untersuchung bei der Schadensermittlung für Hochwasserschutzmaßnahmen, *Korrespondenz Wasserwirtschaft*, 1, 252-259, 2008.
- Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG): Das Hochwasser der Elbe im Frühjahr 2006, Bericht BFG-1514, 2006.
- Changnon, S.A.: Shifting economic impacts from weather extremes in the United States: A result of societal changes, not global warming. *Natural Hazards*, 29(2), 273-290, 2003.
- Curtis, A., Wood, R.: Optimal elicitation of probabilistic information from experts. *Geological Society, London, Special Publications*, 239(1), 127-145, 2004.
- De Moel, H., and Aerts, J.C.J.H.: Quantifying and attributing uncertainty in flood damage estimates, in: *Geophysical Research Abstracts*, EGU General Assembly, 20th-24th April 2009, Vienna, Austria, 2009.
- De Roo, A., Schmuck, G., Perdigao, V., and Thielen, J.: The influence of historic land use changes and future planned land use scenarios on floods in the Oder catchment, *Physics and Chemistry of the Earth*, 28, 1291-1300, 2003.
- Deutsches Klimarechenzentrum (DKRZ): Climate Simulation with CLM, Scenario A1B run no.2, Data Stream 3: European region (CLM_A1B_2_D3). CLM regional climate model runs forced by the global IPCC scenario runs

(archive.dkrz.de:/ut/k/k204095/prism/experiments/A1B_2). Creation date: 09/11/2006, 2006.

Deutsches Klimarechenzentrum (DKRZ): Climate Simulation with CLM, Climate of the 20th Century run no.2, Data Stream 3: European region (CLM_C20_2_D3). CLM regional climate model runs forced by the global IPCC scenario runs (archive.dkrz.de:/ut/k/k204095/prism/experiments/C20_2). Creation date: 29/01/2007, 2007.

Dietz, H.: Wohngebäudeversicherung. Kommentar, 2nd edition, VVW Verlag Versicherungswirtschaft GmbH, Karlsruhe, 756 pp., 1999.

Dilley, M., Chen, R.S., Deichmann, U., Lerner-Lam, A.L., Arnold, M., Agwe, J., Buys, P., Kjedstad, O., Lyon, B., and Yetman, G.: Natural Disaster Hotspots: A global risk analysis. Colombia University, Synthesis Report, World Bank, 2005.

Douben, N., and Ratnayake, R.: Characteristic data on river floods and flooding; facts and figures, in: Floods, from Defence to Management, edited by: van Beek, E., Taal, M., and van Alphen, J., Taylor & Francis, London, 2006.

Downton, M.W., and Pielke, R.A.: How Accurate are Disaster Loss Data? The Case of U.S. Flood Damage. *Natural Hazards*, 35(2), 211-228, 2005.

Duan, Q.Y., Gupta, V.K., and Sorooshian, S.: Shuffled complex evolution approach for effective and efficient global minimization, *Journal of Optimization Theory and Applications*, 76, 501-521, 1993.

Duan, Q.Y., Sorooshian, S., and Gupta, V.: Effective and efficient global optimization for conceptual rainfall-runoff models, *Water Resources Research*, 28, 1015-1031, 1992.

Duan, Q.Y., Sorooshian, S., and Gupta, V.K.: Optimal use of the SCE-UA global optimization method for calibrating watershed models, *Journal of Hydrology*, 158, 265-284, 1994.

Egli, T.: Hochwasservorsorge. Maßnahmen und ihre Wirksamkeit, IKSBR Broschüren, edited by: Internationale Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR), Koblenz, 50 pp., 2002.

Elmer, F., Kreibich, H., Seifert, I., and Thielen, A.H.: A Delphi-method expert survey to derive standards for flood damage data collection, *Risk Analysis*, 30, 107-124, 2010a.

- Elmer, F., Thielen, A.H., Pech, I., and Kreibich, H.: Influence of flood frequency on residential building losses, *Natural Hazards and Earth System Science*, 10, 2145-2159, 2010b.
- Emergency Management Australia (E.M.A.): Disaster loss assessment guidelines, Australian Emergency Manuals Series, Guidelines Guide 11, Emergency Management Australia, Brisbane/Canberra, 90 pp., 2003.
- Engel, H.: The flood event 2002 in the Elbe river basin. Causes of the flood, its course, statistical assessment and flood damages, *Houille Blanche-Revue Internationale De L Eau*, 6, 33-36, 2004.
- ESTG (Einkommenssteuergesetz) in der Fassung der Bekanntmachung vom 19. Oktober 2002 (BGBl. I S. 4210; 20003 I S. 179), zuletzt geändert durch Artikel 90 des Gesetzes vom 17. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2586 mWv 1.9.2009), 2008.
- Feyen, L., Barredo, J.I., and Dankers, R.: Implications of global warming and urban land use change on flooding in Europe, in: *Water and Urban Development Paradigms - Towards an Integration of Engineering, Design and Management Approaches*, edited by: Feyen, J., Shannon, K., and Neville, M., Crc Press-Taylor & Francis Group, Boca Raton, 217-225, 2009.
- Feyen, L., Dankers, R., Bódis, K., Salamon, P., and Barredo, J.I.: Fluvial flood risk in Europe in present and future climates, *Climatic Change*, 112(1), 47-62, 2012.
- Gisholt, O.: *Marketing-Prognosen unter besonderer Berücksichtigung der Delphi-Methode*. Bern, Switzerland, Verlag Paul Haupt, 1976.
- Globalpark GmbH: *Handbuch umfragecenter 4.0*, 2006. Available at: <http://www.unipark.de>, Accessed on August 11, 2006.
- Graham, D.J., and Midgley, N.G.: Graphical representation of particle shape using triangular diagrams: an Excel spreadsheet method, *Earth Surface Processes and Landforms*, 25(13), 1473-1477, 2000.

- Grünthal, G., Thieken, A.H., Schwarz, J., Radtke, K.S., Smolka, A., and Merz, B.: Comparative risk assessments for the city of Cologne – storms, floods, earthquakes, *Natural Hazards*, 38, 21-44, 2006.
- Guha-Sapir, D., and Below, R.: The quality and accuracy of disaster data: A comparative analyses of 3 global data sets. Brussels: Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, Working paper prepared for the Disaster Management facility, World Bank, ID n°191, 2002.
- Günther, W., and Schmidtke, R.F.: Hochwasserschadensanalysen - Pilotuntersuchung über das Inn-Hochwasser im August 1985, *WasserWirtschaft*, 78, 61-68, 1988.
- Haase, D., Weichel, T., and Volk, M.: Approaches towards the analysis and assessment of the disastrous floods in Germany in August 2002 and consequences for land use and retention areas, in: Vaishar, A., Zapletalova, J., Munzar, J. (eds): *Regional Geography and its Applications*, proceedings of the 5th Moravian Geographical Conference CONGEO'03, 51-59, 2003.
- Häder, M., and Häder, S.: Neuere Entwicklungen in der Delphi-Methode. Literaturbericht II. Mannheim, Germany: ZUMA-Arbeitsbericht 98/05, 1998.
- Häder, M.: *Delphi-Befragungen. Ein Arbeitsbuch*. Wiesbaden, Germany: Westdeutscher Verlag GmbH, 2002.
- Hall, J.W., Evans, E.P., Penning-Rowsell, E.C., Sayers, P.B., Thorne, C.R., and Saul, A.J.: Quantified scenarios analysis of drivers and impacts of changing flood risk in England and Wales: 2030-2100, *Global Environmental Change Part B: Environmental Hazards*, 5, 51-65, 2003.
- Handmer, J., Abrahams, J., Betts, R., and Dawson, M.: Towards a consistent approach to disaster loss assessment across Australia. *The Australian Journal of Emergency Management*, 20(1), 10-18, 2005.
- Hartje, V., et al.: Regionalisierung der Szenarioanalyse (der Antriebskräfte und des Nutzungsdruckes) des globalen Wandels für die Wasserwirtschaft, in: *Wirkungen des globalen Wandels auf den Wasserkreislauf im Elbegebiet - Risiken und Optionen*, Schlussbericht zum BMBF-Vorhaben GLOWA-Elbe II, Kapitel 2, 2008.

- Hattermann, F.F.: Integrated Modelling of Global Change Impacts in the German Elbe River Basin, doctor rerum naturalium (Dr. rer. nat.), Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät, Universität Potsdam, Potsdam, 218 pp., 2005.
- Hilferink, M., and Rietveld, P.: Land Use Scanner: an integrated GIS-based model for long term projections of land use in urban and rural areas, Tinbergen Institute discussion paper TI 98-108/3, TI 98, 22, 1998.
- Horritt, M.S. and Bates, P.D.: Evaluation of 1D and 2D numerical models for predicting river flood inundation, *Journal of Hydrology*, 268, 87-99, 2002.
- Horritt, M.S. and Bates, P.D.: Predicting floodplain inundation: raster-based modeling versus finite element approach, *Hydrological Processes*, 15, 825-842, 2001.
- Hoymann, J.: Accelerating urban sprawl in depopulating regions: a scenario analysis for the Elbe River Basin, *Regional Environmental Change*, 11, 73-86, 2011.
- Hoymann, J.: Land Use Scanner, *GIS Business*, 4, 34-37, 2008.
- Hoymann, J.: Spatial allocation of future residential land use in the Elbe River Basin, *Environment and Planning B: Planning and Design*, 37, 911-928, 2010.
- Hübl, J., Kienholz, H., and Loipersberger, A. (eds.): DOMODIS - Documentation of Mountain Disasters – State of Discussion in the European Mountain Areas, Klagenfurt, Interpraevent, 2002.
- Hydrotec: Hochwasser-Aktionsplan Lippe. Grundlagen, Überflutungsgebiete, Schadenspotenzial, Defizite und Maßnahmen, Band I: Bericht und Karten, Staatliches Umweltamt Lippstadt, Aachen, 154 pp., 2002.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): Summary for Policymakers: Emissions Scenarios, IPCC SPECIAL REPORT, 2000.
- International Commission for the Protection of the Rhine (ICPR): Atlas of flood danger and potential damage due to extreme floods of the Rhine, edited by: ICPR, Koblenz, 2001.
- Jonkman, S.N.: Global Perspectives on Loss of Human Life Caused by Floods, *Natural Hazards*, 34, 151-175, 2005.

- Keeney, S., Hasson, F., and McKenna, H.: A critical review of the Delphi technique as a research methodology for nursing. *International Journal of Nursing Studies*, 38, 195-200, 2001.
- Keil, M., Kiefl, R., and Strunz, G.: CORINE Land Cover 2000 – Europaweit harmonisierte Aktualisierung der Landnutzungsdaten für Deutschland, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum, Oberpfaffenhofen, Abschlussbericht zum F+E Vorhaben UBA FKZ 201 12 209 UBA - FB 000 826, 83, 2005.
- Kerr, R.A.: Risk Assessment: A New Way to Ask the Experts: Rating Radioactive Waste Risks, *Science*, 274, 913-914, 1996.
- Kiefer, W.: Ermittlung von Hochwasserschäden, *Wasser und Boden*, 10, 1976.
- Kleeberg, H.-B. (ed.): Hochwasser-Gefahrenkarten. Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, 8, 2005.
- Kleist, L., Thielen, A.H., Köhler, P., Müller, M., Seifert, I., Borst, D., and Werner, U.: Estimation of the regional stock of residential buildings as a basis for a comparative risk assessment in Germany, *Natural Hazards and Earth System Science*, 6, 541-552, 2006.
- Kreibich, H., and Thielen, A.H.: Assessment of damage caused by high groundwater inundation, *Water Resources Research*, 44, 2008.
- Kreibich, H., Müller, M., Thielen, A.H., and Merz, B.: Flood precaution of companies and their ability to cope with the flood in August 2002 in Saxony, Germany, *Water Resources Research*, 43, 2007.
- Kreibich, H., Seifert, I., Merz, B., and Thielen, A.H.: Development of FLEMOcs - A new model for the estimation of flood losses in the commercial sector, *Hydrological sciences journal*, 55, 1302-1314, 2010.
- Kreibich, H., Thielen, A.H., Petrow, T., Müller, M., and 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 Science*, 5, 117-126, 2005.
- Krysanova, V., Muller-Wohlfeil, D.I., and Becker, A.: Development and test of a spatially distributed hydrological water quality model for mesoscale watersheds, *Ecological Modelling*, 106, 261-289, 1998.
- Krysanova, V., Wechsung, F., Arnold, J.G., Srinivasan, R., and Williams, J.: SWIM (Soil and Water Integrated Model), User Manual, 239pp., 2000.
- Kubal, C., Haase, D., Meyer, V., and Scheuer, S.: Integrated urban flood risk assessment - adapting a multicriteria approach to a city, *Natural Hazards and Earth System Science*, 9, 1881 - 1895, 2009.
- Kundzewicz, Z.W., Ulbrich, U., Brücher, T., Graczyk, D., Krüger, A., Leckebusch, G.C., Menzel, L., Pińskwar, I., Radziejewski, M., and Szwed, M.: Summer Floods in Central Europe – Climate Change Track?, *Natural Hazards*, 36, 165-189, 2005.
- Landesamt für Umwelt (LuG): Das August-Hochwasser 2002 im Muldegebiet - eine meteorologisch-hydrologische Analyse, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden, 172 pp., 2009.
- Meon, G., Merz, B., Buck, W., and Plate, E.: Auswertung von Hochwasserschäden im Main-Tauber-Kreis: Gebäude- und Inventarschäden. Endbericht an das Regierungspräsidium Karlsruhe Institut für Hydrologie und Wasserwirtschaft, Universität Karlsruhe, HY86/3, Karlsruhe, 1986.
- Merz, B., and Gocht, M.: Risikoanalyse Seckach/Kirnau. Teil II: Ermittlung von Schadenpotenzialen. Nutzen-Kosten-Analyse, Deutsches GeoForschungsZentrum Potsdam, 87 pp., 2001.
- Merz, B., and Thielen, A.: Flood risk curves and uncertainty bounds, *Natural Hazards*, 51, 437-458, 2009.
- Merz, B., Elmer, F., and Thielen, A.H.: Significance of "high probability/low damage" versus "low probability/high damage" flood events, *Natural Hazards and Earth System Science*, 9, 1033-1046, 2009.

References

- Merz, B., Hall, J., Disse, M., and Schumann, A.: Fluvial flood risk management in a changing world, *Natural Hazards and Earth System Science*, 10, 509-527, 2010.
- Merz, B., Kreibich, H., Schwarze, R., and Thielen, A.: Review article "Assessment of economic flood damage", *Natural Hazards and Earth System Science*, 10, 1697-1724, 2010.
- Merz, B., Kreibich, H., Thielen, A., and Schmidtke, R.: Estimation uncertainty of direct monetary flood damage to buildings, *Natural Hazards and Earth System Science*, 4, 153-163, 2004.
- Merz, B.: Hochwasserrisiken. Möglichkeiten und Grenzen der Risikoabschätzung, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 334 pp., 2006.
- Merz, R., and Blöschl, G.: A regional analysis of event runoff coefficients with respect to climate and catchment characteristics in Austria, *Water Resources Research*, 45, 2009.
- Meyer, V., Scheuer, S., and Haase, D.: A multicriteria approach for flood risk mapping exemplified at the Mulde river, Germany, *Natural Hazards*, 48, 17-39, 2009.
- Mileti, D.S.: *Disasters by design. A reassessment of natural hazards in the United States*, Joseph Henry Press, Washington, DC, 1999.
- Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft (MURL): *Potentielle Hochwasserschäden am Rhein in NRW*, Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf, 2000.
- Morgen, D.: *The Focus Group Guidebook*, SAGE Publications, Thousand Oaks, CA, 1998.
- Munich Re (ed.): *Highs and lows. Weather risks in central Europe*, Knowledge series, Munich, 2008.
- Munich Re: *Flooding and insurance*, Munich Re Group, Munich, 1997.
- Munich Re: *TOPICSgeo-natural catastrophes 2003*, Munich Re Group, Munich, 2004.
- Nash, J. E. and Sutcliffe, J. V.: River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles, *Journal of Hydrology*, 10, 282-290, 1970.

- National Research Council (ed.): The impacts of natural disasters: a framework for loss estimation, National Academy Press, Washington, DC, 1999.
- Okoli, C., and Pawlowski, S.: The Delphi method as a research tool: an example, design considerations and applications, *Information and Management*, 42, 15-29, 2004.
- Orr, H.G., and Carling, P.A.: Hydro-climatic and land use changes in the river lune catchment, North West England, implications for catchment management, *River Research and Applications*, 22, 239-255, 2006.
- Österle, H., Gerstengarbe, F.-W., and Werner, P.C.: Ein neuer meteorologischer Datensatz für Deutschland, 1951 – 2003, Potsdam Institut für Klimafolgenforschung e.V., Potsdam, 3pp., 2006.
- Penning-Rowsell, E.C., and Chatterton, J.B.: The Benefits of Flood Alleviation: A Manual of Assessment Techniques, Gower Publishing Company Limited, Aldershot, 297 pp., 1977.
- Penning-Rowsell, E.C., Johnson, C., Tunstall, S., Tapsell, S., Morris, J., Chatterton, J., and Green, C.: The Benefits of Flood and Coastal Risk Management: A Manual (and Handbook) of Assessment Techniques, known as The Multi-Coloured Handbook and Manual, edited by: FHRC, Middlesex University Press, Middlesex, 2005.
- Petrow, T., and Merz, B.: Trends in flood magnitude, frequency and seasonality in Germany in the period 1951-2002, *Journal of Hydrology*, 371, 129-141, 2009a.
- Petrow, T., Zimmer, J., and Merz, B.: Changes in the flood hazard in Germany through changing frequency and persistence of circulation patterns, *Natural Hazards and Earth System Science*, 9, 1409-1423, 2009b.
- Piani, C., Haerter, J., and Coppola, E.: Statistical bias correction for daily precipitation in regional climate models over Europe, *Theoretical and Applied Climatology*, 99, 187-192, 2010.
- Prudhomme, C., Wilby, R.L., Crooks, S., Kay, A.L., and Reynard, N.S.: Scenario-neutral approach to climate change impact studies: Application to flood risk, *Journal of Hydrology*, 390, 198-209, 2010.

- Ramirez, J., Adamowicz, W.L., Easter, K.W., and Graham-Tomasi, T.: Ex Post Analysis of Flood Control: Benefit-Cost Analysis and the Value of Information, *Water Resources Research*, 24, 1397-1405, 1988.
- Scawthorn, C., Flores, P., Blais, N., Seligson, H., Tate, E., Chang, S., Mifflin, E., Thomas, W., Murphy, J., Jones, C., and Lawrence, M.: HAZUS-MH Flood Loss Estimation Methodology II. Damage and Loss Assessment, *Natural Hazards Review*, 7, 72-81, 2006.
- Schotten, K., Goetgeluk, R., Hilferink, M., Rietveld, P., and Scholten, H.: Residential Construction, Land Use and the Environment. Simulations for the Netherlands Using a GIS-Based Land Use Model, *Environmental Modeling and Assessment*, 6, 133-143, 2001.
- Schwarz, J., and Maiwald, H.: Prognose der Bauwerksschädigung unter Hochwassereinwirkung, *Bautechnik*, 84, 450-464, 2007.
- Schwarz, J., and Maiwald, H.: Damage and loss prediction model based on the vulnerability of building types, 4th International Symposium on Flood Defence, 6.-8. May 2008, Toronto, Canada, 2008.
- Schwarz, J., Maiwald, H., and Gerstberger, A.: Quantifizierung der Schäden infolge Hochwassereinwirkung: Fallstudie Eilenburg, *Bautechnik*, 82, 845-856, 2005.
- Siegrist, M., and Gutscher, H.: Flooding risks: A comparison of lay people's perceptions and expert's assessments in Switzerland, *Risk Analysis*, 26, 971-979, 2006.
- Siegrist, M., and Gutscher, H.: Natural Hazards and Motivation for Mitigation Behavior: People Cannot Predict the Affect Evoked by a Severe Flood, *Risk Analysis*, 28, 771-778, 2008.
- Skulmoski, G.J., Hartman, F.T., and Krahn, J.: The Delphi Method for Graduate Research, *Journal of Information Technology Education*, 6, 1-21, 2007.
- Smith, D.I.: Flood Damage Estimation - a Review of Urban Stage-Damage Curves and Loss Functions, *Water SA*, 20, 231-238, 1994.

- Smith, K., and Ward, R.: Floods. Physical Processes and Human Impacts, John Wiley & Sons Lt, Chichester, 394 pp., 1998.
- Statistische Ämter des Bundes und der Länder (DESTATIS): Baufertigstellungen: Errichtung neuer Wohngebäude (<https://www-genesis.destatis.de/>), accessed: 20th May 2010, 2010a.
- Statistisches Bundesamt (DESTATIS): Preise. Preisindizes für die Bauwirtschaft - April 2008, Fachserie 17, Reihe 4, Wiesbaden, 2008.
- Statistisches Bundesamt (DESTATIS): Preise. Preisindizes für die Bauwirtschaft - Februar 2009, Fachserie 17, Reihe 4, Wiesbaden, 2009.
- Statistisches Bundesamt (DESTATIS): Preise. Preisindizes für die Bauwirtschaft - Februar 2010, Fachserie 17, Reihe 4, Wiesbaden, 2010b.
- Statistisches Bundesamt (DESTATIS): Preise. Verbraucherpreisindex für Deutschland - Lange Reihen ab 1948 - Dezember 2011, Wiesbaden, 2012.
- Stevens, S.S.: On the theory of scales of measurement. *Science*, 103, 677-680, 1946.
- Streitz, W., and Dombrowski, W.R.: Die Analyse der Katastrophenabwehr als Netzwerk und als Kommunikation. 100-119 in Deutsches Komitee für Katastrophenvorsorge e.V. (ed.) Hochwasservorsorge in Deutschland: Lernen aus der Katastrophe 2002 im Elbegebiet. Bonn: Schriftenreihe des DKKV, 29, 2003.
- Te Linde, A.H., Bubeck, P., Dekkers, J.E.C., de Moel, H., and Aerts, J.C.J.H.: Future flood risk estimates along the river Rhine, *Natural Hazards and Earth System Science*, 11, 459 - 473, 2011.
- Thielen, A.H.: Neue Modelle zur Abschätzung von Hochwasserschäden, *Ökologisches Wirtschaften*, 3/2008, 30-34, 2008.
- Thielen, A.H., Ackermann, V., Elmer, F., Kreibich, H., Kuhlmann, B., Kunert, U., Maiwald, H., Merz, B., Müller, M., Piroth, K., Schwarz, J., Schwarze, R., Seifert, I., and Seifert, J.: Methods for the evaluation of direct and indirect flood losses, *Proceedings of the 4th International Symposium on Flood Defence - ISDF4 "Managing Flood Risk, Reliability and Vulnerability"* (CD-ROM), Toronto, Canada, May 6-8 2008, 98-1 – 98-10.

- Thielen, A.H., Kreibich, H., Müller, M., and Merz, B.: Coping with floods: preparedness, response and recovery of flood-affected residents in Germany in 2002, *Hydrological Sciences Journal - Journal des Sciences Hydrologiques*, 52, 1016-1037, 2007.
- Thielen, A.H., Müller, M., Kleist, L., Seifert, I., Borst, D., and Werner, U.: Regionalisation of asset values for risk analyses, *Natural Hazards and Earth System Science*, 6, 167, 2006.
- Thielen, A.H., Müller, M., Kreibich, H., and Merz, B.: Flood damage and influencing factors: New insights from the August 2002 flood in Germany, *Water Resources Research*, 41, 2005.
- Thielen, A.H., Olschewski, A., Kreibich, H., Kobsch, S., and Merz, B.: Development and evaluation of FLEMOps - a new Flood Loss Estimation MOdel for the private sector, in: *Flood Recovery, Innovation and Response*, edited by: Proverbs, D., Brebbia, C. A., and Penning-Rowsell, E., *Wit Transactions on Ecology and the Environment*, Wit Press, Southampton, 315-324, 2008.
- Thielen, A.H., Seifert, I., and Merz, B. (eds.): *Hochwasserschäden – Erfassung, Abschätzung und Vermeidung*, Oekom-Verlag, Munich, Germany, 300pp., 2010.
- Thielen, A.H., Seifert, I., Elmer, F., Maiwald, H., Haubrock, S., Schwarz, J., Müller, M., and Seifert, J.-O.: Standardisierte Erfassung und Bewertung von Hochwasserschäden, *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung*, 53, 198-207, 2009.
- Turoff, M., and Hilz, S.: Computer Based Delphi Processes, in: Adler, M., Ziglio, E. (eds): *Gazing Into the Oracle. The Delphi Method and Its Application to Social Policy and Public Health*, Kingsley Publishers, London, 1996.
- United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR): *Terminology. Basic terms of disaster risk reduction*, UNISDR, Geneva, 2004.
- US Army Corps of Engineers (USACE): *HEC-RAS River Analysis System User's Manual*, US Army Corps of Engineers, Davis, USA Version 4.1, 790 pp., 2010.

- Van der Sluijs, J.P., Craye, M., Funtowicz, S., Kloprogge, P., Ravetz, J., and Risbey, J.: Combining Quantitative and Qualitative Measures of Uncertainty in Model-Based Environmental Assessment: The NUSAP System, *Risk Analysis*, 25, 481-492, 2005.
- Veijalainen, N., Lotsari, E., Alho, P., Vehviläinen, B., and Käyhkö, J.: National scale assessment of climate change impacts on flooding in Finland, *Journal of Hydrology*, 391, 333-350, 2010.
- Velleman, P.F., and Wilkinson, L.: Nominal, Ordinal Interval, and Ratio Typologies are Misleading, *The American Statistician*, 47, 65-72, 1993.
- Vogt, J., Soille, P., de Jager, A., Rimaviciute, E., Mehl, W., Foisneau, S., Bodis, K., Dusart, J., Paracchini, M.L., Haastrup, P., and Bamps, C.: A pan-European River and Catchment Database, Reference Report by the Joint Research Centre of the European Commission, JRC, Luxembourg, 120 pp., 2007.
- Wang, R.Y., and Strong, D.: Beyond Accuracy: What data Quality Means to Data Consumers, *Journal of Management Information Systems*, 12(4), 5-34, 1996.
- Wood, E.F., and Rodríguez-Iturbe, I.: Bayesian Approach to Analyzing Uncertainty Among Flood Frequency Models, *Water Resources Research*, 11, 839-843, 1975.
- World Health Organisation (WHO) (ed.): Floods: Climate change and adaptation strategies for human health, London, UK: Report on a WHO meeting, June 30 to July 2, 2002.
- Wünsch, A., Herrmann, U., Kreibich, H., and Thielen, A.: The Role of Disaggregation of Asset Values in Flood Loss Estimation: A Comparison of Different Modeling Approaches at the Mulde River, Germany, *Environmental Management*, 44, 524-541, 2009.
- Yang, D., Ishida, S., Goodison, B.E., and Gunther, T.: Bias correction of daily precipitation measurements for Greenland, *Journal of Geophysical Research*, 104, 6171-6181, 1999.
- Ye, M., Pohlmann, K.F., and Chapman, J.B.: Expert elicitation of recharge model probabilities for the Death Valley regional flow system, *Journal of Hydrology*, 354, 102-115, 2008.
- Yeo, S.W.: Flooding in Australia: A Review of Events in 1998, *Natural Hazards*, 25, 177-191, 2002.

References

- Zhu, H., and Wang, R.Y.: An Information Quality Framework for Verifiable Intelligence Products, in: Chan, Y, Talbert, J.R., Talley, T. (eds): Data Engineering: Mining, Information and Intelligence, Springer, 2007.
- Zipfinger, S.: Computer-aided Delphi: an experimental study of comparing round-based with real-time implementation of the method, Schriften der Johannes-Kepler-Universität Linz: Reihe B, Wirtschafts- und Sozialwissenschaften 111, Trauner, Linz, Austria, 2007.

Annex A: Vorschläge für Mindesthebungen in verschiedenen Schadenssektoren

Chapter 4 in: Hochwasserschäden – Erfassung, Abschätzung und Vermeidung, Teil I: Erfassung von Hochwasserschäden, Thielen, A.H., Seifert, I., and Merz, B. (eds.), Munich, Germany: Oekom-Verlag, 2010, 81-138

Florian Elmer, Isabel Seifert, Jens-Olaf Seifert, Uwe Kunert, Volker Ackermann, Heidi Kreibich, Reimund Schwarze, Annegret Thielen

© Oekom-Verlag, 2010.

ISBN: 978-3-86581-186-8

4. Vorschläge für Mindesthebungen in verschiedenen Schadenssektoren

In diesem Kapitel werden Empfehlungen gegeben, welche Informationen im Rahmen einer Schadenserfassung mindestens erhoben werden sollten. Damit werden Mindeststandards eingeführt, die eine Nutzbarkeit der Daten für verschiedene Fragestellungen der Schadensanalyse und damit über einen konkreten Erhebungszweck (z.B. die Schadensregulierung) hinaus ermöglichen sollen. Dafür muss zunächst geklärt werden, welche Informationen für eine Schadensanalyse vorliegen sollten. Daher wurden für die Ausführungen in diesem Kapitel Experten aus verschiedenen Bereichen der Hochwasserschadensanalyse nach der Delphi-Methode befragt (Häder & Häder, 1994; siehe Kasten 4.1). In dieser Expertenbefragung wurden wesentliche Informationen aus einem umfangreichen Kriterienkatalog ausgewählt und hinsichtlich ihrer Wichtigkeit geordnet. Auf dieser Expertenbewertung baut die Auswahl der hier vorgeschlagenen Mindestkriterien auf.

Zentrales Ergebnis der Untersuchung ist je eine Liste von Mindestkriterien für die Schadenssektoren, die einen wesentlichen Anteil zu den hochwasserbedingten Gesamtschäden beitragen. Dies sind Privathaushalte, Unternehmen (Gewerbe und Industrie), öffentliche Infrastruktur, Verkehrsinfrastruktur, Land- und Forstwirtschaft sowie Wasserbau.

Um inhaltliche Bezüge von Informationen zueinander oder zu einem Gesamtkontext ordnen zu können, wurden alle Kriterien eines Schadenssektors jeweils in vier thematische Module unterteilt, und zwar in Informationen zum Ereignis, Objekt, Schaden und zur Schadensminderung (Tab. 4.1). Dadurch wird der logische Aufbau von Befragungs- bzw. Erfassungsinstrumenten erleichtert. Die Gesamtheit dieser Informationsmodule wird im Folgenden als Kriterienkatalog bezeichnet. Das

„Modul Ereignis“ (Hochwassertypus) wird in Kapitel 4.2 für alle Schadenssektoren übergreifend konzipiert. Darüber hinaus wurde für Wohngebäude und Unternehmen ein Zusatzmodul „Schadensminderung“ entwickelt, mit dem Informationen über lokalen Hochwasserschutz und Vorsorgemaßnahmen detaillierter als mit dem Mindestkriterienkatalog erfasst werden können. Darauf kann zum Beispiel eine Untersuchung, die auf die Verbesserung des Objektschutzes bei Wohngebäuden abzielt, zurückgreifen. In den anderen Schadenssektoren kann dieses Modul modifiziert angewendet werden.

Kasten 4.1: Identifizierung von Mindestkriterien für die Schadensanalyse

Ziel der Untersuchung

Identifikation von Informationen, die für die Schadensanalyse nach Hochwasserereignissen notwendig sind und standardmäßig erhoben werden sollten. Betrachtet wurden sechs Schadenssektoren: Privathaushalte, Unternehmen, öffentliche Infrastruktur, Verkehrsinfrastruktur, Land- und Forstwirtschaft sowie Gewässer und wasserbauliche Anlagen.

Vorgehensweise

1. Workshop „Praxis der Hochwasserschadensanalyse“ am 1./2. Dezember 2005 in Dresden – erste Einblicke in die Materie (siehe <http://www.rimax-hochwasser.de/index.php?id=458>)
2. Vorbereitungsphase
 - a) Auswertung des Workshops und weitere Sammlung potenziell wichtiger Kriterien für die Schadensanalyse in den verschiedenen Schadenssektoren durch das MEDIS- Konsortium,
 - b) Strukturierung und Diskussion der gesammelten Kriterien und c) Festlegung der Vorgehensweise bei der Befragung.
3. Durchführung der „Expertenbefragung Hochwasserschadensanalyse“
 - a) Methodenwahl – Eliminieren von sozialpsychologischen Effekten der Gruppenarbeit.
 Da die Delphi-Methode die Erzielung eines Konsenses und die Informationsstandardisierung unterstützt, wurde eine dreistufige Online-Befragung mit Feedback durchgeführt, d.h. die Ergebnisse der vorangegangenen Befragungsrunde wurden den Experten bei der zweiten und dritten Befragung mitgeteilt.
 - b) Auswahl der Experten – wissensbasiert; Experten, die mit der Analyse von Hochwasserschäden in den verschiedenen Schadenssektoren befasst sind und in unterschiedlichen Berufsfeldern (Versicherungswesen, Ingenieurbüros, Fachverwaltungen, Wissenschaft) tätig sind.
 - c) Durchführung einer dreistufigen Befragung
 - 1 Befragung: Erhebung von Informationen zur Expertise der Experten; erste Bewertung der Wichtigkeit von zahlreichen Kriterien auf einer Ordinalskala von 1 (= Information ist äußerst wichtig) bis 6 (= Information ist völlig unwichtig). Weitere wichtige Informationen können durch die Experten ergänzt werden.
 - 2 Befragung: Die Experten erhalten die Ergebnisse der Bewertung der Kriterien/Informationen aus der ersten Befragung (jeweils Median der Antworten). Von den Teilnehmern ergänzte Informationen sowie Informationen, bei denen noch kein Konsens erreicht wurde (Konsenskriterium: mindestens 90% der Antworten entfallen auf zwei benachbarte Kategorien), werden erneut bewertet.
 - 3 Befragung: Aus den Informationen, die in den ersten beiden Stufen einheitlich als am wichtigsten bewertet wurden, wird eine Rangfolge erstellt, die von den Experten nochmals angepasst werden kann. Daraus wird pro Sektor eine Liste der Mindestkriterien abgeleitet.

Die Kriterienkataloge werden in Tabellen mit jeweils drei Spalten zusammengestellt. Dabei wird in der ersten Spalte die Art der Information (d.h. das Kriterium) genau benannt, die zweite Spalte enthält die zur Wahl stehenden Ausprägungen und die Maßeinheit. Letztere wird in eckige Klammern gesetzt (z.B. [Text], [Auswahlliste]). In der dritten Spalte sind ergänzende Hinweise zum Kriterium zu finden (vgl. Tab. 4.1).

Kernkriterien, die HELLGRAU gekennzeichnet sind, sollten in jedem Fall erhoben werden (Tab. 4.2). Sie werden im Weiteren als Mindestkriterien bezeichnet und sollten bei jeder Schadensaufnahme erfasst werden. Optionale Informationen, die der Verbesserung der Interpretationsmöglichkeiten dienen oder bei besonderen Fragestellungen erhoben werden können, sind in den Kriterienkatalogen WEISS gekennzeichnet. Sie werden zur Aufnahme im Rahmen einer Schadenserhebung empfohlen. Innerhalb der Module sind die Daten gruppiert und durch entsprechende Zwischenüberschriften gekennzeichnet.

Sollte eine Information bei bestimmten Antworten auf vorausgehende Fragen als Kernkriterium erhoben werden, ist ansonsten aber als optionales Kriterium eingestuft, so wird der Information ein BEDINGT vorangestellt. Gibt es Alternativen für die Aufnahme eines Kriterium bzw. kann ein Kriterium in unterschiedlichen Ausprägungen bei gleichem Informationsgehalt erfasst werden, so wird dies durch ein vorangestelltes ODER gekennzeichnet. Gehören zu einer Information mehrere Elemente, so wird dies durch ein vorangestelltes UND gekennzeichnet.

Tab. 4.1: Aufbau der Kriterienkataloge pro Schadenssektor.

Information	Messung mit Ausprägungen, Aufnahme	Spezifizierung des Parameters, Hinweise
E: Informationen zum Ereignis	→	einheitliches Ereignismodul (Tab. 4.4)
S: Informationen zum Schaden	→	sektorspezifisch
O: Informationen zum Objekt	→	sektorspezifisch
M: Informationen zur Schadensminderung	→	sektorspezifisch
Ergänzend kann in den Schadenssektoren Privathaushalte/Wohngebäude und Unternehmen das Zusatzmodul Schadensminderung (MPlus) verwendet werden.		

Tab. 4.2: Legende zu den Kriterienkatalogen.

Kern-/Mindestkriterium:	Information sollte bei jeder Schadensaufnahme erfasst werden.
optionales Kriterium:	Information kann je nach Ziel und Umfang der Untersuchung erhoben werden.

Bevor die einzelnen Schadenssektoren behandelt werden, wird zunächst in Kapitel 4.1 auf die Dokumentation und Qualitätssicherung der Schadenserhebung eingegangen. In diesem Kapitel werden einige „Sonderkriterien“ bzw. Metadaten vorgestellt, die zusätzlich zur eigentlichen Schadenserfassung dokumentiert werden sollten.

In den darauf folgenden Abschnitten wird für jeden Schadenssektor dargestellt, welche Informationen erhoben werden sollten, welche Informationen zur Erhebung empfohlen werden und in welcher Form die Informationen zu erheben sind, d.h. welche Größen und Skalen verwendet werden sollten und welche Möglichkeiten eine Auswahlliste enthalten sollte. Gegebenenfalls (z.B. beim Kriterium Wasserstand) wird das Bezugsniveau festgelegt. Außerdem wird auf Besonderheiten eines Schadenssektors eingegangen.

Die Einhaltung der entwickelten Standards soll auch eine zentrale Haltung der auf diese Weise erhobenen Daten ermöglichen. Zu diesem Zweck befindet sich eine Hochwasserschadensdatenbank „HOWAS21“ in der Entwicklung, die vom GFZ Potsdam betrieben wird (vgl. Kapitel 5.3; Kasten 5.2). Die Struktur der Datenbank orientiert sich ebenfalls an den Ergebnissen der Expertenbefragung (s. Kasten 4.1), d.h. die Inhalte sind mit den hier gegebenen Empfehlungen konsistent. Der Datenbestand soll somit die hier vorgeschlagenen Kriterien erfüllen.

Die vorgeschlagene Schadenserfassung orientiert sich an tatsächlich eingetretenen Hochwasserschäden. Auf die Erhebung synthetischer Schadensdaten, bei denen die zu erwartenden Schäden bei verschiedenen Hochwasserszenarien bestimmt werden, soll nicht näher eingegangen werden. Hierzu sei auf die Arbeitshilfe der DWA (2008) verwiesen.

Die Schadensaufnahme sollte laut Experteneinschätzung bei Befragungen zwischen vier Wochen und einem halben Jahr nach dem Ereignis, bei Begehungen innerhalb von vier Wochen nach dem Ereignis stattfinden. Eine Kombination aus einer ersten zeitnahen Begutachtung der Schäden und einer zweiten detaillierten Schadensaufnahme, bei der auch Kosten für Reparaturmaßnahmen und Folgeschäden zuverlässig erfasst werden können, wird als optimal angesehen.

Wie in Kapitel 2.1.3 ausgeführt, können Schäden nach dem Brutto- oder dem Nettokzept bewertet werden. Soll eine prozentuale Schädigung, d.h. ein Schädigungsgrad, berechnet werden, ist auf die konsistente Verwendung der monetären Bewertungsgrundlage zu achten.

Da die Schäden oft als Wiederherstellungskosten angegeben werden, wird empfohlen bei der Schadensaufnahme als Bezugsgröße auch die Wiederherstellung des gesamten Gebäudes, z.B. nach dem Sachwertverfahren der Normalherstellungskosten (BMVBW, 2001), zu verwenden. Da bei der Schadensabschätzung in der Regel Nettowerte gefordert sind, sollten jedoch grundsätzlich sowohl Netto- als auch Bruttowerte erhoben werden.

4.1 Informationen zur Dokumentation und Qualitätssicherung

Qualitätssicherung und Dokumentation sind für die Analyse und Weiterverwendung jeder Schadenserhebung von großer Bedeutung. Daher sollten über alle Module hinweg entsprechende begleitende Informationen über den Datensatz bzw. die Erhebungskampagne, sogenannte Metadaten, mitgeführt werden. Grundsätzlich bestehen Metadaten bei jeder Erhebung aus Informationen zum Gesamtdatensatz, d.h. zur Gesamtheit der im Rahmen einer Erhebungskampagne aufgenommenen Schadensfälle, und aus Informationen zu jedem einzelnen Schadensfall. In Tab. 4.3 sind solche Informationen aufgeführt. Zum Aufbau des Moduls „Metainformation“ wird auf Tab. 4.2 verwiesen.

Tab. 4.3: Modul „Metainformationen“ (Modul META).

Information	Messung mit Ausprägungen, Aufnahme	Spezifizierung des Parameters, Hinweise
Metainformationen zum Datensatz		
META1: Akteure		
Erhebende Stelle	Institution [Text]	z.B. Angaben zum Befragungsinstitut oder zur Verwaltungseinheit, welche die Erhebung ausführt
	Name der Projektleitung, Ansprechpartner [Text]	
	Adresse [Text]	
Auftraggeber	Institution [Text]	Angaben zum Auftraggeber der Erhebung
	Name der Projektleitung, Ansprechpartner [Text]	
	Adresse [Text]	
META2: Erhebungszeitraum		
Beginn der Erhebung	Datum [jjjj.mm.tt]	Zeitraum, in dem die Erhebungskampagne durchgeführt wurde; dieser kann ggf. nachträglich aus den Aufnahmedaten der Schadensfälle abgeleitet werden.
Ende der Erhebung	Datum [jjjj.mm.tt]	

Information	Messung mit Ausprägungen, Aufnahme	Spezifizierung des Parameters, Hinweise
META3: Erhebungsziel und -methoden		
Intention des Auftraggebers	[Text]	Beschreibung des Zwecks der Erhebung
Art der Erhebung	[Auswahlliste] – Erhebung durch Experten (Bausachverständige oder Gutachter) – Erhebung oder Begutachtung durch (geschulte) Laien – Betroffenenbefragung	
	Erläuterungen [Text]	z.B. Art der Auswahl von Experten
Art der Stichprobe	[Auswahlliste] – Vollerhebung – Stichprobenerhebung – Klumpenstichprobe – Stichprobenerhebung – zufällige Stichprobe – Stichprobenerhebung – zufällige Stichprobe, geschichtet – Stichprobenerhebung – systematische Stichprobe	z.B. Auswahl von repräsentativen Objekten
	Erläuterungen [Text]	z.B. Auswahl von Befragungsregionen, Schichten
Erhebungsmethode	[Auswahlliste] – Vor-Ort-Erhebung – telefonische Angaben oder Befragung von Betroffenen – schriftliche Angaben oder Befragung von Betroffenen – webbasierte Angaben oder Befragung von Betroffenen – Sonstiges	Methode, mit der die Informationen zum Objekt erhoben wurden
	Erläuterungen [Text]	z.B. Benennung der Angaben unter "Sonstiges"

Information	Messung mit Ausprägungen, Aufnahme	Spezifizierung des Parameters, Hinweise
Datenaufbereitung	[Text]	Angaben über die ursprünglich erhobenen Informationen und nachfolgenden Bearbeitungen der Originaldaten, z.B. Codierung offener Fragen, Umrechnung von numerischen Angaben, Reklassifizierungen; ggf. Logbuch als externe Datei angeben
	ODER [Dateiname]	
Bezugssystem	[Text]	Wird bei der Verortung die Lage in Koordinaten angegeben (O1), so ist hier das Koordinatensystem und die Projektion anzugeben (z.B. Gauß-Krüger 4, UTM WGS84 Nord).
META4: Messmethoden je Kriterium		
Messmethoden	Erläuterungen [Text]	Beschreibung der Methode zur Aufnahme jeder Einzelinformation (z.B. Wasserstand am Gebäude: Messung, Schätzung, Modellierung), ggf. Beschreibung von Algorithmen. Bei der Erhebung anhand von Listen und Tabellen ist für diese die verwendete Version bzw. das Jahr anzugeben.
	ODER Erläuterung pro Kriterium bei Auswahllisten [Text]	
META5: Plausibilitätsprüfung		
Datenprüfung durch	Vorname, Name [Text]	Name der Person, welche die Plausibilitätsprüfung durchgeführt hat
Einrichtung / Akteure	[Auswahlliste] – erhebende Stelle – Auftraggeber – Andere	z.B. beauftragte Gutachter z.B. Wasserbehörde
	Erläuterungen [Text]	z.B. Name und Anschrift der Einrichtung
Datum der Prüfung	[jjjj].mm.tt]	Tag, an dem die Daten geprüft wurden
Datenbasis zur Plausibilisierung und Methodenbeschreibung	[Text]	Beschreibung der Datensätze und Methoden, auf denen die Plausibilitätsprüfung beruht (z.B. Ergebnisse 2D-Modellierung; Baugutachten)
META6: Identifikation, Datennutzung und -weitergabe		
Kampagnenname	[String]	eindeutige Kurzbezeichnung der Erhebungskampagne
Quellenangabe	[Text]	Angabe, wie der Datensatz in Veröffentlichungen zitiert werden soll

Information	Messung mit Ausprägungen, Aufnahme	Spezifizierung des Parameters, Hinweise
Datennutzung	[Text]	Angaben über Beschränkungen der Datennutzung, bestehende Datennutzungsverträge etc.
Metainformationen je Schadensfall		
META7: Identifikation		
Schaden ID	[String]	eindeutige Bezeichnung jedes Schadensfalls
META8: Erhebungszeitpunkt		
Aufnahmedatum	[jjjj.mm.tt]	Datum, an dem die Informationen zum geschädigten Objekt erhoben wurden
META9: Erhebende Person		
Befrager / Schadenserfasser	Name, Vorname [Text]	Name der Person, welche die Informationsaufnahme am Objekt durchführte bzw. die Betroffenen befragte

4.2 Ereignisbeschreibung

In diesem Kapitel wird ein Basismodul zur Beschreibung des Hochwasserereignisses vorgestellt. Zunächst werden Empfehlungen für die Erfassung der konkreten Ausprägung der Hochwassereinwirkung an einem lokalen Standort (an einem Objekt oder Gebäude) vorgestellt (Tab. 4.4), wie sie für die Schadensanalyse erforderlich sind. Am Schluss dieses Kapitels finden sich zusätzliche Hinweise zur Dokumentation des Gesamt ereignisses.

Die Ereignisparameter am Objekt sollten für alle Schadenssektoren in möglichst einheitlicher Form erfasst werden. Für Flächen (mit mehreren Objekten) können die Werte ggf. gemittelt festgehalten werden. Dies ist in den Metadaten (vgl. Kapitel 4.1) zu dokumentieren.

Die empfohlenen Kriterien in Tab. 4.4 sind für Fließgewässer zusammengestellt. Für Küstenhochwasser oder Ästuare müsste dieses Modul überarbeitet werden, da einige Kriterien nicht relevant sind, andere aber fehlen, wie z.B. Wellenschlag oder Tideeinfluss.

Tab. 4.4: Modul „Lokale Ereignisbeschreibung“ (Modul E).

Information		Messung mit Ausprägungen, Aufnahme	Spezifizierung des Parameters, Hinweise
E1: Zeitpunkt und Dauer			
Ereignisbeginn		[jjjj].mm.tt:hh	Zeitpunkt, an dem das geschädigte Objekt erstmals betroffen war; der Beginn der Überflutung kann deutlich vor dem Beginn der Schädigung liegen. Hinweis: Stundenangaben sind besonders relevant in kleinen Einzugsgebieten oder bei Sturzfluten.
Ereignisende		[jjjj].mm.tt:hh	Ende der Betroffenheit
ODER	Dauer	[tt:hh]	Zeitdauer der Überflutung des Objektes seit Ereignisbeginn bis Ablauf / Auspumpen
Vorwarnzeitpunkt der offiziellen Hochwasserwarnung		[jjjj].mm.tt:hh	Zeitpunkt, an dem offiziell erstmals für das Objekt vor einer Überschwemmung gewarnt wurde
E2: Hydraulisches Gefährdungsbild am Objekt			
Art der Überschwemmung		[Mehrfach-Auswahlliste] – statische Überschwemmung – dynamische Überschwemmung	Überschwemmung mit niedrigen Fließgeschwindigkeiten (< 1 m/s) Überschwemmung mit mittleren bis hohen Fließgeschwindigkeiten (> 1 m/s); hier sollte das Kriterium „Fließgeschwindigkeit“ beachtet werden.
		– Sturzflut (<i>flash flood</i>) – wild abfließendes Oberflächenwasser – Grundwasser – Rückstau aus der Kanalisation – Murgang, Übermurgung – Sonstiges	Falls die Überschwemmung mit einem hohen Anteil an Feststoffen einhergeht, sollte das Kriterium "Treibgut/mitgeführtes Material" ebenfalls erhoben werden.
		Erläuterungen [Text]	Beschreibung von „Sonstiges“, z.B. Wellenüberschlag
Name des Gewässers		[Text]	Name des Gewässers, das den Schaden

Information	Messung mit Ausprägungen, Aufnahme	Spezifizierung des Parameters, Hinweise
	ODER [Auswahlliste]	verursacht; möglichst Name gemäß Wasserbuch oder Ähnlichem
Besonderheiten, die den Schaden auslösen oder verstärken	[Mehrfach-Auswahlliste] – ungesteuerter Bruch eines Damms, Deichs oder einer Hochwasserschutzmauer – gesteuerte Flutung (Polderöffnung) – morphologische Änderung des Flusslaufs – Verklausung und Rückstau – Eisstau – Sonstiges	zusätzliche Ereignisse, die den Schaden verstärken oder auslösen
	Erläuterungen [Text]	z.B. Beschreibung von „Sonstiges“
lokale Ereignishäufigkeit (Häufigkeit am Objekt)	[Ordinalskala] 1: sehr häufig 2: häufig 3: gelegentlich 4: selten 5: sehr selten 6: erstmals beobachtet	Klassifizierung des Ereignisses durch Zuordnen einer Häufigkeit, z.B. durch Ableiten aus Gefahrenkarten oder durch die statistische Einordnung des Abflusses im zugehörigen Gewässerabschnitt durchschnittliche Häufigkeit: alle ein bis zwei Jahre oder häufiger durchschnittliche Häufigkeit: alle zwei bis zehn Jahre durchschnittliche Häufigkeit: alle zehn bis 50 Jahre durchschnittliche Häufigkeit: alle 50 bis 100 Jahre durchschnittliche Häufigkeit: seltener als alle 100 Jahre
E3: Lokale Hochwassereinwirkung	SEKTORSPEZIFISCH (je nach Schadensgegenstand)	
höchster Wasserstand außen	[cm] über Geländeoberkante (GOK)	Gemeint ist der höchste Wasserstand außen am Objekt. Hinweis: Die Geländehöhe wird bei den Objektinformationen abgefragt.

Information		Messung mit Ausprägungen, Aufnahme	Spezifizierung des Parameters, Hinweise
ODER	mittlerer Wasserstand außen auf dem gesamten Gelände	[cm] über Geländeoberkante (GOK)	Höchststand, gemittelt über die gesamte Fläche bei mehreren betroffenen Gebäuden
	höchster Wasserstand innen im Objekt / Gebäude im höchsten betroffenen Stockwerk	[cm] über Fußbodenoberkante (FOK) des jeweiligen Stockwerks	
SOWEIT VERFÜGBAR	betroffene Stockwerke	[Mehrfach-Auswahlliste]	
		– Keller (KE) – Erdgeschoss (EG) – erstes Obergeschoß (1.OG) – zweites Obergeschoß (2.OG)	
	höchster Gesamtwasserstand innen im Objekt/Gebäude	[cm] über Fußbodenoberkante (FOK) des Kellers	
ODER	[cm] über FOK des Erdgeschosses		
BEDINGT	Fließgeschwindigkeit	[m/s] am Objekt	Bei dynamischen Überschwemmungen wird die Erhebung der Fließgeschwindigkeit empfohlen.
		[Ordinalskala]	quasi-stehendes Wasser, kein Fließen erkennbar gehen im Wasser noch möglich (< 1 m/s) stehen im Wasser noch möglich, gehen schon schwierig (1-2 m/s) weder stehen noch gehen im Wasser möglich (>2 m/s)
E4: Mitgeführtes Material/Stoffe			
Kontamination		[Mehrfach-Auswahlliste] – keine Kontamination – Abwasser und Fäkalien – Farben und Lacke – Öle und Kraftstoffe	Mit dem Zusatzmodul Schadensminderung (MPlus) können weitere Informationen, z.B. die Kontaminationsquelle, abgefragt werden. z.B. Heizöl, Diesel, Benzin

Information		Messung mit Ausprägungen, Aufnahme	Spezifizierung des Parameters, Hinweise
		– andere Chemikalien	z.B. Pestizide, Lösemittel
		– Sonstiges	
		Erläuterungen [Text]	Konkretisierung der Angabe „Sonstiges“
BEDINGT	Treibgut / mitgeführtes Material	[Mehrfach-Auswahlliste]	Falls die Überschwemmung mit einem hohen Anteil an Feststoffen einhergeht, sollte dieses Kriterium erhoben werden.
		<ul style="list-style-type: none"> – kein Treibgut – Geschiebe – Geröll – Baumaterial – Anlagen(teile) – Gehölz – Sonstiges 	
		Erläuterungen [Text]	z.B. Beschreibung von „Sonstiges“ oder Angaben zum Durchmesser von Geschiebe und Geröll

Nach Hochwasserereignissen werden Informationen über die meteorologischen, hydrologischen und hydraulischen Verhältnisse im gesamten betroffenen Gebiet in der Regel von den Fachverwaltungen zusammengestellt. Dies umfasst u.a. Beschreibungen der meteorologischen Situation (Großwetterlage) und des Einzugsgebietszustands im Vorfeld des Niederschlags (Schneebedeckung, Bodenfrost, Vorfeuchte) sowie quantitative Angaben zum Niederschlagsgeschehen (Mengen, Dauer und räumliche Verteilung) und zu den hydraulischen Durchflussparametern in den Gewässern sowie deren statistische Einordnung. Da die Ausgangsbedingungen nie identisch sind, fällt jedes Hochwasser in Dauer, Verlauf und Stärke etwas anders aus.

Derartige Ereignisdokumentationen liefern wichtige Zusatzinformationen für die Plausibilisierung von lokalen Erhebungen, die Einordnung der Schadensinformationen und die Interpretation späterer Datenanalysen. Eigene Erhebungen der konkreten Hochwassereinwirkung an betroffenen Objekten, wie sie in Tab. 4.4 dargestellt sind, sollten im Nachgang hinsichtlich ihrer Konsistenz mit anderen bekannten Ereignisparametern und Dokumentationen bewertet werden. Dafür können Informationen über Entstehung, Art und Ablauf des Hochwassers, die sich auf das gesamte betroffene Einzugsgebiet oder einen längeren Flussabschnitt beziehen, auch vereinfacht zusammengefasst werden. Beispielsweise

können Hochwasserereignisse mit Hilfe der Typologie von Merz & Blöschl (2003) klassifiziert werden (vgl. Tab. 4.5). Auch die räumliche Ausdehnung des betroffenen Gebietes sowie eine Bewertung der Ereignishäufigkeit sind für spätere Datenanalysen und Interpretationen äußerst hilfreich und sollten mindestens festgehalten werden. Tab. 4.5 enthält einen Vorschlag zur standardisierten großräumigen Ereignisbeschreibung.

Insbesondere bei großräumigen Ereignissen kann die Ereignisstärke und Häufigkeit räumlich sehr unterschiedlich ausgeprägt sein. Daher ist in solchen Fällen zu überlegen, Ereignisinformationen regional aufzuschlüsseln. Zum Beispiel sollten für Teileinzugsgebiete Informationen über Schnee- und Niederschlagshöhen oder über die Bodenfeuchte festgehalten werden. Weiterhin ist eine Beschreibung der Höhe und Ausprägung der Hochwasserwelle an ausgewählten Pegelstationen sinnvoll, z.B. Anstiegszeit, Abflussfülle, Wasserstand, Durchfluss und Abflusspende sowie deren statistische Einordnung (Jährlichkeit).

Tab. 4.5: Modul „Großräumige Ereignisbeschreibung“ (Modul E-MAKRO).

Information	Messung mit Ausprägungen, Aufnahme	Spezifizierung des Parameters, Hinweise
E-MAKRO1: Ausgangssituation		
Saisonalität	Jahr, Monat [jjjj.mm]	
meteorologisches Ereignis	[Mehrfach-Auswahlliste] – Gewitter / lokaler Starkregen – Dauerregen – Schneeschmelze – Sonstiges	Art des auslösenden meteorologischen Ereignisses
	Erläuterungen [Text]	Benennung der Angabe “Sonstiges”, z.B. Sturm
Großwetterlage	[Text]	
Zustand des Einzugsgebietes vor dem meteorologischen Ereignis	[Mehrfach-Auswahlliste] – Schneebedeckung – Bodenfrost – hohe Vorfeuchte – Sonstiges	

Information	Messung mit Ausprägungen, Aufnahme	Spezifizierung des Parameters, Hinweise
	Erläuterungen [Text]	z.B. Angabe über Schneehöhen oder Wasseräquivalente, vorangegangene Niederschläge
E-MAKRO2: Vorherrschender Hochwassertyp		
Hochwassertyp	[Auswahlliste] – Hochwasser aufgrund lang anhaltender Niederschläge – Hochwasser aufgrund von Starkregen bei hoher Vorfeuchte – Sturzfluten infolge von Gewittern oder sommerlichen lokalen Starkregen – Hochwasser durch Schneeschmelze – Hochwasser aufgrund einer Kombination von Niederschlag und Schneeschmelze	angelehnt an Merz & Blöschl (2003)
	Erläuterungen [Text]	
E-MAKRO3: Ereignisstärke		
Ausdehnung	[Ordinalskala] 1: sehr lokal 2: lokal 3: regional 4: überregional 5: national	räumliche Ausdehnung des betroffenen Gebietes in Anlehnung an Hübl et al. (2006) wenige Häuser betroffen eine Gemeinde/Stadt betroffen ein Landkreis oder mehrere Gemeinden betroffen mehrere Landkreise betroffen mehrere Bundesländer betroffen
	Erläuterungen [Text]	z.B. Erläuterung der Einschätzung
Ereignishäufigkeit	[Ordinalskala] 1: sehr häufig 2: häufig	grobe Einordnung der Ereignishäufigkeit (vgl. Hübl et al., 2006) durchschnittliche Häufigkeit: alle ein bis zwei Jahre oder häufiger durchschnittliche Häufigkeit: alle zwei bis zehn Jahre

Information	Messung mit Ausprägungen, Aufnahme	Spezifizierung des Parameters, Hinweise
	3: gelegentlich 4: selten 5: sehr selten 6: erstmals beobachtet	durchschnittliche Häufigkeit: alle zehn bis 50 Jahre durchschnittliche Häufigkeit: alle 50 bis 100 Jahre durchschnittliche Häufigkeit: alle 100 Jahre
	Erläuterungen [Text]	z.B. Basis der Einschätzung
Ereignisauswirkungen	[Ordinalskala] 1: geringe Gesamtschäden 2: mittlere Gesamtschäden 3: schwere Gesamtschäden 4: sehr schwere Schäden 5: gravierende Schäden	grobe Einordnung des Ereignisses anhand der direkten Schäden und Katastrophenschutzkosten < € 10 Mio. > € 10 bis € 100 Mio. > € 100 bis € 500 Mio. > € 500 bis € 1.000 Mio. > € 1.000 Mio.
	Erläuterungen [Text]	z.B. Datenbasis, Quellenangaben der Schadensschätzung oder Angaben über Förderprogramme
E-MAKRO4: Dokumentation vergangener Ereignisse		
Hochwassermarken	Lagebeschreibung [Text]	z.B. Langer Weg, Haus Nr. 15; links neben Eingang, Metallschild
Bild der Hochwassermarke	Dateiname für Bilddatei [Pfad/Dateiname.jpg]	
Unterlagen	[Mehrfach-Auswahlliste] – Dokumentation historischer Hochwasser – Gefahrenkarten – Beschreibungen möglicher Ereignisszenarien – spezifische Checklisten – Sonstiges	Dokumentation von historischen Hochwasserereignissen und/oder anderen Gefährdungsszenarien
	Erläuterungen [Text]	z.B. Spezifizierung „Sonstige“

Für eine grobe Plausibilisierung der lokalen Werte aus Tab. 4.4 können die regionalen hydrologisch-hydraulischen Parameter jeweils in wenige Klassen (wie z.B. hoch, mittel, niedrig für den Wasserstand) unterteilt werden, so dass sich in Verbindung mit der örtlichen Gebiets- und Flussmorphologie charakteristische Kombinationen (Hochwassertypen) ergeben. So führen hohe Fließgeschwindigkeiten in Gebirgsregionen als auch im hügeligen Gebirgsvorland erfahrungsgemäß zu erheblichen Aus- und Unterspülungen, Sedimentabtrag und Geschiebebewegungen sowie zur Zerstörung von Anlagen und Gebäuden. Im Flachland ist hingegen eher von großflächigen und lang anhaltenden Überflutungen mit anschließend erheblichen Belastungen für die überstauten Flächen und Gebäude auszugehen. In Tab. 4.6 sind Ausprägungen verschiedener hydrologischer und hydraulischer Parameter für unterschiedliche morphologische Verhältnisse skizziert, die Anhaltspunkte für zu erwartende Kombinationen geben.

Tab. 4.6: Typisches Auftreten von hydrologisch-hydraulischen Parametern bei bestimmten morphologischen Verhältnissen.

Parameter	Morphologische Verhältnisse		
	Flachland	Hügelland	Gebirgsregion
Wasserstand	hoch	hoch	hoch
Fließgeschwindigkeit	i.d.R. gering	hoch	hoch
Anstiegszeit	lang	wechselnd	kurz
Einwirkungsdauer	hoch	wechselnd	gering
Abflussfülle	hoch	wechselnd	wechselnd
Feststofftransport	wechselnd	wechselnd	wechselnd

4.3 Privathaushalte und Wohngebäude

Im Sektor Privathaushalte und Wohngebäude können folgende direkte Schäden unterschieden werden: Schäden am Gebäude, Schäden am Hausrat sowie Schäden an Außenanlagen, Nebengebäuden und Kraftfahrzeugen. Gebäudeschäden umfassen Durchfeuchtungsschäden sowie strukturelle Schäden an der Bausubstanz. Außerdem zählen zum Gebäudeschaden Schädigungen von fest mit dem Gebäude verbundenen Gegenständen (z.B. Toilette, Bodenbeläge, Fenster, Türen) sowie Reinigungsmaßnahmen und der Aufwand für die Trocknung. Eine Kontamination des Flusswassers kann diese Schäden erheblich erhöhen.

Gebäudeschäden werden in der Regel immer für das Gebäude als Ganzes erhoben und gegebenenfalls pro Stockwerk dokumentiert. Schäden im Außenbereich sollten pro

Grundstück erfasst werden. Hausratsschäden, d.h. Schäden am beweglichen Inventar, beziehen sich hingegen auf eine Wohneinheit (Haushalt). Demnach lässt sich der Gesamtschaden für ein Grundstück oder Gebäude nur bei einer Vollerhebung aller Wohneinheiten ermitteln. Insbesondere bei Mehrfamilienhäusern sind Gebäude- und Hausratsschäden deshalb getrennt auszuweisen und auszuwerten.

Schäden in Wohngebäuden zeichnen sich in der Regel durch eine geringere Streubreite, geringere Maximalwerte und eine bessere Vergleichbarkeit aus als Schäden in Unternehmen oder Schäden an der öffentlichen Infrastruktur. Somit lässt sich die Erhebung der Schäden an Wohngebäuden gut standardisieren.

Die größte Ähnlichkeit mit anderen Schadenssektoren gibt es im Bereich der Gebäudeschäden, die hier wirkenden Mechanismen und Schadenshöhen ähneln sich in allen Schadenssektoren. Daher kann die Schadensaufnahme an Wohngebäuden und Nicht-Wohngebäuden auf ähnliche Weise erfolgen.

Die aus der Delphi-Studie (s. Kasten 4.1) abgeleiteten Mindestkriterien zum Schadenssektor Privathaushalte und Wohngebäude sind in die Themenblöcke Informationen zum Ereignis (einheitliches Ereignismodul, siehe Tab. 4.4), Informationen zum Schaden, zum Objekt und zur Schadensminderung unterteilt. Die zu erhebenden Informationen, Messgrößen und Ausprägungen sind in Tab. 4.7 als Kriterienkatalog für Wohngebäude zusammengestellt. Die Legende entspricht der in Tab. 4.2 Vorgestellten. Die getroffenen Aussagen basieren auf der Auswertung der Antworten von 22 Experten, die Fragen zu diesem Schadenssektor in allen drei Stufen der Delphi-Befragung beantwortet haben. Für Untersuchungen von Maßnahmen der Schadensminderung wird ein Zusatzmodul „Schadensminderung in Wohngebäuden“ (Tab. 4.8) vorgeschlagen.

Zur Aufnahme von Schäden und anderen Informationen können im Schadenssektor Wohngebäude verschiedene Methoden zur Anwendung kommen, von Befragungen der Betroffenen über Nachweisverfahren (Rechnungen, Belege) und pauschalierten Bewertungen bis hin zur Begutachtung des Schadens vor Ort durch Sachverständige oder Experten (s. Kapitel 3). Welche Methode gewählt wird, hängt von den verfügbaren Ressourcen und dem Zweck der Erhebung ab. Auf jeden Fall muss die Vorgehensweise dokumentiert werden (s. Kapitel 4.1).

Tab. 4.7: Modul „Schäden in Wohngebäuden“ (Modul P-SOM).

Information		Messung mit Ausprägungen, Aufnahme	Spezifizierung des Parameters, Hinweise
E: Informationen zum Ereignis		→ Ereignismodul (Tab. 4.4)	
S: Informationen zum Schaden		Gesamtwerte und monetäre Schäden sollten zusätzlich als Zeitwerte erhoben werden.	
S1: Gebäudeschaden			
Gebäudeneuwert		[€]	Neuwert oder Wiederherstellungswert des gesamten Gebäudes VOR dem Hochwasser; kann z.B. mithilfe der Normalherstellungskosten abgeschätzt werden. Die notwendigen Informationen werden im Modul O erhoben.
Gebäudeschaden		[€]	Kosten für Reinigung, Trocknung und Reparatur des geschädigten Gebäudes (inkl. des fest installierten Inventars)
ODER	Schadensgrad Gebäude	[%]	prozentuale Schädigung des Objektwertes; relativer Schaden
struktureller Schaden		[Ordinalskala] 1: kein struktureller Schaden 2 3 4 5: komplette Zerstörung der Bausubstanz	vgl. Schwarz & Maiwald (2007) reine Durchfeuchtung leichte Risse oder eingedrückte Türen und Fenster, oder Austausch von Bauteilen erforderlich größere Risse, Setzungen oder Verformungen in Wänden/Decken Einsturz von Bauteilen (Wände, Decken) Einsturz des Gebäudes oder Abriss erforderlich
S2: Hausratsschaden			
Hausratsneuwert		[€]	Neuwert (Wiederbeschaffung) des gesamten Hausrats VOR dem Hochwasser; kann z.B. mithilfe eines Einheitswertes pro m ² Wohnfläche abgeschätzt werden. Die notwendigen Informationen werden im Modul O erhoben.
Hausratsschaden /		[€]	Kosten für Reinigung, Reparatur oder Wiederbeschaffung des geschädigten

Information		Messung mit Ausprägungen, Aufnahme	Spezifizierung des Parameters, Hinweise
Wiederbeschaffungskosten			Hausrats
ODER	Schadensgrad Hausrat	[%]	prozentuale Schädigung des Hausratwertes, relativer Schaden
S3: geschädigte überbaute Fläche			
Nutzfläche		[m ²]	Bruttonutzfläche
geschädigte Nutzfläche		[m ²]	
ODER	geschädigter Flächenanteil	[%]	
S4: Weitere Schäden / Wiederherstellungs- oder Wiederbeschaffungskosten			
Schäden an Nebengebäuden		[€]	z.B. Gartenhaus, Carport, frei stehende Garage
Schäden an Außenanlagen		[€]	z.B. Garten, Wege, Zäune
Schäden an Kraftfahrzeugen		[€]	
O: Informationen zum Objekt			
O1: Lage			
Verortung		Postleitzahlenzone [Zahl]	
		Ort [Text]	
		ODER Gemeindekennziffer [Zahl]	14-stellige Ziffer
		Straße, Hausnummer [Text]	Hausnummerngenaue Erfassung; der Datenschutz ist zu beachten
		ODER Flurstücknummer [Text]	Hierbei ist der Datenschutz zu beachten.
ODER	geographische Koordinaten [Hochwert, Rechtswert]		Koordinaten, z.B. nach Gauß-Krüger; neben einer Erfassung durch GPS können diese aus Adressangaben durch Geokodierung gewonnen werden. Hierbei ist der Datenschutz zu beachten. In den META-Daten ist das Bezugssystem festzuhalten.
Geländehöhe		[m über NN]	Höhe über Normalnull an der Geländeoberkante (GOK); Normalnull spezifizieren (GPS-Messung, amtliche Karten)

Information		Messung mit Ausprägungen, Aufnahme	Spezifizierung des Parameters, Hinweise
Höhe der Einlaufschwelle		[cm] über/unter GOK	
vertikaler Abstand zwischen GOK und Erdgeschoss-Fußbodenoberkante (EG-FOK)		EG-FOK über/unter GOK [+/- cm]	Kann ggf. über die Anzahl der Treppenstufen und eine mittlere Treppenstufenhöhe abgeschätzt werden.
O2: Art und Größe			
Gebäudetyp		NHK-Typ [String]	Typisierung nach Normalherstellungskosten (NHK 2000; BMVBW, 2001). Der Gebäudetyp wird aus folgenden Angaben abgeleitet.
Art des Gebäudes – Nutzung		[Auswahlliste] – Einfamilienhaus – Mehrfamilienhaus – gemischt genutztes Wohn- und Geschäftshaus	in Anlehnung an NHK 2000 überwiegende Wohnnutzung, ansonsten gehört das Objekt zum Schadenssektor „gewerbliche Wirtschaft“
Art des Gebäudes – Bauform		[Auswahlliste] – frei stehendes Haus – in Reihe gebaut, Kopfhaus, oder Doppelhaushälfte – in Reihe gebaut, Mittelhaus	in Anlehnung an NHK 2000
Unterkellerung		[J/N]	
Geschosszahl		Anzahl Geschosse [Zahl]	Zählung spezifizieren
Dach		[Auswahlliste] – Flachdach – nicht ausgebautes Dachgeschoss (DG) – voll ausgebautes DG	in Anlehnung an NHK 2000 z.B. Spitzboden
Baujahr		[jjjj]	
ODER	Bauperiode	[Auswahlliste] – vor 1870 – 1870 bis 1918 – 1919 bis 1924	Baualterklassen können zweckbezogen angepasst werden.

Information	Messung mit Ausprägungen, Aufnahme	Spezifizierung des Parameters, Hinweise
	<ul style="list-style-type: none"> – 1925 bis 1945 – 1946 bis 1959 – 1960 bis 1969 – 1970 bis 1984 – 1985 bis 1990 – 1991 bis 1999 – nach 2000 	
Brutto-Grundfläche (BGF)	[m ²]	Summe der Grundflächen aller Geschosse des Gebäudes (vgl. NHK 1995; BMBRS, 1995). Falls diese nicht bekannt ist, ist die Wohnfläche zu erheben und nach NHK 1995 in BGF umzurechnen.
O3: Ausstattung und Nutzung		
Ausstattungsstandard	[Ordinalskala] 4: stark gehoben 3: gehoben 2: mittel 1: einfach	Beispiele für Ausstattungsstandards sind in NHK 2000 zu finden.
Kellernutzung	[Mehrfach-Auswahlliste] – Souterrainwohnung – Abstellraum – Lagerraum (z.B. für Kohle) – Heizungsraum – Sauna – Werkraum, Hobbyraum – Waschküche – Trockenraum – Wohnraum	Kellernutzung VOR dem Hochwasser

Information		Messung mit Ausprägungen, Aufnahme	Spezifizierung des Parameters, Hinweise
		<ul style="list-style-type: none"> – Büro – Gewerbe – Fahrradkeller – Sonstiges 	
		Erläuterungen [Text]	
Erhaltungszustand des Objekts		[Ordinalskala] 1: gut 2: mittel 3: schlecht	
getrennt in KE/OG	Bauweise – Material	[Auswahlliste] <ul style="list-style-type: none"> – Lehm – Fachwerk – Fertigteil – Leichtbau – Mauerwerk – Stahlbeton – Hochwassergerechte Bauweise (FRD – Flood Resistant Design) – Sonstiges 	in Anlehnung an Schwarz & Maiwald (2007). Bei Bauweisenwechsel muss diese Angabe für jedes Stockwerk gesondert erhoben werden.
		Erläuterungen [Text]	
<p>M: Informationen zur Schadensminderung: Durch das Zusatzmodul Schadensminderung (MPlus, Tab. 4.8) kann dieser Bereich detaillierter erfasst werden.</p>			
<p>M1: Maßnahmen</p>			
Schutzmaßnahmen		[Mehrfach-Auswahlliste] <ul style="list-style-type: none"> – keine Maßnahmen – permanente Maßnahmen oder Vorsorgemaßnahmen – mobile Maßnahmen oder Notfallmaßnahmen 	Hier werden nur Maßnahmenkategorien erfasst (siehe auch MPlus).

Information		Messung mit Ausprägungen, Aufnahme	Spezifizierung des Parameters, Hinweise
		– sonstige Maßnahmen	
		Erläuterungen [Text]	z.B. Benennung der Maßnahmen
BEDINGT	Wirksamkeit der permanenten Maßnahmen	[Ordinalskala] 1: wirksam 2: teilweise wirksam 3: unwirksam	Falls permanente Schutzmaßnahmen vorhanden sind, sollte deren Wirksamkeit summarisch bewertet werden.
BEDINGT	Wirksamkeit der Notfallmaßnahmen	[Ordinalskala] 1: wirksam 2: teilweise wirksam 3: unwirksam	Falls mobile Maßnahmen vorhanden sind oder Notfallmaßnahmen ergriffen wurden, sollte deren Wirksamkeit summarisch bewertet werden.
M2: Warnung			
Reaktionszeit		Zeitdauer [h]	Dauer von der ersten wahrgenommenen Warnung bis zum Zeitpunkt, an dem Wasser das Objekt erreicht.
Warnweg		[Auswahlliste] – FAX – SMS – E-Mail – Sirene – öffentlicher Ausruf – lokale Radio-/Fernsehsender – sonstige Quellen	Weg, über den Warnung wahrgenommen wurde
		Erläuterungen [Text]	z.B. Spezifizierung „Sonstige“

Zusatzmodul „Schadensminderung in Wohngebäuden“

Als Beispiel für ein Zusatzmodul, das für eine Anpassung der Befragung zur Anwendung kommen kann, wird in Tab. 4.8 der Bereich der Schadensminderung durch Hochwasservorsorge vorgestellt. Während grobe Angaben zu den ergriffenen Schutzmaßnahmen und deren Wirksamkeit zum Mindestkriterienkatalog gehören und eine erste Einschätzung ermöglichen sollen, werden durch das Zusatzmodul „Schadensminderung

in Wohngebäuden“ detailliertere Informationen über Vorsorgemaßnahmen und über das Risiko- und Gefahrenbewusstsein der Betroffenen erhoben. Das Zusatzmodul kann dem Bereich „Informationen zur Schadensminderung“ des Kriterienkatalogs in Tab. 4.7 angehängt werden.

Tab. 4.8: Zusatzmodul „Schadensminderung in Wohngebäuden“ (Modul P-MPlus).

Information	Messung mit Ausprägungen, Aufnahme	Spezifizierung des Parameters, Hinweise
MPlus1: Eindringpfad des Wassers in das Gebäude		
Eindringpfad des Wassers in den Keller	[Mehrfach-Auswahlliste] – Kellertüren – Kellerfenster, Lichtschächte – Kellerwände, Kellerboden – Kabeldurchführungen – Kanalisation – Lüftungsöffnungen – Sonstiges	
	Erläuterungen [Text]	
Eindringpfad des Wassers in Erd- und Obergeschosse	[Mehrfach-Auswahlliste] – Türen – Fenster – Wände oder Boden – Kabeldurchführungen – Kanalisation – Lüftungsöffnungen – Sonstiges	
	Erläuterungen [Text]	
MPlus2: Kontaminationsquellen (Die Art der Kontamination wird bereits im Ereignismodul E, Tab. 4.4, erfasst.)		
Eigen- oder	[Auswahlliste]	Die Quelle von Kontaminationen sollte

Information	Messung mit Ausprägungen, Aufnahme	Spezifizierung des Parameters, Hinweise
Fremdkontamination	<ul style="list-style-type: none"> – keine Kontamination – Eigenkontamination – Fremdkontamination – Eigen- und Fremdkontamination 	für jede Kontaminationsart erhoben werden.
MPlus3: Schutzmaßnahmen		
Permanente Schutzmaßnahmen	<p>[Mehrfach-Auswahlliste]</p> <ul style="list-style-type: none"> – Beteiligung an Netzwerken, Nachbarschaftshilfen bei Hochwasser oder an der Hochwassernotgemeinschaft – geringwertige Nutzung hochwassergefährdeter Stockwerke – keine wertvolle fest installierte Inneneinrichtung in den hochwassergefährdeten Stockwerken – Verwendung wasserwiderstandsfähiger oder leicht erneuerbarer Bau- und Ausbaumaterialien – stationäre oder mobile Wassersperren – sonstige Maßnahmen 	<p>permanente Schutzmaßnahmen VOR dem Hochwasser. Je nach Zeitpunkt der Erhebung kann zusätzlich erfasst werden, ob die genannten Maßnahmen NACH dem Hochwasser umgesetzt wurden oder ob eine Umsetzung in den nächsten Monaten geplant ist.</p> <p>z.B. Schotten für Fenster und Türen, Sandsäcke, lokale kleine Hochwasserschutzmauern</p>
	Erläuterungen [Text]	
Notmaßnahmen	<p>[Mehrfach-Auswahlliste]</p> <ul style="list-style-type: none"> – Dokumente und Wertsachen sichern – Fahrzeuge auf hochwassersicheres Gelände fahren – Gas und Strom abstellen – elektrische Geräte ausstecken 	VOR dem Hochwasser bzw. WÄHREND des Hochwassers ergriffene Notmaßnahmen

Information	Messung mit Ausprägungen, Aufnahme	Spezifizierung des Parameters, Hinweise
	<ul style="list-style-type: none"> – Möbel und bewegliche Gegenstände hochstellen oder in nicht gefährdete Stockwerke bringen – Öltanks oder Behälter mit anderen gefährlichen Flüssigkeiten sichern – Eindringen von Wasser ins Gebäude verhindern – Pumpen einsetzen – Sonstiges 	
	Erläuterungen [Text]	
Wirksamkeit der Schutz- und Notmaßnahmen	[Ordinalskala] 1: wirksam 2: teilweise wirksam 3: unwirksam	Die Wirksamkeit sollte für jede der angetroffenen Schutz- und Notfallmaßnahmen einzeln bewertet werden.
MPlus4: Versicherungsschutz		
Vorhandensein von Versicherungsschutz	[J/N]	
Art der Versicherung	[Text]	ggf. Bedingungen und Umfang (Gebäude/Hausrat) erläutern
MPlus5: Risiko- und Gefahrenbewusstsein		
Gefährdungswissen	[J/N]	Kenntnis der Betroffenen über die Gefährdung ihres Wohnsitzes
Zugang zu Gefahrenkarten	[J/N]	Sind Gefahrenkarten in der Gemeinde veröffentlicht?
Vorschädigung	[J/N]	ggf. Anzahl der Vorschädigungen
vergangene Hochwasserereignisse	[Anzahl]	Hochwassererfahrung
letztes Hochwasserereignis	[jjjj.mm]	Jahr und Monat des letzten Hochwasserereignisses
Risiko- und Gefahrenbewusstsein der Betroffenen	[Ordinalskala] 0: kein	generelle abschließende Bewertung des Risiko- und Gefahrenbewusstseins unter Berücksichtigung aller gemachten

Information	Messung mit Ausprägungen, Aufnahme	Spezifizierung des Parameters, Hinweise
	1: gering 2: mittel 3: hoch	Angaben

4.4 Gewerbliche Wirtschaft und öffentliche Infrastruktur (ohne Verkehr)

Der Schadenssektor „gewerbliche Wirtschaft und öffentliche Infrastruktur“ umfasst alle Nicht-Wohngebäude und ist durch eine große Inhomogenität seiner Objekte geprägt. So fallen sowohl großindustrielle Anlagen als auch Kleingewerbe sowie Anlagen und Gebäude der öffentlichen Infrastruktur (ohne Verkehr) in diesen Bereich. Letzteres umfasst z.B. Schulen, Kindergärten, Verwaltungsgebäude und Krankenhäuser. Ver- und Entsorgungsnetze finden keine Berücksichtigung bei der Schadenserfassung in diesem Schadenssektor, da diese netz- und linienartigen Strukturen anderen Schadensprozessen unterliegen als die übrigen Objekte.

Um mit der amtlichen Statistik konsistent zu sein, wird für eine Zuordnung der wirtschaftlichen Aktivität die europäische Klassifikation der Wirtschaftsbereiche WZ 2008 (Statistisches Bundesamt, 2007) verwendet. Zum Schadenssektor „Gewerbliche Wirtschaft und öffentliche Infrastruktur“ gehören somit alle Objekte, deren zweistelliger Code nach der WZ 2008 zwischen 05 und 96 liegt.

Die angesprochene Inhomogenität der Objekte dieses Schadenssektors führt zu dem prinzipiellen Problem, wie ein Schadensfall bzw. ein geschädigtes Objekt zu definieren ist. Für das Kleingewerbe scheint eine Definition analog zum Schadenssektor Wohngebäude sinnvoll zu sein, d.h. dass ein Objekt einem Gebäude bzw. einer Anlage entspricht. Insbesondere im Bereich der Großindustrie ist es jedoch möglich, dass ein Betriebsstandort mehrere Gebäude und Anlagen umfasst. Sofern eine Einzelaufnahme aller Gebäude und Anlagen nicht möglich ist, lassen sich die im Folgenden vorgestellte Kriterienkataloge leicht verändern, so dass sie auch zur Schadenserfassung „komplexer Betriebsstätten“ geeignet sind. In Tab. 4.9 und Tab. 4.10 sind entsprechende Empfehlungen in der Spalte „Hinweise“ zu finden.

In Bezug auf den Beitrag eines Objektes zum Gesamtschaden eines Hochwasserereignisses muss sicher ein besonderes Augenmerk auf großindustrielle Anlagen gelegt werden, da hier häufig hohe Einzelschäden entstehen. In Hinblick auf die Schadensanalyse und die zukünftige Ableitung von Schadensfunktionen aus einer repräsentativen Grundgesamtheit von ähnlichen Objekten ist eine Schadenserfassung bei kleingewerblichen Objekten jedoch genauso wichtig.

Die Kernkriterien und optionalen Kriterien, welche für die Schadenserfassung im Schadenssektor „Gewerbliche Wirtschaft und öffentliche Infrastruktur (ohne Straßen)“

identifiziert wurden, sind in Tab. 4.9 dargestellt. Der Aufbau der Kriterienkataloge erfolgt analog zu den Angaben in Tab. 4.1 und Tab. 4.2.

Tab. 4.9: Modul für Schäden in der gewerblichen Wirtschaft und der öffentlichen Infrastruktur (ohne Verkehr) (Modul W-SOM).

Information		Messung mit Ausprägungen, Aufnahme	Spezifizierung des Parameters, Hinweise
E: Informationen zum Ereignis		→ Ereignismodul; zur vereinfachten Aufnahme von komplexen Betriebsstätten ist nur der mittlere Wasserstand auf dem gesamten Gelände zu erfassen.	
S: Informationen zum Schaden		Gesamtwerte und monetäre Schäden sollten zusätzlich als Zeitwerte erhoben werden.	
S1: Gebäudeschaden			
Gebäudeneuwert		[€]	Neuwert oder Wiederherstellungswert des gesamten Gebäudes VOR dem Hochwasser
monetärer Gebäudeschaden		[€]	Kosten für Reparatur des Gebäudes (ohne Gebäudetechnik)
ODER	Schadensgrad Gebäude	[%]	prozentuale Schädigung des Gebäudewertes, relativer Schaden
struktureller Gebäudeschaden		[Ordinalskala] 1: kein struktureller Schaden 2: 3: 4: 5: komplette Zerstörung der Bausubstanz	vgl. Schwarz & Maiwald (2007) reine Durchfeuchtung leichte Risse oder eingedrückte Türen und Fenster, oder Austausch von Bauteilen erforderlich größere Risse, Setzungen oder Verformungen in Wänden/Decken Einsturz von Bauteilen (Wände, Decken) Einsturz des Gebäudes oder Abriss erforderlich
Beschreibung Gebäudeschaden		[Text]	offene Beschreibung
S2: Schaden an der Gebäudetechnik			
Neuwert der Gebäudetechnik		[€]	Neuwert oder Wiederherstellungswert der gesamten Gebäudetechnik VOR dem Hochwasser

Information		Messung mit Ausprägungen, Aufnahme	Spezifizierung des Parameters, Hinweise
monetärer Schaden Gebäudetechnik		[€]	Kosten für Reparatur oder Ersatz der geschädigten Gebäudetechnik
ODER	Schadensgrad Gebäudetechnik	[%]	prozentuale Schädigung der Gebäudetechnik, relativer Schaden
Beschreibung des Schadens an der Gebäudetechnik		[Text]	offene Beschreibung
S3: Schaden an Maschinen und Einrichtung (Ausrüstung)			
Ausrüstungswert		[€]	Neuwert oder Wiederbeschaffungswert der gesamten Ausrüstung VOR dem Hochwasser
monetärer Schaden an Ausrüstung		[€]	Kosten für Reparatur oder Ersatz der geschädigten Ausrüstung
ODER	Schadensgrad Ausrüstung	[%]	prozentuale Schädigung der Ausrüstung, relativer Schaden
Beschreibung des Schadens an der Ausrüstung		[Text]	offene Beschreibung
S4: Schaden an Waren, Produkten und Lagerbeständen (WPL)			
WPL-Gesamtwert als Neuwert vor dem Hochwasser		[€]	Neuwert oder Wiederbeschaffungswert der gesamten WPL VOR dem Hochwasser
WPL-Schaden als Wiederherstellungskosten		[€]	Kosten für Ersatz der geschädigten WPL
ODER	WPL-Schadensgrad	[%]	prozentuale Schädigung der WPL, relativer Schaden
Beschreibung des Schadens an WPL		[Text]	offene Beschreibung
S5: Schaden infolge Betriebsunterbrechung (BU) und Betriebseinschränkung (BE)			
BU-Dauer		[Tage, Monate]	zeitliche Dauer der BU ab Ereignisbeginn; unter BU wird der komplette Ausfall der betrieblichen Aktivitäten verstanden.
BE-Dauer		[Tage, Monate]	zeitliche Dauer der BE ab Ereignisbeginn; die BE umfasst sowohl BU als auch Zeiten, in denen zwar betriebliche Tätigkeiten ausgeführt werden, aber – im Vergleich zum Zustand vor dem Hochwasser – nur in vermindertem Umfang.

Information		Messung mit Ausprägungen, Aufnahme	Spezifizierung des Parameters, Hinweise
Ursachen der BU/BE		[Mehrfach-Auswahlliste] – Sachschäden an Gebäuden und/oder Maschinen – Wasserver-/entsorgung unterbrochen/eingeschränkt – Elektrizitätsversorgung unterbrochen/eingeschränkt – Telekommunikation unterbrochen/eingeschränkt – Mitarbeiter kamen zu spät oder konnten die Firma überhaupt nicht erreichen – Transportwege unterbrochen oder eingeschränkt – Lieferschwierigkeiten von Zulieferern – Sonstiges	
		Erläuterungen [Text]	z.B. Beschreibung von „Sonstiges“
monetärer Schaden		[€]	Abschätzung des monetären Schadens
S6: Weitere Schäden und Kosten			
Schäden an Außenanlagen		[€]	
Schäden an Kraftfahrzeugen		[€]	
Kosten für Aufräum- und Reinigungsarbeiten		[€]	
ODER		Anzahl der aufräumenden Personen [Zahl]	Zur Abschätzung der Kosten ist die Personenanzahl mit der Stundenanzahl und mit einem Stundensatz zu multiplizieren.
		Dauer der Aufräumarbeiten [Arbeitsstunden pro Person]	
Entsorgungskosten		Kostensatz [€/m ³]	Zur Abschätzung der Kosten ist die Menge mit einem Kosten-Mengensatz zu multiplizieren.
		Menge als Volumen [m ³]	
	ODER	Kostensatz [€/t] UND Menge als Gewicht [t]	

Information	Messung mit Ausprägungen, Aufnahme	Spezifizierung des Parameters, Hinweise
O: Informationen zum Objekt		
O1: Lage	Zur vereinfachten Aufnahme von komplexen Betriebsstätten nur die Kriterien „Verortung“ und „Geländehöhe“ erfassen.	
Verortung	Postleitzahlenzone [Zahl]	
	Ort [Text]	
	ODER Gemeindekennziffer [Zahl]	
	Straße, Hausnummer [Text]	Hausnummerngenaue Erfassung; der Datenschutz ist zu beachten.
	ODER Flurstücknummer [Text]	14-stellige Ziffer; hierbei ist der Datenschutz zu beachten
ODER	geographische Koordinaten [Hochwert, Rechtswert]	Koordinaten z.B. nach Gauß-Krüger; neben einer Erfassung durch GPS können diese aus Adressangaben durch Geokodierung gewonnen werden. Hierbei ist der Datenschutz zu beachten. In den META-Daten ist das Bezugssystem zu vermerken.
Geländehöhe	[m über NN]	Höhe über Normalnull an der Geländeoberkante (GOK); Normalnull spezifizieren (GPS-Messung, amtliche Karten) Zur vereinfachten Aufnahme von komplexen Betriebsstätten nur die mittlere Geländehöhe auf dem Betriebsgelände erfassen.
Höhe der Einlaufschwelle	[cm] über/unter GOK	
vertikaler Abstand zwischen GOK und Erdgeschoss-Fußbodenoberkante (EG-FOK)	EG-FOK [+/- cm] über/unter GOK	Kann ggf. über die Anzahl der Treppenstufen und eine mittlere Stufenhöhe abgeschätzt werden.
O2: Art, Nutzung, Ausstattung		
Art der Wirtschaftsaktivität, Branche oder des Infrastrukturbereichs	WZ2008-Code [String]	Einstufung nach zweistelligem Code der WZ 2008
	ODER [Text]	offene Beschreibung

Information	Messung mit Ausprägungen, Aufnahme	Spezifizierung des Parameters, Hinweise
Gebäudenutzung	<p>[Auswahlliste]</p> <ul style="list-style-type: none"> – gemischt genutztes Wohn- und Geschäftshaus – Büro-/Verwaltungsgebäude – Kauf- und Warenhaus – Industriegebäude, Werkstatt – Lagergebäude – Wohnheim – Hotel – Gemeinde- und Veranstaltungszentrum – Bildungseinrichtung – Lehr- und Forschungseinrichtung – Funktionsgebäude für Sport – Funktionsgebäude für Kultur – Gebäude für religiöse Zwecke – Stall (Landwirtschaft) – Halle/Scheune (Landwirtschaft) – Sonstiges 	<p>Zur vereinfachten Aufnahme von komplexen Betriebsstätten die überwiegende Nutzung der betroffenen Objekte ODER die Nutzung der Objekte mit dem größten Schaden erfassen.</p> <p>überwiegend gewerbliche Nutzung; ansonsten gehört das Objekt zum Schadenssektor Wohngebäude</p> <p>auch Banken und Gerichte</p> <p>auch Einkaufszentrum oder Ausstellungshalle</p> <p>z.B. Produktionsanlage</p> <p>z.B. Altenheim</p> <p>z.B. Bürgerhaus</p> <p>z.B. Kindergarten, Schule</p> <p>z.B. Hochschule, Universität</p> <p>z.B. Tennis-/Sporthalle, Bad</p> <p>z.B. Theater, Museum</p> <p>z.B. Kirche, Kapelle</p>
Gebäude- und Anlagentechnik	<p>[Mehrfach-Auswahlliste]</p> <ul style="list-style-type: none"> – Elektrizität – Heizung – Klimaanlage 	<p>Zur vereinfachten Aufnahme von komplexen Betriebsstätten die überwiegend in allen betroffenen Objekten vorhandene Gebäude- und Anlagentechnik erfassen.</p>
	Erläuterungen [Text]	z.B. Beschreibung der Angaben unter „Sonstiges“

Information	Messung mit Ausprägungen, Aufnahme	Spezifizierung des Parameters, Hinweise
	<ul style="list-style-type: none"> – Server/EDV-Anlagen – Fahrstühle – Sicherungssysteme – Wasser – Gas – Sonstiges 	
sonstige wasserempfindliche Anlagen und Stoffe	[Text]	z.B. Beschreibung von „Sonstiges“
Unterkellerung	[J/N]	
Kellernutzung VOR dem Hochwasser	[Mehrfach-Auswahlliste] <ul style="list-style-type: none"> – ähnlich wie in den oberirdischen Stockwerken – Gebäudetechnik – Lagerraum – Sonstiges 	Zur vereinfachten Aufnahme von komplexen Betriebsstätten die überwiegende Kellernutzung in den betroffenen Objekten erfassen.
Erhaltungszustand des Objekts	[Ordinalskala] <ul style="list-style-type: none"> 1: gut 2: mittel 3: schlecht 	Zur vereinfachten Aufnahme von komplexen Betriebsstätten den durchschnittlichen Erhaltungszustand der betroffenen Gebäude und Anlagen erfassen.
Bauweise – Material	[Auswahlliste] <ul style="list-style-type: none"> – Lehm – Fachwerk – Fertigteil – Leichtbau – Mauerwerk – Stahlbeton – Hochwassergerechte Bauweise (FRD – Flood Resistant Design) 	vgl. Schwarz & Maiwald (2007) Zur vereinfachten Aufnahme von komplexen Betriebsstätten die überwiegende Bauweise der betroffenen Gebäude erfassen.

Information		Messung mit Ausprägungen, Aufnahme	Spezifizierung des Parameters, Hinweise
		– Sonstiges	
		Erläuterungen [Text]	z.B. Beschreibung von „Sonstiges“
M: Informationen zur Schadensminderung; durch das Zusatzmodul Schadensminderung (MPlus, Tab. 4.10) kann dieser Bereich detaillierter erfasst werden.			
M1: Maßnahmen			
Hochwasserschutzmaßnahmen		[Mehrfach-Auswahlliste] – keine Maßnahmen – permanente Maßnahmen oder Vorsorgemaßnahmen – mobile Maßnahmen oder Notfallmaßnahmen – sonstige Maßnahmen	Es werden nur Maßnahmenkategorien erfasst; Einzelmaßnahmen können mit dem Zusatzmodul MPlus (Tab. 4.10) dokumentiert werden.
		Erläuterungen [Text]	z.B. Benennung der sonstigen Maßnahmen
BEDINGT	Wirksamkeit der permanenten Maßnahmen	[Ordinalskala] 1: wirksam 2: teilweise wirksam 3: unwirksam	Falls permanente Schutzmaßnahmen vorhanden sind, sollte deren Wirksamkeit summarisch bewertet werden.
BEDINGT	Wirksamkeit der Notfallmaßnahmen	[Ordinalskala] 1: wirksam 2: teilweise wirksam 3: unwirksam	Falls mobile Maßnahmen vorhanden sind oder Notfallmaßnahmen ergriffen wurden, sollte deren Wirksamkeit summarisch bewertet werden.
M2: Warnung			
Reaktionszeit		Zeitdauer [h]	Von der ersten wahrgenommenen Warnung bis zum Zeitpunkt, an dem Wasser das Objekt erreicht.
Warnweg		[Auswahlliste] – FAX – SMS	Weg, über den Warnung wahrgenommen wurde

Information	Messung mit Ausprägungen, Aufnahme	Spezifizierung des Parameters, Hinweise
	<ul style="list-style-type: none"> – E-Mail – Sirene – öffentlicher Ausruf – lokale Radio-/Fernsehsender – sonstige Quellen 	
	Erläuterungen [Text]	z.B. Spezifizierung „Sonstige“

Zusatzmodul Schadensminderung für den Sektor „Gewerbliche Wirtschaft und öffentliche Infrastruktur (ohne Verkehr)“

Analog zum Schadenssektor Wohngebäude wird auch für Objekte der gewerblichen Wirtschaft und öffentlichen Infrastruktur ein Modul zur Erfassung von Objektschutz- und Notfallmaßnahmen vorgeschlagen (s. Tab. 4.10).

Tab. 4.10: Zusatzmodul „Schadensminderung in Unternehmen“ (Modul W-MPlus).

Information	Messung mit Ausprägungen, Aufnahme	Spezifizierung des Parameters, Hinweise
MPlus1: Eindringpfad des Wassers in das Gebäude oder die Anlage	Zur vereinfachten Aufnahme von komplexen Betriebsstätten die verschiedenen Eindringpfade in alle betroffenen Gebäude und Anlagen auflisten.	
Eindringpfade	[Mehrfach-Auswahlliste] <ul style="list-style-type: none"> – Türen – Fenster – Wände / Boden – Kabeldurchführungen – Kanalisation – Lüftungsöffnungen – Sonstiges 	
	Erläuterungen [Text]	
MPlus2: Kontaminationsquellen; Die Art der Kontamination wird bereits im Ereignismodul E, erfasst.		

Information	Messung mit Ausprägungen, Aufnahme	Spezifizierung des Parameters, Hinweise
Eigen- oder Fremdkontamination	[Auswahlliste] – keine Kontamination – Eigenkontamination – Fremdkontamination – Eigen- und Fremdkontamination	Die Quelle von Kontaminationen sollte für jede Kontaminationsart erhoben werden.
Anlagen für wassergefährdende Stoffe: Anzahl und Art	[Text]	offene Beschreibung
MPlus3: Schutzmaßnahmen		
permanente Schutzmaßnahmen	[Mehrfach-Auswahlliste] – geringwertige Nutzung hochwassergefährdeter Bereiche – Verwendung wasserwiderstandsfähiger oder leicht erneuerbarer Bau- und Ausbaumaterialien – bauliche Objektschutzmaßnahmen – Tanks sind gegen Auftriebs- oder Strömungskräfte fest verankert. – Entlüftungs- oder Klimaanlage ist hochwassersicher – Sonstige	permanente Schutzmaßnahmen VOR dem Hochwasser; Liste ist bedarfsgerecht anzupassen. Zusätzlich kann erfasst werden, ob die Maßnahmen NACH dem Hochwasser umgesetzt wurden oder erst geplant sind. z.B. Abdichtung der Kellerräume, Verbesserung der Gebäudestandsicherheit, stationäre oder mobile Wassersperren
	Erläuterungen [Text]	
Notmaßnahmen	[Mehrfach-Auswahlliste] – Dokumente und Wertsachen sichern – Fahrzeuge auf hochwassersicheres Gelände fahren – Gas und Strom abstellen	VOR dem Hochwasser bzw. WÄHREND des Hochwassers ergriffene Notmaßnahmen

Information	Messung mit Ausprägungen, Aufnahme	Spezifizierung des Parameters, Hinweise
	<ul style="list-style-type: none"> – Anlagen abschalten – bewegliche Gegenstände, Anlagenteile ausbauen und hochstellen oder in sichere Werkteile bringen – Öltanks oder Behälter mit anderen gefährlichen Flüssigkeiten sichern – Wassereinbruch in Gebäude und Anlagen verhindern – Pumpen einsetzen – Sonstiges 	
	Erläuterungen [Text]	
Wirksamkeit der Schutz- und Notmaßnahmen	[Ordinalskala] 1: wirksam 2: teilweise wirksam 3: unwirksam	Die Wirksamkeit sollte für jede der angetroffenen Schutz- und Notfallmaßnahmen einzeln bewertet werden.
Entlastungs- oder Ersatzmöglichkeiten (Redundanzen) betroffener Anlagen und Leitungen	[Text]	offene Beschreibung der Art und Reichweite
MPlus4: Versicherungsschutz		
Vorhandensein von Versicherungsschutz	[J/N]	
Art der Versicherung	[Text]	Bedingungen und Umfang (Gebäude, Glas, BU etc.) erläutern
MPlus5: Risiko- und Gefahrenbewusstsein		
Gefährdungswissen	[J/N]	Kenntnis der Betroffenen über die Gefährdung des Standortes
Zugang zu Gefahrenkarten	[J/N]	Sind Gefahrenkarten in der Gemeinde veröffentlicht?
Vorschädigung	[J/N]	ggf. Anzahl der Vorschädigungen
vergangene Hochwasserereignisse	[Anzahl]	Hochwassererfahrung

Information	Messung mit Ausprägungen, Aufnahme	Spezifizierung des Parameters, Hinweise
letztes Hochwasserereignis	[jjjj.mm]	Jahr, Monat des letzten Hochwasserereignisses
vorausschauendes Handeln	[J/N]	z.B. Berücksichtigung der Hochwassergefährdung bei Planungsprozessen im Unternehmen bzw. in der Verwaltung
Notfallplan	[J/N]	Existenz eines Notfallplans in der betroffenen Einrichtung/Anlage
Übungen	[Ordinalskala] 0: nie 1: selten 2: gelegentlich 3: oft	Häufigkeit von Schutzübungen gar nicht seltener als einmal jährlich ein- bis zweimal jährlich öfter als zweimal jährlich
Risiko- und Gefahrenbewusstsein der Betroffenen	[Ordinalskala]: 0: kein 1: gering 2: mittel 3: hoch	generelle abschließende Bewertung des Risiko- und Gefahrenbewusstseins unter Berücksichtigung aller gemachten Angaben.

4.5 Land-/Forstwirtschaft

In wirtschaftlichen Statistiken werden Land-, Forstwirtschaft und Fischerei häufig zusammengefasst. In der Klassifikation der Wirtschaftszweige (WZ 2008) werden Vermögenswerte aus diesen Bereichen mit dem zweistufigen Code 01, 02 oder 03 gekennzeichnet. Im Vergleich zu anderen wirtschaftlichen Sektoren treten in der Land- und Forstwirtschaft diverse Arten von Hochwasserschäden auf: Neben Schäden an Wirtschaftsgebäuden und der Betriebsausrüstung (Maschinen, Betriebseinrichtungen) können Schäden am Viehbestand auftreten oder Kosten durch die Evakuierung von Vieh entstehen. Des Weiteren können Lagerbestände, vor allem Futtermittel, durch Hochwassereinwirkung vernichtet sowie landwirtschaftliche Infrastruktur (Wege, Drainagen) geschädigt werden. Die flächenmäßig – vor allem auch bereits bei kleinen Ereignissen – bedeutsamsten Schäden in der Landwirtschaft treten jedoch in Form von Ertragseinbußen auf landwirtschaftlichen Nutzflächen auf. Da Schäden an Gebäuden, Inventar und Infrastruktur mithilfe der Überlegungen und Kataloge aus Kapitel 4.4 erfasst werden können, soll in diesem Kapitel nur die Aufnahme von Ertragsschäden thematisiert werden.

Da von einem landwirtschaftlichen Betrieb mehrere Nutzflächen mit unterschiedlichen Anbaukulturen und Hochwassereinwirkungen betroffen sein können, wird empfohlen, die Aufnahme nicht pro Betrieb zu aggregieren, sondern jede geschädigte Ackerfläche (Parzelle, Schlag) als einen Schadensfall aufzunehmen. Es ist jedoch zu prüfen, ob Angaben, die Rahmen der Agrarstrukturerhebung und Agrarförderung erhoben wurden, verwendet werden können.

Für Schäden auf landwirtschaftlichen Flächen wurde der in Tab. 4.11 zusammengefasste Kriterienkatalog entwickelt. Bei der Schadensaufnahme sind insbesondere die Angaben zur Hochwassereinwirkung (Tab. 4.4), z.B. zur Überflutungshöhe oder Überflutungsdauer, zu mitteln, und zwar über die gesamte betroffene Fläche. Die geographische Verortung der Fläche sollte sich hingegen eher auf den Mittelpunkt des Schlags beziehen.

Eine Besonderheit von Schäden auf landwirtschaftliche Nutzflächen ist, dass sie ganz erheblich vom Zeitpunkt des Hochwasserereignisses abhängen. Ist die Fläche zum Zeitpunkt der Überflutung noch nicht bestellt, entsteht kein direkter Ertragsschaden, während bei einem Hochwasserereignis kurz vor der Ernte in den meisten Fällen ein Totalschaden verursacht wird. Der Schaden hängt also sehr stark vom Bearbeitungszustand des Feldes und von der Pflanzenentwicklung ab. Daher spielen die Aufnahme des Ereignisdatums sowie evtl. der Pflanzenentwicklung und ausstehender Bewirtschaftungsvorgänge für die Bewertung von Schäden in der Landwirtschaft eine große Rolle.

Kommt es durch die Überflutung zu Bodenabtrag (Erosion) und damit längerfristigem Nutzungsausfall kann der Schaden Auswirkungen auf die Subventionszahlungen für den Betrieb haben. Dieser Sonderfall wird hier jedoch nicht weiter betrachtet.

Eine weitere Nutzungseinschränkung der Fläche kann infolge von kontaminierten Ablagerungen auftreten. Daher sind im Ereignismodul (Tab. 4.4) die Kriterien „Kontaminationen“ und „Treibgut/mitgeführtes Material“ besonders zu betrachten. Im Gegensatz zu den anderen Schadenssektoren sind auf landwirtschaftlichen Flächen hier auch ggf. nicht sofort sichtbare Stoffablagerungen zu berücksichtigen und hinsichtlich ihrer Mobilität im System Boden – Wasser – Pflanze und langfristiger Folgewirkungen in der Nahrungskette zu bewerten. Werden beispielsweise Feldfrüchte, die als Nahrungsmittel konsumiert werden, überflutet, ist aufgrund von stofflichen oder hygienischen Bedenken immer von einem Totalverlust auszugehen. Auch bei Entscheidungen zur Futtermittelverwertung und Flächensanierung sind Regelungen des Futtermittel-, Bau-, Bodenschutz- und Abfallrechts sowie entsprechende Vorschriften im Rahmen spezieller Förderprogramme zu beachten (LfL, 2005).

Tab. 4.11 Modul „Schäden auf landwirtschaftlichen Nutzflächen“ (Modul L-SOM).

Information	Messung mit Ausprägungen, Aufnahme	Spezifizierung des Parameters, Hinweise
E: Informationen zum Ereignis		
	→ Ereignismodul (Tab. 4.4); die Werte sind für die betroffene Fläche gemittelt und ggf. als Minima und Maxima festzuhalten.	
S: Informationen zum Schaden		
S1: Ertragsschäden		
geschädigte Fläche	[ha]	betroffene Fläche in physischen Einheiten
Ertragspotenzial (Wert)	[€/ha]	mittleres Ertragspotenzial der Fläche, z.B. Mittelwert der letzten fünf Jahre nach Angaben der KTBL ODER Richtsatz für Entschädigung
Schädigungsgrad	[%]	prozentuale Schädigung des Pflanzenbestandes (Wert)
Ertragsausfall (Schaden)	[€]	Produkt aus betroffener Fläche, Wert und Schädigungsgrad
qualitative Schadensbeschreibung	[Ordinalskala] 1: leichte Schädigung 2 3 4 5: Pflanzen abgestorben	
S2: Strukturelle Schäden (Bodenabtrag, Erosion)		
Bodenabtrag	[Text]	offene Schadensbeschreibung
Fläche oder Menge	[ha]	Fläche mit Bodenabtrag
ODER	[m ³]	Volumen des abgetragenen Bodens
S3: Nutzungsunterbrechung und -einschränkungen		
monetärer Schaden durch Nutzungsunterbrechungen oder Einschränkungen	[€]	

Information		Messung mit Ausprägungen, Aufnahme	Spezifizierung des Parameters, Hinweise
Dauer der Nutzungsunterbrechung		[Wochen, Monate]	Zeitdauer seit Ereignisbeginn; gemeint ist die komplette Unterbrechung der Flächennutzung oder Bewirtschaftung
Dauer der Nutzungseinschränkungen		[Monate]	Zeitdauer seit Ereignisbeginn; Angabe in Monaten; gemeint ist die komplette Unterbrechung und eingeschränkte Flächennutzung
Art der Nutzungsunterbrechung oder Einschränkungen		[Text]	z.B. Anbauverbot für bestimmte Kulturen; evtl. Begründung
S4: Weitere direkte Kosten			
Kosten für Aufräum- und Reinigungsarbeiten		[€]	
ODER		Anzahl der aufräumenden Personen [Zahl]	Zur Abschätzung der Kosten ist die Personenanzahl mit der Stundenanzahl und mit einem Stundensatz zu multiplizieren, wobei der Stundensatz auch Maschinenkosten beinhalten sollte.
		Dauer der Aufräumarbeiten [Arbeitsstunden pro Person]	
		Stundensatz für Aufräumarbeiten [€/h]	
Entsorgungskosten		Kostensatz [€/m ³]	Zur Abschätzung der Kosten ist die Menge mit einem Kosten-Mengensatz zu multiplizieren.
		Menge als Volumen [m ³]	
		ODER Kostensatz [€/t] UND Menge als Gewicht [t]	
O: Informationen zum Objekt			
O1: Lage		Bezugspunkt für die Lage ist in etwa der Flächenmittelpunkt.	
Verortung		Postleitzahlenzone [Zahl]	
		Ort [Text]	
		ODER Gemeindegrenznummer [Zahl]	14-stellige Ziffer
		Straße, Nummer [Text]	Der Datenschutz ist zu beachten.
		ODER Flurstücknummer [Text]	Der Datenschutz ist zu beachten.

Information		Messung mit Ausprägungen, Aufnahme	Spezifizierung des Parameters, Hinweise
ODER		geographische Koordinaten [Hochwert, Rechtswert]	Koordinaten z.B. nach Gauß-Krüger; neben einer Erfassung durch GPS können diese aus Adressangaben durch Geokodierung gewonnen werden. Hierbei ist der Datenschutz zu beachten. In den META-Daten ist das Bezugssystem festzuhalten.
	Geländehöhe	[m über NN]	Höhe über Normalnull an der Geländeoberkante (GOK); Normalnull spezifizieren (GPS-Messung, amtliche Karten)
Gesamtfläche des betroffenen Flurstücks		[ha]	
O2: Art und Nutzung			
Bodenzahl		[Wert]	
Kulturart		[Auswahlliste] – Getreide – Eiweißpflanzen (Hülsenfrüchte, Körnerleguminosen) – Hackfrüchte – Ölsaaten/Ölfrüchte – Feldfutterbau/Ackerfutter – Gemüse und sonstige Handelsgewächse – Dauergrünland – mehrjährige Kulturen und Dauerkulturen – Stilllegung – Sonstiges	ggf. detailliert aufschlüsseln nach dem System zur Identifizierung landwirtschaftlich genutzter Parzellen im Integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystem (InVeKOS) der Europäischen Kommission
		Erläuterungen [Text]	
Kulturzustand		[Ordinalskala] 1: unbearbeitet 2: gedüngt und/oder bearbeitet 3: gesät bzw. gepflanzt	auch: Stoppelfeld nach Ernte vor der Aussaat

Information	Messung mit Ausprägungen, Aufnahme	Spezifizierung des Parameters, Hinweise
	4: mittleres Wachstumsstadium 5: Reife	nach Pflege und Spätdüngung erntefähiger Aufwuchs
	Erläuterungen [Text]	z.B. Besonderheiten und evtl. noch ausstehende Bearbeitungsvorgänge skizzieren
Schadensanfälligkeit der Kultur	[Ordinalskala] 1: sehr empfindlich 2: 3: 4: 5: unempfindlich	
betriebswirtschaftliche Ausrichtung (BWA)	[Mehrfach-Auswahlliste] – Ackerbaubetrieb – Gartenbaubetrieb – Dauerkulturbetrieb – Weideviehbetrieb – Veredlungsbetrieb – Pflanzenbauverbundbetrieb – Viehhaltungsverbundbetrieb – Pflanzenbau- und Viehhaltungsbetrieb	Spezialisierungsrichtung des Betriebes oder Produktionsschwerpunkt nach dem europäischen Klassifizierungsverfahren der landwirtschaftlichen Betriebe
	Erläuterungen [Text]	
Bewirtschaftung	[Auswahlliste] – konventionell – Bioanbau – Betrieb in Umstellung – Sonstiges	
	Erläuterungen [Text]	

Information		Messung mit Ausprägungen, Aufnahme	Spezifizierung des Parameters, Hinweise
M: Informationen zur Schadensminderung			
M1: Maßnahmen			
Hochwasserschutzmaßnahmen		[Mehrfach-Auswahlliste] – keine Maßnahmen – permanente Maßnahmen oder Vorsorgemaßnahmen – mobile Maßnahmen oder Notfallmaßnahmen – sonstige Maßnahmen	Es werden nur Maßnahmenkategorien erfasst. z.B. Sommerdeich z.B. vorzeitige Ernte
		Erläuterungen [Text]	z.B. weitere Angaben zu Deichen, wie Bemessungshochwasser
BEDINGT	Wirksamkeit der permanenten Maßnahmen	[Ordinalskala] 1: wirksam 2: teilweise wirksam 3: unwirksam	Falls permanente Schutzmaßnahmen vorhanden sind, sollte deren Wirksamkeit summarisch bewertet werden.
BEDINGT	Wirksamkeit der Notfallmaßnahmen	[Ordinalskala] 1: wirksam 2: teilweise wirksam 3: unwirksam	Falls mobile Maßnahmen vorhanden sind oder Notfallmaßnahmen ergriffen wurden, sollte deren Wirksamkeit summarisch bewertet werden.
Gefährdungswissen		[J/N]	z.B. Kenntnis über Gefahrenzone, in der die Fläche liegt
Zugang zu Gefahrenkarten		[J/N]	Veröffentlichung von Gefahrenkarten in der Gemeinde
M2: Warnung			
Reaktionszeit		Zeitdauer [h]	Dauer zwischen der ersten wahrgenommenen Warnung bis zur Überflutung der Fläche
Warnweg		[Auswahlliste] – FAX	Weg, über den Warnung wahrgenommen wurde

Information	Messung mit Ausprägungen, Aufnahme	Spezifizierung des Parameters, Hinweise
	<ul style="list-style-type: none"> – SMS – E-Mail – Sirene – öffentlicher Ausruf – lokale Radio-/Fernsehsender – sonstige Quellen 	
	Erläuterungen [Text]	z.B. Spezifizierung „Sonstige“

4.6 Verkehrsinfrastruktur

Unabhängig von der späteren Bewertung in einer Gesamtschadensbilanz hat die Verkehrsinfrastruktur während der Katastrophe besondere Bedeutung, weil Rettungs- und Versorgungsdienste soweit wie möglich sichergestellt werden müssen (Transport von Material und Personal). Außerdem sind Straßen baulich oft verbunden mit Versorgungsleitungen und Kommunikationsinfrastruktur, deren Ausfall erschwerende Folgewirkungen haben kann. Neben dieser Funktion für die Katastrophenbekämpfung haben Transport und Verkehr hohe Bedeutung für die Wirtschaft und das öffentliche Leben und gehören daher zu den kritischen Infrastrukturen (z.B. BSI, 2007).

Für den Betrieb und die Unterhaltung von Straßen und Schienenwegen sind Verwaltungen und Unternehmen verantwortlich, die im Fall eines Hochwassers sofort mit dem geeigneten Fachpersonal vor Ort sind, um Schäden zu begutachten und zu beschränken und um eine Funktionsfähigkeit soweit möglich sicher zu stellen (vgl. Kapitel 3.3). Dabei ist das Augenmerk nicht nur auf die Schädigung einzelner Objekte oder Abschnitte zu richten, sondern es ist auch die Netzfunktion bei der Soforterfassung mit zu beurteilen, um geeignete Maßnahmen (Informationen, Umleitungen, Provisorien, etc.) einzuleiten. Herausragende Bedeutung haben in diesem Zusammenhang Brücken, die in Verkehrsnetzen nicht selten einen Engpass bilden und deren Ausfall eine hohe Beeinträchtigung der Netzfunktion nach sich ziehen kann. Gleichzeitig sind Brücken im Hochwasserfall besonders gefährdet (z.B. aufgrund von Anprall und Ablagerung von Treibgut an Brückenpfeilern) und müssen daher beobachtet und ggf. gesichert werden. Die Begutachtung des Schadensverlaufes an solchen kritischen Bauwerken ist auch deshalb so bedeutsam, weil daraus Schlüsse für die Funktionsverbesserung in Vorbereitung auf künftige Ereignisse gezogen werden können.

Die Erfassung der Schäden sollte standardisiert erfolgen (z.B. auf Ordinalskalen, s.u.), was durch den Einsatz von Fachleuten der betroffenen Bereiche erleichtert wird. Die

Dokumentation kann in Verbindung mit vorhandenen Registern (z.B. Straßenkataster) abgelegt werden, wodurch Darstellungen und Analysen erleichtert werden.

Die Besonderheiten der Verkehrsanlagen (z.B. im Vergleich zu Wohngebäuden) bestehen des Weiteren darin, dass eine Überspülung noch keine Schädigung nach sich ziehen muss. Ein gut unterhaltener Straßenabschnitt, der nur nass wird, bleibt befahrbar und belastbar. Kritisch sind Vorschädigungen oder ungeeignete Bauweisen, dynamische Überschwemmungen und Folgeschäden durch Frost. Bei diesen linienförmigen Infrastrukturen sind zudem in Abhängigkeit von der Fließrichtung und der Fließgeschwindigkeit Schäden durch das Anspülen zu verzeichnen (nicht nur bei einer Dammlage). Für exponierte Lagen, in denen regelmäßig mit Überflutung zu rechnen ist, sollten hochwasserfeste Bauweisen umgesetzt werden.

Die in diesem Sektor definierten Objekte sind Streckenabschnitte. Bei Straßen im bebauten Stadtgebiet sind Abschnitte durch die kreuzenden Straßen begrenzt und zur Lagebestimmung sind die Koordinaten der Kreuzungsmittelpunkte relevant. Auf der freien Strecke dient die Kilometrierung zur Verortung der überspülten und der geschädigten Abschnitte.

Die im Folgenden aufgeführten Kriterien geben die wichtigsten Merkmale in einer allgemeinen Struktur an (Tab. 4.12). Die Darstellung des Kriterienkataloges folgt der allgemeinen Legende (Tab. 4.2). Für Straßen und insbesondere für Schienenwege wird die Erhebung von betrieblichen Fachleuten durchgeführt werden, die weitergehende notwendige Informationen aufnehmen. Zu nennen sind beispielsweise: Lage im Gelände (Damm, Einschnitt), Ingenieurbauwerke, technische Ausstattung und für Bahnstrecken Elektrifizierung, Leit- und Sicherungstechnik.

Tab. 4.12: Modul Verkehrsinfrastruktur (Modul V-SOM).

Information	Messung mit Ausprägungen, Aufnahme	Spezifizierung des Parameters, Hinweise
E: Informationen zum Ereignis	→ Ereignismodul (Tab. 4.4)	
S: Informationen zum Schaden	Werte und Schäden sollten zusätzlich als Zeitwerte dokumentiert werden.	
S1: Direkte monetäre Schäden		
betroffene Fläche	Fläche des Objekts [m ²]	Schäden nach Mengen (Fläche, ggf. Länge) an Straßen, Schienen, baulichen Anlagen, Ausstattung

Information		Messung mit Ausprägungen, Aufnahme	Spezifizierung des Parameters, Hinweise
Neuwert (gesamt)		[€]	Neuwert des Objekts VOR dem Hochwasser
Schaden		[€]	Wiederherstellungskosten des geschädigten Objekts
ODER	Schadensgrad	[%]	prozentuale Schädigung des Objektwertes, relativer Schaden
qualitative Schadensbeschreibung		[Ordinalskala] 0: keine Schädigung 1: 2: 3: 4: 5: sehr starke Schädigung	nur feucht, verschmutzt Aufweichung des Untergrundes; Fahr-/Gehbahnbefestigungen (FB/GB) zerstört leichte Beschädigung, Absackung, teils mit Wassereinsickerungen in den Belag oberflächliche Beschädigung, teils Absackungen und Unterspülung starke Beschädigung der FB/GB (Fahrbahneinbrüche) sehr starke flächige Beschädigung (inkl. Stadtentwässerung) und Unterspülung von Decke und Unterbau, teils weggebrochen
Dringlichkeit der Schadensbeseitigung		[Ordinalskala] 0: keine 1: normal 2: hoch 3: sehr hoch	im Rahmen der nächsten Unterhaltungsarbeiten innerhalb der nächsten sechs Monate dringlich innerhalb des nächsten Monats sofort, in wenigen Tagen
		Erläuterungen [Text]	
S2: Verkehrs- und Betriebsunterbrechungen sowie Verkehrs- und Betriebseinschränkungen			
Art der Verkehrs- und Betriebsunterbrechungen und Einschränkungen		Erläuterungen [Text]	Verkehrsmengen nach Art
Dauer		[tt:hh]	Angabe in Tagen und Stunden
Schaden durch Verkehrsunterbrechungen und Einschränkungen		[€]	

Information		Messung mit Ausprägungen, Aufnahme	Spezifizierung des Parameters, Hinweise
Provisorien		[€]	Kosten für die Bereitstellung von Provisorien
S3: Aufräum- und Reinigungsarbeiten			
Kosten für Aufräum- und Reinigungsarbeiten		[€]	
ODER		Anzahl der aufräumenden Personen [Zahl]	Zur Abschätzung der Kosten ist die Personenanzahl mit der Stundenanzahl und einem Stundensatz zu multiplizieren.
		Dauer der Aufräumarbeiten [Arbeitsstunden pro Person]	
		Stundensatz für Aufräumarbeiten [€/h]	
O: Informationen zum Objekt			
O1: Lage			
Verortung		Postleitzahlenzone [Zahl]	
		Ort [Text]	
		ODER Gemeindekennziffer [Zahl]	14-stellige Ziffer
		Straßenabschnitt [Text]	z.B. aus Straßenkataster
ODER	Anfang des geschädigten Straßen- oder Schienenabschnitts	geographische Koordinaten [Hochwert, Rechtswert]	Koordinaten z.B. nach Gauß-Krüger; neben einer Erfassung durch GPS können diese aus Adressangaben durch Geokodierung gewonnen werden. In den META-Daten ist das Bezugssystem zu vermerken.
	Ende des geschädigten Straßen- oder Schienenabschnitts	geographische Koordinaten [Hochwert, Rechtswert]	
Geländehöhe		[m über NN]	Höhe über Normalnull an der Geländeoberkante (GOK); Normalnull spezifizieren
O2: Art, Nutzung, Ausstattung			
Straßentyp-/klasse		[Auswahlliste] – Bundesautobahn – Bundesstraße – Landesstraße	Straßenkataster

Information	Messung mit Ausprägungen, Aufnahme	Spezifizierung des Parameters, Hinweise
	<ul style="list-style-type: none"> – Kreisstraße – Gemeindestraße – Wirtschaftsweg – Feld-/Waldweg 	evtl. befestigt/unbefestigt
Schienenweg	[Auswahlliste] <ul style="list-style-type: none"> – kommunal – Industriebahn – DB Netz – Sonstiges 	Tram etc. evtl. Haupt-/Nebenbahn
	Erläuterungen [Text]	Spezifizierung „Sonstiges“
Vorschädigung und Erhaltungszustand	[Ordinalskala] <p>1: sehr gut</p> <p>2:</p> <p>3:</p> <p>4:</p> <p>5: sehr schlecht</p>	Erhaltungszustand vor dem Ereignis
Bauweise – Material	[Auswahlliste] <ul style="list-style-type: none"> – Asphalt – Beton – Naturstein – Schotter – Sonstiges 	
	Erläuterungen [Text]	Spezifizierung „Sonstiges“
M: Informationen zur Schadensminderung		
M1: Maßnahmen		
Hochwasserschutzmaßnahmen	[Mehrfach-Auswahlliste] <ul style="list-style-type: none"> – keine Maßnahmen 	Es werden nur Maßnahmenkategorien erfasst.

Information		Messung mit Ausprägungen, Aufnahme	Spezifizierung des Parameters, Hinweise
		– permanente Maßnahmen oder Vorsorgemaßnahmen – mobile Maßnahmen oder Notfallmaßnahmen – sonstige Maßnahmen	
		Erläuterungen [Text]	z.B. Benennung der sonstigen Maßnahmen
BEDINGT	Wirksamkeit der permanenten Maßnahmen	[Ordinalskala] 1: wirksam 2: teilweise wirksam 3: unwirksam	Falls permanente Schutzmaßnahmen vorhanden sind, sollte deren Wirksamkeit summarisch bewertet werden.
BEDINGT	Wirksamkeit der Notmaßnahmen	[Ordinalskala] 1: wirksam 2: teilweise wirksam 3: unwirksam	Falls mobile Maßnahmen vorhanden sind oder Notmaßnahmen ergriffen wurden, sollte deren Wirksamkeit summarisch bewertet werden.
M2: Warnung			
Reaktionszeit		Zeitdauer [h]	Von der ersten wahrgenommenen Warnung bis zum Zeitpunkt, an dem Wasser das Objekt erreicht; evtl. aus behördlichen Angaben ableiten.
Warnweg		[Auswahlliste] – FAX – SMS – E-Mail – Sirene – öffentlicher Ausruf – lokale Radio-/Fernsehsender – sonstige Quellen	Weg, über den Warnung wahrgenommen wurde
		Erläuterungen [Text]	Spezifizierung „Sonstige“

4.7 Schadenssektor „Öffentliche Infrastruktur – Gewässer und wasserbauliche Anlagen“ (inkl. Hochwasserschutzanlagen)

Bei der Schadenserfassung für durch Hochwasser geschädigte Gewässerabschnitte und wasserbaulichen Anlagen sind mehrere Besonderheiten zu beachten:

Im Allgemeinen muss die Schadenserfassung für Gewässerabschnitte und für wasserbauliche Anlagen getrennt erfolgen. Dementsprechend werden nachfolgend die zu erhebenden Daten für betroffene Gewässerabschnitte und geschädigte wasserbauliche Anlagen separat behandelt. In den (wenigen) Fällen, in denen eine wasserbauliche Anlage vom funktionalen Gesamtkontext des Schadens am betroffenen Gewässerabschnitt nicht zu trennen ist und die Schadenshöhe der Anlage im Verhältnis zum Gesamtschaden des Gewässerabschnittes eine untergeordnete Rolle spielt, müssen die Anlagenschäden nicht separat ausgewiesen werden.

Bei Gewässern ist die Erfassung der physischen Schäden strikt von der Einschätzung der Bedeutung des Schadens für die drei Gewässerfunktionen Abflusssicherung und Hochwasserschutz, Gewässerökologie sowie Landschafts- oder Stadtbild zu trennen.

Die monetäre Bewertung der physischen Schäden umfasst die Aufwendungen für die Beseitigung der Schäden an sich und die Aufwendungen für die Wiederherstellung eines ordnungsgemäßen Zustandes nach dem geltenden Stand der Technik einschließlich der aktuellen wasserrechtlichen Anforderungen. In vielen Fällen kann dafür nicht der ursprüngliche Zustand vor dem Hochwasserereignis zugrunde gelegt werden, da sich durch die Hochwassereinwirkung die hydraulischen Bemessungsparameter geändert haben können. Daher sollten mit der Schadenserfassung die Unterschiede vor und nach dem Hochwasser abgebildet werden.

Die physischen Schäden sollten so erfasst werden, dass auch weitergehende Schlussfolgerungen zur Verbesserung des vorsorgenden Hochwasserschutzes gezogen werden können. D.h. sie sollten so dokumentiert werden, dass Analysen im Zusammenhang mit den Ereignisdaten und dem Gewässerzustand vor dem Hochwasser durchgeführt werden können.

Aufgrund der fachlichen Besonderheiten können Schadensdaten an Gewässern grundsätzlich nur von Fachleuten erhoben und bewertet werden. Eine von (ausgebildeten) Laien durchführbare pauschalierte Erfassung und Bewertung ist nicht bekannt. Selbst erste Schadensabschätzungen müssen von Fachleuten durchgeführt werden.

Die Erfassung der Schäden an Gewässern und wasserbaulichen Anlagen ist grundsätzlich erst nach Rückgang des Hochwassers möglich. Beobachtungen während des Ereignisses sind allerdings immens wichtig für die Beschreibung des Ereignisverlaufes an sich (siehe Tab. 4.4 und Tab. 4.6). Für durch Hochwasser geschädigte Abschnitte von Fließgewässern sollten zu jedem Schaden die in Tab. 4.13 aufgeführten Mindestkriterien und optionalen Informationen erhoben werden. Die formulierten Anforderungen gelten grundsätzlich auch für Stillgewässer.

Die Kriterien müssen aber insbesondere bzgl. der relevanten Gewässerteile an die jeweiligen regionalen Besonderheiten angepasst werden.

Tab. 4.13: Modul „Schäden an Fließgewässern“ (Modul G-SOM).

Information	Messung mit Ausprägungen, Aufnahme	Spezifizierung des Parameters, Hinweise
E: Informationen zum Ereignis → Ereignismodul (Tab. 4.4)		
S: Informationen zum Schaden		
S1: Schaden am betroffenen Gewässerabschnitt		
<p>Die nachfolgenden Kriterien sind – falls sinnvoll – jeweils für die verschiedenen Gewässerbestandteile des betroffenen Gewässerabschnittes zu erfassen:</p> <ul style="list-style-type: none"> – linker Gewässerrandstreifen – linkes Ufer – Sohle – rechtes Ufer – rechter Gewässerrandstreifen – gesamtes Gewässer 		
für die verschiedenen Gewässerteile	Schadensart	<p>[Mehrfach-Auswahlliste]</p> <ul style="list-style-type: none"> – Verklausung an Engstellen – Treibgutablagerungen – Geröllablagerungen – Geschiebesedimentation – Ufererosionen – Unterspülungen der Ufer – Sohlzerstörungen – Zerstörung von wasserwirtschaftlichen Anlagen – Sonstiges
		Erläuterungen [Text]

Information		Messung mit Ausprägungen, Aufnahme	Spezifizierung des Parameters, Hinweise	
Schadensumfang		[Ordinalskala]	keine Bewertung der Einschränkung der Funktionalität → siehe optionale Informationen	
		1: sehr gering	reine Verlandungen und Ablagerungen; normale Unterhaltungsmaßnahmen am Gewässer	
		2: gering	kleiner Uferabbrisse und Bettabspülungen, Schäden im Gewässerrandstreifen; lokale Reparaturen erforderlich	
		3: mittel	größere Uferabbrisse und Bettabspülungen; Reparatur funktionaler Abschnitte erforderlich	
		4: schwer	Abriss ganzer Uferbereiche oder Sohlteile; umfangreiche Instandsetzungen; teilweiser Neuaufbau	
		5: sehr schwer	Totalzerstörung des Gewässers; kompletter Neuaufbau erforderlich	
Schadensausmaß		Länge in [m]	Es sollten möglichst die Primärmaße aufgenommen werden, wobei die Länge entlang der Fließrichtung aufgenommen wird.	
	WENN VORHANDEN	Breite [m]		
		Höhe [m]		
		ODER ODER		Fläche [m ²]
		ODER		Volumen [m ³]
Qualitative Beschreibung	[Text]			
Wiederherstellungswert		[€]	Nachfolgende textliche Hinweise beachten; wenn Angabe nur als Gesamtsumme für den gesamten Gewässerabschnitt und nicht für einzelne Gewässerteile verfügbar ist, entsprechend vermerken.	
		[Auswahlliste] – Einzelnachweise – Anteil am Gesamtwert		
Foto		Dateiname für Bilddatei [Pfad/Dateiname.jpg]	Bei mehreren Bildern Lageplan einschließlich Verortung und Blickrichtung anfertigen.	

Information		Messung mit Ausprägungen, Aufnahme	Spezifizierung des Parameters, Hinweise
für die verschiedenen Gewässerteile	Dringlichkeit der Schadensbeseitigung	[Ordinalskala]	
		0: keine 1: normal 2: hoch 3: sehr hoch	im Rahmen der nächsten Unterhaltungsarbeiten innerhalb der nächsten sechs Monate innerhalb des nächsten Monats in wenigen Tagen
		Erläuterungen [Text]	
	Betroffenheit der Gewässerfunktion Abflusssicherung und Hochwasserschutz	[Ordinalskala]	
		1: sehr gering 2: gering 3: mittel 4: schwer 5: sehr schwer	Funktion... ...nur zeitlich begrenzt und geringfügig eingeschränkt ...dauerhaft, aber nur teilweise eingeschränkt ...dauerhaft wesentlich eingeschränkt ...dauerhaft erheblich eingeschränkt ...dauerhaft nicht mehr gegeben
		Erläuterungen [Text]	Art der Betroffenheit, z.B. durch Ablagerungen im Gewässerbett, instabile Ufer oder Ufermauern
	Betroffenheit der Gewässerfunktion Gewässerökologie	[Ordinalskala]	
		1: sehr gering 2: gering 3: mittel 4: schwer 5: sehr schwer	Funktion... ...nur zeitlich begrenzt und geringfügig eingeschränkt ...dauerhaft, aber nur teilweise eingeschränkt ...dauerhaft wesentlich eingeschränkt ...dauerhaft erheblich eingeschränkt ...dauerhaft nicht mehr gegeben
		Erläuterungen [Text]	Art der Betroffenheit, z.B. Beeinträchtigung des Arteninventar in Fauna und Flora
	Betroffenheit der Gewässerfunktion Landschafts- oder Stadtbild	[Ordinalskala]	
		1: sehr gering	Funktion... ...nur zeitlich begrenzt und geringfügig eingeschränkt

Information		Messung mit Ausprägungen, Aufnahme	Spezifizierung des Parameters, Hinweise
		2: gering 3: mittel 4: schwer 5: sehr schwer	...dauerhaft, aber nur teilweise eingeschränkt ...dauerhaft wesentlich eingeschränkt ...dauerhaft erheblich eingeschränkt ...dauerhaft nicht mehr gegeben
		Erläuterungen [Text]	Art der Betroffenheit, z.B. Einschränkungen der Zugänglichkeit, Erlebbarkeit, der Möglichkeiten zur Erholung
	weiteres Gefährdungspotenzial	[Text]	z.B. Versagenswahrscheinlichkeit von Ufermauern, mögliche Wechselwirkung mit weiteren Schäden
O: Informationen zum Objekt			
O1: Lage eines betroffenen Gewässerabschnittes			
Verortung des betroffenen Gewässerabschnittes – Beginn	Flusskilometrierung [km, m]		gemessen von der Mündung
	ODER	Koordinaten [Rechtswert, Hochwert]	z.B. Ermittlung aus TK10 oder mittels GPS; in den Metadaten ist das Bezugssystem festzuhalten.
Verortung des betroffenen Gewässerabschnittes – Ende	Flusskilometrierung [km,m]		Eine differenziertere Unterscheidung betroffener Teilabschnitte verschiedener Gewässerbestandteile ist im Untermodul „Schaden“ möglich.
	ODER	Koordinaten [Rechtswert, Hochwert]	
	ODER	Länge von Beginn [m]	
Lage zu bebauten Bereichen	[Auswahlliste] – Außenbereich – Ortseingang – Ortsmitte – Ortsausgang		
	Erläuterungen [Text]		
O2: Art, Nutzung und Ausstattung des betroffenen Gewässerabschnittes			
Das nachfolgende Kriterium ist – falls sinnvoll – jeweils für die verschiedenen Gewässerbestandteile des betroffenen Gewässerabschnittes zu erfassen:			

Information	Messung mit Ausprägungen, Aufnahme	Spezifizierung des Parameters, Hinweise	
<ul style="list-style-type: none"> – linker Gewässerrandstreifen – linkes Ufer – Sohle – rechtes Ufer – rechter Gewässerrandstreifen – gesamtes Gewässer 			
für die verschiedenen Abschnitte	Ausbauzustand vor dem Hochwasserereignis	[Auswahlliste] <ul style="list-style-type: none"> – natürlich – naturnah – ingenieurbiologisch gesichert – Ufer hart verbaut – Sohle hart verbaut – Ufer und Sohle hart verbaut – verrohrt / überdeckt 	
		Erläuterungen [Text]	z.B. „Ufer wurde zuletzt vor zwei Jahren ingenieurbiologisch gesichert“
Bemessungshochwasser (BHQ)	[m ³ /s]	vor dem Hochwasserereignis	
Strukturgröße vor dem Hochwasserereignis	[Ordinalskala] <ul style="list-style-type: none"> 1: naturnah 2: gering verändert 3: mäßig verändert 4: deutlich verändert 5: stark verändert 6: sehr stark verändert 7: vollständig verändert 	gemäß LAWA (2000)	
	Erläuterungen [Text]		
O3: Unterhaltungslast			
Organisationsebene	[Auswahlliste]	Wenn notwendig, nach verschiedenen	

Information	Messung mit Ausprägungen, Aufnahme	Spezifizierung des Parameters, Hinweise
	<ul style="list-style-type: none"> – Bund – Land – Gemeinde – privat 	Gewässerbestandteilen unterscheiden.
Name der Organisation	[Text]	Name des Landes, der Gemeinde bzw. der Privatperson
Vorschädigung vor dem Hochwasserereignis	[Ordinalskala]	Die Kategorien „schwer“ und „sehr schwer“ dürften normalerweise nur auftreten, wenn kurz zuvor bereits eine Schädigung eingetreten war, die aufgrund des kurzen Abstands zwischen den Ereignissen nicht beseitigt werden konnte.
	1: sehr gering	geringmächtige Verlandungen und Ablagerungen, geringer Bewuchs; keine Dringlichkeit der Maßnahmen am Gewässer bzw. der Anlagen
	2: gering	größere Verlandungen und Ablagerungen, Bewuchs, kleiner Uferabbrisse und Bettabspülungen, Schäden im Gewässerrandstreifen; lokale Reparaturen und Unterhaltungsarbeiten erforderlich
	3: mittel	abflussrelevanter Bewuchs, deutliche Verringerung des Gewässerquerschnittes (<30%) durch Ablagerungen und Verlandungen, größere Uferabbrisse und Bettabspülungen, lokale Zerstörungen an wasserwirtschaftlichen Anlagen; Reparatur funktionaler Einheiten erforderlich
	4: schwer	Verkläuerungen, erhebliche Verringerung des Gewässerquerschnittes (>30%) durch Ablagerungen und Verlandungen, Abriss ganzer Uferbereiche oder Sohlteile, erhebliche Zerstörung wasserwirtschaftlicher Anlagen; umfangreiche Reparaturen oder Austausch
	Erläuterungen [Text]	z.B. vorangegangene Ereignisse

Information		Messung mit Ausprägungen, Aufnahme	Spezifizierung des Parameters, Hinweise	
Einzugsgebietsgröße		[km ²]	Größe oberhalb des betroffenen Gewässerabschnittes	
ODER	Einzugsgebietsgrößenklasse	[Ordinalskala]		
		1: sehr klein	< 1 km ²	
		2: recht klein	> 1 bis 10 km ²	
		3: klein	> 10 bis 100 km ²	
		4: mittelgroß	> 100 bis 1.000 km ²	
		5: groß	> 1.000 bis 10.000 km ²	
		6: sehr groß	> 10.000 km ²	
Gewässertyp	Ökoregion [Auswahlliste]	<ul style="list-style-type: none"> – Alpen – Alpenvorland – Mittelgebirge – norddeutsches Tiefland – unabhängiger Typ 	Charakterisierung des Gewässertyps gemäß LAWA (2003) und EU-WRRL (2000), Anhang II Nr. 1.1ii, System A	
	Höhenlage [Auswahlliste]	<ul style="list-style-type: none"> – höhere Lage – mittlere Lage – Tiefland 		<ul style="list-style-type: none"> > 800 m 200 bis 800 m < 200 m
	Geologie [Auswahlliste]	<ul style="list-style-type: none"> – kalkig – silikatisch – organisch 		
M: Informationen zur Schadensminderung				
M1: Maßnahmen				
spezielle Hochwasserschutzmaßnahmen	[Text]	z.B. Neueinrichtung von Geschiebefängen		

Information	Messung mit Ausprägungen, Aufnahme	Spezifizierung des Parameters, Hinweise
M2: Warnung		
Reaktionszeit	Zeitdauer [h]	Dauer von der ersten wahrgenommenen Warnung bis zum Zeitpunkt der Überflutung
Warnweg	[Mehrfach-Auswahlliste] – FAX – SMS – E-Mail – Sirene – lokale Radio-/Fernsehsender – Sonstige	Vorhandensein spezieller Warnsysteme für Unterhaltungslastträger; im Allgemeinen im Nachhinein zu erfassen
	Erläuterungen [Text]	z.B. Spezifizierung „Sonstige“

Eine Prüfung der Gewässer auf Schäden nach dem Hochwasser sollte generell durchgängig über den gesamten Gewässerverlauf erfolgen. Vorgenannte Daten werden allerdings nur für tatsächlich festgestellte Schäden erhoben. Dabei ist auf eine Besonderheit zu achten. Die Aufnahme von Schäden in natürlichen Gewässerbereichen stellt im Normalfall keine Schadensermittlung dar, sondern die Beobachtung natürlicher Prozesse der Gewässerentwicklung. Nur in sehr wenigen Fällen müssen in natürlichen bzw. naturnahen Bereichen die Änderungen von Gewässern infolge von Hochwassern wieder beseitigt werden. Dieser Fall tritt ein, wenn Folgeschäden entstehen könnten.

Gegenüberfalls kann es erforderlich sein, die durch das Hochwasser initiierten Prozesse zu stabilisieren. Dies sind aber im Allgemeinen keine Maßnahmen der Hochwasserschadensbeseitigung, sondern Bestandteile der Gewässerentwicklung. Eine solche Ausnahme, die der Hochwasserschadensbeseitigung zuzurechnen ist, stellt z.B. ein neues (oder ursprüngliches) Bett dar, das sich ein Gewässer während eines Hochwasserereignisses (wieder)geschaffen hat und das langfristig erhalten werden soll. Die Schadensbeseitigung umfasst in diesem Fall nicht nur die Stabilisierung des neuen Zustandes, sondern auch die Sicherung des alten Bettes unabhängig davon, ob es noch mit Wasser beaufschlagt wird.

Die Häufigkeit und der Umfang der zu erfassenden Schadensinformationen an Gewässern hängen wesentlich von der Größe der Gewässer und deren Fließcharakter ab. Bei kleinen Gewässern (meist sogenannte Gewässer II. und III. Ordnung) ist zu beachten, dass lokale Kleinstschäden infolge mikroskaliger Starkregen zur Normalität gehören. Die erforderlichen

Aufwendungen wären meist nicht verhältnismäßig. Solche Schäden werden im Rahmen der allgemeinen regelmäßigen Gewässerunterhaltung gleich beseitigt (z.B. Beräumungen oder kleine Sohlsicherungen). Bei seltenen Ereignissen können sich an Gewässern aber Schäden an ganzen Gewässerabschnitten ausbilden, die weitere Folgen haben können: Der Rückhalt bzw. der Abfluss in dem Gewässer kann nachhaltig gestört sein, die Stabilität des Gewässerbettes und seiner Ufer kann gefährdet sein oder der biologische Zustand des Gewässers kann erheblich beeinträchtigt werden. An kleinen Gewässern sollten sich deshalb Schadenserhebungen auf die Erfassung des Zustandes von funktional homogenen Gewässerabschnitten konzentrieren und nicht alle Kleinstschäden einzeln ausführen. Diese werden als summarische Schätzungen für erforderliche Aufwendungen mitgeführt.

Bei Gewässern I. Ordnung und Bundeswasserstraßen müssen meist zusätzlich zur Schadenserhebung für funktional homogene Gewässerabschnitte noch größere lokale Schäden in diesen Abschnitten gesondert erfasst werden. Einen besonderen Schaden bilden Gewässerabschnitte, die sich durch die „natürliche“ Wiederinanspruchnahme ursprünglicher Gewässerläufe oder durch die prozessbedingte „Entstehung“ neuer Gewässerläufe ausbilden (s.o.). Hier ist es zwingend erforderlich zu prüfen, ob der neue Gewässerlauf beibehalten werden soll. In diesem Fall sind als Schäden die Aufwände anzusetzen, die für eine Stabilisierung des neuen Zustandes sowie die Sicherung des alten Gewässerlaufes erforderlich sind.

Bei der Bewertung der erfassten Schäden im Gewässerbereich ist in besonderem Maße die Einordnung des geschädigten Gewässerabschnittes in den funktionalen Gesamtzusammenhang des Gewässers zu beachten.

Jeder Gewässerabschnitt ist Bestandteil eines Gewässersystems. Diese triviale Feststellung hat zur Folge, dass die Schäden an einem Gewässerabschnitt nicht nur in dessen lokalen Kontext, sondern grundsätzlich mit der Funktion des Gewässerabschnittes im gesamten Gewässersystem bewertet werden müssen. So kann ein Schaden (z.B. ein Uferabriss) der gleichen Größe in einem Zufluss im oberen Einzugsgebiet eine wesentlich geringere Bedeutung aufweisen als der gleiche Schaden im mittleren Abflussbereich. Somit kann ein solcher Schaden im oberen Einzugsgebiet oft mit einem geringeren Aufwand als in unterliegenden Bereichen gesichert werden.

Der Beseitigung von Schäden an Gewässern nach Hochwasserereignissen muss am Wiedererlangen der wasserwirtschaftlich gebotenen Funktion nach dem Stand der Technik ausgerichtet werden. Dass dies nicht in jedem Fall mit erhöhten Kosten verbunden sein muss, zeigt der Umgang mit Ufermauern in Sachsen nach dem August-Hochwasser 2002. Es wurde in einem Erlass des Sächsischen Umweltministeriums geregelt, dass bei Totalzerstörung von Ufermauern diese durch Böschungen zu ersetzen sind. Dies führt normalerweise zu deutlich

geringeren Kosten im Vergleich zur Wiederherstellung von Ufermauern, soweit dafür nicht Grundstücke oder Grundstücksteile erworben werden müssen.

Höhere Kosten als bei einer reinen Wiederherstellung können entstehen, wenn eine unzureichende Leistungsfähigkeit des Gewässers an der Schadensstelle zu beachten ist. Wurde z.B. durch ein Hochwasser eine Verrohrung zerstört, muss wasserrechtlich zwingend geprüft werden, ob eine Offenlegung des Gewässers in diesem Abschnitt zur Herstellung eines ausreichenden Abflussprofils erforderlich ist. Als Aufwand für die Beseitigung des Schadens müssen hier die Kosten für die Offenlegung des Gewässerabschnittes bzw. die Erweiterung der Verrohrung eingestellt werden. Ist eine Offenlegung nicht möglich, sind regelmäßig Kosten für eine angemessene Vergrößerung der Verrohrung zu kalkulieren. Eine Wiederherstellung des Gewässers ist wasserrechtlich nicht möglich.

Die Grenze ist dort zu ziehen, wo nach einem Hochwasser für ganze Gewässerabschnitte auf der Grundlage neuer Bemessungsgrundlagen Maßnahmen der Gewässerentwicklung und des präventiven Hochwasserschutzes ergriffen werden müssen. Die Kosten solcher Maßnahmen können nicht mehr der Schadensbeseitigung zugeordnet werden.

Langzeitige Vernachlässigung der Unterhaltung kann zu einer Beeinträchtigung des Durchflusses der Gewässer als Folge eines dauerhaften Bewuchses im Abflussprofil (z.B. strukturreiche Kleingehölze), den Ufern oder auf wasserwirtschaftlichen Anlagen (z.B. Deichen) führen. Im Rahmen der Schadensbeseitigung müssen für die wasserrechtlich gebotene Beseitigung des Bewuchses zusätzliche Aufwendungen für den dann oft naturschutzfachlich gebotenen Ausgleich auch in den Kosten berücksichtigt werden.

Gerade die Notwendigkeit einer modifizierten Wiederherstellung von Gewässern nach extremen Hochwässern führt häufig zu zusätzlichen Aufwänden für den Zugriff auf notwendige Flächen, die bisher nicht Bestandteil des Gewässers waren. Diese können erheblich sein und je nach Lage, insbesondere in innerstädtischen Räumen, sogar den wesentlichen Kostenfaktor darstellen.

Für wasserwirtschaftliche Anlagen gelten die vorgenannten Ausführungen zu den Gewässerabschnitten analog mit dem Hinweis, dass die Neudimensionierung von wasserwirtschaftlichen Anlagen einer besonders sorgfältigen Grundlagenermittlung und Planung bedarf. Mit extremen Hochwasserereignissen sind regelmäßig auch die hydrologisch-hydraulischen Grundlagen, insbesondere die Bemessungshochwasser, zu hinterfragen.

Für betroffene wasserbauliche Anlagen sollten zu jedem Schaden die in Tab. 4.14 angeführten Mindestkriterien und optionalen Informationen erhoben werden.

Tab. 4.14: Modul für Schäden an wasserbaulichen Anlagen (Modul GA-SOM).

Information	Messung mit Ausprägungen, Aufnahme	Spezifizierung des Parameters, Hinweise
E: Informationen zum Ereignis → Ereignismodul (Tab. 4.4)		
S: Informationen zum Schaden		
S1: Schaden an der wasserwirtschaftlichen Anlage		
Schadensart	[Mehrfach-Auswahlliste] – Bauwerksschaden – Technikscha-den – Sedimentation oder Verschlämmung – Unterspülung – Setzung – Sonstige	
	Erläuterungen [Text]	z.B. Versagenswahrscheinlichkeit, mögliche Wechselwirkung mit weiteren Schäden, Spezifizierung „Sonstige“
Schadensumfang	[Ordinalskala]	keine Bewertung der Einschränkung der Funktionalität
	1: sehr gering	normale Unterhaltungsmaßnahmen am Gewässer
	2: gering	lokale Reparaturen erforderlich
	3: mittel	Reparatur funktionaler Abschnitte erforderlich
	4: schwer	umfangreiche Instandsetzungen, teilweiser Neuaufbau
	5: sehr schwer	kompletter Neuaufbau erforderlich
Neuwert der Anlage	[€]	als Wiederbeschaffungswert oder Wiederherstellungswert der gesamten Anlage; Hinweise im Text beachten
Schaden	[€]	als Wiederbeschaffungswert oder Wiederherstellungswert; Hinweise im Text beachten

Information	Messung mit Ausprägungen, Aufnahme	Spezifizierung des Parameters, Hinweise
Foto	Dateiname für Bilddatei [Pfad/Dateiname.jpg]	bei mehreren Bildern Lageplan einschließlich Verortung und Blickrichtung anfertigen
verbliebener Funktionsgrad der Anlage	[%]	Bei wasserwirtschaftlichen Anlagen kann für eine schnelle Schadensschätzung der Wiederherstellungswert mit dem verbliebenen Funktionsgrad multipliziert werden.
Dringlichkeit der Schadensbeseitigung	[Ordinalskala] 0: keine 1: normal 2: hoch 3: sehr hoch	im Rahmen der nächsten Unterhaltungsarbeiten innerhalb der nächsten sechs Monate dringlich innerhalb des nächsten Monats sofort, in wenigen Tagen
	Erläuterungen [Text]	
O: Informationen zum Objekt		
O1: Lage der wasserwirtschaftlichen Anlage		
Verortung	Postleitzahlenzone [Zahl]	
	Ort [Text]	
	ODER Gemeindegrenznummer [Zahl]	14-stellige Ziffer
	Straße, Nummer [Text]	Hierbei ist der Datenschutz zu beachten.
	ODER Flurstücknummer [Text]	Hierbei ist der Datenschutz zu beachten.
ODER	geographische Koordinaten [Hochwert, Rechtswert]	Koordinaten z.B. nach Gauß-Krüger; neben einer Erfassung durch GPS können diese aus Adressangaben durch Geokodierung gewonnen werden. Hierbei ist der Datenschutz zu beachten. In den META-Daten ist das Bezugssystem zu vermerken.
Lage zu bebauten Bereichen	[Auswahlliste] – Außenbereich	

Information	Messung mit Ausprägungen, Aufnahme	Spezifizierung des Parameters, Hinweise
	<ul style="list-style-type: none"> – Ortseingang – Ortsmitte – Ortsausgang 	<p>Eintritt des Gewässer in den geschlossenen Siedlungsbereich</p> <p>Austritt des Gewässer aus dem geschlossenen Siedlungsbereich</p>
O2: Art, Nutzung und Ausstattung der wasserwirtschaftlichen Anlage		
Anlagenname	[Text]	ortsüblicher Name z.B. Talsperre Klingenberg
Anlagenart	<p>[Auswahlliste]</p> <ul style="list-style-type: none"> – Talsperre – HW-Rückhaltebecken – HW-Entlastungsanlage – mobile HW-Schutzelemente – Polder – Deich – Wehr – Fischtreppe – Schleuse – Pegel – Einleitbauwerk – Entnahmbauwerk – Überleitungsbauwerk – Sonstige 	<p>Mit dem hier verwendeten Anlagenbegriff wird nicht der technische Ausbauzustand von Gewässern, wie z.B. durch Ufermauern oder Durchlässe, Abstürze, Rampen, Sohlschwellen oder Sohlgleiten, umfasst.</p>
	Erläuterungen [Text]	z.B. Spezifizierung „Sonstige“ oder detaillierte offene Beschreibung der Anlage, z.B. Dreizonendeich, 1920 gebaut oder Lattenpegel
Bemessungshochwasser (BHQ)	BHQ [m ³ /s]	BHQ vor dem Hochwasserereignis für die Anlage

Information	Messung mit Ausprägungen, Aufnahme	Spezifizierung des Parameters, Hinweise		
	<table border="1"> <tr> <td>bei Stau- oder Deichanlagen</td> <td>Ein- bzw. Überstauhöhe als Höhe [m über NN]</td> </tr> </table>	bei Stau- oder Deichanlagen	Ein- bzw. Überstauhöhe als Höhe [m über NN]	z.B. bei Hochwasserrückhaltebecken, Talsperren, Deichen
bei Stau- oder Deichanlagen	Ein- bzw. Überstauhöhe als Höhe [m über NN]			
	Erläuterungen [Text]	z.B. kein formales BHQ		
Schädigungsgrad vor dem Hochwasserereignis	[Ordinalskala]	Die Kategorien „schwer“ und „sehr schwer“ dürften normalerweise nur auftreten, wenn kurz zuvor bereits eine Schädigung eingetreten ist.		
	1: sehr gering	keine Dringlichkeit von Maßnahmen an der Anlage		
	2: gering	lokale Reparaturen und Unterhaltungsarbeiten erforderlich		
	3: mittel	lokale Zerstörungen an Anlagen; Reparatur funktionaler Einheiten erforderlich		
	4: schwer	erhebliche Zerstörung wasserwirtschaftlicher Anlagen; umfangreiche Reparaturen oder Austausch		
	5: sehr schwer	Totalzerstörung der wasserwirtschaftlichen Anlage; kompletter Neuaufbau erforderlich		
	Erläuterungen [Text]			
M: Informationen zur Schadensminderung				
M1: Maßnahmen				
spezielle Hochwasserschutzmaßnahmen	[Text]	offene Beschreibung, z.B. „Geschiebeabweiser“, „mobile Dichtelemente“		
M2: Warnung				
Reaktionszeit	Zeitdauer [h]	Dauer von der ersten wahrgenommenen Warnung bis zum Zeitpunkt, an dem Wasser das Objekt erreicht.		
Warnweg	[Mehrfach-Auswahlliste] – FAX – SMS	Vorhandensein spezieller Warnsysteme für Unterhaltungslastträger; im Allgemeinen im Nachhinein zu erfassen		

Information	Messung mit Ausprägungen, Aufnahme	Spezifizierung des Parameters, Hinweise
	– E-Mail – Sirene – lokale Radio-/Fernsehsender – sonstige Quellen	
	Erläuterungen [Text]	z.B. Spezifizierung „Sonstige“

4.8 Erstellung von Gesamtschadensbilanzen

Zu einem sehr frühen Zeitpunkt im Katastrophenmanagement benötigen insbesondere die oberen Finanzbehörden Angaben zu den insgesamt zu erwartenden Schäden, um über die Bereitstellung von Budgetmitteln für die Sofort- und Aufbauhilfen und deren regionale Aufteilung zu entscheiden. Später werden Gesamtschadensbilanzen vor allem für wissenschaftliche und politische Zwecke benötigt. Auf der Grundlage konsistent ermittelter Gesamtschäden können unterschiedliche Ereignisse miteinander verglichen werden, um Trends in der Schadensentstehung zu erkennen, deren Ursachen zu analysieren und gegebenenfalls nötige politische Maßnahmen zu ergreifen. Für die Rückversicherungswirtschaft ist die Beobachtung von Gesamtschadensdaten wirtschaftlich bedeutsam, um die kumulierten Schadenspotenziale besser einschätzen zu können.

Um die bestehenden Probleme und Inkonsistenzen mit den derzeit verfügbaren Gesamtschadensbilanzen zu beheben (vgl. Kapitel 2.2), werden folgende Empfehlungen gegeben:

- Erhebung und fortlaufende Aktualisierung von Gesamtschadensdaten, um verschiedene Ereignisse wissenschaftlich vergleichen und nationale Trends ermitteln zu können.
- Nutzung einer einheitlichen Gliederung: Dazu sind mindestens folgende Kategorien zu verwenden: Privathaushalte und Wohngebäude, gewerbliche Wirtschaft, Land- und Forstwirtschaft, kommunale Infrastruktur, staatliche Infrastruktur (Land, Bund), kulturelle Einrichtungen und Einsatzkosten.
- Wünschenswert wäre eine feinere Gliederung – wie in Tab. 4.15 vorgeschlagen.
- Ergänzende Aufnahme von Schäden an der Bundesinfrastruktur nach einheitlichen Grundsätzen durch Bund und Länder.

- Versicherte Schäden und Spenden können auf Basis der Angaben der Versicherungswirtschaft sowie der öffentlichen und privaten Wohlfahrtsträger (z.B. Deutsches Rotes Kreuz – DRK, Caritas) erfasst werden.
- Für die so ermittelten gesamtwirtschaftlichen Schäden sollte zusammen mit einer Ereignisbeschreibung, wie in Tab. 4.5 vorgeschlagen wurde, eine Ereignisdatenbank mit Gesamtschadensbilanzen bei den Finanzministerien oder beim Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenvorsorge (BBK) eingerichtet werden.
- Die Schadensbilanzen sind in regelmäßigen Abständen nach einem Ereignis zu aktualisieren, bis alle Reparaturkosten abgerechnet sind.
- Um das Schadensausmaß in verschiedenen zeitlichen Perioden (z.B. für Trendanalysen) oder unter unterschiedlichen ökonomischen Bedingungen vergleichen zu können, sollten die Schadensdaten inflationsbereinigt werden, oder sie sollten auf das jeweilige Bruttoinlandsprodukt (BIP) bezogen werden. Entsprechende Informationen sind mitzuführen.
- Für Vergleiche zwischen verschiedenen Regionen ist der Pro-Kopf-Schaden oftmals besser geeignet als der Gesamtschaden, daher sind entsprechende Bevölkerungsangaben mit der Ereignisdatenbank zu verknüpfen.
- Für ein umfassenderes Schadensbild könnten neben den monetären Schäden zusätzlich Angaben über Personenschäden, Verletzte und Evakuierte festgehalten werden.

Auf diese Weise entstünde langfristig eine belastbare Ereignisdatenbank.

Tab. 4.15: Unterkategorien einer standardisierten Schadensbilanz (Modul S-MAKRO).

Schadenssektor	Schadensart (Werte in Euro und ihre Aktualität sollen pro Bundesland dokumentiert und solange aktualisiert werden, bis alle Kosten abgerechnet sind.)
Privathaushalte und Wohngebäude	– Wohngebäudeschaden – Hausratsschaden – sonstige Schäden (an Kraftfahrzeugen – KFZ, Außenanlagen, Nebengebäuden)
Gewerbliche Wirtschaft (aufgeteilt nach Wirtschaftssektoren, in Anlehnung an WZ2008)	– Gebäudeschäden – Schäden an Anlagen, Betriebseinrichtungen und Ausrüstung – Schäden an Waren, Produkten und Lagerbeständen (bei Landwirtschaft auch am Viehbestand)

	– sonstige Schäden (an KFZ, Außenanlagen)
Land- und forstwirtschaftliche Flächenschäden	– Flächenschäden (Ernteverluste, Holzverluste)
kommunale Infrastruktur (evtl. aufgeteilt nach WZ2008 Wirtschaftssektoren analog zu Schäden der gewerblichen Wirtschaft)	– Gebäudeschäden – Schäden an Anlagen, Einrichtungen und Ausrüstung – Schäden an kommunalen Verkehrswegen (Straßen, Schienen) und zugehörigen Ingenieursbauwerken (Brücken etc.) – Schäden an den Gewässern (Abflusssicherung und Rückhaltung) – sonstige Schäden
Infrastruktur des Landes (evtl. aufgeteilt nach WZ2008 Wirtschaftssektoren analog zu Schäden der gewerblichen Wirtschaft)	– Gebäudeschäden – Schäden an Anlagen, Einrichtungen und Ausrüstung – Schäden an Verkehrswegen (Landstraßen) und zugehörigen Ingenieursbauwerken (Brücken etc.) – Schäden an wasserbaulichen Anlagen (z.B. an Deichen, Rückhaltebecken, Talsperren) – Schäden an den Gewässern – sonstige Schäden
Infrastruktur des Bundes	– Schäden an Bundesstraßen, Autobahnen, Ingenieursbauwerken (Brücken etc.) und am Schienennetz – sonstige Schäden an der Infrastruktur des Bundes
Aufwendungen für den Katastrophenschutz	– Aufwendungen der Kommunen – Aufwendungen der Länder – Aufwendungen des Bundes

Annex B: Significance of ‘high probability/low damage’ versus ‘low probability/high damage’ flood events

Natural Hazards and Earth System Sciences, 9, 2009, 1-14

Bruno Merz, Florian Elmer, Annegret H. Thieken

© Author(s) 2009. CC Attribution 3.0 License.

doi: 10.5194/nhess-9-1033-2009

Received 17th October 2007; revised 9th June 2009;

accepted 9th June 2009.

Abstract

The need for an efficient use of limited resources fosters the application of risk-oriented design in flood mitigation. Flood defence measures reduce future damage. Traditionally, this benefit is quantified via the expected annual damage. We analyse the contribution of ‘high probability/low damage’ floods versus the contribution of ‘low probability/high damage’ events to the expected annual damage. For three case studies, i.e. actual flood situations in flood-prone communities in Germany, it is shown that the expected annual damage is dominated by ‘high probability/low damage’ events. Extreme events play a minor role, even though they cause high damage. Using typical values for flood frequency behaviour, flood plain morphology, distribution of assets and vulnerability, it is shown that this also holds for the general case of river floods in Germany. This result is compared to the significance of extreme events in the public perception. ‘Low probability/high damage’ events are more important in the societal view than it is expressed by the expected annual damage. We conclude that the expected annual damage should be used with care since it is not in agreement with societal priorities. Further, risk aversion functions that penalise events with disastrous consequences are introduced in the appraisal of risk mitigation options. It is shown that risk aversion may have substantial implications for decision-making. Different flood mitigation decisions are probable, when risk aversion is taken into account.

1. Introduction

Recently, increasing interest in risk-oriented flood design can be observed (e.g. Sayers et al. 2002, Dawson and Hall 2004, Rose et al. 2007). In this context risk is understood as the combination of the probability of a particular event and of the impact that this event would cause if it occurred. Risk-based design strives to balance benefits and costs of the design in an explicit manner. In this context, benefits and costs have to be understood as broad terms encompassing not only monetary outcomes but any other effects such as ecological or social ones. An optimal flood defence system, chosen from multiple options, can be found by minimising the life-cycle costs, i.e. the expected costs during the lifetime of the system. These costs include failure costs which are related to the adverse effects of system failures. Hence, a risk-based approach compares the expected outcomes and costs of alternative courses of action, and the design of the flood defence is found via optimisation. On the contrary, a standard-based engineering approach limits itself to the probability of the flood, by imposing a certain flood return period that the flood defense has to withstand.

Risk-based flood design is frequently based on cost-benefit analyses. In Germany, for example, public investments in flood mitigation have to be supported by cost-benefit analysis. Flood defence schemes are aimed at reducing the flood damage that is expected during the lifetime of the scheme. Hence, the reduction of future damage, i.e. the flood damage avoided, is considered as principal benefit in cost-benefit analyses. The difference between the costs for the flood defence and the benefits of the defence scheme, i.e. the damage avoided, has to be maximised. Although benefits and costs should be understood in a general sense, risk-based flood design is usually limited to monetary effects. Intangible effects, such as recreational costs or benefits (e.g. Penning-Rowsell and Green 2000) or adverse health effects (e.g. Tapsell and Tunstall 2001, Jonkman and Kelman 2005), are frequently neglected.

In the majority of flood design cases, the annual damage expectation is used as risk indicator (e.g. Penning-Rowsell and Green 2000, van Manem and Brinkhuis 2003, Merz 2006). Given the dominance of the expected annual damage (EAD) as risk indicator, it is interesting to investigate the implications of this use for flood defence decisions. As early as 1958, Eckstein criticised the concept of EAD. He pointed out that, whereas initiatives for structural flood defence measures are mainly triggered from public reaction to disastrous floods, the EAD-based design minimises the long-term, average damage (Eckstein 1958). The concept of EAD assumes that decision makers and people-at-risk are risk-neutral, and that they strive to maximise economic efficiency. However, people tend to be risk-averse (e.g. Bohnenblust and Slovic 1998). Risk aversion refers to the observation that events with the same damage expectation might be perceived very differently. People tend to dread events with large adverse consequences, even if their probability of occurrence is very small, and consequently their damage expectation is very small, too.

A few alternate approaches that are not only based on expectation have been proposed, but are seldom applied. The partitioned multiobjective risk method (PMRM, Asbeck and Haines 1984, Haines 1998) separates the probability axis into n regions, and the expected value is calculated for each region. The low-probability expectation is a measure for the average largest damage, given the events of an extreme nature (Karlsson and Haines 1988). By including the low-probability expectation as an objective, catastrophic events can explicitly be included in the decision problem. Further alternate methods, such as the mean-variance rule, are discussed by Mechler (2004).

Hergarten (2004) investigates the contribution of large and small events to EAD for different natural hazards under the assumption that the event size is power-law distributed. He concludes that EAD is mainly governed by the largest events for earthquakes, forest fires and rockfalls, while results are non-unique for landslides. This paper analyses this question for river floods. The relative contribution of extreme events (high probability/low damage) and frequent events (low probability/high damage) to EAD is quantified for three case studies and for the general case of riverine flooding in Germany (chapter 2). Chapter 3 summarises research findings concerning risk perception and compares the results of chapter 2 with these findings. Chapter 4 investigates the implications of integrating different risk preferences (risk neutral versus risk adverse) in risk-based flood design. For three communities, the risk reduction due to hypothetical flood defence measures is compared for the usual EAD approach with an approach that considers risk aversion. It is shown how the inclusion of risk aversion might influence the decision on flood protection measures.

2. Significance of ‘low probability/high damage’ floods using the EAD concept as risk indicator

2.1 Damage expectation as risk indicator

Applying the EAD concept to the case of riverine floods yields:

$$RI = \int_{h_D}^{\infty} f_h(h) D(h) dh \quad (1)$$

The flood risk RI , i.e. the probability of a certain flood damage within a given time period, depends on the probability density function $f_h(h)$ of the flood water level h , and on the relation between h and the flood damage D . The lower integration limit is h_D , the threshold water level above which flood damage occurs. Figure 1 illustrates this relation. With increasing water levels, and above the damage threshold h_D , damage D is increasing and the probability density $f_h(h)$ is decreasing. According to this definition, risk has the same unit as the damage indicator, related to the time interval of $f_h(h)$. Traditionally, an annual time span and monetary

damage are chosen, and the flood risk RI is given as annual flood damage (in Euro or any other currency).

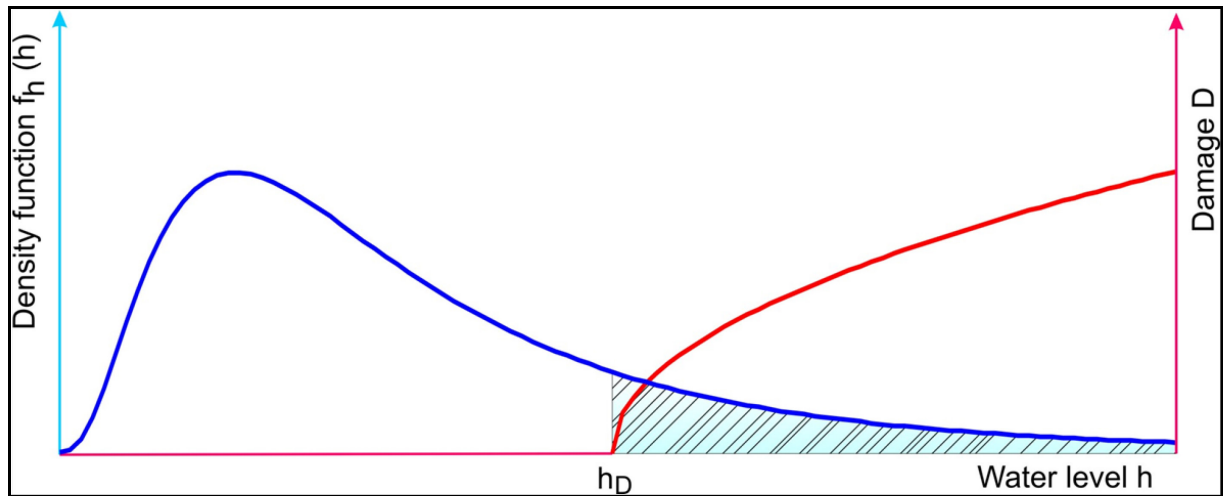


Figure 1: Probability density function of the flood water level and damage function. The shaded area is the probability of a flood water level leading to damage.

In flood risk analysis damage estimates are frequently given for a few flood scenarios, to which certain return intervals and discharges are connected. These discrete scenarios are approximations of the continuous distribution function $f_h(h)$ of the annual flood water level h . In this case, Eq. (1) has to be replaced by:

$$RI = \sum_{j=1}^m \Delta P_j D_j \quad (2)$$

Where D_j and ΔP_j are the average flood damage and the exceedance probability increment for the j -th interval, respectively, and m is the number of probability increments:

$$D_j = \frac{1}{2} (D(h_j) + D(h_{j+1})) \quad (3)$$

$$\Delta P_j = P(h_j) - P(h_{j+1}) \quad (4)$$

2.2 Case studies

The EAD concept, introduced in chapter 2.1, is applied to three case studies from different regions in Germany. As first case study the catchment of the river Seckach with an area of 260 km² was chosen. It is situated in Southwest Germany, in the east of the city Heidelberg, in the Odenwald region. Seven municipalities with approximately 47000 inhabitants, who live in several small towns and villages, are located in the study area (Fig. 2). In December 1993, the catchment was affected by severe flooding causing damage of 25 to 30 Million DM. 13 months later, i.e. in January 1995, large flooding occurred again, which initiated an integrated

flood defence planning. As a part of the planning process, several inundation scenarios with different return periods were derived and the damage was assessed for each scenario and for each settlement area. These calculations provided the basis for a benefit-cost-analysis of the planned flood protection scheme (Merz and Gocht, 2001).

Figure 2 shows the EAD for the twelve biggest towns in the Seckach catchment for the situation in 1993/95. The size of the pie charts is a measure of the magnitude of EAD. The pie slices illustrate the share of each interval between two return periods to the total amount of RI :

$$\Delta RI_j = \Delta P_j D_j \quad (5)$$

Although larger floods are associated with higher damage, their contribution to the expected annual damage may be rather low, due to their small probability weights ΔP_j . For example, more than 50% of EAD of Roigheim results from events with return periods between 5 and 20 yrs. In seven of the twelve settlements the contribution of events up to the 100-year flood amounts to more than 80% of the expected annual damage. Only in one settlement (i.e. Goetzingen) the events up to the 100-year flood account for less than 50% of the EAD (Fig. 2). In this municipality the main share of the assets is located rather far from the river, which means that significant damage is only caused by larger events.

In a more recent study (Olschewski, 2007), the EAD was calculated for two bigger municipalities that are located at the River Mulde in the Eastern part of Germany, i.e. in the Freestate of Saxony. In contrast to the rural municipalities of the Seckach study area, which has an average population density of 130 inhabitants per km², the two Saxon municipalities Doebeln and Eilenburg have a population density of 390 and 690 inhabitants per km², respectively. The two municipalities were hit by a severe flood event in August 2002, which caused 54.5 million Euro damage at residential buildings in Doebeln and 76.9 million Euro damage in Eilenburg (SAB, 2004).

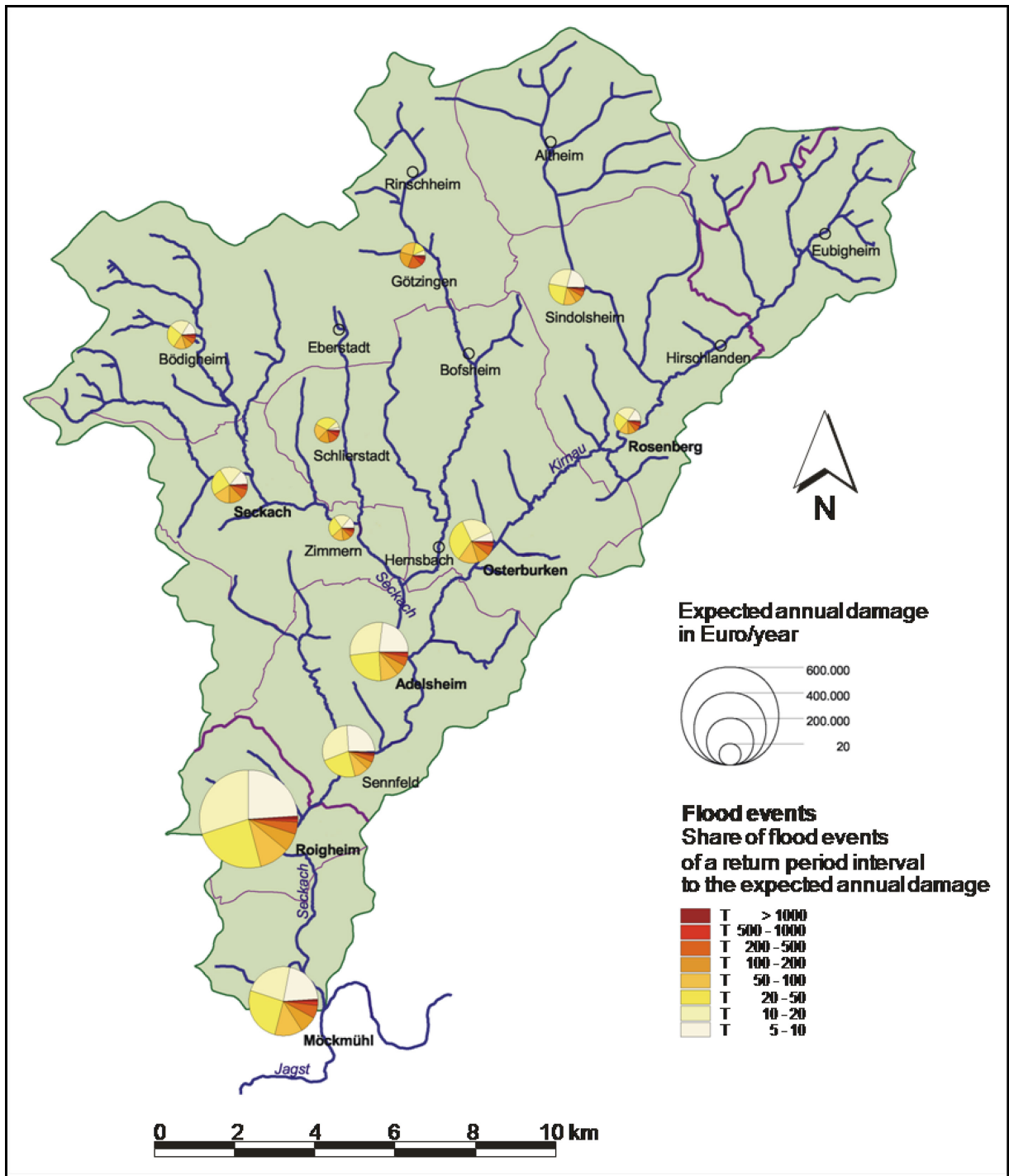


Figure 2: Expected annual damage (EAD in Euro/year) for the municipalities in the Seckach catchment (adapted from Merz, 2006).

Seven inundation scenarios, i.e. from the 10-year to the 1000-year flood event, were calculated using the 1D/2D-model LISFLOOD-FP (Bates and de Roo, 2000). Damage was estimated with five meso-scale damage models and three micro-scale damage models by Olschewski (2007). Although the damage estimates differed considerably, the share of the intervals between two return periods remained rather constant. On average, the events up to the 100-year flood contributed 77% to the expected annual damage in Doebeln, and 57% in

Eilenburg. The latter can be explained by the fact that the city centre of Eilenburg is only flooded by rare events with return periods of more than 100 years. In all analyses, the interval between the 500-year and the 1000-year flood caused 6 to 12% of the expected annual damage.

Finally, the EAD was calculated for the City of Cologne, which is located at the River Rhine. Cologne has nearly 1 million inhabitants and a population density of 2390 inhabitants per km². The City of Cologne was also hit by floods in December 1993 and in January 1995; damage amounted to 77 million Euros and 33 million Euros, respectively. On the basis of the analysis done by Grünthal et al. (2006) and Merz and Thielen (2009), flood events up to the 100-year flood event cover a share of 78% of the expected annual damage. The share of the interval between the 500- and the 1000-year flood amounts to only 8% of the risk indicator.

In summary, in the mentioned case studies extreme events do not contribute much to EAD. The greatest proportion, approximately 80%, of the benefits of a flood protection system is attributed to the reduced damage due to more frequent events with return periods up to 100 years.

2.3 General considerations

The empirical results from the case studies led to the question whether the low share of ‘low probability/high damage’ events to EAD is a general phenomenon of riverine flooding. This share depends on the relationships between water level h , discharge Q , return period T , and damage D . These relationships are determined by the rating curve $h(Q)$, the flood frequency curve $Q(T)$ or $h(T)$, and the stage-damage curve $D(h)$. In order to consider a wide range of cases, different assumptions were chosen for each of the mentioned functions. Moreover, the water level, at which the first damage occurs, h_D plays an important role. This value was set to the 5-year flood event. Therefore, we concentrate on situations where no extensive flood protection schemes exist. In what follows, the interrelations of the different components are considered only for water levels that exceed h_D .

To consider a wide spectrum of flood frequency curves, Annual Maximum Series (AMS) were extracted from mean daily discharge measurements at 56 discharge gauges from all over Germany. The generalised extreme value distribution (GEV) was fitted to these data. Figure 3 shows the flood frequency curves that were normalised by the median of the corresponding AMS. The governing feature that determines the contribution of a return period interval to EAD is the parameter γ of the GEV. The frequency curves with the maximum and the minimum value of γ , i.e. 0.27 and -0.34, respectively, represent the most extreme behaviour of the 56 AMS. Therefore, these two functions together with the mean function ($\gamma = 0$) were chosen for the further analysis (Fig. 3). To ensure comparability, all three functions were

scaled so that all of them show the same discharge at the 5-year flood water level that corresponds to h_D .

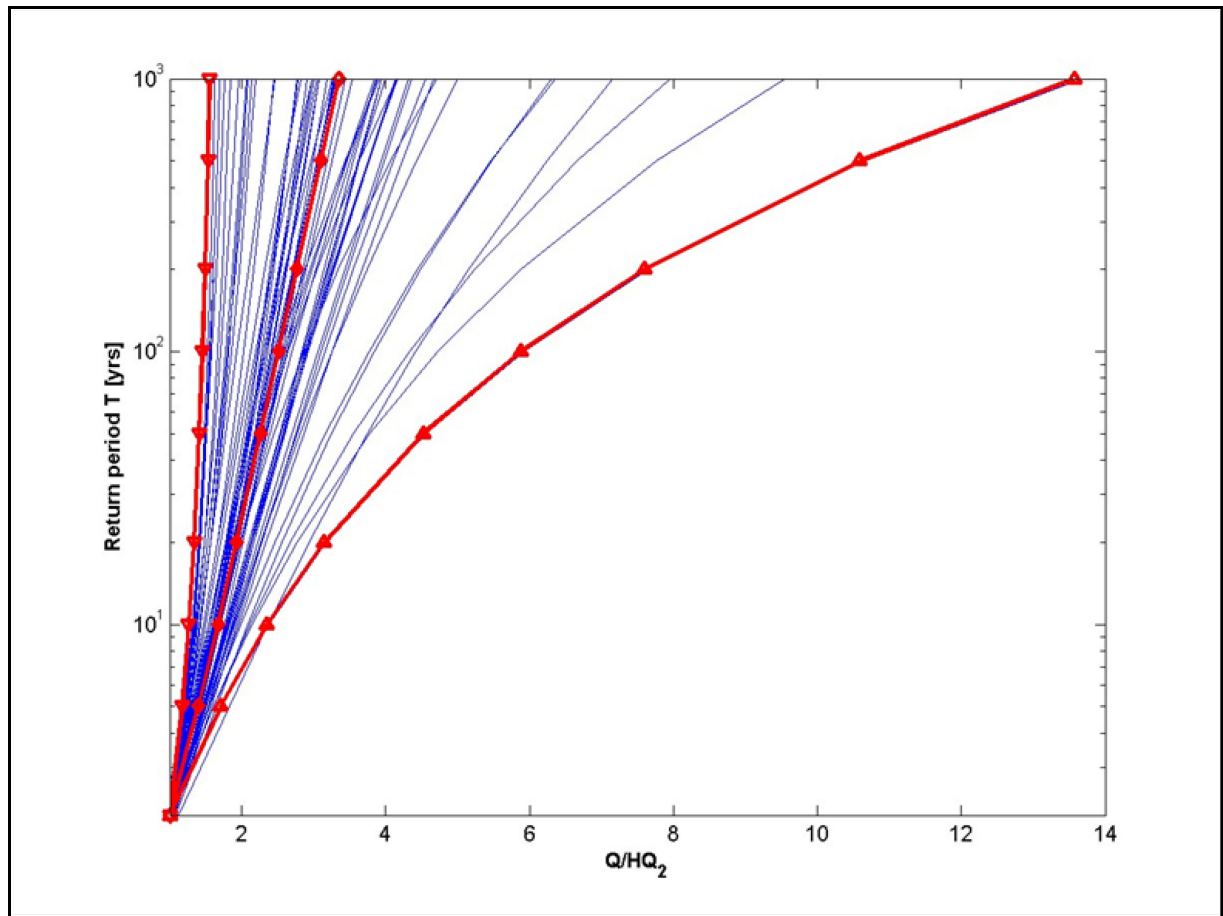


Figure 3: Flood frequency curves from 56 gauging stations located in different catchments in Germany. The discharge Q was normalised by the median of the corresponding annual maximum series (AMS). The red curves highlight the mean as well as the minimum and maximum values.

Besides the flood frequency curve, the shape of the river valley influences the contribution of extreme events to EAD. Typical shapes of valleys in Germany were mapped by Germany's Environment Agency (Briem, 2003). This study reveals that most of German river valleys can be approximated by a linear or a concave shape. A linear shape represents V-shaped valleys, whereas the concave shape typifies (wide open) U-shaped valleys. In order to consider the whole spectrum of possible shapes, a convex shape was chosen as third example (Fig. 4).

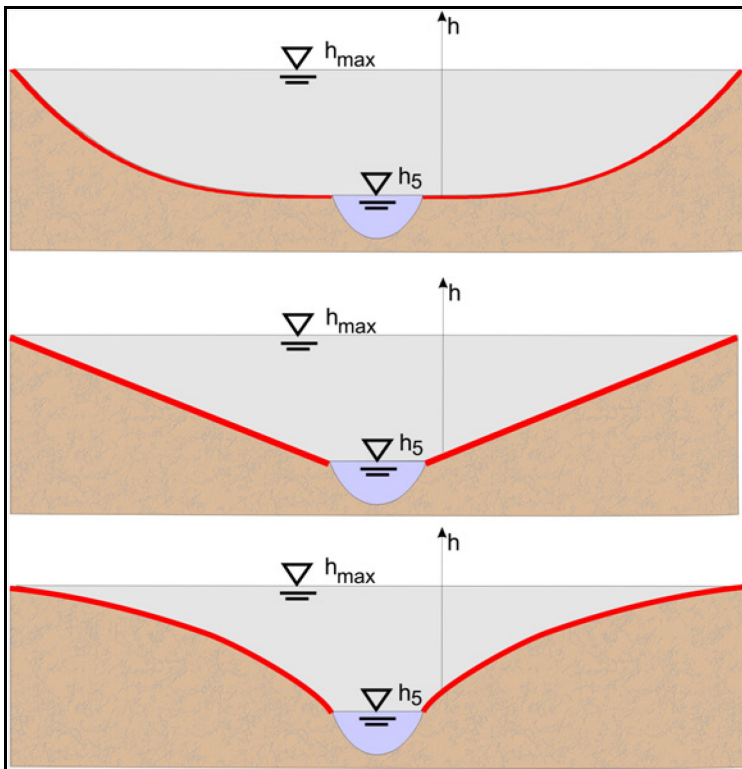


Figure 4: Concave, linear and convex valley shapes.

Uniform, stationary flow was assumed for the derivation of the rating curves. By means of the Gaukler-Manning-Strickler equation the relation between the discharge outside the riverbed and the water level above h_D was calculated for each valley type (Fig. 5).

The relation between river water level and flood damage, i.e. stage-damage curve $D(h)$, depends on the valley type, and on the spatial distribution of the assets at risk and of their susceptibility. It was assumed that the assets as well as their relative susceptibility function were distributed uniformly. In municipalities, which experienced floods repeatedly and which therefore are likely to have a profound flood risk awareness, it would be expected that none or only low asset values can be found in the vicinity of rivers and/or that their susceptibility is low. High asset values and more susceptible objects are to be found farther away from the river. However, since no systematic and meaningful investigation of this topic is known to the authors, the simple assumption of a uniform distribution was chosen. Therefore, the amount of $D(h)$ damage is proportional to the inundated area and the stage-damage curve is thus a result of the underlying valley type (Fig. 6).

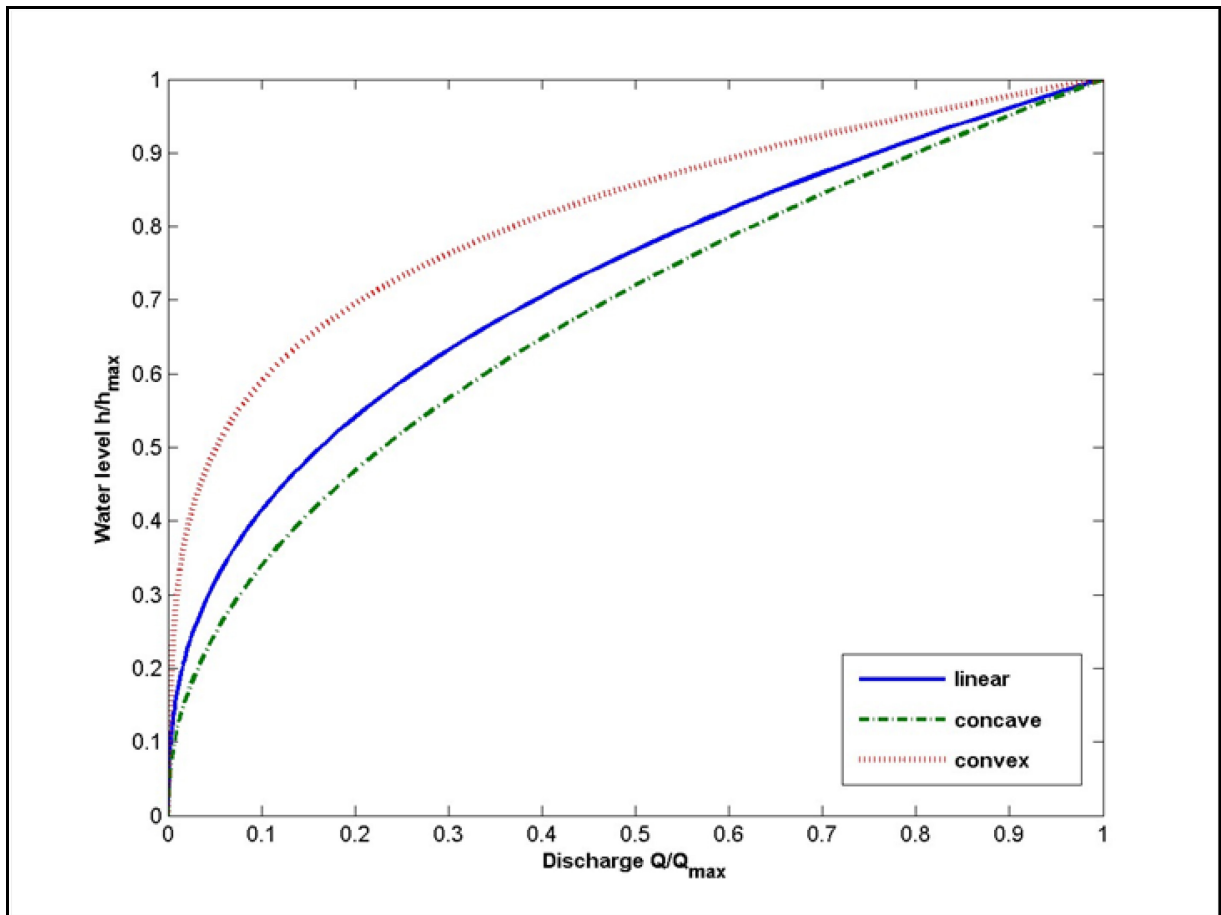


Figure 5: Rating curves $h(Q)$ for the flood plains (area outside the river bed) considering three different valley types. Discharges and water levels are normalised by the respective maxima.

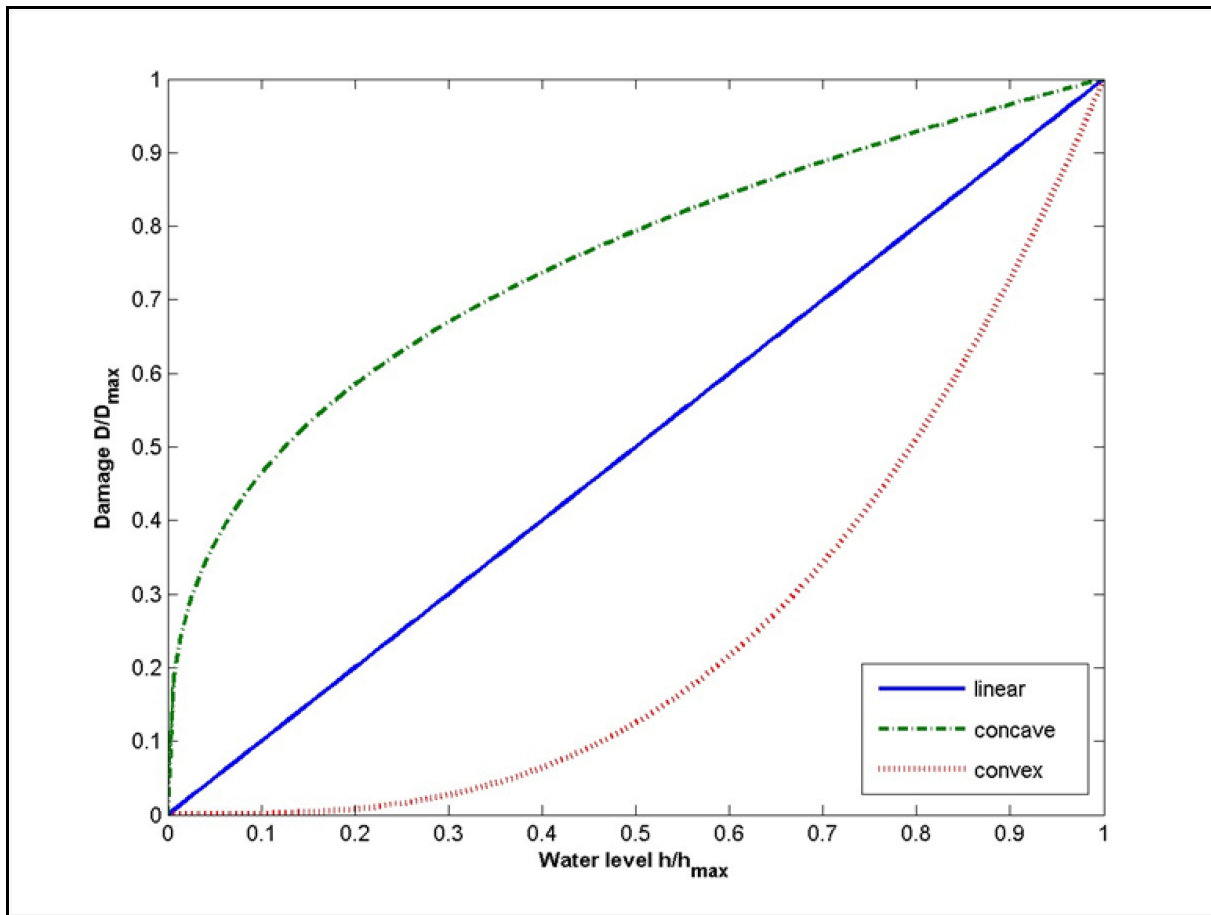


Figure 6: Stage-damage curve for the three valley types. Damage values and water levels are normalised by the respective maxima.

Nine different combinations result from the superposition of the different rating curves, stage-damage-functions and flood frequency distributions (three valley types times three GEV-curves). Their $h(T)$ -functions, i.e. the relationship between river water level and return period, are shown in Fig. 7. The shares of the different return period intervals to EAD can be calculated on the basis of Eq. (4), and are shown in Fig. 8. It can be seen that the highest share to EAD can be assigned to frequent events in the case of the linear and the concave valley shape. On average, events of the interval 5-10 yrs contribute 28% to the expected annual damage, those of the 5-20 yrs interval 60%, and those of the 5-50 yrs interval 82%. On the contrary, extreme events play a minor role. For example, the share of events with a return period of more than 500 yrs amounts to 2%, that of events with a return period of more than 1000 yrs only to 1%.

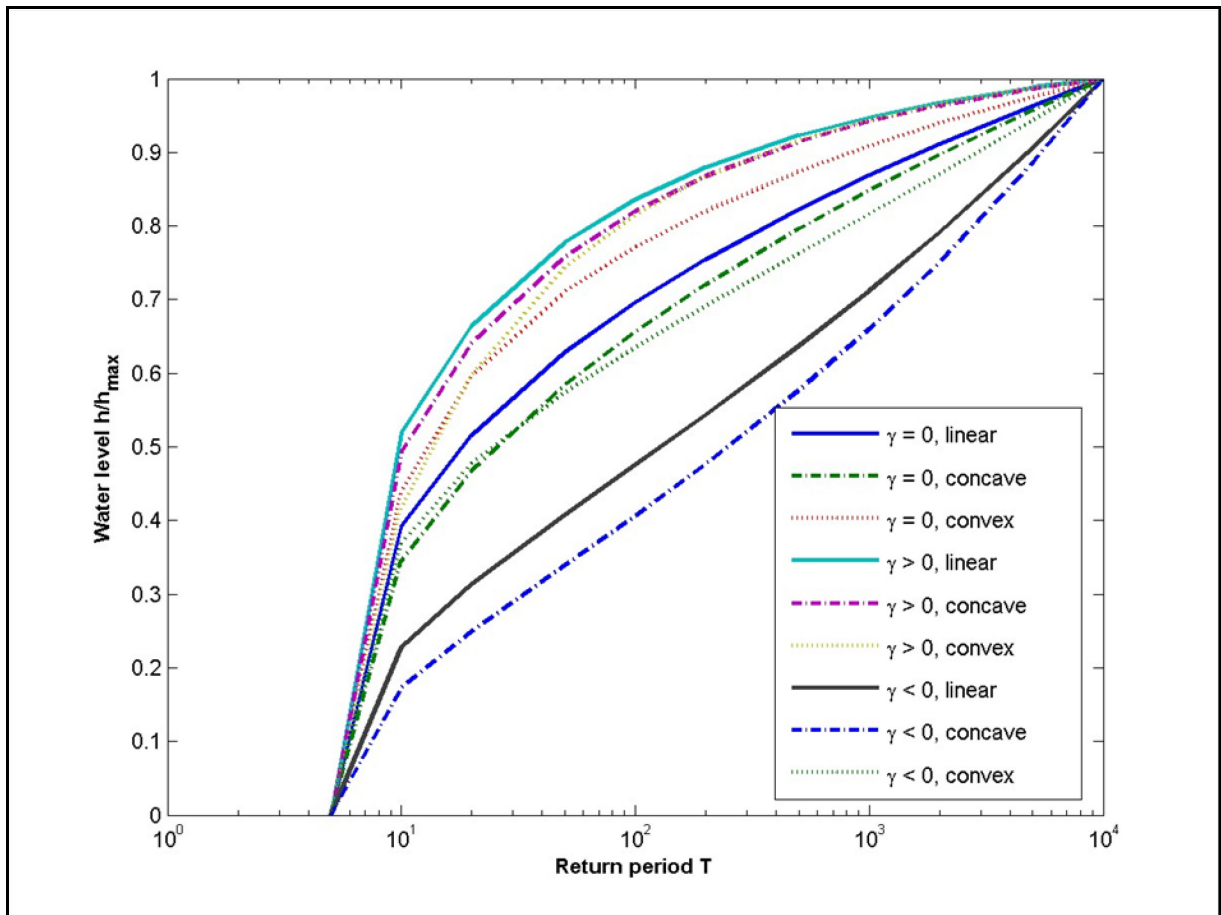


Figure 7: Flood frequency curves $h(T)$ for the nine combinations of valley types and GEV-distributions. River water levels are normalised to the respective maximum.

In summary, the general considerations are consistent with the findings from the empirical case studies. However, in the case studies the share of 'low probability/high damage' events tends to be a little higher than in the generalised cases. We attribute this minor disagreement to our assumption that the asset distribution and susceptibility functions are uniform, i.e. that the distance to the river does not influence the asset and susceptibility distribution. In reality, it is likely that frequently flooded areas are kept free from settlements and other assets, or that objects in these areas have a lower susceptibility than those in less frequently affected areas.

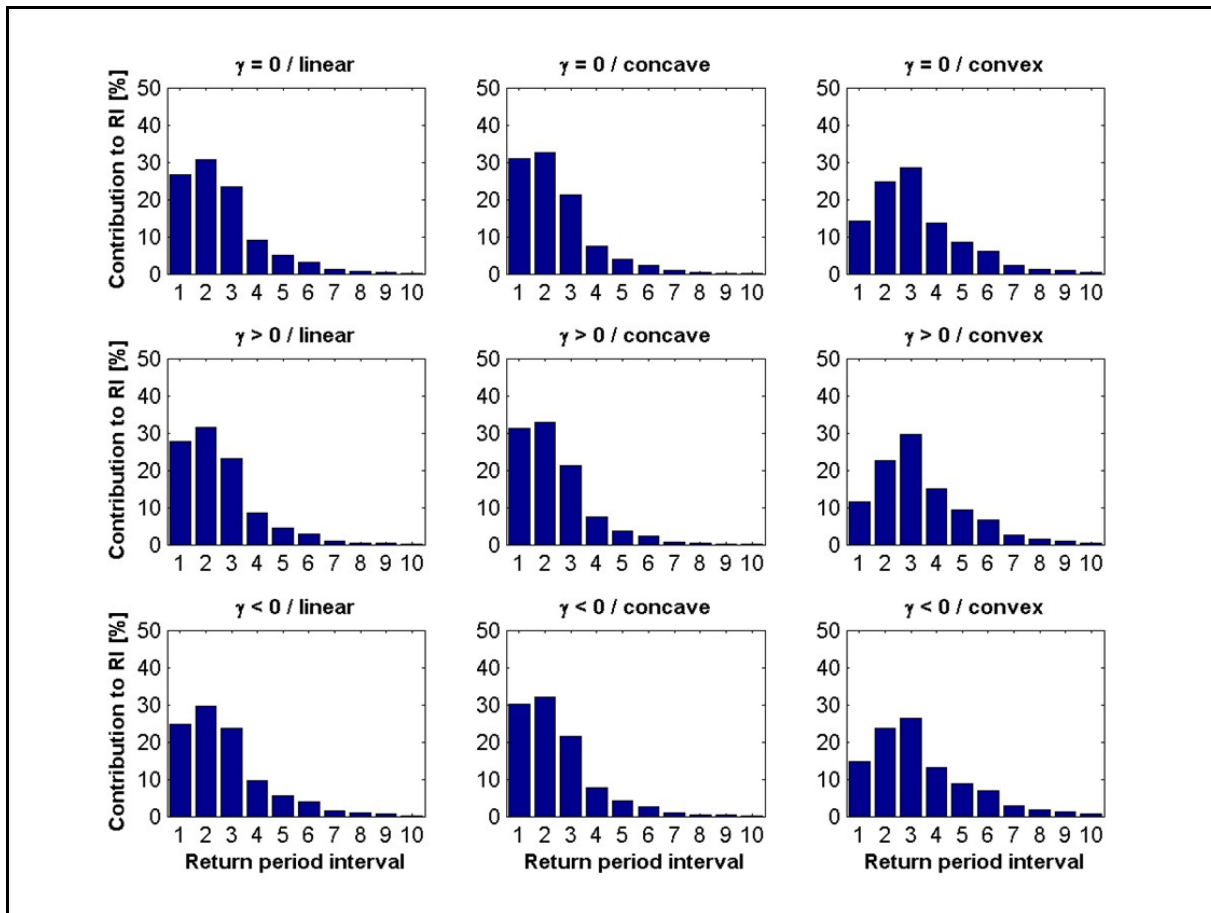


Figure 8: Share (given in %) of the return period intervals to the expected annual damage (*RI*) for the nine combinations of valley types and GEV-distributions. (Considered return period intervals: 1: 5-10 yrs / 2: 10-20 / 3: 20-50 / 4: 50-100 / 5: 100-200 / 6: 200-500 / 7: 500-1000 / 8: 1000-2000 / 9: 2000-5000 / 10: 5000-10000 yrs).

3. Societal significance of ‘low probability/high damage’ events

The considerations of chapter 2 reveal that ‘low probability/high damage’ floods contribute only to a small degree to EAD and should therefore be of small importance in flood risk decisions, if EAD was an adequate risk indicator. However, flood mitigation measures are often initiated as a consequence of ‘low probability/high damage’ floods. This mismatch can be explained by the perception of risks. The societal significance of a risk is defined by how it is perceived. Differences in preference for decision alternatives were shown to be associated with different perceptions of the relative risk of the options, rather than with different attitudes towards the risk (Weber and Milliman, 1997, Slovic and Weber, 2002). Risk perception is context-dependent and is affected by social, political, cultural and economic factors (e.g. Kaspersen et al., 1988, Pidgeon et al., 1992, Renn, 1998, Plattner et al., 2006). The variety of these factors and their interaction result in a strong variation of risk perception.

Although individuals perceive risks as complex, multidimensional phenomena, it has been shown that perceived risk is, to some extent, quantifiable and predictable, since every hazard

has a unique pattern of qualities that appears to be related to its perceived risk (e.g. Slovic, 1987, Slovic and Weber, 2002, Grothmann and Reusswig, 2006). Subjective risk appraisal is not only defined by personal preferences or even irrational patterns, but follows sensible rules and should be considered in risk management (Bohnenblust and Slovic, 1998, Renn, 1998).

Slovic (1987) grouped 15 risk dimensions to two risk factors, 'Dread Risk' and 'Unknown Risk'. The perceived seriousness of a hazard is predictable from knowledge of where the hazard stands with regard to 'Dread Risk' and 'Unknown Risk' (Slovic et al., 1984). These factors help to explain the observation that society tends to be risk-averse, i.e. that '... the public appears to accept more readily a much greater social impact from many small accidents than it does from the more severe, less frequent occurrences that have a smaller societal impact' (US Nuclear Regulatory Commission, 1975).

Risk aversion is linked to the social amplification of risk (Kasperson et al., 1988). This holds for events whose adverse effects, e.g. massive indirect impacts such as tightened regulation or loss of trust in authorities exceed the direct damage by far. While the size of the impact of an event does not necessarily determine its proneness to the process of social amplification, the event has to be of the high-signal type. Certain events, frequently events with the potential to affect a large number of people, are perceived as signals of future trouble. The social impact of an event will be large, regardless of its direct damage, if the event greatly increases the estimated risk of the activity or technology, e.g. raising fear that the activity is not adequately under control (Slovic et al., 1984). One implication is that effort and expense beyond that indicated by a traditional cost-benefit analysis might be warranted to reduce the possibility of high-signal events (Slovic and Weber, 2002).

Further, people dread 'low probability/high damage events' more than their statistical importance implies, since such events may surpass the coping capacity of the affected element-at-risk. The concentration of adverse impacts in time and space may require a long-term effort to recover from the event, or even worse, the impact may be of such magnitude that the affected element-at-risk may be unable to cope with the adverse effects. Therefore, individuals, businesses or smaller groups are usually considered risk-averse, unless they are very wealthy and highly diversified, due to limited coping mechanisms that enable them to deal with high-damage events. However, Siegrist and Gutscher (2008) showed that people cannot predict the negative effects that are evoked by severe flooding (especially negative emotional consequences) and therefore do not invest in risk mitigation. Larger groups (large companies, countries, etc.) are often assumed to be risk-neutral due to their possibility to spread risks (Mechler, 2004). For example, the public sector is often considered as risk-neutral, as it can more easily share risks. Hence, cost-benefit analyses in the public sector are usually based on expected utility.

However, it can be summarised that there are well legitimate reasons for putting a stronger emphasis on ‘low probability/high damage’ events than their contribution to EAD suggests. The concept of EAD as risk indicator assumes risk neutrality and is inadequate, if risk aversion is important. Therefore, it is necessary to evaluate the implications of different risk preferences (risk neutral versus risk adverse) on decision-making.

4. Integrating risk aversion in decisions on flood risk mitigation

In this section risk aversion is integrated in the calculation of risk reduction for hypothetical flood defence measures for the three communities Cologne, Doebeln and Eilenburg introduced in Sect. 2.2. It is analysed how the inclusion of risk aversion changes the contribution of ‘low probability/high damage’ events to *RI*, and how this may influence the decision on flood risk mitigation. For each community the current flood risk is described by flood risk curves, relating the flood damage in the community to return periods. In a second step the effects of flood protection through a dike system or, alternatively, an early warning system on these risk curves are calculated. These calculations are performed for risk-neutral and risk-averse behaviour. For both cases, it is compared to which extent each flood protection strategy reduces the risk.

This example uses only damages to the residential sector. This is the sector for which, at least in Germany, the most reliable data and damage models exist. Since we are interested in the question how risk aversion affects risk reduction and, consequently, risk mitigation decisions, this restriction to one economic sector does not limit the basic conclusions drawn from this example. The same approach could be applied in a more comprehensive risk assessment. With the FLEMOps damage estimation model for the residential sector that was derived from actual damage data collected after the 2002 floods in the Elbe and Danube catchment (Thieken et al., 2008) and asset values in terms of disaggregated replacement costs per community for residential buildings (Kleist et al., 2006, Thieken et al., 2006), the damages in the residential sector are estimated for seven flood scenarios (return periods: 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000 years). These results are taken from Olschewski (2007), and Merz and Thieken (2009). To be able to compare the three municipalities, relative damage is used as damage indicator. It is calculated by relating the (scenario-) damage to the residential asset values in the communities. To extend the probability range, these risk curves are extrapolated for the return periods 2000, 5000 and 10000 years.

Figure 9 shows the resulting risk curves (curves named ‘current situation’) for the three communities. For the considered range of return periods (10 – 10000 yrs), the relative damage varies from 0.09% to 7% for Cologne, from 0.8% to 11% for Doebeln, and for 0.4% to 25% for Eilenburg. For the smaller municipalities, relative damages for similar return periods are higher than for Cologne.

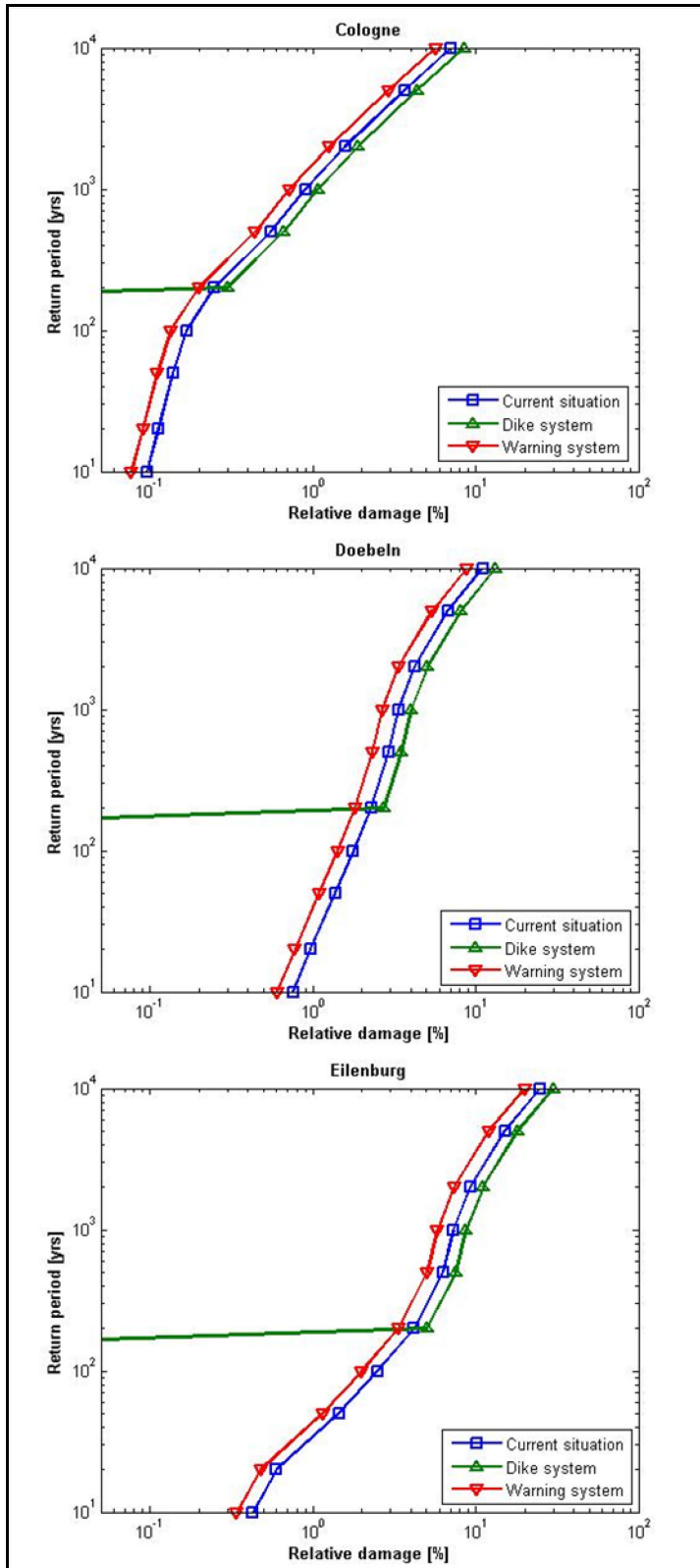


Figure 9: Risk curves for Cologne (top), Doebeln (middle) and Eilenburg (bottom).

For each community the risk reduction due to flood mitigation is calculated. Two mitigation options, namely flood warning and protection by dikes, are chosen. This choice is motivated by the different characteristics of these mitigation options. Flood defence by dikes is a typical

representative of the resistance strategy, whereas flood early warning represents the resilience strategy. Resistance strategies aim at reducing the flood hazard, i.e. the frequency of flooding, and are traditionally called flood control strategies, whereas resilience strategies rather aim at learning to live with the floods (Vis et al., 2003).

The dike system is assumed to fully protect the municipality and prevent all damages up to a return period of 200 years. In Germany, dikes are frequently designed for the 100-year flood. By adding a freeboard of 0.5 to 1.0 m, the safety level of many dikes in Germany is approximately 200 years. For larger events the dike system is expected to fail. Since dikes eliminate inundations in the dike hinterland for events lower than the failure flood (200 yrs), residents of the dike hinterland tend to develop a feeling of safety and an increase in assets and a decrease in flood susceptibility in dike-protected areas is a common phenomenon. To take this effect (called 'levee effect' according to Tobin, 1995) into account, an increase in asset values behind dikes is assumed as a consequence of the dike system. Based on these assumptions, the risk curves for the mitigation option 'dike system' have a common form: No flood damage below the failure flood (200 yrs), whereas the damage above the failure flood is increased, compared to the current situation. Figure 9 shows the risk curves for an increase of 20%.

Although the effect of increasing asset values in the dike hinterland is frequently mentioned (e.g. Tobin, 1995), there is hardly any data available. The studies of McMasters (1996) and USACE (2004) on the development in U.S. floodplains indicate that this 'levee effect' could be in the order of 5-10%. In some special places, e.g. New Orleans, this effect could be much higher (Burby, 2006). Due to the lack of quantitative statements, two scenarios (5% and 20%) are investigated which are seen as plausible range.

As an alternative mitigation measure, a flood warning system including public awareness campaigns is proposed. Unlike dike protection, early warning systems do not fully eliminate damages, but the damage-reducing effects work for low- and high-probability events alike. The extent of the damage reduction is difficult to quantify. Several surveys (Lustig et al., 1988, Queensland Gov., 2002, Parker, 2007) have dealt with this problem. The ability to efficiently perform protection measures which are undertaken after a flood warning has been received strongly depends on the knowledge about self-protection, which is connected to the quality of flood warning information as well as to prior flood experience, residents' homeownership and household size (Thieken et al., 2007). A damage-reducing effect of 20% is assumed which is on the upper side of the percentages found in empirical studies and proposed in the literature (Kreibich et al., 2005). Such a relatively high efficiency requires the residents to be aware of the threat and of the possibilities for effective emergency measures. Therefore, we assume that the operation of the early warning systems is combined with measures for raising and maintaining a high awareness among the flood-prone residents. Figure 9 shows the shifting of the current risk curve towards lower damage as a consequence

of a well-maintained flood warning system that motivates residents to perform damage-reducing activities in case of warnings.

In the following, the contribution of the different flood scenarios, with return periods from 10 to 10000 years, to the overall risk and to the damage reduction for the two mitigation measures (dike system, flood warning system) are calculated. This is done for risk-neutral and risk-averse behaviour.

In this example, risk aversion is assumed to be a function of the relative damage of the municipalities. They are seen as the entity for which the decision on flood mitigation is made. Risk aversion should only be taken into account if a considerable part of the municipality is at risk. The municipality should be interested in avoiding high-signal events that trigger strong public concern and have high societal impact and in situations where its coping capacity might be surpassed. Therefore, the ratio of damage to the assets of the municipality can serve as indicator for risk aversion.

In the risk literature two risk aversion models are applied, the multiplicative one (Eq. (6)) and the exponential model (Eq. (7)):

$$RI^* = \sum_{j=1}^m \Delta P_j D_j \alpha(D_j) \quad (6)$$

$$RI^* = \sum_{j=1}^m \Delta P_j D_j^\beta \quad (7)$$

Both models are variants of the traditional risk equation (Eq. (2)). In both models risk aversion is considered by introducing a risk aversion factor α or β , respectively. They can be interpreted as a penalty function which over-proportionally weighs events with large damage. The resulting risk measure RI^* can be considered as perceived societal risk (Bohnenblust and Slovic 1998).

Risk aversion models are usually applied to multiple-fatality accidents (e.g. Slovic et al. 1984, Hubert et al. 1991, Mechler 2004, Abrahamsson and Johansson 2006). For example, the exponential model is based on a utility model stating that the societal cost (or disutility) of N lives lost in a single accident is a function of N^β (Slovic et al. 1984). Three general forms can be differentiated: $\beta > 1$ (risk-averse), $\beta = 1$ (risk-neutral), $\beta < 1$ (risk-seeking). The exponential and multiplicative models are related ($\alpha(D) = D^{\beta-1}$), and can be used interchangeably. Although there has been an intense discussion on risk aversion, empirical studies on people's risk preferences regarding multiple fatalities are rare (Abrahamsson and Johansson 2006).

We apply risk aversion functions to economic damage estimates. In Germany the number of casualties resulting from river floods is fortunately low and does not play an important role in

the public discussion about flood risk. This discussion is mainly steered by direct economic damage. This is also the only flood damage type for which substantial data and models are available in Germany. Therefore, economic damage is used as damage type, although we are aware of the importance of other loss dimensions such as adverse psychological effects.

The parameterisation of risk aversion models is a subjective process and reflects value judgements (Bohnenblust and Slovic 1998). Mechler (2004) summarises the empirical work on risk aversion and states that evidence concerning risk aversion remains inconclusive. Data on the preference of the respective decision makers are necessary but frequently not readily available (Mechler 2004), and risk aversion functions are not the same for different hazards (Bohnenblust and Slovic 1998). Recently, Abrahamsson and Johansson (2006) studied risk preferences of experts in the risk management sector, related to accidents or other situations with the possibility of multiple fatalities. Surprisingly, the majority of the subjects showed risk-seeking behaviour. They accepted the risk of highly serious consequences to retain the possibility of the adverse impacts being much less serious. One recurring argument was that, when the number of fatalities had reached a certain point, a further increase did not affect the perception of the scenario. There might be a threshold beyond which an event is simply seen as catastrophic without further discrimination. Most of the participants with risk neutral preferences argued that the expected number of fatalities ought to be used in a normative sense in decision making, since they considered it as the most rational approach. This example highlights that diverging views on risk aversion exist. Depending on the context of the risk situation, different stakeholders might have different views on risk aversion. Therefore, the issue of risk aversion needs to be carefully scrutinised in each risk evaluation.

In our example the multiplicative risk aversion model is used, based on the following assumptions:

- Risk aversion increases with the relative damage, i.e., events where larger fractions of the assets within a municipality are destroyed are penalised.
- The risk aversion function contains two thresholds. The lower threshold D_L defines the relative damage above which risk aversion is assumed. The upper threshold D_U defines the damage above which risk aversion does not increase anymore. The risk aversion factor α increases linearly between D_L and D_U .

Figure 10 shows the chosen risk aversion factors, and Table 1 lists the assumptions underlying the risk aversion models and the effects of protection measures. Besides the risk-neutral approach (model M0), three risk-averse models (M1-M3) are given. All risk-averse models have the same lower threshold of 1%, i.e. risk aversion is not considered for events with direct damage lower than 1% of the total assets in the community. The upper threshold is set to 10% and 20%, respectively, since only a partition of the municipality values are at risk of flooding

and even those values at risk are in most cases not fully destroyed. 10% or 20% damage seems to be an event that is perceived as devastating for riverine flood in Germany. A rough estimate based on asset values and damage data from SAB results in a relative residential damage for the August 2002 flood of approximately 5.5% for Doebeln, 10% for Eilenburg, and 1% for Dresden. This flood can be characterised as a high-signal event. It triggered a nation-wide discussion on flood risk management, and a number of extensive consequences followed (Petrow et al. 2006). The maximum risk aversion factor α_{max} is more difficult to choose. Other studies have used values up to 8 (railroad crossings, PLANAT, 2007), 10 (railway accidents, natural disasters, Bohnenblust and Slovic 1998, BABS 2003, PLANAT 2005), 15 (avalanche risk, BUWAL 1999), 30 (railway tunnels, PLANAT 2007), or 100 (natural disasters, BABS 2003). Bründl (2009) suggests a function where risk aversion is composed of multiple factors resulting in an overall maximum risk aversion factor of approx. 15 for small to large events and approx. 50 for extreme loss events. Based on these studies, we assume $\alpha_{max} = 10$ (M1, M2) and 50 (M3), respectively.

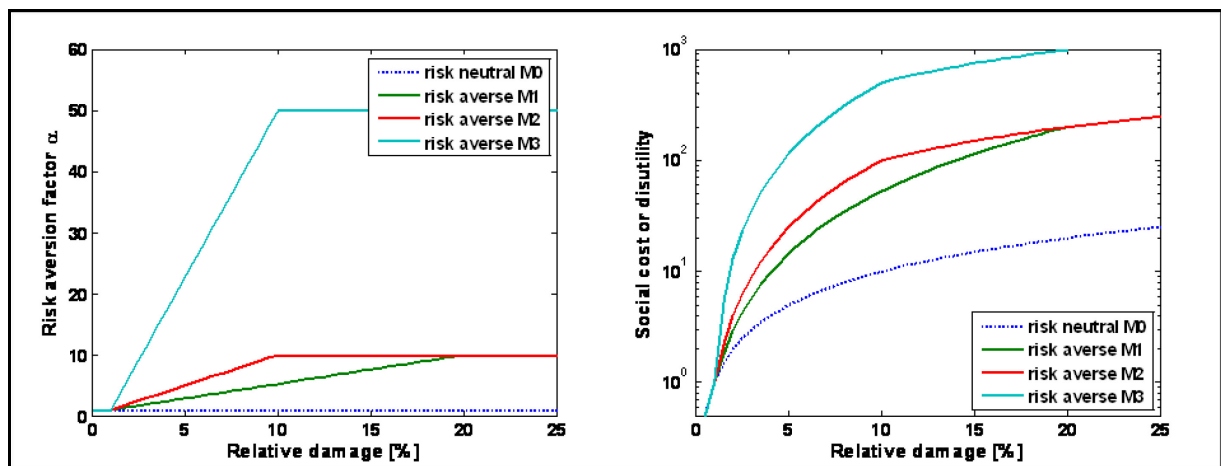


Figure 10: Risk aversion functions at the level of municipalities: Risk aversion factor as function of relative damage (left) and disutility functions (right)

The chosen risk aversion model and its parameters are not meant to reflect the preferences of decision makers. For example, the range of aversion factors is taken from risks involving fatalities. The transfer of these values to economic risk is questionable. In a real-world application, these issues would have to be discussed with the responsible decision makers. The objective of our example is to illustrate how the consideration of risk aversion may influence flood mitigation decisions. Hence, it suffices to choose plausible realisations of risk aversion functions. Since uncertainties in eliciting risk aversion parameters are large, it is appropriate to use a range of values for illustrating the effect of risk aversion on decision-making (Mechler 2004).

Table 1: Assumptions underlying the four risk aversion models and the effects of flood protection measures

Risk aversion model	Risk aversion factor α	Relative residential damage		Effects of protection measures	
		lower threshold	upper threshold	Dike	EWS
M0	1				
M1	10	1%	20%	5% or 20% increase of asset values behind dikes	20% damage reduction
M2	10	1%	10%		
M3	50	1%	10%		

Applying the multiplicative risk aversion model (Eq. (6)) and the aversion functions of Fig. 10, the contribution of flood scenarios to the total risk is calculated for each municipality and each mitigation scenario (current status, dike system, warning system). The risk indicator used is the perceived societal risk RI^* . As example, Fig. 11 gives the percentage to which each return period interval contributes to RI^* for Eilenburg and an increase of asset values in the dike hinterland of 20%. Comparing the three mitigation options, it is obvious that the relative contribution of the return period intervals is the same for the current situation and for the early warning system. For the dike system the return period intervals 1-3 ($T < 100$ yrs) do not contribute, since the dike system fully protects against flooding.

More important is the comparison of the four risk aversions models. For the risk-neutral model M0, the high probability events dominate the overall risk. As soon as risk aversion is included, the contribution of low probability events increases. This may lead to bimodal distributions (e.g. model M2 and dike system) or even to reversed distributions (e.g. model M3 and dike system). Assuming risk aversion with $\alpha_{max} = 10$ (models M1, M2) leads partially to significant changes and partially to minor ones. $\alpha_{max} = 50$ changes dramatically the contribution of low probability events.

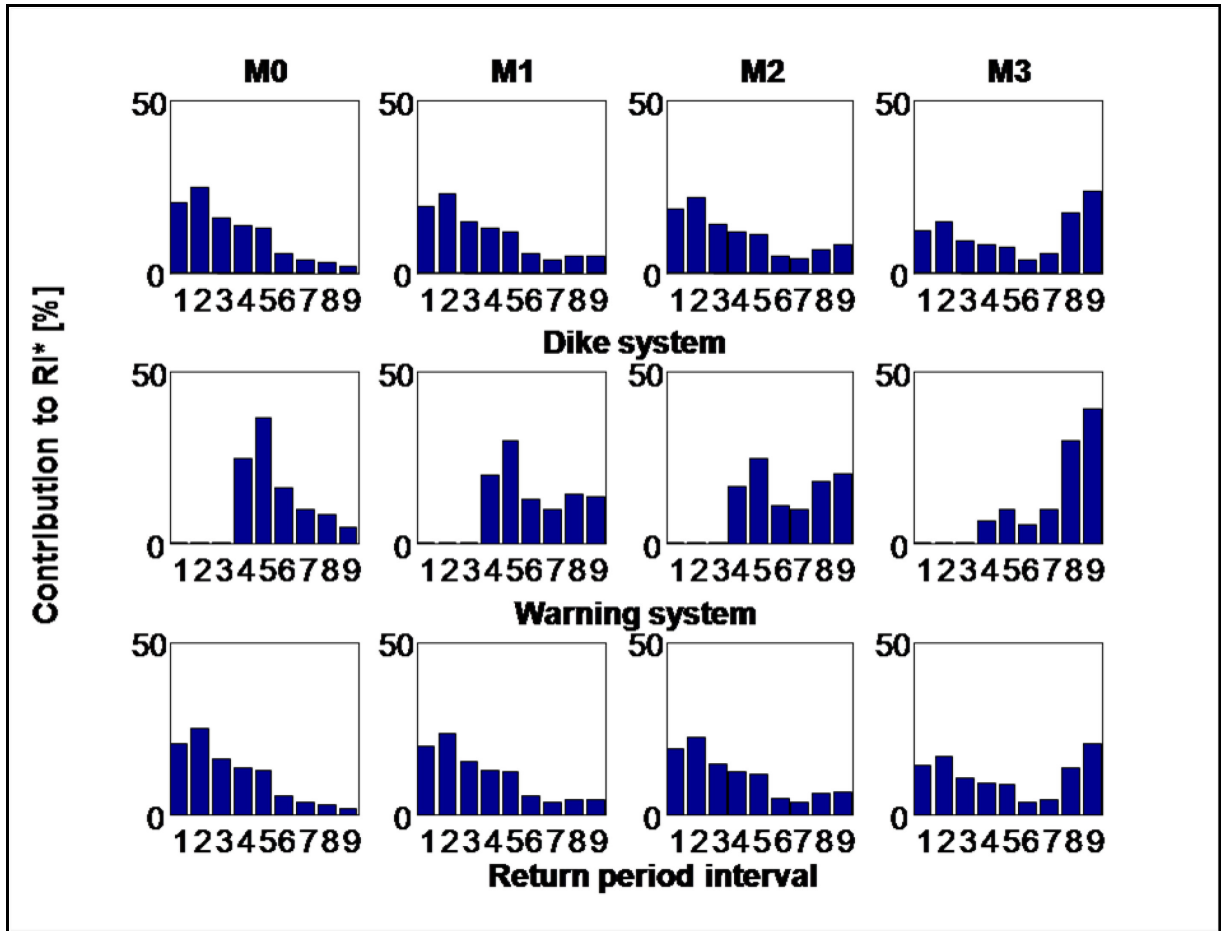


Figure 11: Share (given in %) of the return period intervals to the perceived societal risk (RI^*) for four risk aversion models (M0 – M3) and three mitigation strategies (current situation: top row; dike system: middle row; warning system: bottom row) for Eilenburg. A levee effect of 20% is assumed. (Considered return period intervals: 1: 10-20 / 2: 20-50 / 3: 50-100 / 4: 100-200 / 5: 200-500 / 6: 500-1000 / 7: 1000-2000 / 8: 2000-5000 / 9: 5000-10000 yrs).

Finally, the benefit due to the two mitigation options (dike system, warning system) is quantified. This benefit is calculated as the annual risk reduction after the implementation of the mitigation options:

$$\Delta RI_D^* = RI_C^* - RI_D^* \quad \text{and} \quad \Delta RI_W^* = RI_C^* - RI_W^*$$

where RI^* denotes the perceived societal risk and the subscripts denote the mitigation options: C – current situation; D – dike system; W – warning system. Table 1 shows ΔRI_D^* and ΔRI_W^* for the four risk aversion models and for the two levee effect scenarios. For the risk-neutral model (M0), the risk reduction due to the dike system is significantly larger than the reduction due to the warning system. This is valid for both levee effect scenarios. However, the introduction of risk aversion changes this pattern: The risk reduction due to the dike system decreases, and the one due to the warning system increases. This pattern is explained by the fact that the warning system also decreases damages of low probability floods, whereas the dike system only mitigates higher probability floods. The risk reduction due to the dike

system also depends on the assumption on the levee effect. For a levee effect of 5% and the communities Doebeln and Eilenburg, the risk reduction due to the dike system is larger than the one due to the warning system, regardless of the risk aversion model. For a levee effect of 20% and the risk aversion model M3, the warning system would provide a larger risk reduction for Eilenburg.

The effect of M3, the model with the strongest risk aversion, is quite dramatic. For Cologne and Eilenburg and a levee effect of 20%, the order of the mitigation options is reversed compared to the risk-neutral model: The risk reduction due to the warning system is significantly larger than the one due to the dike system. Interestingly, the dike system risk reduction for Cologne is negative, if risk aversion model M3 is applied. This is a consequence of the 20% increase of potential damage as effect of the dike system and of the higher weights that are associated with low probability events. This means that the dike system increases the annual risk, if the assumptions (20% potential damage increase, strong risk aversion M3) are deemed to be plausible.

Table 2: Annual benefits (ΔRI^* in millions of €) of two mitigation options for three municipalities, four risk aversion models and two scenarios of the levee effect

Risk aversion model	Doebeln			Eilenburg			Cologne		
	Dike		EWS	Dike		EWS	Dike		EWS
	5%	20%		5%	20%		5%	20%	
M0	0.97	0.94	0.24	0.62	0.57	0.19	5.13	4.81	1.48
M1	0.97	0.92	0.25	0.61	0.54	0.22	5.02	4.33	1.84
M2	0.96	0.90	0.27	0.60	0.50	0.25	4.90	3.79	2.25
M3	0.92	0.71	0.41	0.53	0.18	0.49	3.89	-0.72	5.70

5. Conclusions

Flood risk analyses and flood cost-benefit studies usually apply the technical concept of risk and EAD is used as risk indicator. This paper shows that, for riverine floods in Germany, EAD is dominated by ‘high probability/low damage’ events. For all case studies (the Seckach catchment area and three other municipalities in Germany), approximately 80% of the potential benefits of a flood protection system has to be attributed to the reduced damage due to frequent events with return periods of up to 100 yrs. General considerations, based on typical values for flood frequency behaviour, flood plain morphology, etc., support these findings. Using the concept of EAD, ‘low probability/high damage’ events play a minor role.

For example, the share of events with a return period of more than 500 yrs amounts typically to 2%, that of events with a return period of more than 1000 yrs to 1%.

These results are in contrast with the perception of 'low probability/high damage' flood events. People tend to dread events that might cause very high damage, and there are well-founded arguments for this view. Such events can significantly influence the long-term development of regions, communities or individual livelihoods. They may be associated with follow-up effects that extend far beyond the direct effects that are usually accounted for in risk analyses. Hence, in flood risk studies EAD should be used with care. It may not be a prudential risk indicator, since it is not always congruent with well-founded societal risk priorities.

Since this mismatch between technical risk appraisals and the perception of society stems from the limitations of today's flood risk analyses, a larger emphasis should be placed on considering indirect, intangible and long-term consequences of floods. If a complete quantification of all flood impacts in a technical risk analysis were possible, this mismatch would be closed.

Realistically, a complete quantification is a long way ahead. Therefore, attempts to compensate the effects of missing consequences are valuable. To this end, risk aversion may be included in the risk assessment, trying to quantify the perceived societal risk instead of the technical risk. A proposal is made to consider risk aversion, based on quasi-monetary values, for flood mitigation at the municipality level. We argue that risk aversion depends on the scale of the loss. The relative damage, i.e. event loss divided by the total assets in the municipality at risk, is proposed as measure for assigning risk aversion factors to flood events.

The introduction of risk aversion penalises events with disastrous consequences. This preference of avoiding devastation instead of minimising EAD has implications for the appraisal of risk mitigation options. It is shown that the annual risk reduction due to alternative mitigation options may be very differently assessed. Applying the 'classical' EAD approach (risk-neutral), flood protection by dikes has large positive benefits in the three municipalities studied. They are much larger than the risk reduction due to a well-functioning flood warning system. However, the consideration of risk aversion decreases the positive effects of the dike system and increases the benefit of the warning system. Assuming the most pronounced risk aversion model and an increase of asset values behind dikes of 20%, the risk reduction of the dike system is even negative for Cologne. This result is, besides the large weights of low probability events in this risk aversion model, the effect of a comparatively large increase in potential flood damage in the hinterland area of the dike as a consequence of the perceived safety against (low probability) flooding.

Examples for the inclusion of risk aversion in flood risk studies are extremely rare. The quantification of risk aversion is a subjective process, reflects value judgments and depends

on the context of the risky situation. In view of the inconclusiveness of the discussion on risk aversion, the risk aversion functions chosen in this study have to be taken with care. For example, the use of the relative damage as indicator for risk aversion needs further discussion. In large cities a comparatively small relative, but high absolute damage may be perceived as high-signal event. Therefore, it may be wise to adapt risk aversion functions, depending on the scale of the municipality. To understand these issues, more research on people's preferences in different risk contexts is necessary.

Although we are aware of the limitations of this investigation, we show that risk aversion may have substantial implications for the appraisal of flood mitigation. The resilience approach (flood warning system) is much more positively evaluated when risk aversion is considered. In contrast, the risk reduction effect of the resistance approach (dike system) diminishes with consideration of risk aversion. Different flood mitigation decisions are probable, when risk aversion is taken into account.

Acknowledgements

The authors would like to thank Martin Gocht and Anja Olschewski for the provision of data. In particular, we thank Michael Bründl, Reinhard Mechler and an anonymous reviewer for their profound and constructive comments. Parts of this research were undertaken within the framework of the project MEDIS – Methods for the Evaluation of Direct and Indirect Flood Losses. Funding by the German Ministry for Education and Research (BMBF, No. 0330688) is gratefully acknowledged.

References

Abrahamsson, M. and Johansson, H.: Risk preferences regarding multiple fatalities and some implications for societal risk decision making – an empirical study, *Journal of Risk Research*, 9(7), 703-715, 2006.

Asbeck, E.L. and Haimes, Y.Y.: The partitioned multiobjective risk method (PMRM), *Large Scale Syst.*, 6(1), 13-38, 1984.

BABS: Katastrophen und Notlagen in der Schweiz (KATARISK). Eine Risikobeurteilung aus der Sicht des Bevölkerungsschutzes, Bundesamt für Bevölkerungsschutz (BABS), 83 pp., 2003.

Bates, P.D. and de Roo, A.P.J.: A simple raster-based model for flood inundation simulation, *Journal of Hydrology*, 236(1-2), 54-77, 2000.

Bohnenblust, H. and Slovic, P.: Integrating technical analysis and public values in risk-based decision making, *Reliability Engineering and System Safety*, 59, 151-159, 1998.

- Briem, E.: Gewässerlandschaften der Bundesrepublik Deutschland. ATV-DVWK-Arbeitsbericht, 2003.
- Bründl M. (ed): Risikokonzept für Naturgefahren - Leitfaden. Testversion Februar 2009, Nationale Plattform für Naturgefahren (PLANAT), Bern, 420 pp., 2009.
- Burby, R.J.: Hurricane Katrina and the paradoxes of government disaster policy: Bringing about wise governmental decisions for hazardous areas, *The Annals of the American Academy of Political and Social Science*, 604, 171-91, 2006.
- BUWAL: Praxishilfe. Kosten-Wirksamkeit von Lawinenschutz-Massnahmen an Verkehrsachsen, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern, 1999.
- Dawson, R., and Hall, J.: Performance-based management of flood defence systems, *Water Management*, Issue WMI, 157, 35-44, 2004.
- Eckstein, O.: Water resource development: the economics of project evaluation, Harvard University Press, Cambridge, Mass., 110-159, 1958.
- Grothmann, T., and Reusswig, F.: People at risk of flooding: Why some residents take precautionary action while others do not, *Natural Hazards*, 38(1-2), 101-120, 2006.
- Grünthal, G., Thieken, A.H., Schwarz, J., Radtke, K., Smolka, A., and Merz, B.: Comparative risk assessment for the city of Cologne, Germany – storms, floods, earthquakes. *Natural Hazards*, 38(1-2), 21-44, 2006.
- Haines, Y.Y.: Risk modelling, assessment and management, John Wiley, New York, 1998.
- Hergarten, S.: Aspects of risk assessment in power-law distributed natural hazards, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 4, 309-313, 2004.
- Hubert, P., Barny, M.N., Moatti, J.P.: Elicitation of decision-makers' preferences for management of major hazards, *Risk Analysis*, 11(2), 199-206, 1991.
- Jonkman, S.N., and Kelman, I.: An analysis of the causes and circumstances of flood disaster deaths, *Disasters*, 29(1), 75-97, 2005.
- Karlsson, P.-O., and Haines, Y.Y.: Risk-based analysis of extreme events, *Water Resources Research*, 24, 9-20, 1988.
- Kasperson, R.E., Renn, O., Slovic, P., Brown, H.S., Emel, J., Goble, R., Kasperson, J.X., Ratick, S.: The Social Amplification of Risk: A Conceptual Framework, *Risk Analysis*, 8, 177-187, 1988.
- Kleist, L., Thieken, A.H., Köhler, P., Müller, M., Seifert, I., Borst, D., Werner, U.: Estimation of the regional stock of residential buildings as a basis for a comparative risk assessment in Germany, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 6, 541–552, 2006.

Kreibich, H., Thieken, A.H., Petrow, T., Müller, M., Merz, B.: Flood loss reduction of private households due to building precautionary measures - lessons learned from the Elbe flood in August 2002, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 5(1): 117-126, 2005.

Lustig, T.L., Handmer, J.W., Smith, D.I.: *The Sydney Floods of 1986: Warnings, Damages, Policy and the Future*, Hydrology and Water Resources Symposium, Canberra, 1988.

McMasters, S.: *The influence of structural flood control structures on the level of development in Midwestern Floodplains*, Master thesis, 1996.

Mechler, R.: *Natural disaster risk management and financing disaster losses in developing countries*, Verlag für Versicherungswirtschaft, Karlsruhe, 2004.

Merz, B.: *Hochwasserrisiken. Grenzen und Möglichkeiten der Risikoabschätzung*, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 334 pp., 2006.

Merz, B., and Gocht, M.: *Risikoanalyse Seckach/Kirnau, Teil II: Ermittlung von Schadenspotentialen. Nutzen-Kosten-Analyse*, Unpublished report, GeoForschungsZentrum Potsdam, 87 pp., 2001.

Merz, B., and Thieken, A.H.: Flood risk curves and uncertainty bounds, *Natural Hazards*, 51, 437-458, 2009.

Olschewski, A.: *Abschätzung von Hochwasserschäden an Wohngebäuden - ein Modellvergleich*, Diploma thesis, Humboldt Universität zu Berlin, 109 pp., 2007.

Parker, D., Tapsell, S., McCarthy, S.: Enhancing the human benefits of flood warnings, *Natural Hazards*, 43, 397-414, 2007.

Penning-Rowsell, E.C., and Green, C.: Enhanced appraisal of flood alleviation benefits, In: Parker, D.J. (ed): *Floods*, Routledge Hazards and Disasters Series, London and New York, 214-237, 2000.

Petrow, T., Thieken, A.H., Kreibich, H., Merz, B., Bahlburg, C.H.: Improvements on flood alleviation in Germany: Lessons learned from the Elbe flood in August 2002, *Environmental Management*, 38(5), 717-732, DOI: 10.1007/s00267-005-6291-4, 2006.

Pidgeon, N., Hood, C., Jones, D., Turner, B. and Gibson, R.: Risk perception, In: Royal Society Study Group *Risk: Analysis Perception and Management*, Royal Society, London, 89-134, 1992.

PLANAT: *Strategie Naturgefahren Schweiz. Synthesebericht*, Nationale Plattform Naturgefahren (PLANAT), Bern, 88 pp., 2005.

PLANAT: *Risikoaversion. Entwicklung systematischer Instrumente zur Risiko- bzw. Sicherheitsbeurteilung bei naturbedingten und technischen Risiken. Phase 1: Darstellung und*

Analyse heute verwendeter Ansätze, Bundesamt für Bevölkerungsschutz (BABS), Nationale Plattform Naturgefahren (PLANAT), Bern, 2007.

Plattner, T., Plapp, T., Hebel, B.: Integrating public risk perception into formal natural hazard risk assessment, *NHESS*, 6 (3), 471-483, 2006.

Queensland Government: Disaster loss assessment guidelines, State of Queensland and Commonwealth of Australia, 127 pp., 2002.

Renn, O.: The role of risk perception for risk management, *Reliability Engineering and System Safety*, 59, 49-62, 1998.

Rose, A., Porter, K., Dash, N., Bouabid, J., Huyck, C., Whitehead, J.C., Shaw, D., Eguchi, R.T., Taylor, C., McLane, T.R., Tobin, L.T., Ganderton, P.T.: Benefit-Cost Analysis of FEMA Hazard Mitigation Grants, *Natural Hazards Review* 8(4), 97-111, 2007.

SAB (Saxon Relief Bank): Fördermitteldatenbank Hochwasser 2002, data as of 2004.

Sayers, P.B., Hall, J.W., Meadowcroft, I.C.: Towards risk-based flood hazard management in the UK, *Civil Engineering*, 150(5), 36-42, 2002.

Siegrist, M., and Gutscher, H.: Natural hazards and motivation for mitigation behavior: People cannot predict the affect evoked by a severe flood, *Risk Analysis*, 28(3), 771-778, 2008.

Slovic, P.: Perception of Risk, *Science*, 236, 280-285, 1987.

Slovic, P., Lichtenstein, S., Fischhoff, B.: Modeling the societal impact of fatal accidents, *Management Science*, 30(4), 464-474, 1984.

Slovic, P., and Weber, E.U.: Perception of Risk Posed by Extreme Events. Paper prepared for discussion at the conference 'Risk Management Strategies in an Uncertain World', Palisades, New York, April 12-13, 2002.

Tapsell, S.M., and Tunstall, S.M.: The health and social effects of the June 2000 flooding in the north east region: report to the Environment Agency, Enfield: Flood Hazard Research Centre, Middlesex University, 2001.

Thieken, A.H., Kreibich, H., Müller, M., Merz, B.: Coping with floods: preparedness, response and recovery of flood-affected residents in Germany in 2002, *Hydrol. Sci. J.*, 52(5), 1016-1037, 2007.

Thieken, A.H., Müller, M., Kleist, L., Seifert, I., Borst, D., Werner, U.: Regionalisation of asset values for risk analyses, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 6, 167-178, 2006.

Thieken, A.H., Olschewski, A., Kreibich, H., Kobsch, S., Merz, B.: Development and evaluation of FLEMOps - a new Flood Loss Estimation MOdel for the private sector, *Flood Recovery, Innovation and Response*, 118, 315-324, 2008.

Tobin, G.A.: The levee love affair: A stormy relationship, *Water Resour. Bull.*, 31, 359-367, 1995.

USACE (U.S. Army Corps of Engineers, Tennessee Valley Authority): An economic evaluation of proposed flood protection plans on the Upper Mississippi River and Illinois Waterway, Report prepared for The Rock Island District, 2004.

US Nuclear Regulatory Commission: Reactor safety study. An assessment of accident risks in US commercial nuclear power plants, WASH 1400 NUREG-75/014, The Commission, Washington D.C., 1975.

van Manem, S.E., and Brinkhuis, M.: Pilot case flood risk, in: Kiureghian, Madanat and Pestana (eds.), *Applications of statistics and probability in civil engineering*, Millpress, Rotterdam, 881-887, 2003.

Vis, M., Klijn, F., de Bruijn, K., van Buuren, M.: Resilience strategies for flood risk management in the Netherlands, *Intl. J. River Basin Management*, 1(1), 33-40, 2003.

Weber, E.U. and Milliman, R.: Perceived risk attitudes. Relating risk perception to risky choice, *Management Science*, 43, 122-143, 1997.

Author's declaration

I prepared this dissertation without illegal assistance. The work is original except where indicated by special reference in the text and no part of the dissertation has been submitted for any other degree. This dissertation has not been presented to any other University for examination, neither in Germany nor in another country.

Florian Elmer

Potsdam, March 2012

