

Schäden durch das Hochwasser 2021 und Schlussfolgerungen für die simulative Schadensprognose

Dr.-Ing. Holger Maiwald, Dr.-Ing. Jochen Schwarz

Bauhaus-Universität Weimar, Zentrum für die Ingenieuranalyse von Erdbebenschäden (EDAC)





Hochwasser 2021 in Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz

– **Starkregen 14. - 15. Juli 2021**

- Extreme Abflussmengen
- 184 Opfer (HW 2002: 21)
- Schadenssumme (Bund): 33,4 Mrd. € (HW 2002 ca. 18 Mrd. €, 2021)
- Extreme Zerstörung der Bebauung und der Infrastruktur

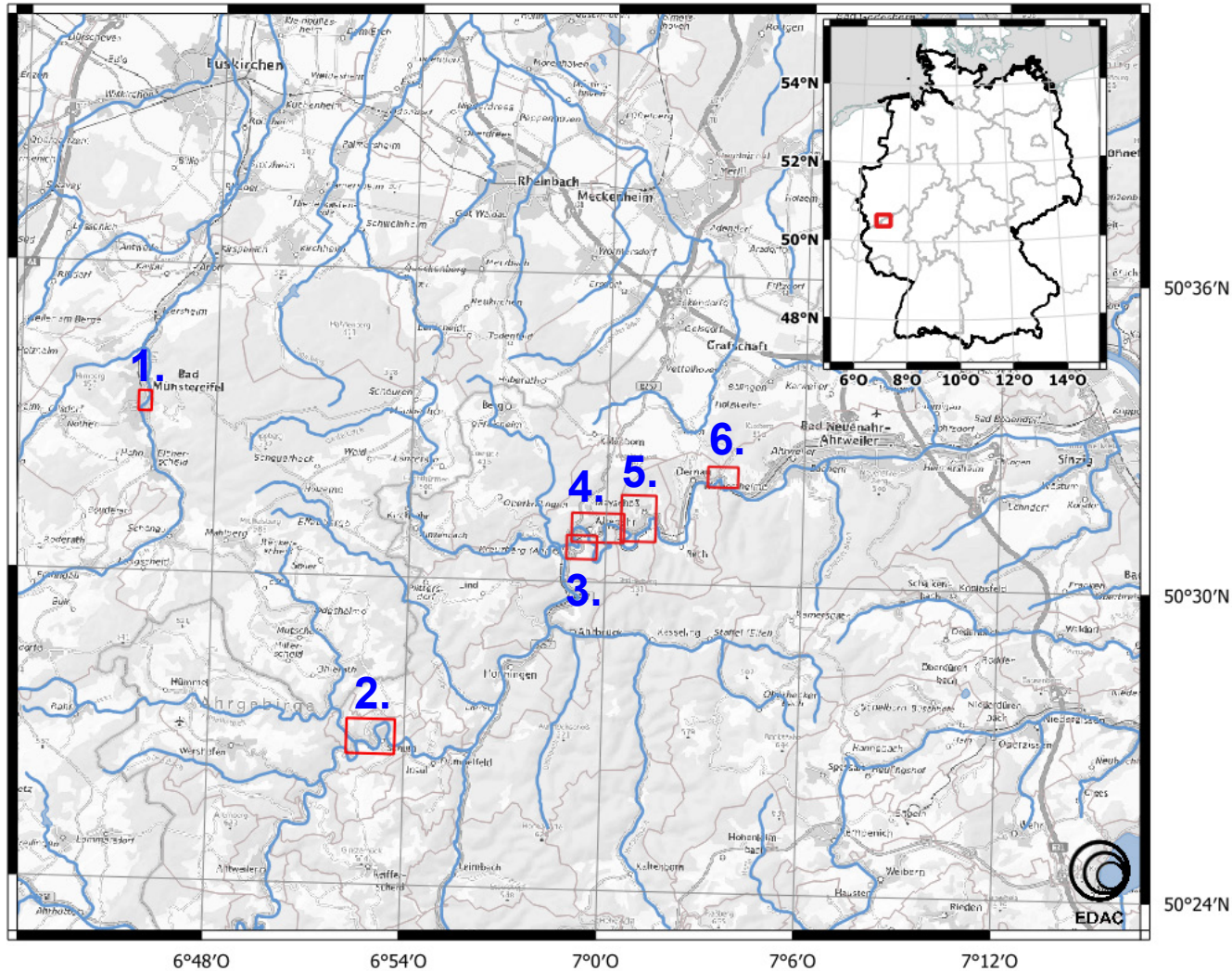
→ **Schadensaufnahme** durch das Erdbebenzentrum der Bauhaus-Universität
Zeitraum **19. Juli - 05. August 2021**

Forschungsprojekt: „3D-Lageinformationen von durch Starkregen und Hochwasser betroffenen Gebieten“ (01.08.2021 - 31.12.2022)

Ministerium für Heimat, Kommunales,
Bau und Gleichstellung
des Landes Nordrhein-Westfalen



1. Einführung



Schadensaufnahmen

1. Bad Münstereifel
2. Schuld
3. Altenburg
4. Altenahr + Reimerzhoven
5. Mayschoß + Laach
6. Marienthal



Hochwasser 2021 in Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz

Schadensaufnahme durch das Erdbebenzentrum der Bauhaus-Universität
Zeitraum 19.07. - 05.08.2021

Dokumentierte Schadensfälle:

Ahrtal:	1269
Bad Münstereifel:	312

1. Einführung



Datenerhebung in den Untersuchungsgebieten Anwendung des EDAC Bauwerkserhebungs-Tool: EQUIP

Properties of Building

- ID: 15809
- name
- type
- Wasserhoehe_min: 5
- Wasserhoehe_max: 5.2
- Fotonnr: 467, 468, 470, 471
- Bemerkung
- ToDo: ja
- Erfledigt: ja

Bebauungsart	Einzel stehende Gebäude	Mehrere, in Reihe stehende Gebäude							
		EFH/ZFH	HH	L	MFH	EFH/ZFH	MFH		
vor 1870 Fachwerkbau	1	EE1		LW1		ME1	ER1	MRG1	MRO1
vor 1870 Massivbau	2	EE2	HH2	LW2	LWS2	ME2	ER2	MRG2	MRO2
1870-1918 Massivbau	3	EE3	HH3	LW3	LWS3	ME3	ER3	MRG3	MRO3
1918-1945 Massivbau	4	EE4	HH4	LW4	LWS4	ME4	ER4	MRG4	MRO4
1945-1990 Massivbau	5	EE5			LWS5	ME5	ER5		MR5
1970-1990 Plattenbau	6					ME6			MR6
nach 1990 Massivbau	7	EE7				ME7	ER7	MRG7	MRO7

GAR



Schadenskala für Hochwasser gemäß EDAC-Hochwasserschadensmodell

Schadens- grad	Schaden		Beschreibung
	Strukturell	Nicht strukturell	
D1	kein	leicht	reiner Durchfeuchtungsschaden, Verschmutzungen
D2	leicht	moderat	leichte Risse in tragenden Wänden, eingedrückte Türen und Fenster, Unterspülung von Fundamenten, <i>Austausch von Ausbauteilen erforderlich, Kontaminationen</i>
D3	moderat	schwer	größere Risse / Verformungen in tragenden Wänden und Decken, Setzungen Einsturz nichttragender Wände, <i>Austausch von nichttragenden Bauteilen erforderlich</i>
D4	schwer	sehr schwer	Einsturz von tragenden Wänden, Decken , <i>Austausch von tragenden Bauteilen erforderlich</i>
D5	sehr schwer	sehr schwer	Kollaps bzw. Einsturz von größeren Gebäudeteilen, <i>Abriss erforderlich</i>
D6	total	total	Dislokation: Bauwerk vollständig weggeschwemmt, umgestürzt oder vom Fundament verschoben



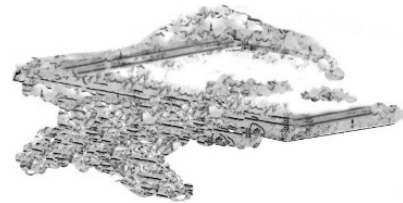
Schadenskala für Hochwasser gemäß EDAC-Hochwasserschadensmodell

D _i	Schaden		Beschreibung	Schadensbild (Prinzipsskizze)	Beispiel
	strukturell	nicht strukturell			
D1	kein	leicht	reiner Durchfeuchtungsschaden Verschmutzungen		
D2	kein bis leicht	moderat	geringfügige Risse eingedrückte Türen und Fenster Kontaminationen Austausch von Ausbautteilen erforderlich		
D3	moderat	schwer	größere Risse an tragenden Wänden Verformungen in Decken / Wänden Setzungen Austausch von nichttragenden Bauteilen		
D4	schwer	sehr schwer	Einsturz von tragenden Wänden, Decken Austausch von tragenden Bauteilen erforderlich		
D5	sehr schwer	sehr schwer	Kollaps bzw. Einsturz von größeren Gebäudeteilen Abriss erforderlich		

Schwarz & Maiwald (2007)

Zusätzlich eingeführt: Schadensgrad D6

Skizze



**Totaler struktureller Schaden
Totaler nicht-struktureller Schaden**

Beispiel



Dislokation: Bauwerk vollständig weggeschwemmt, umgestürzt oder vom Fundament verschoben

Eingeführt: Maiwald & Schwarz (2018)

Fotos: EDAC (2002, 2021)



Besonderheiten der Schadensfälle vom Hochwasser 2021 (Ahrtal)

Extreme Überflutungshöhen in Altenburg
(> 5 m, Schadensgrad D2)



Schwere strukturelle Schäden in Insul
(Schadensgrad D4)





Besonderheiten der Schadensfälle vom Hochwasser 2021 (Ahrtal)

Weggespültes Gebäude in Insul
(Schadensgrad D6)



Strukturelle Schäden durch **Anprall von Treibgut** in Schuld (Schadensgrad D3 - D4)





Besonderheiten der Schadensfälle vom Hochwasser 2021 (Ahrtal)

Teileinsturz durch **Fundamentunterspülung** infolge Ufererosion in Insul (Schadensgrad D4 - D5)



Gesperrtes Bauwerk mit **Ölkontamination** in Altenahr (Schadensgrad D2)



ÖL
5000 l
gesperrt



Besonderheiten der Schadensfälle vom Hochwasser 2021 (Ahrtal)

Fachwerkbau in Altenburg
(Schadensgrad D4)



Fachwerkbau in Schuld
(Schadensgrad D3 - D4)





Besonderheiten der Schadensfälle vom Hochwasser 2021 (Ahrtal)

**Verklauste und geschädigte Brücken
zwischen Altenburg und Altenahr**



**Zerstörte Brücke der Ahrtalbahn
(Pfeilerabsenkung)**





Besonderheiten der Schadensfälle vom Hochwasser 2021

Freigelegte unterirdische Infrastruktur in Schuld



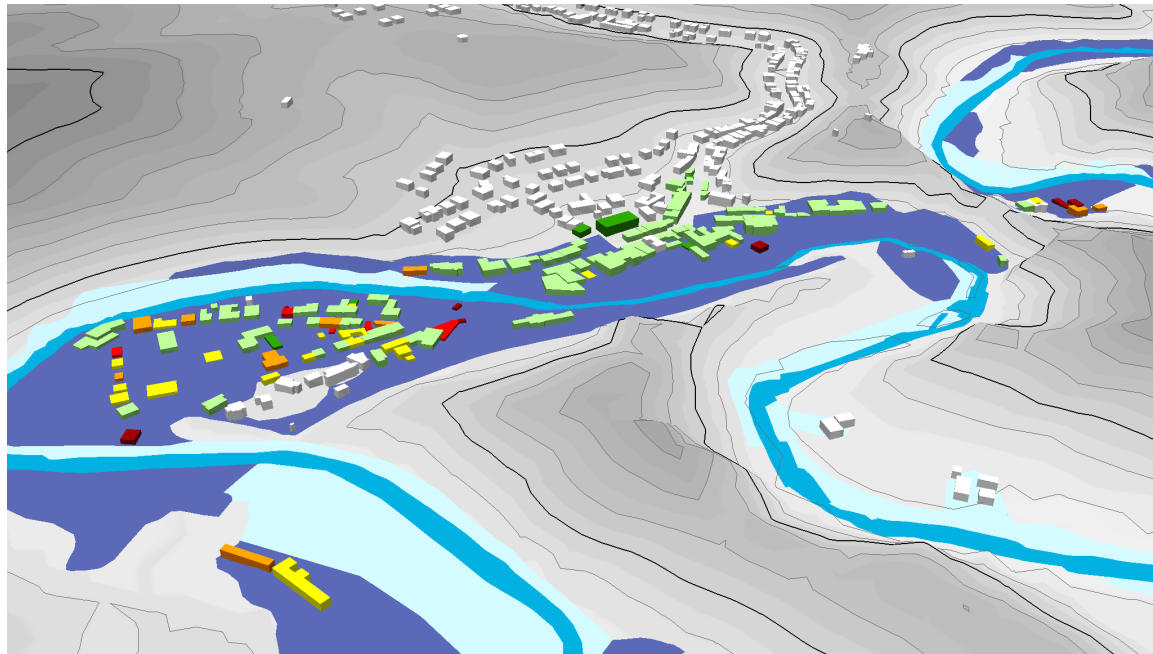
Zerstörte Straßen in Bad Münstereifel





Bewertung der Schäden an der allgemeinen Bebauung in Altenahr → Lagebilder

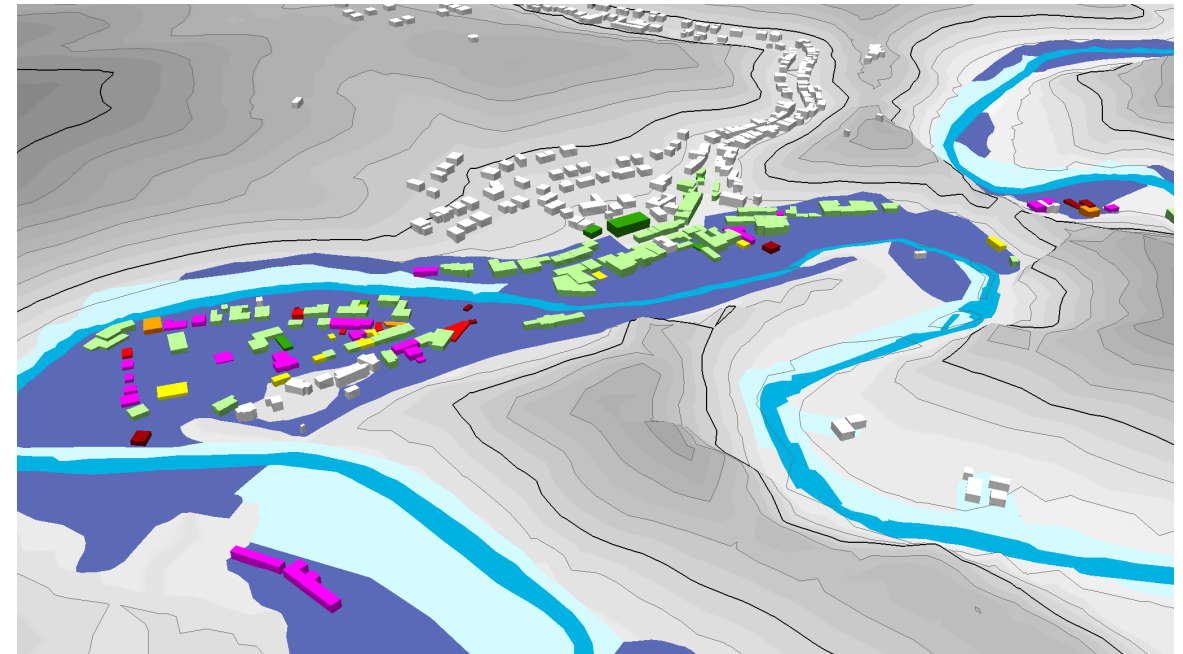
Schadensgrade nach dem Hochwasser



Schadensgrad



Schäden inkl. Abrisse (Stand Oktober 2021)



Überflutungsgebiet





Schlussfolgerungen aus dem Hochwasser 2021

Besonderheiten gegenüber normalen Hochwasserereignissen:

- **Extreme Überflutungshöhen** bis > 5m gekoppelt mit hohen Fließgeschwindigkeiten → **schwere strukturelle Schäden** bis zu komplett **weggespülten Gebäuden**,
- **Anprall von Treibgut und Fundamenterosion** → Starke Erhöhung der strukturellen Schäden,
- Austritt großer Mengen **Heizöl** → Erhöhung der Schadenssummen, teilweise Abriss notwendig,
- **Schäden an historischen Fachwerkbauten** → hohe Verletzbarkeit der Bauweise.

Frage: Wie können diese Effekte berücksichtigt werden?



Erweiterung der Schadensskala für Fachwerkbauten

Schadens-grad	Schaden		Beschreibung
	Strukturell	Nicht strukturell	
D1	kein	leicht	reiner Durchfeuchtungsschaden, Verschmutzungen
D2	leicht	moderat	leichte Risse in tragenden Wänden bzw. in den Mauerwerks-/ Lehmausfachungen , eingedrückte Türen und Fenster, Unterspülung von Fundamenten, <i>Austausch von Ausbauteilen erforderlich</i> , <i>Kontaminationen</i>
D3	moderat	schwer	größere Risse / Verformungen in tragenden Wänden und Decken, Zerstörung von Mauerwerks-/Lehmausfachungen (ohne Versagen tragender Fachwerkständer/ -riegel) , Setzungen, Einsturz nichttragender Wände, <i>Austausch von nichttragenden Bauteilen erforderlich</i>
D4	schwer	sehr schwer	Einsturz von tragenden Wänden, Decken, Zerstörung von tragenden Fachwerkständern/ -riegeln , <i>Austausch von tragenden Bauteilen erforderlich</i>
D5	sehr schwer	sehr schwer	Kollaps bzw. Einsturz von größeren Gebäudeteilen, <i>Abriss erforderlich</i>
D6	total	total	Dislokation: Bauwerk vollständig weggeschwemmt, umgestürzt oder vom Fundament verschoben

3. Schadens- und Verletzbarkeitsmodelle



Hochwasserverletzbarkeitsklassen (Schwarz et al., 2018)

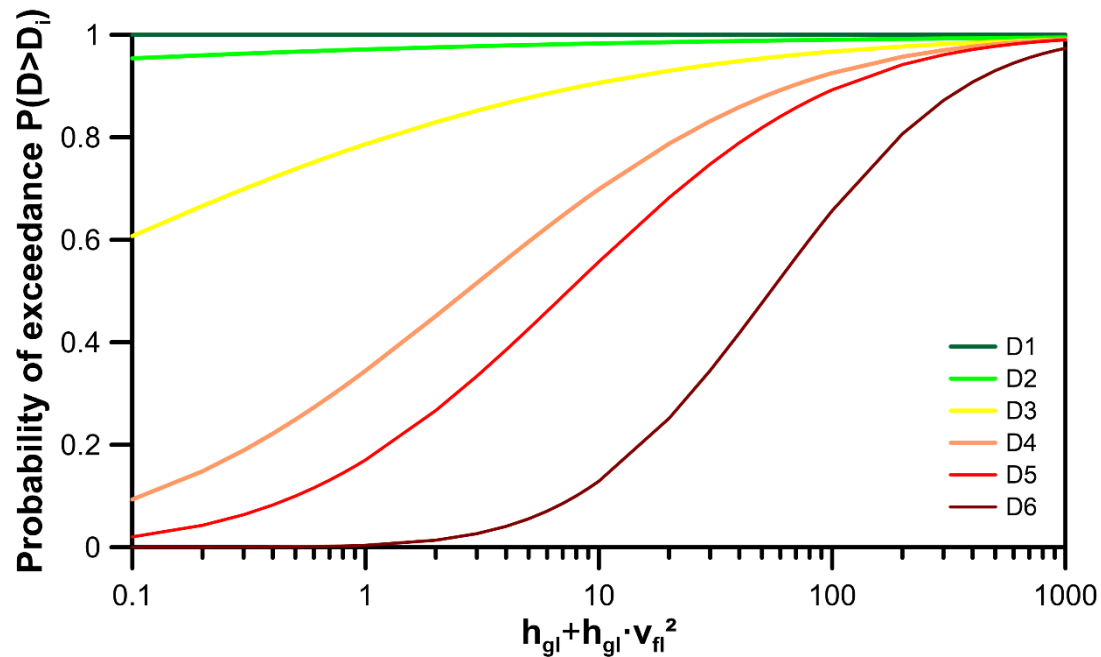
Klassifikation der Bauweisen		Hochwasserverletzbarkeitsklasse HW-					
Hauptbauweise	kurz	A	B	C	D	E	F
Lehmbauweise	Lehm	○					
Fertigteilbauweise	FT	┌──○──┐					
Fachwerkbauweise	FW	┌──○──┐	...				
Mauerwerksbauweise	MW	┌──○──┐	...				
Stahlbetonbauweise	STB			┌──○──┐			
<i>Flood Resistant Design</i>	<i>FRD</i>				┌──○──┐		
<i>Flood Evasive Design</i>	<i>FED</i>						○

- wahrscheinlichste Verletzbarkeitsklasse
- möglicher Streubereich
- ... wenig wahrscheinlicher Streubereich, seltene Fälle

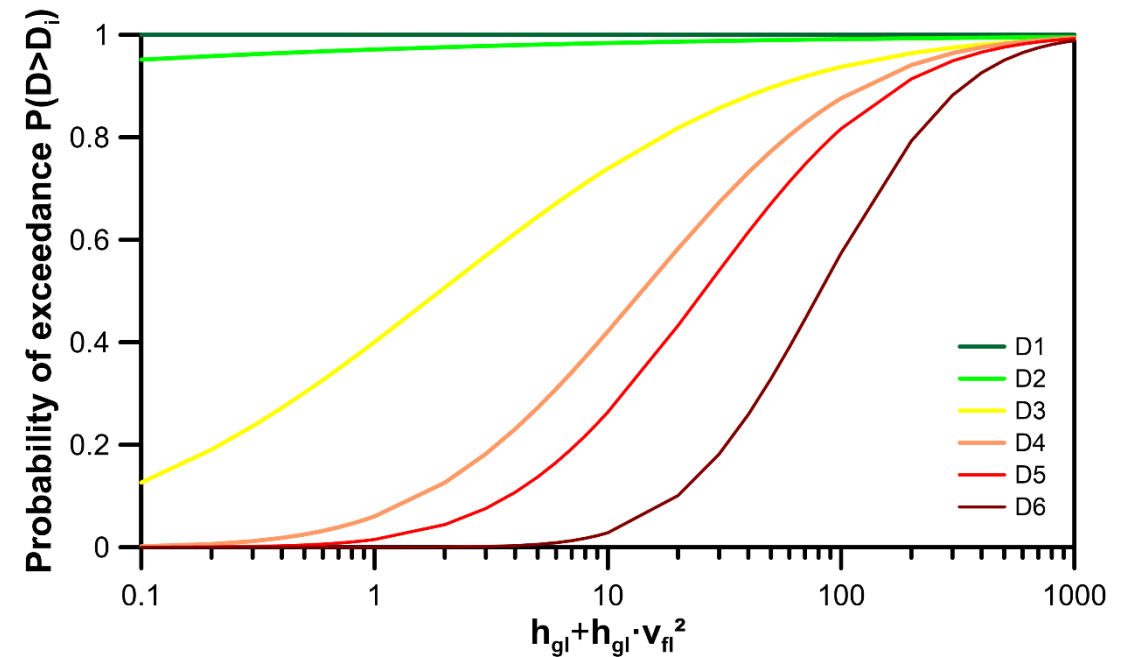


Simulative Schadensprognose mit *Fragility Functions* in Abhängigkeit von Wasserstand und Fließgeschwindigkeit

Verletzbarkeitsklasse HW-A



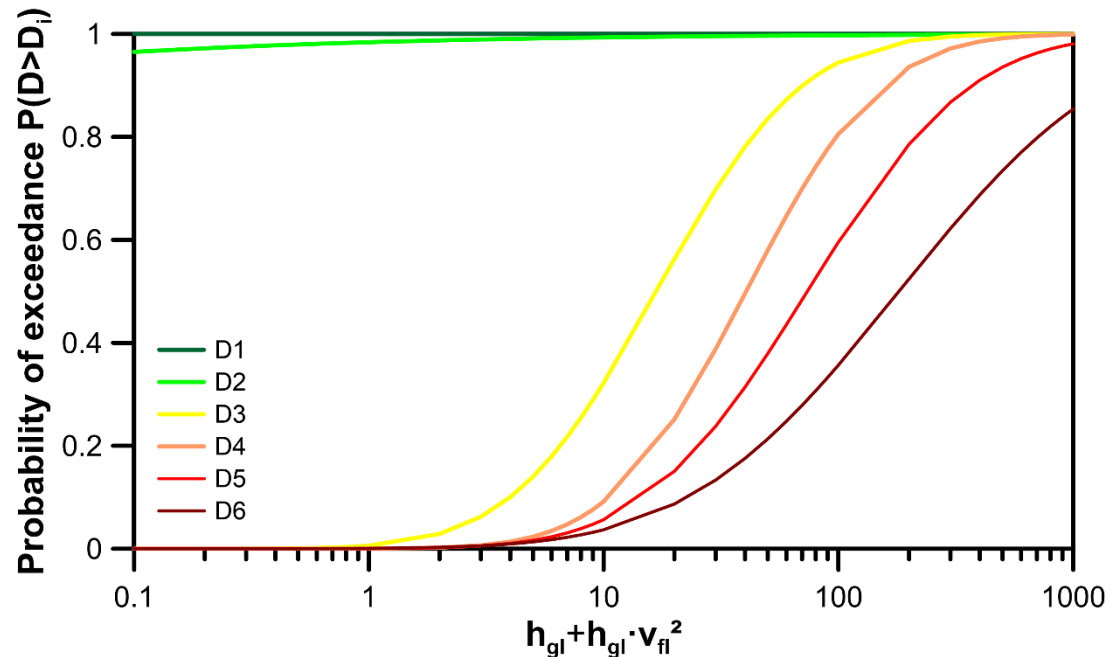
Verletzbarkeitsklasse HW-B



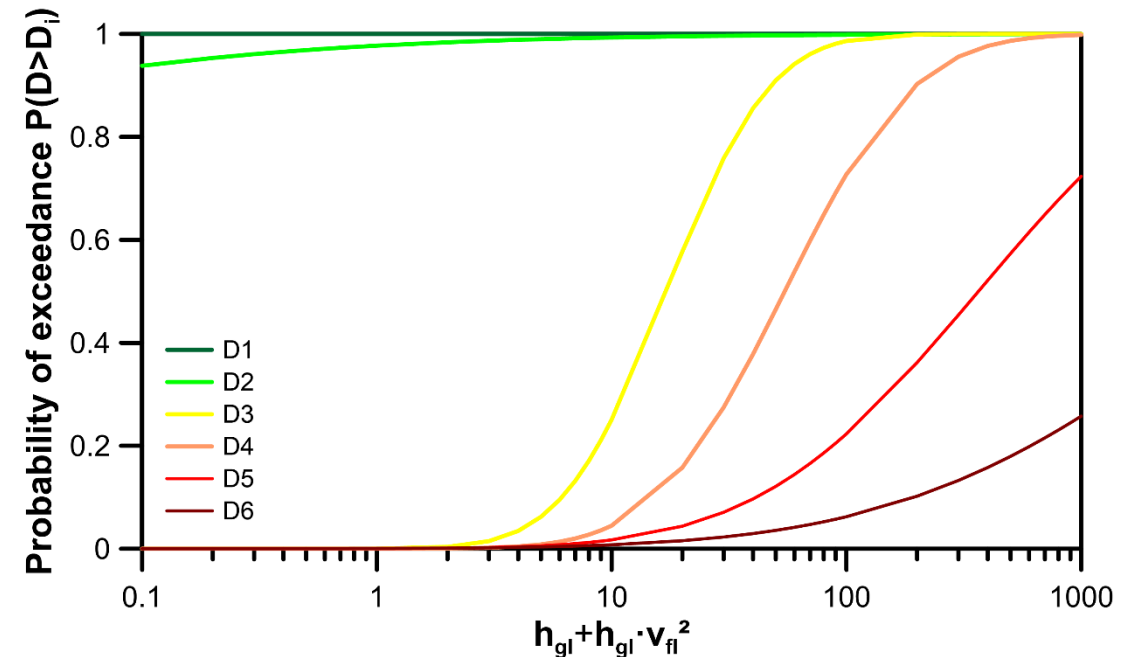


Simulative Schadensprognose mit *Fragility Functions* in Abhängigkeit von Wasserstand und Fließgeschwindigkeit

Verletzbarkeitsklasse HW-C



Verletzbarkeitsklasse HW-D



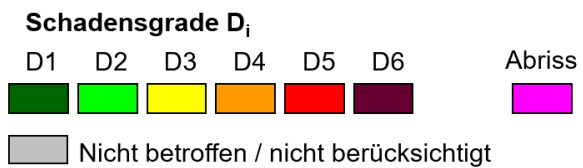
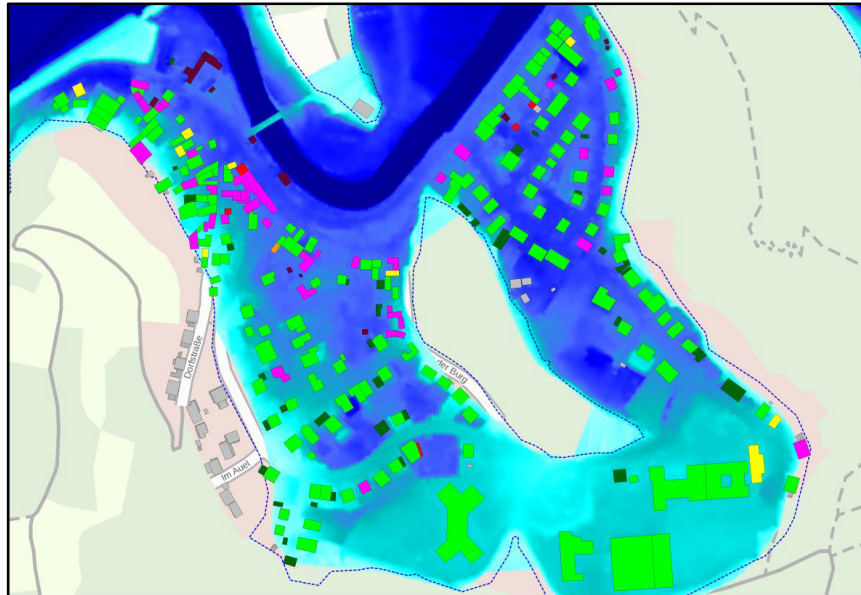
4. Simulative Schadensprognose



Hochwasserszenarien

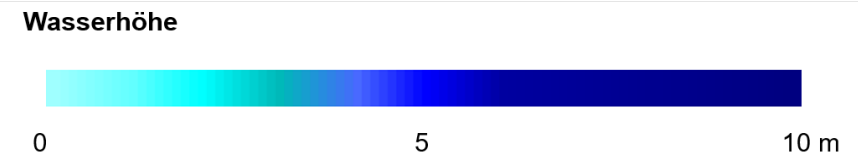
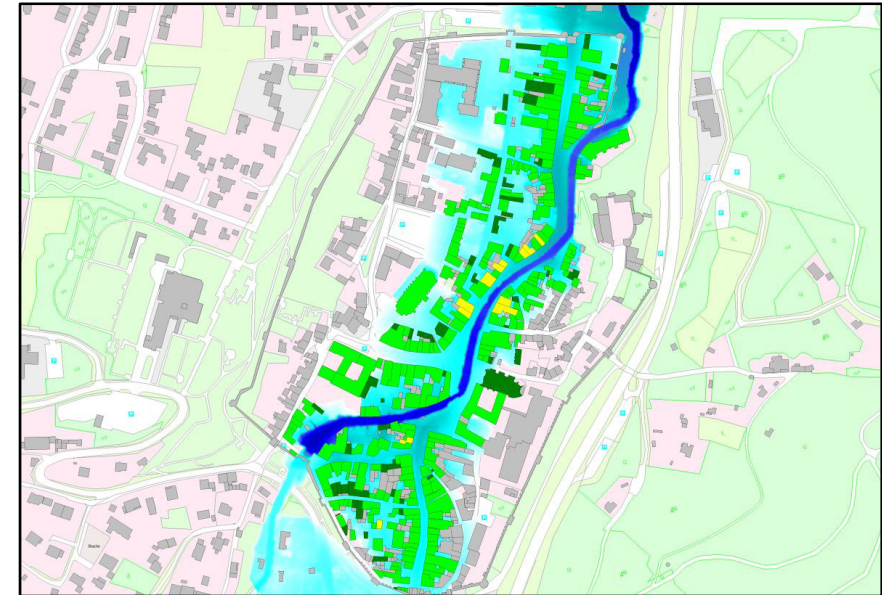
Altenburg (RLP)

LFU RLP: Szenario 753 m³/s, Brücken 100% verlegt



Bad Münstereifel (NRW)

Wasserstände aus HW-Marken extrapoliert



4. Simulative Schadensprognose

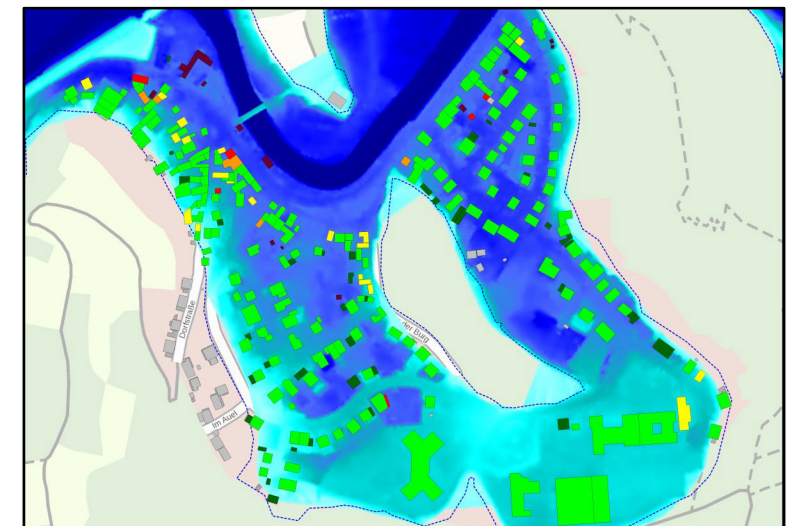
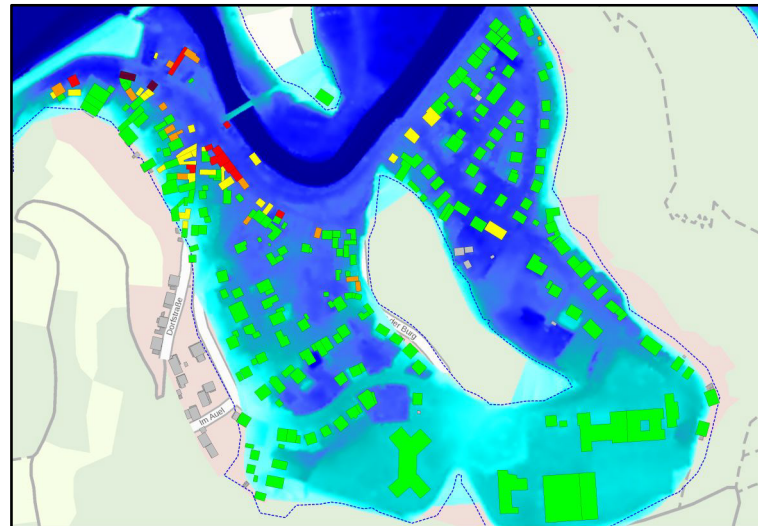
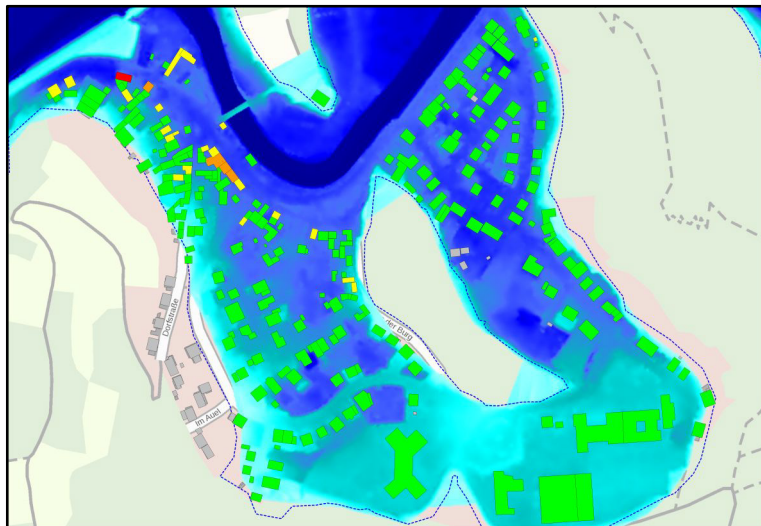


Simulative Schadensprognose für Altenburg

50%-Fraktile

84%-Fraktile

Beobachtete Schadensgrade



N=1000 Simulationen

Schwarz et al. (2023)

Schadensgrade D_i

D1 D2 D3 D4 D5 D6



■ Nicht betroffen / nicht berücksichtigt

Wasserhöhe



0

5

10 m

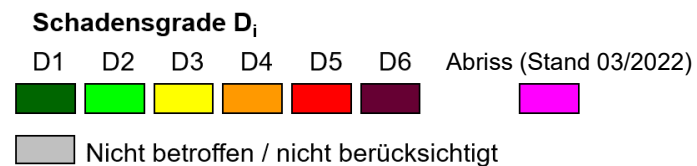
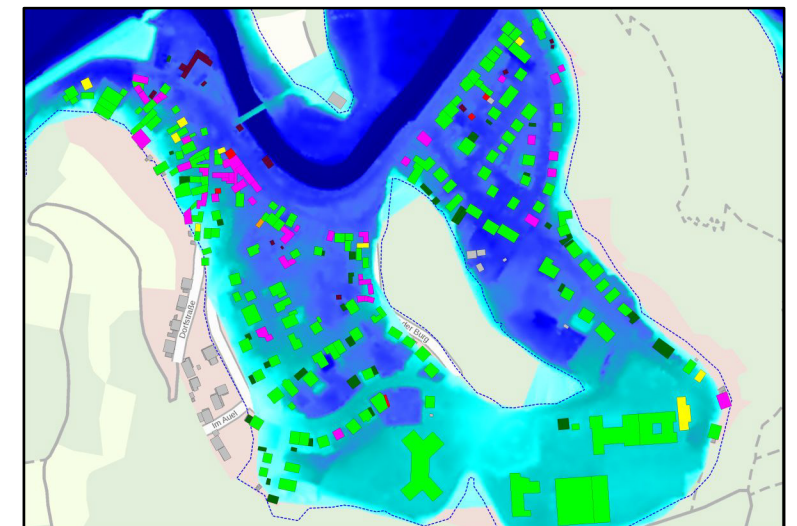
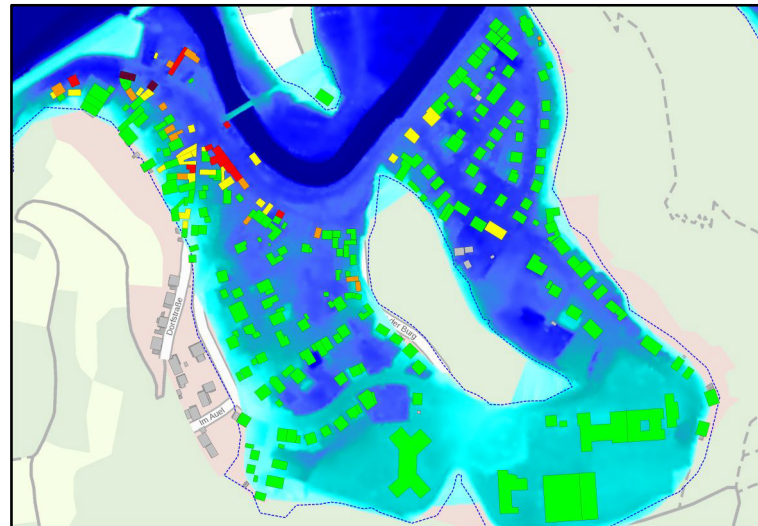
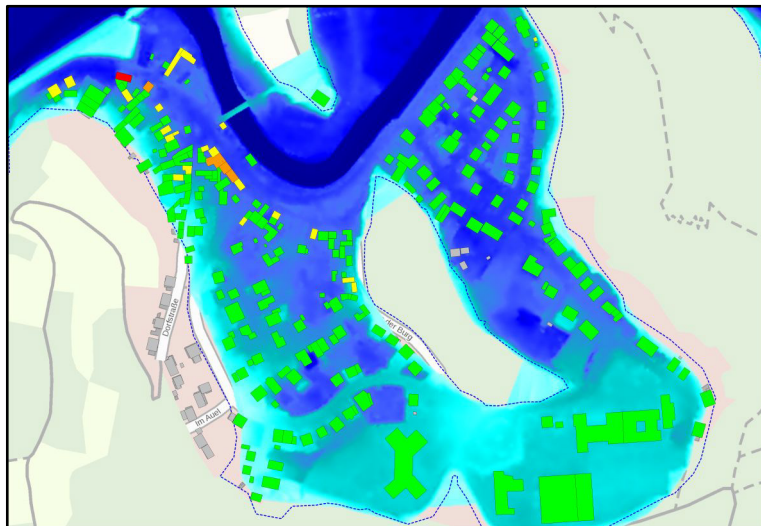


Simulative Schadensprognose für Altenburg

50%-Fraktile

84%-Fraktile

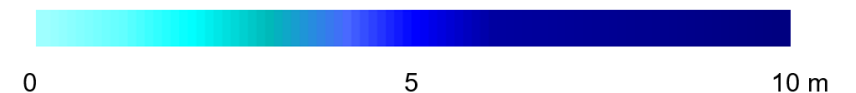
Beobachtete Schadensgrade



N=1000 Simulationen

Schwarz et al. (2023)

Wasserhöhe



4. Simulative Schadensprognose

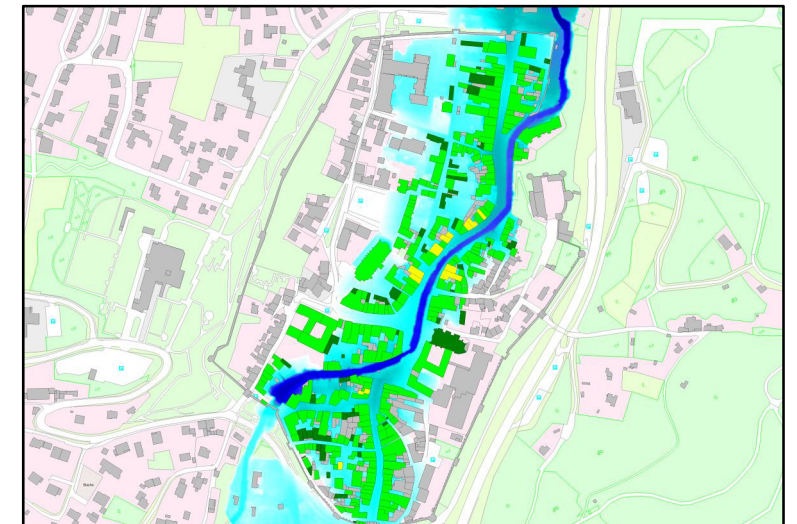
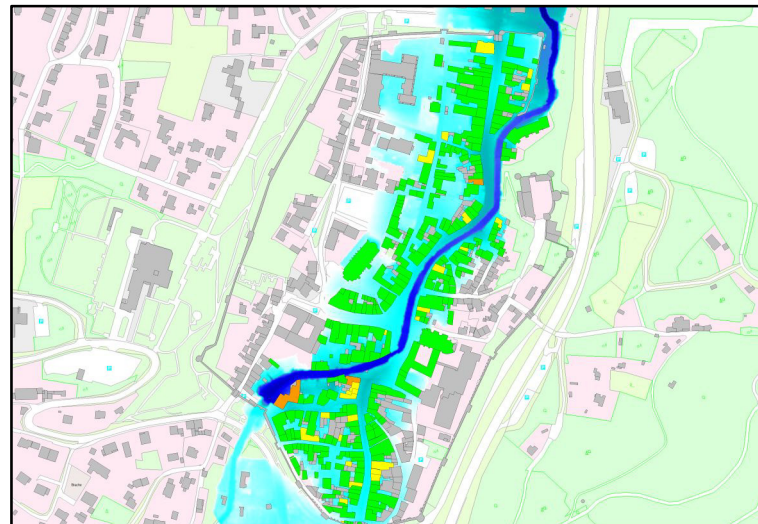
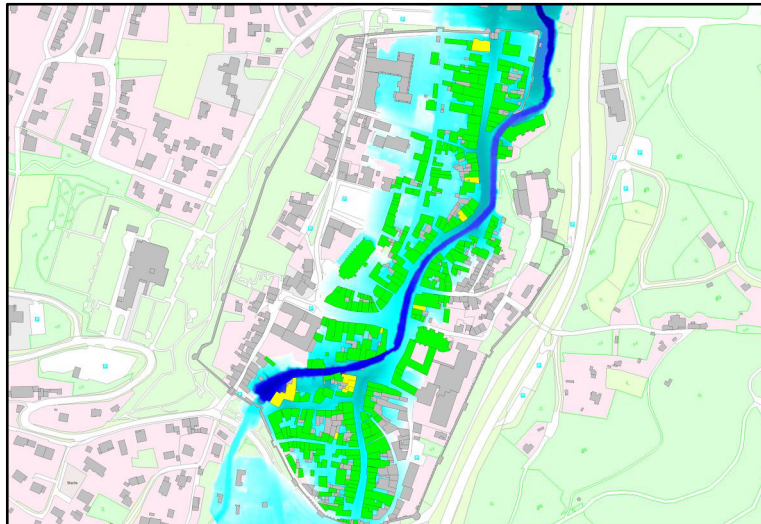


Simulative Schadensprognose für Bad Münstereifel

50%-Fraktile

84%-Fraktile

Beobachtete Schadensgrade



N=1000 Simulationen

Schwarz et al. (2023)

Schadensgrade D_i

D1 D2 D3 D4 D5 D6



■ Nicht betroffen / nicht berücksichtigt

Wasserhöhe



0

5

10 m



Schlussfolgerungen:

Schnelle Erfassung unmittelbar nach dem Ereignis notwendig (Zeitfenster nach Beginn der Aufräumarbeiten, Beseitigung von Treibgut, Abrisse,),

→ Einsatz von Drohnen zur Schadenserfassung (Sicherung des IST-Zustandes und Lageaufklärung aus der Luft),

→ Schaffung einer Einsatzgruppe für die Schadensaufnahme (Task Force),

Realitätsnahe Re-Interpretation der Schäden ist Grundlage für realistische prognostische Schadensszenarien und konkrete Maßnahmenplanungen.



Forschungsbedarf:

Schadenserhöhung durch:

- Anprall von Treibgut und Fundamenterosion,
- Schadenserhöhung durch Ölkontaminationen,

Unsicherheitskette bei der Schadensmodellierung



Maiwald, H., Schwarz, J. (2018): Vereinheitlichte Schadensbeschreibung und Risikobewertung von Bauwerken unter extremen Naturgefahren. Bautechnik 95, 10, 743-755. <https://doi.org/10.1002/bate.201800009>

Maiwald, H., Schwarz, J., Kaufmann, C., Langhammer, T., Golz, S., Wehner, T. (2022): Innovative Vulnerability and Risk Assessment of Urban Areas against Flood Events: Prognosis of Structural Damage with a New Approach Considering Flow Velocity. Water 14, 2793. <https://doi.org/10.3390/w14182793>

Maiwald, H., Schwarz, J. (2022): Simulative flood damage modelling taking into account inundation level and flow velocity: Uncertainties and strategies for further refinement. 8th International Conference on Flood and Urban Water Management, FRIAR 2022, Online, 6–8 July 2022. <https://doi.org/10.2495/FRIAR220031>

Maiwald, H., Schwarz, J., Kaufmann, Ch., Abrahamczyk, L. (2022): Das Hochwasser 2021 - Ingenieuranalyse der Bauwerksschäden. Bautechnik 99, 12, 878-890. <https://doi.org/10.1002/bate.202200062>

Maiwald, H., Schwarz, J. (2023): Ermittlung von Hochwasserschäden unter Berücksichtigung der Bauwerksverletzbarkeit, Erweitertes EDAC-Hochwasserschadensmodell, scientific technical reports 01-22, Zentrum für die Ingenieuranalyse von Erdbebenschäden, Bauhaus-Universitätsverlag, ISBN: 978-3-95773-305-4

Schwarz, J., Maiwald, H. (2007): Prognose der Bauwerksschädigung unter Hochwassereinwirkung. Bautechnik 84, 7, 450 - 464. <https://doi.org/10.1002/bate.200710039>



Schwarz, J., Maiwald, H., Kaufmann, C., Beinersdorf, S. (2018): Evaluation of the vulnerability of existing building stocks under single and Multi Hazard impact, 16th European Conference on Earthquake Engineering (ECEE), Thessaloniki, Greece, 18-21 June 2018

Schwarz, J., Maiwald, H., Abrahamczyk, L., Morgenthal, G., Hallermann, N. (2023): Methoden für digitale 3D-Lagebilder: Erfahrungen aus dem Hochwasser 2021, Bautechnik, 100, 7, 358-373.

<https://doi.org/10.1002/bate.202300003>