

Prognose von Lagebildern auf Grundlage von Schadensszenarien

Dr.-Ing. Holger Maiwald,
Dr.-Ing. Jochen Schwarz, Jun.-Prof. Lars Abrahamczyk

Bauhaus-Universität Weimar
Zentrum für die Ingenieuranalyse von Erdbebenschäden (EDAC)
Professur Komplexe Tragwerke (KTW)





Hochwasser 2021 in Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz

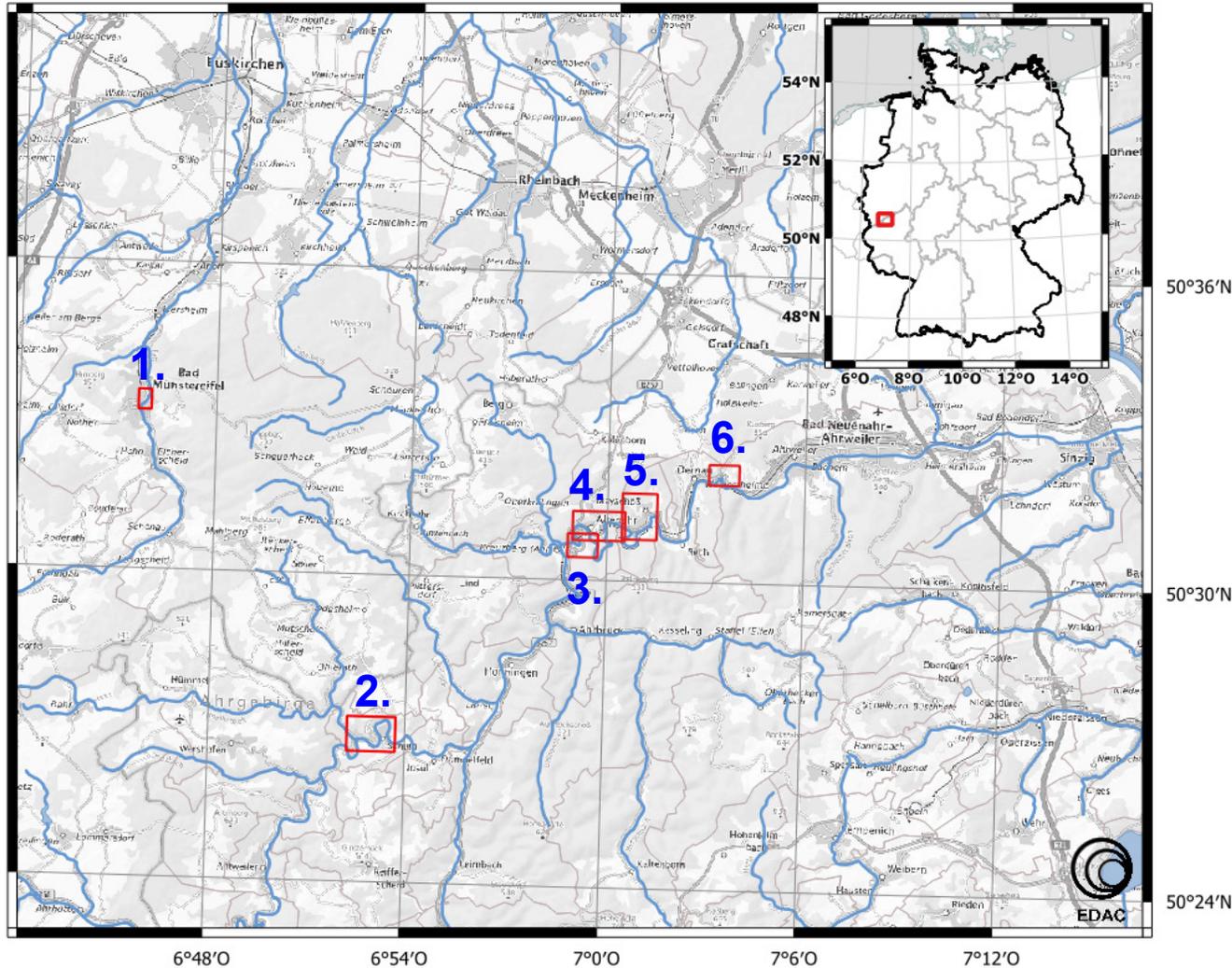
- **Starkregen 14. - 15. Juli 2021**
 - Extreme Abflussmengen
 - 184 Opfer (HW 2002: 21)
 - Schadenssumme (Bund): 29,2 Mrd. € (HW 2002 ca. 18 Mrd. €, 2021)
 - Extreme Zerstörung der Bebauung und der Infrastruktur
- **Schadensaufnahme** durch das Erdbebenzentrum der Bauhaus-Universität
Zeitraum **19. 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 EDAC

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

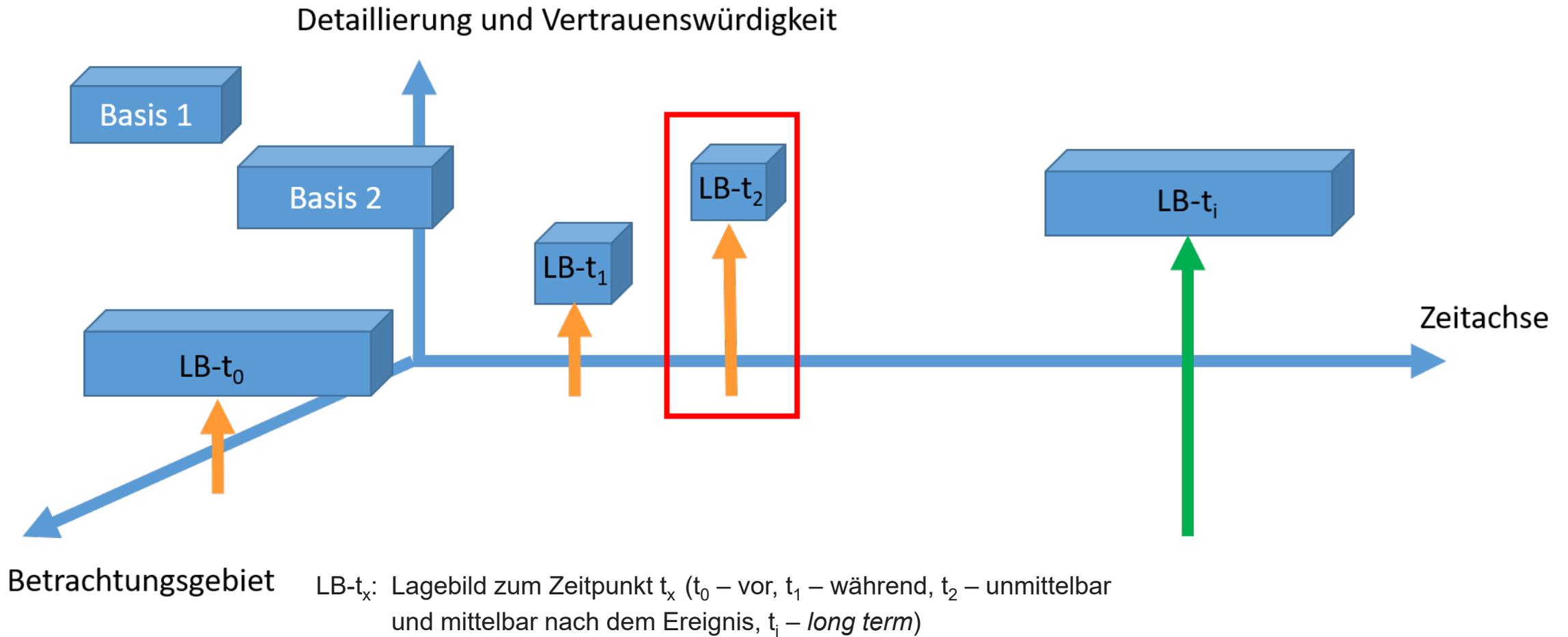
+ markante Schadensfälle in Insul, Ahrbrück, Kreuzberg und Rech

Dokumentierte Schadensfälle:

Bad Münstereifel (1):	312
Ahrtal (2-6):	1152
Gesamt:	1464



Zeitschiene Lagebilder (Workshop 13.01.2022)





Schadensskala 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, Austausch von Ausbauteilen erforderlich , <i>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



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 D4)





Besonderheiten der Schadensfälle vom Hochwasser 2021 (Ahrtal)

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



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



ÖL
5000 l
gesperrt



Besonderheiten der Schadensfälle vom Hochwasser 2021 (Ahrtal)

Fachwerkbau in Altenburg (D4)



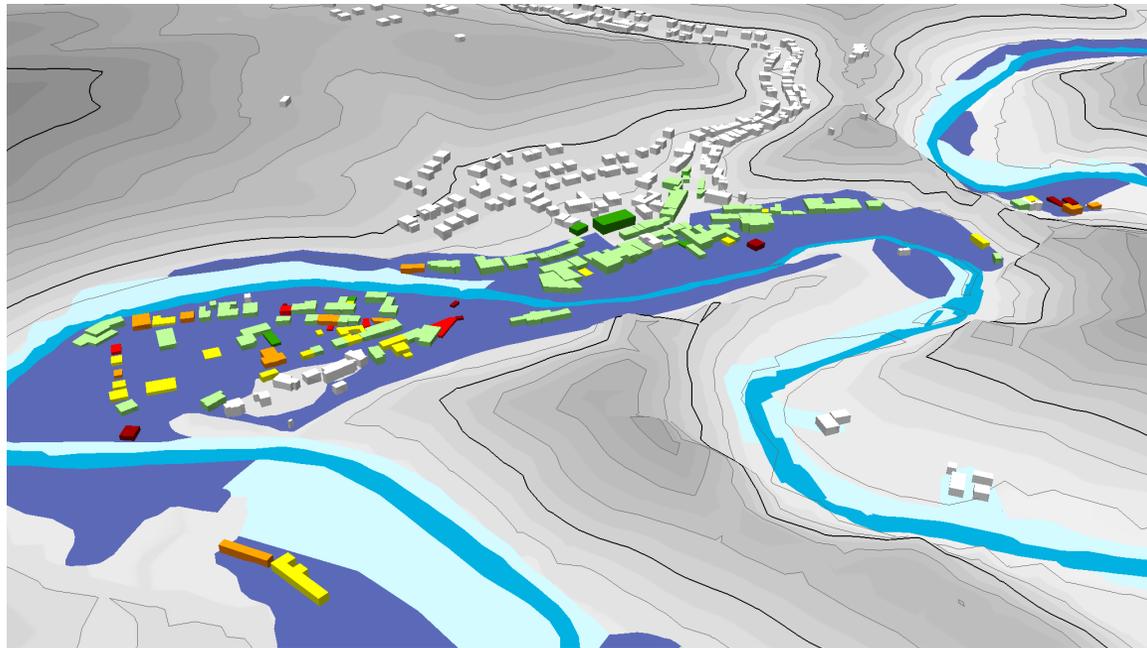
Fachwerkbau in Schuld (D3-D4?)





Bewertung der Schäden an der allgemeinen Bebauung in Altenahr → Lagebilder

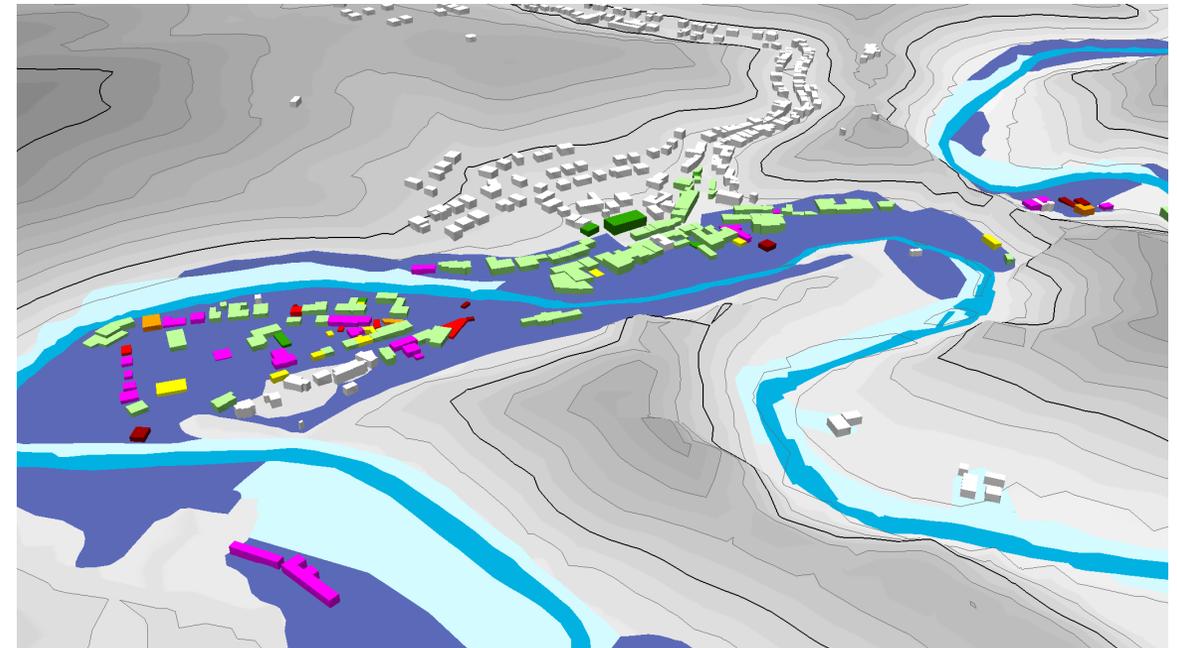
Schadensgrade nach dem Hochwasser



Schadensgrad



Schäden inkl. Abrisse (Stand Oktober 2021)



Überflutungsgebiet





Erste 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,

Wie können diese Effekte berücksichtigt werden?

3. Schadens- und Verletzbarkeitsmodelle



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, 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



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

$$F_{D_i}(x) = \Phi\left(\frac{\ln(x) - \mu}{\sigma}\right)$$

$$P[D_i | x] = F_{D_i}(x) - F_{D_{i+1}}(x)$$

$F_{D_i}(x)$ - bedingte Wahrscheinlichkeit, dass das Bauwerk den Schadensgrad D_i erreicht oder überschreitet

$P[D_i|x]$ - Wahrscheinlichkeit das ein Bauwerk genau bis zum Schadensgrad D_i geschädigt wird

x - Einwirkungsparameter ($x = h_{gl} \cdot v_{fl}^2$ bzw. $\mathbf{x} = \mathbf{h}_{gl} + \mathbf{h}_{gl} \cdot \mathbf{v}_{fl}^2$)

Φ - Standardnormalverteilung

μ - logarithmierter Mittelwert

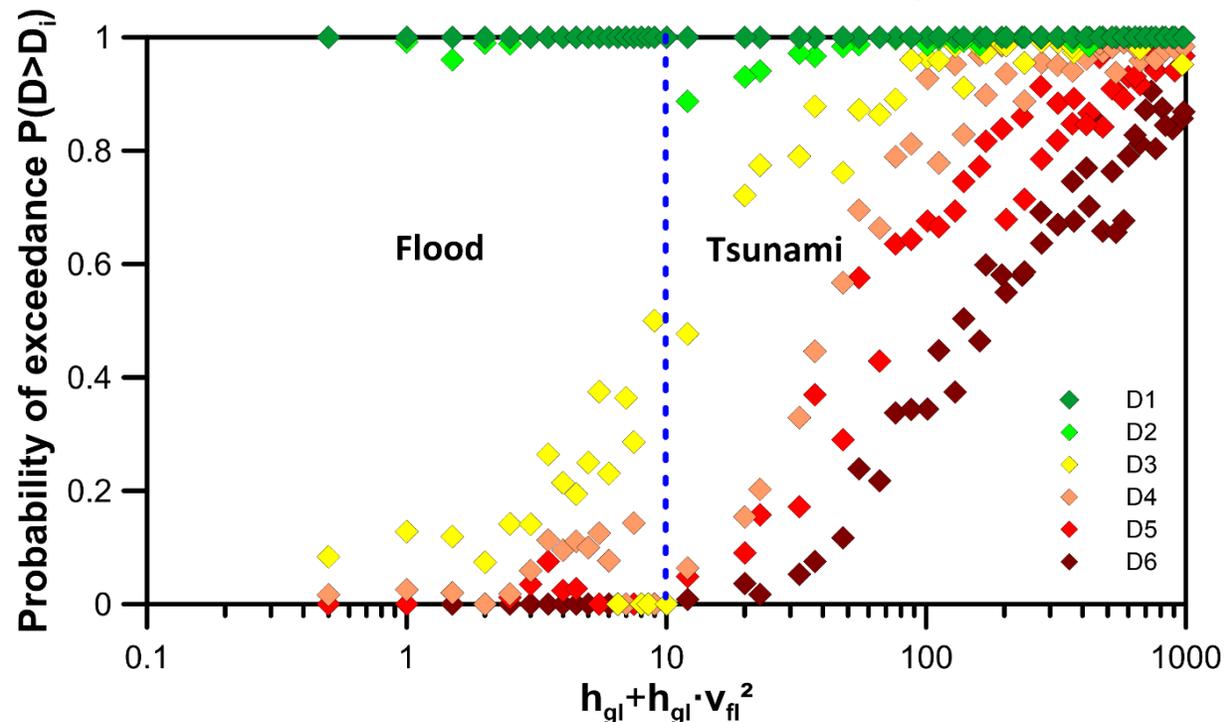
σ - logarithmierte Standardabweichung

→ **Anwendbar im Rahmen einer simulativen Schadensprognose mit der Monte-Carlo Methode**



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

Überschreitenswahrscheinlichkeiten der Schadensgrade D_i für Verletzbarkeitsklasse HW-C

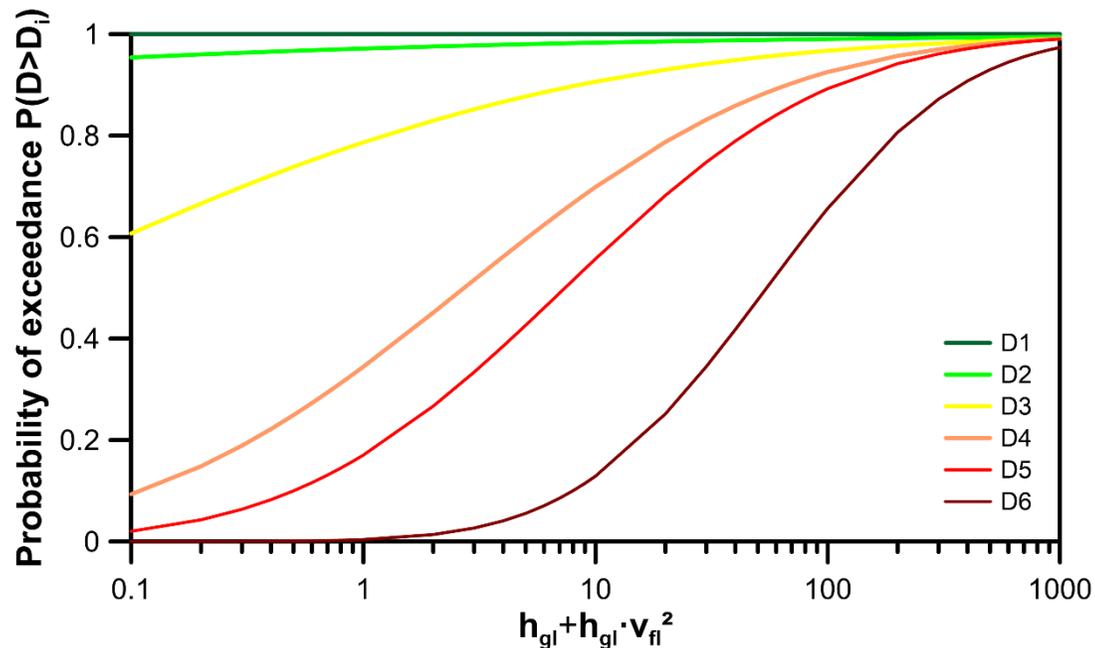


3. Schadens- und Verletzbarkeitsmodelle

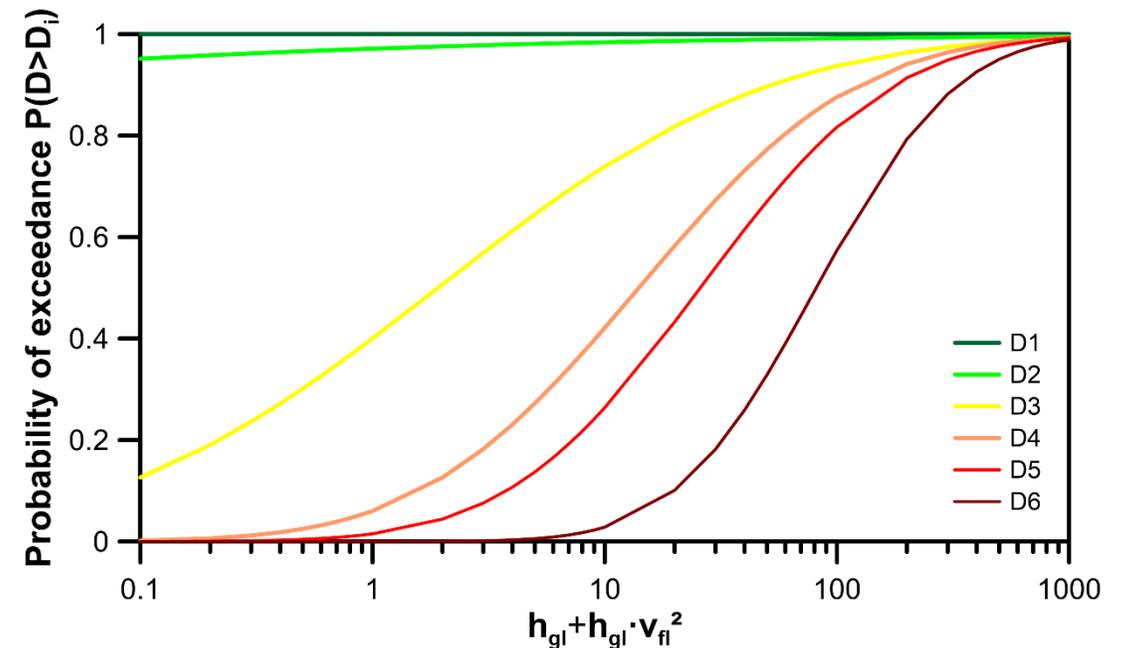


Simulative Schadensprognose mit *Fragility Functions* in Abhängigkeit von Wasserstand und Fließgeschwindigkeit

Verletzbarkeitsklasse HW-A



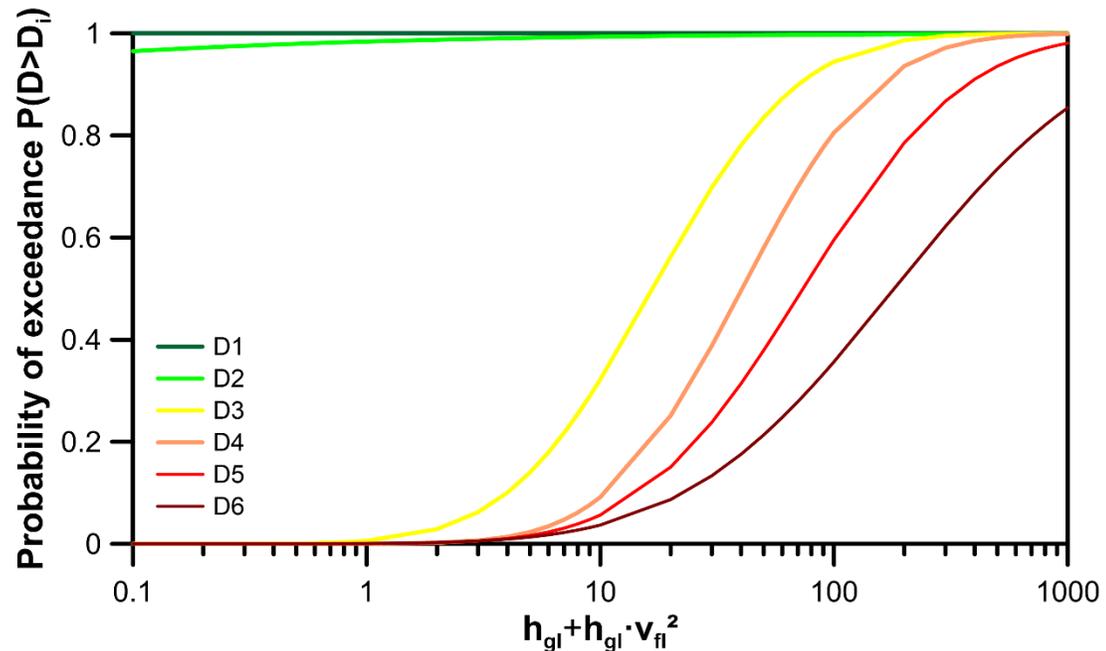
Verletzbarkeitsklasse HW-B



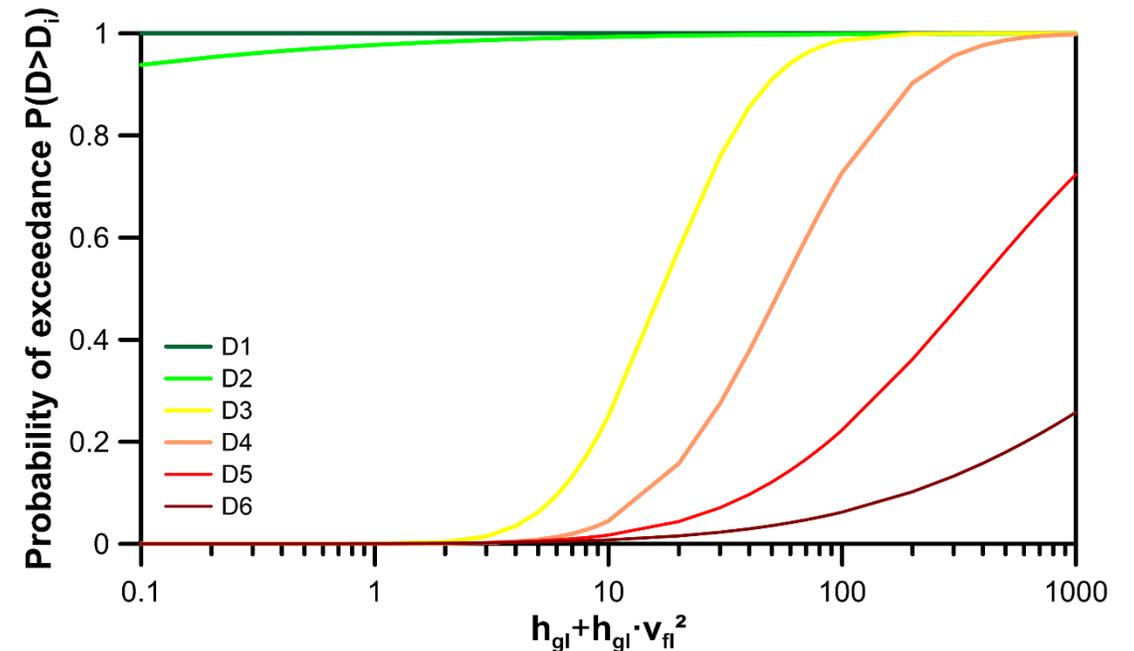


Simulative Schadensprognose mit *Fragility Functions* in Abhängigkeit von Wasserstand und Fließgeschwindigkeit

Verletzbarkeitsklasse HW-C



Verletzbarkeitsklasse HW-D

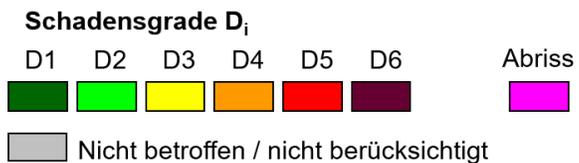
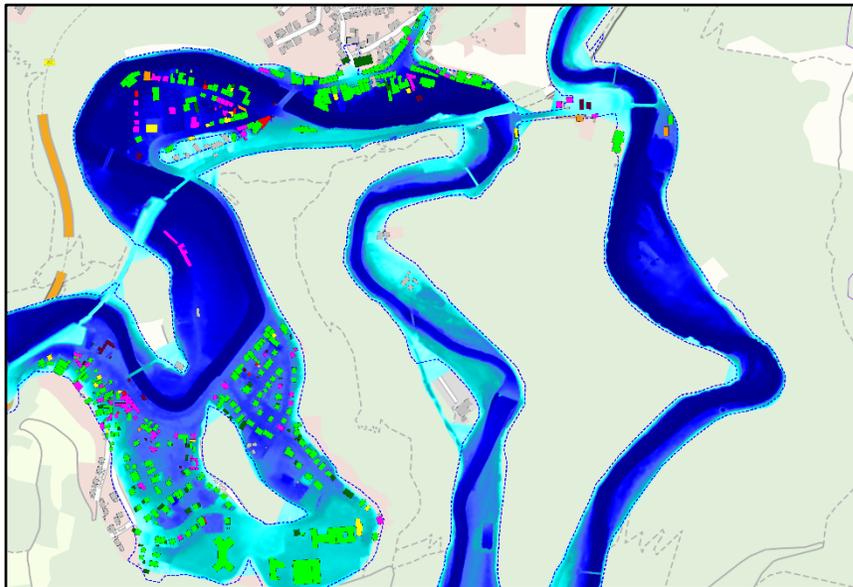




Hochwasserszenarien

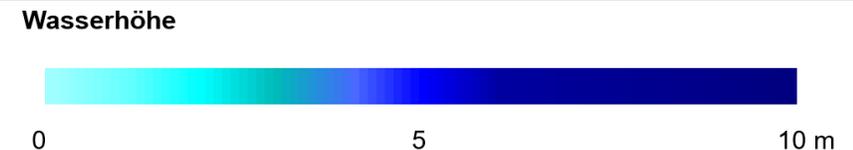
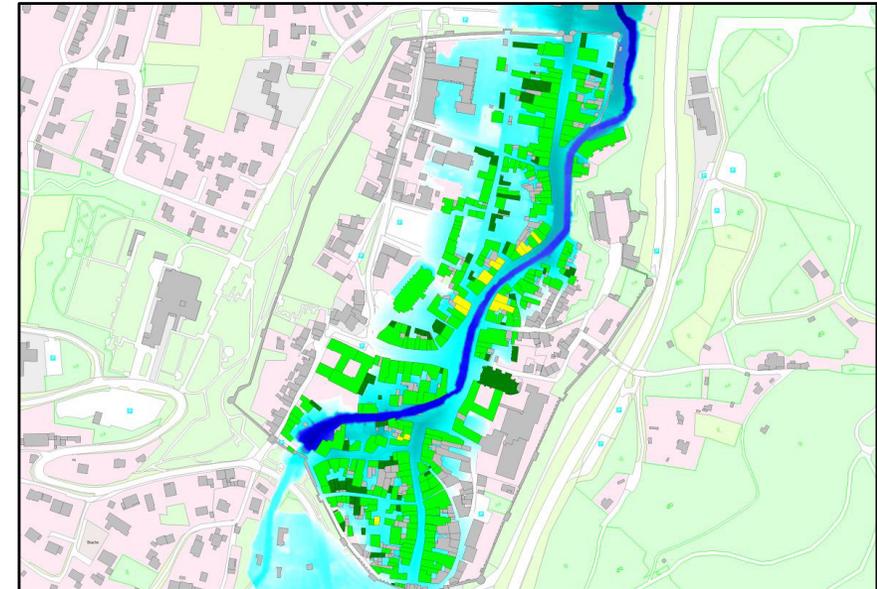
Altenahr / Altenburg (RLP)

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



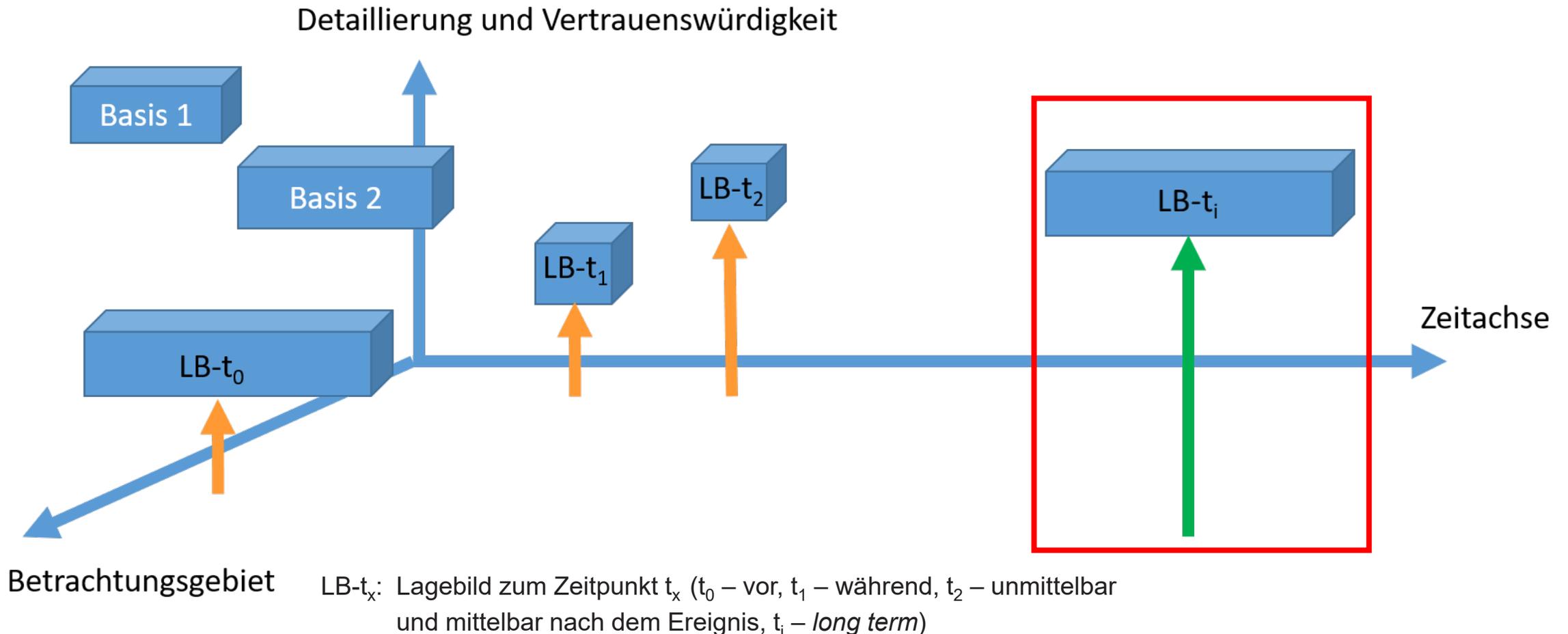
Bad Münstereifel (NRW)

Wasserstände aus HW-Marken extrapoliert





Zeitschiene Lagebilder (Workshop 13.01.2022)





Simulative Schadensprognose für Altenburg

50%-Fraktile

84%-Fraktile

Beobachtete Schadensgrade

Ergebnisse in:

Schwarz, J.; Abrahamczyk, L.; Maiwald, H.; Hallermann, N.; Morgenthal, G. (2023): *Das Hochwasser 2021: Erste Ansätze einer zeitabhängigen Lagebilderstellung*, Bautechnik (in Vorbereitung)



Simulative Schadensprognose für Bad Münstereifel

50%-Fraktile

84%-Fraktile

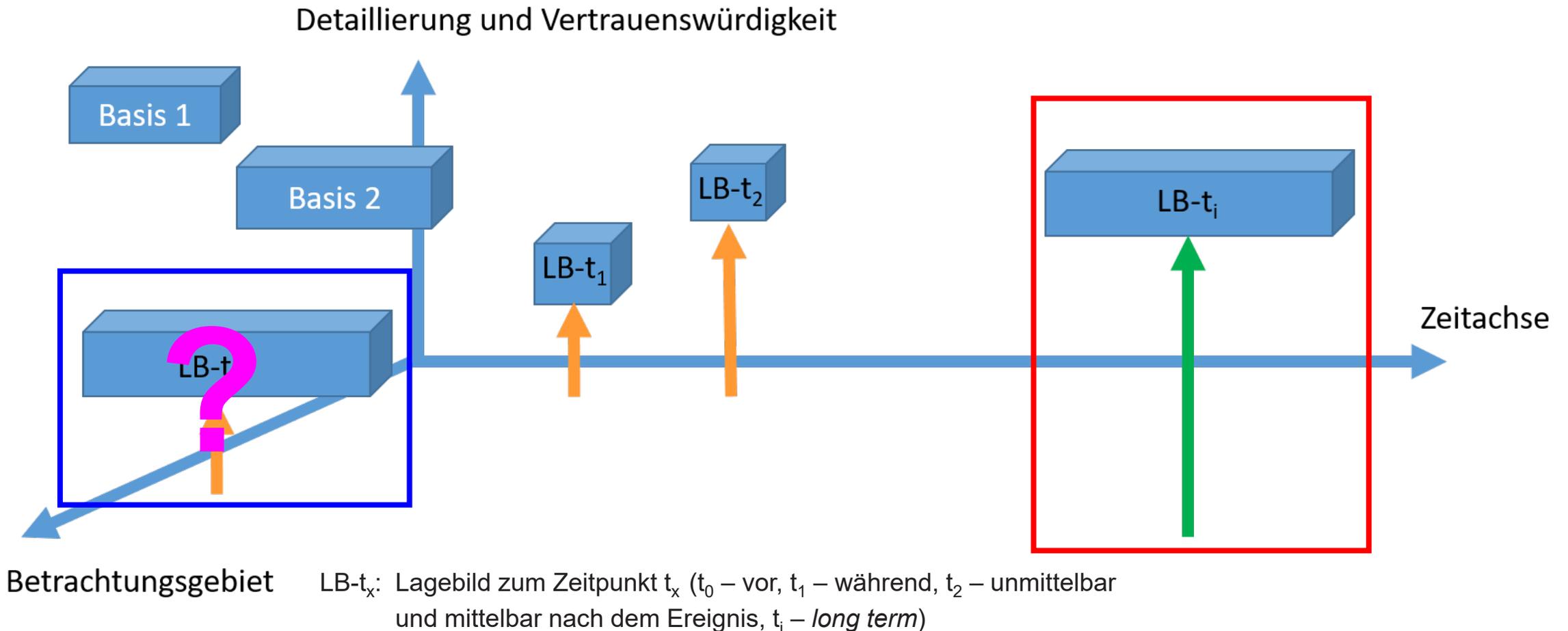
Beobachtete Schadensgrade

Ergebnisse in:

Schwarz, J.; Abrahamczyk, L.; Maiwald, H.; Hallermann, N.; Morgenthal, G. (2023): *Das Hochwasser 2021: Erste Ansätze einer zeitabhängigen Lagebilderstellung*, Bautechnik (in Vorbereitung)



Zeitschiene Lagebilder (Workshop 13.01.2022)





Schlussfolgerungen:

- Schnelle Erfassung unmittelbar nach dem Ereignis notwendig (Zeitfenster nach Beginn der Aufräumarbeiten, Beseitigung von Treibgut, Abrisse,),
 - Einsatz von Drohnen zur Schadens Erfassung (Sicherung des IST-Zustandes und Lageaufklärung aus der Luft),
 - Schaffung einer Einsatzgruppe für die Schadensaufnahme (Task Force),



Schlussfolgerungen:

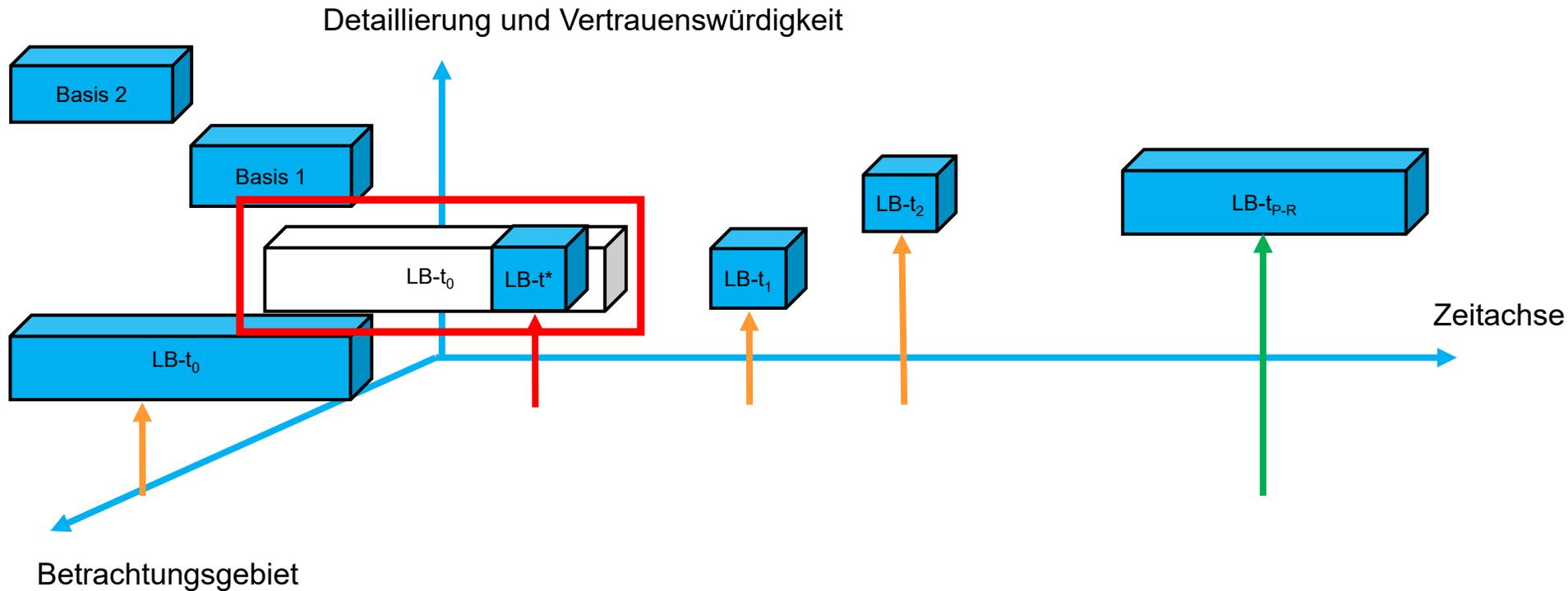
- Realitätsnahe Re-Interpretation der Schäden → realistische prognostische Szenarien als Grundlage für konkrete Maßnahmeplanungen,
- Set von Schadensszenarien (HQ50, HQ100, HQ200, ..., HQ_{extrem}) notwendig für prognostische Szenarien zum Zeitpunkt t_0 (vor einem potentiellen Ereignis),
- Auswahl des passenden Szenarios auf Basis der beobachteten Wasserstände,
- Ausblick/Vision: „Real Time“ Anpassung an reale Situation,

→ Plattformstrategie Naturgefahren

6. Schlussfolgerungen und Identifikation des Forschungsbedarfes



Zeitschiene Lagebilder (Workshop 10.11.2022)



Basis 1: Verfügbare/vorgehaltene Daten zu Topographie und Bebauung

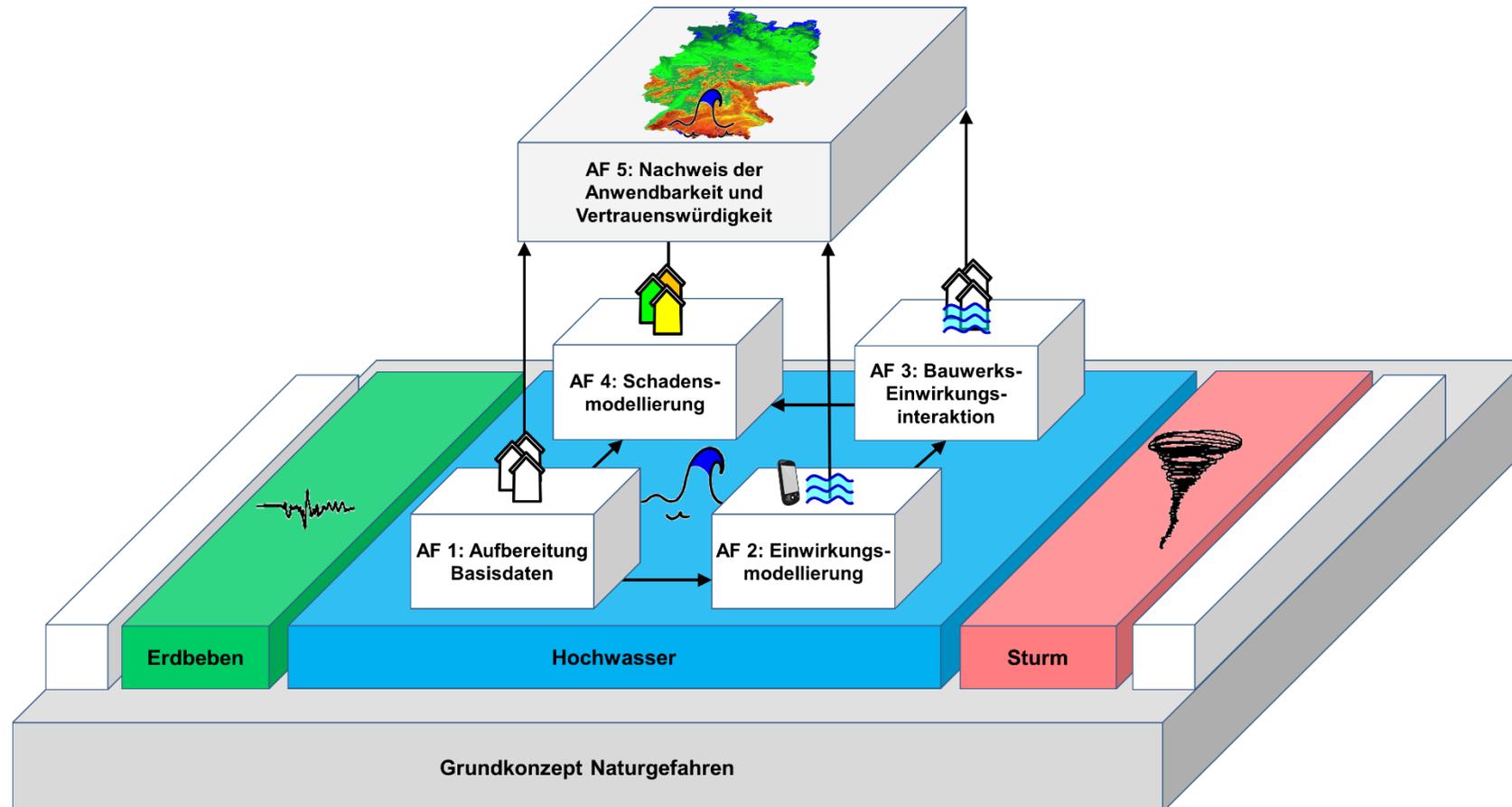
Basis 2: Hochwasserszenarien (Hochwasserrisikokarten)

$LB-t_i$: Lagebild zum Zeitpunkt t_i

Schwarz, J.; Abrahamczyk, L.; Maiwald, H.; Hallermann, N.; Morgenthal, G. (2023): *Das Hochwasser 2021: Erste Ansätze einer zeitabhängigen Lagebilderstellung*, Bautechnik (in Vorbereitung)



Schlussfolgerungen: Plattform-Strategie für Naturgefahren





Forschungsbedarf:

- Erhöhung der strukturellen Schäden verursacht durch den Anprall von Treibgut und Fundamenterosion,
- Schadenserhöhung durch Ölkontaminationen,
→ Auswertung der Schadensdaten des Hochwassers 2021 (Zugänglichkeit der Schadensgutachten?),
- Betrachtung der gesamten Unsicherheitskette bei der Schadensmodellierung