



Foto: Christian, Adobe Stock

Wie wird ein Extremereignis nicht zur Katastrophe? Methodische Entwicklungen für ein besseres Hochwasser- Risikomanagement

Bruno Merz

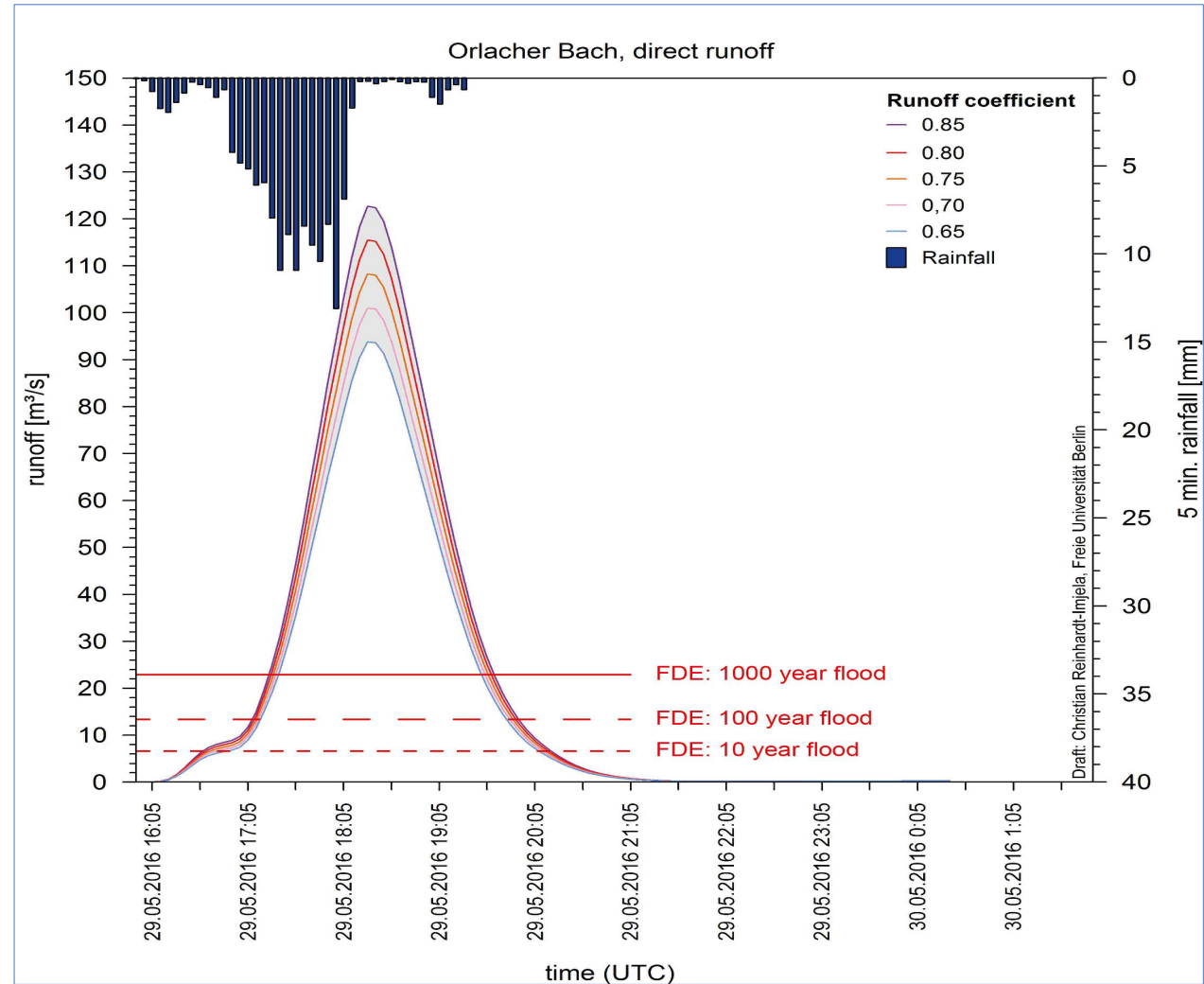
Sektion 4.4 Hydrologie, Helmholtz-Zentrum Potsdam, Deutsches GeoForschungsZentrum
Institut für Umweltwissenschaften und Geographie, Universität Potsdam

Sturzflut in Braunsbach 2016

Sturzflut im May 2016 in Braunsbach, Baden-Württemberg:

- Abfluss (rekonstruiert) $\sim 120 \text{ m}^3/\text{s}$
- $HQ_{1000} = 23 \text{ m}^3/\text{s}$; $HQ_{100} = 14 \text{ m}^3/\text{s}$

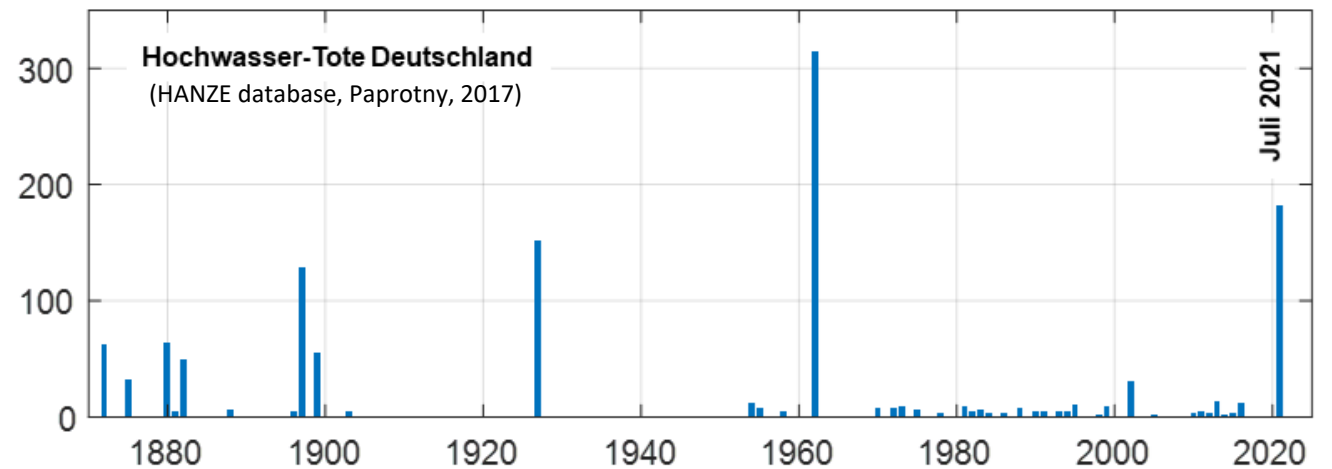
(Bronstert et al., 2018, Sci. Total Environ.)



Überschwemmungen im Juli 2021 in Westeuropa



- Erosion, Sedimenttransport, Laufänderungen ...
- Transport von Treibgut, Schutt, Autos ...
- Verklauung, Versagen von Brücken ...
- Ausfall kritischer Infrastruktur: Zugang zu Gemeinden, Telekommunikation, Elektrizität, Gas-, Wasserversorgung, Wasserentsorgung ...
- Sensible Infrastruktur massiv betroffen



Wie wird ein Hochwasser zur Katastrophe?

Spontane Antworten, Schüler*innen, Klasse 7, Schulzentrum am Stern Potsdam, 23.8.2021

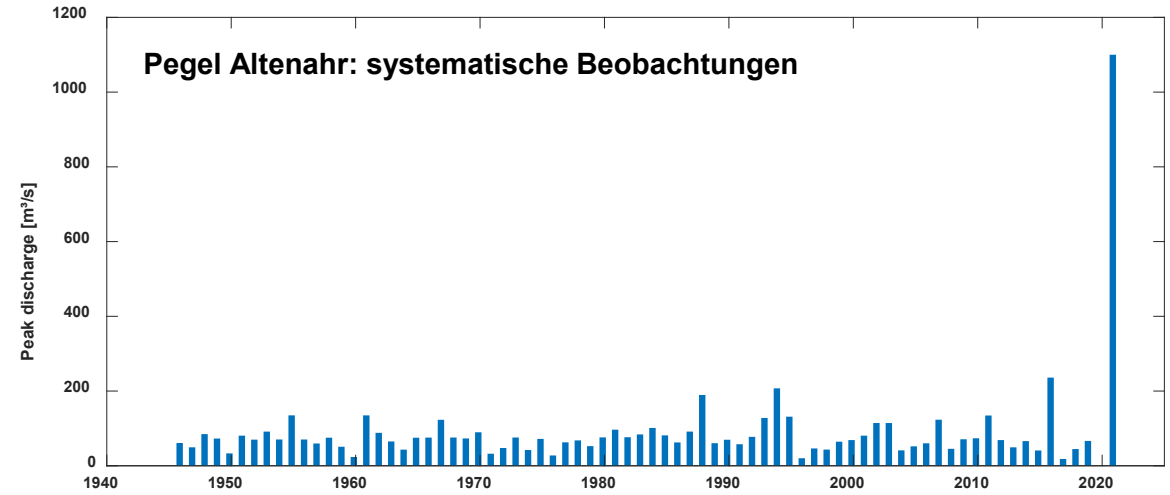
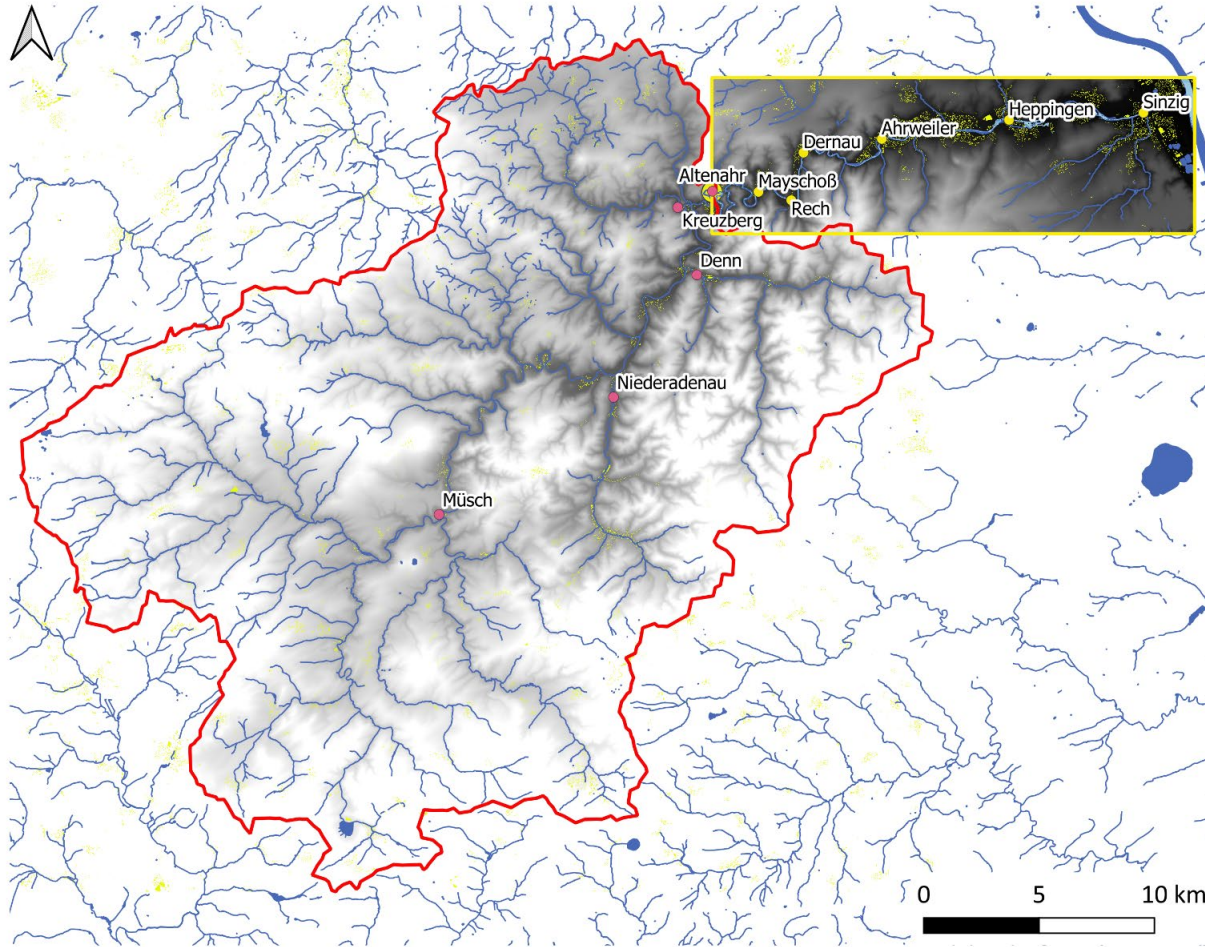
Wenn es regnet dass der Bach oder so überschwemmt und es kein Wasser mehr aufnehmen kann, überflutet der Bach. Das Wasser fließt irgendwohin wo es kann. Die Gullies nehmen auch kein Wasser mehr auf. Das Wasser probiert sich breit zu machen. Und geht in alle Lücken wie es nur geht. Und es wird immer höher und höher ... ungefähr schon so 5 meter. Menschen haben alles verloren. Ihre Existenz, ihr Job, ihre Angehörigen.

Ein Hochwasser gerät zur Katastrophe wenn Menschen ums Leben kommen, Häuser weg gehen, Wände kaputt gehen. ... Manche Menschen könnten gerettet werden wenn sie gewarnd werden doch manchmal werden sie nicht richtig gewarnd.

Dadurch das wir den Klimawandel beschleunigen und die Luft sehr viel vergasen, bekommen wir mehr Wolken. Dann können die Wolken mehr Wasser aufnehmen. Können sie auch wieder mehr ausschütten. Aber auf so viel Wasser ist die Natur und wir nicht vorbereitet.



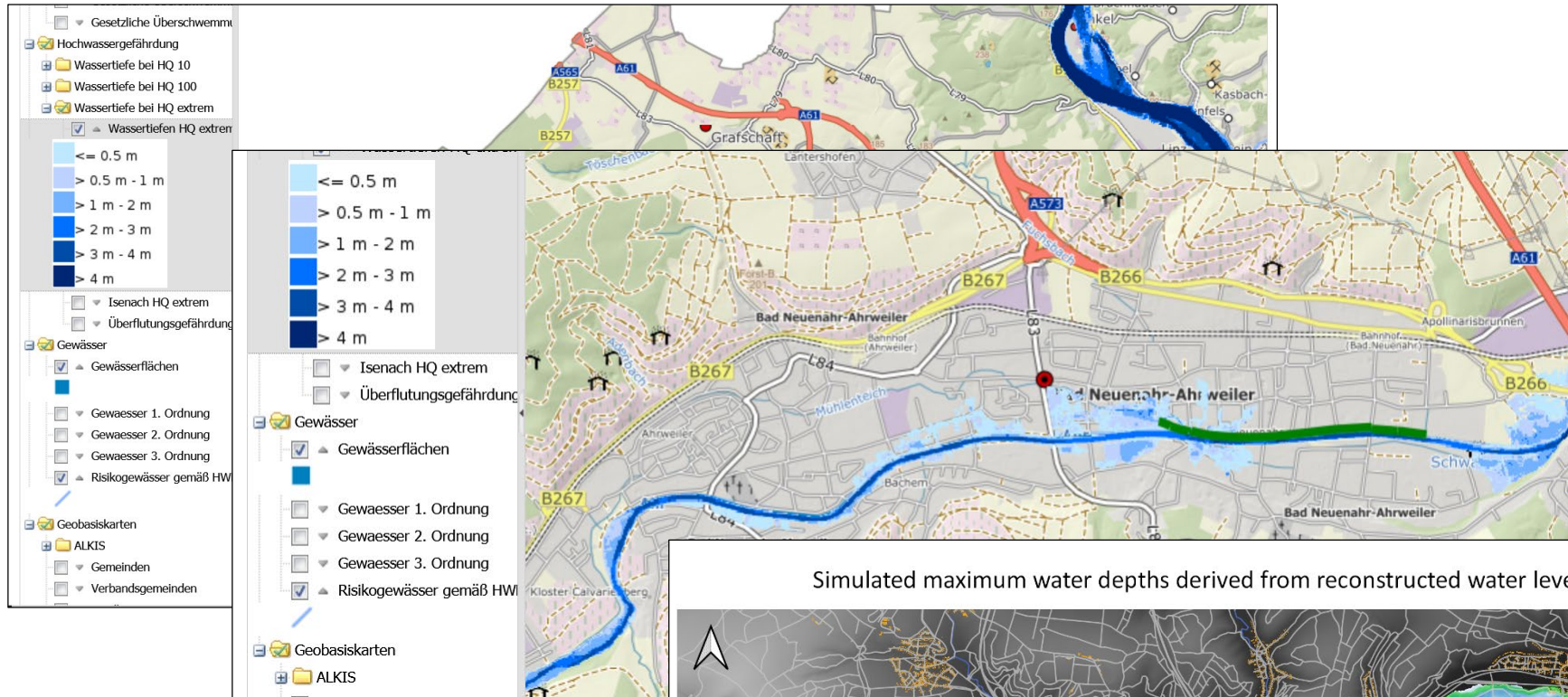
Fokus Ahr



- Pegel Ahr
- Virtuelle Pegel Simulation
- Altenahr-Sinzig Simulationsdomäne
- EZG Altenahr
- DGM 10m
- 50.112
- 505.125
- OSM Gebäude
- 1

$Q(2021) = 1100 \text{ m}^3/\text{s}$
(Roggenkamp, FAZ, 5.8.2021)

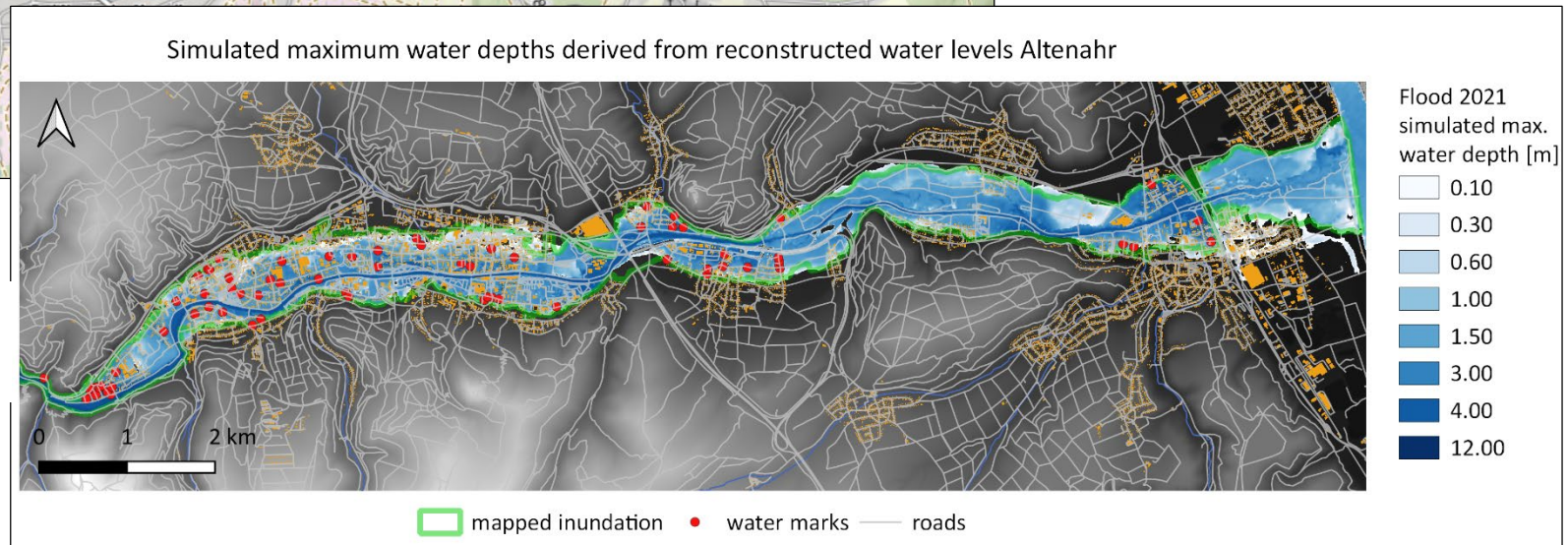
Hochwassergefahrenkarten Ahr



Hochwassergefahrenkarte HQExtrem

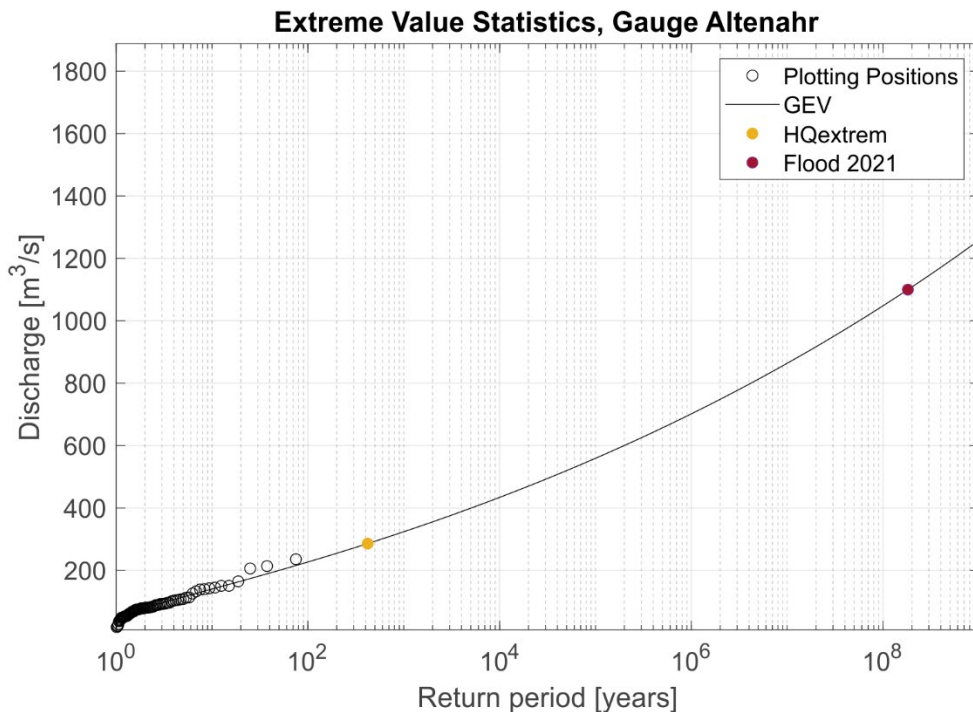
Quelle: Landesumweltamt RLP

Beobachtete und simulierte Überschwemmungsflächen Juli 2021



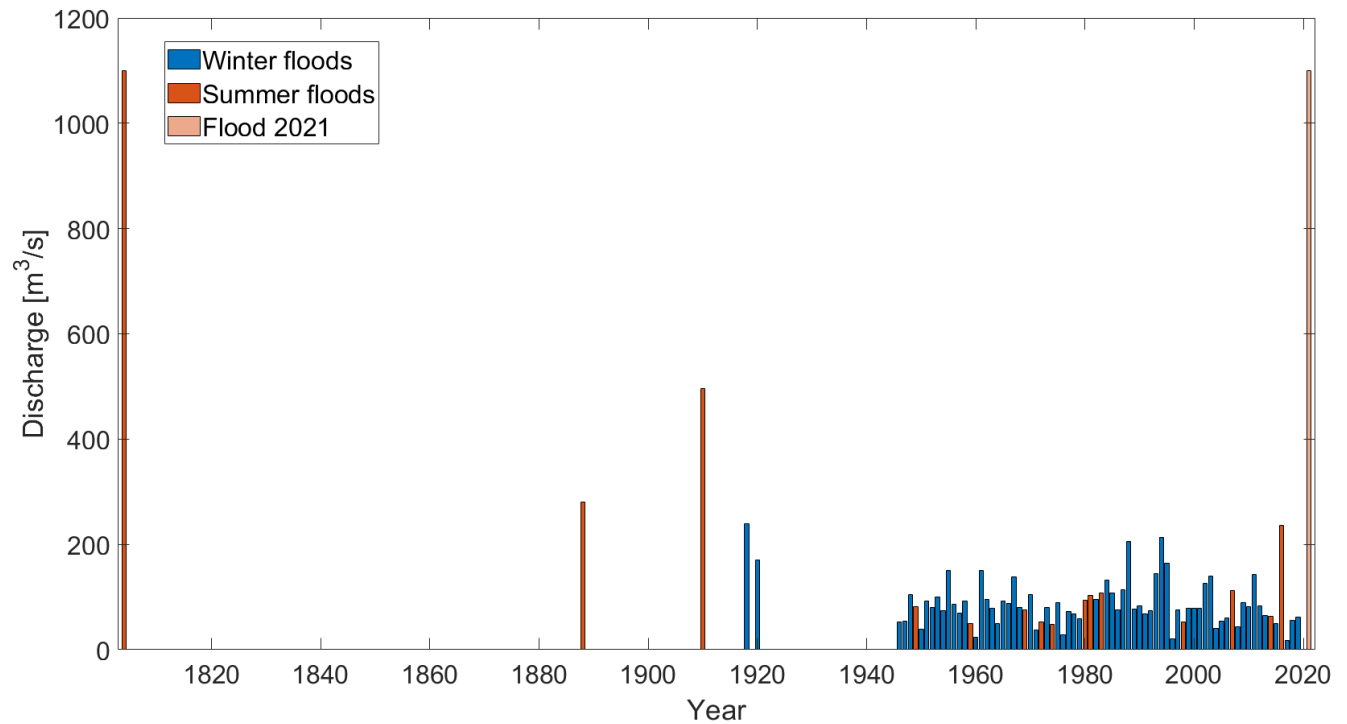
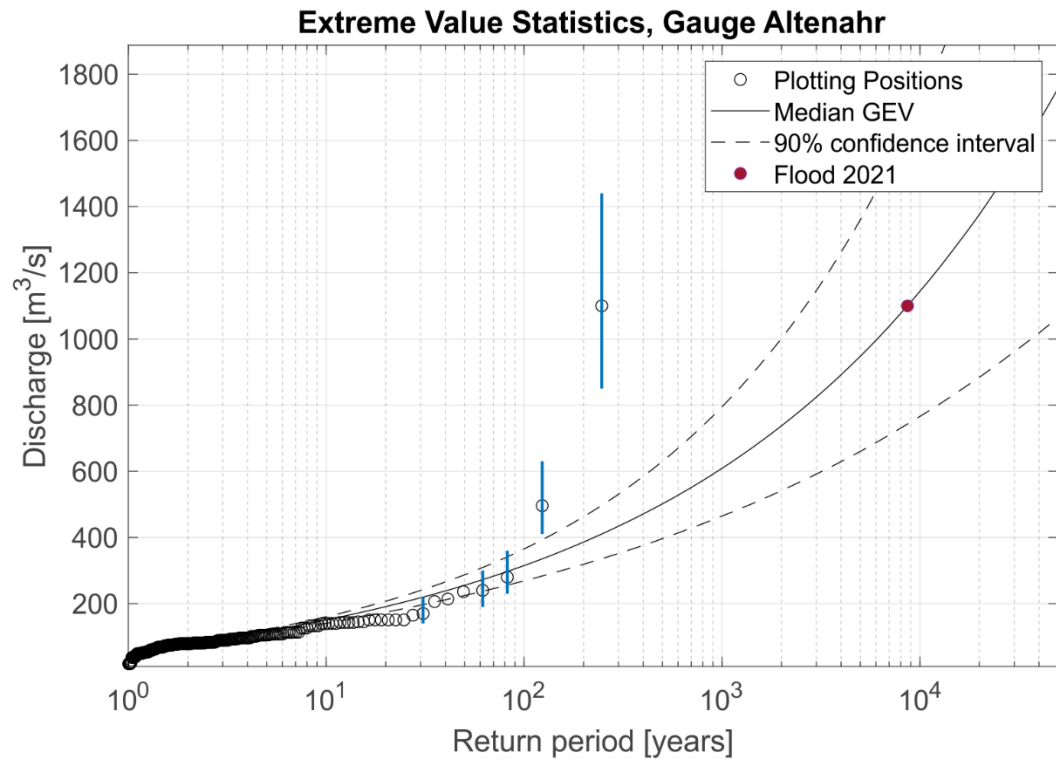
Hochwasserhäufigkeitsanalyse Altenahr

- Jährliche Maxima: 1947 – 2019 (73 Jahre)
- Rekonstruktion 2021: 1100 m³/s (Roggenkamp, 2021)
- Extremwertstatistik: Allgemeine Extremwertverteilung (GEV)

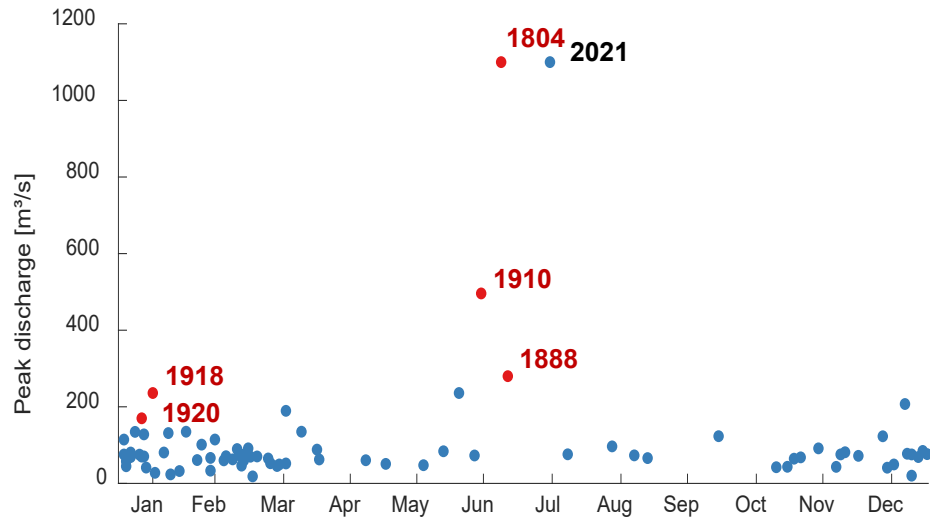


Hochwasserhäufigkeitsanalyse Altenahr

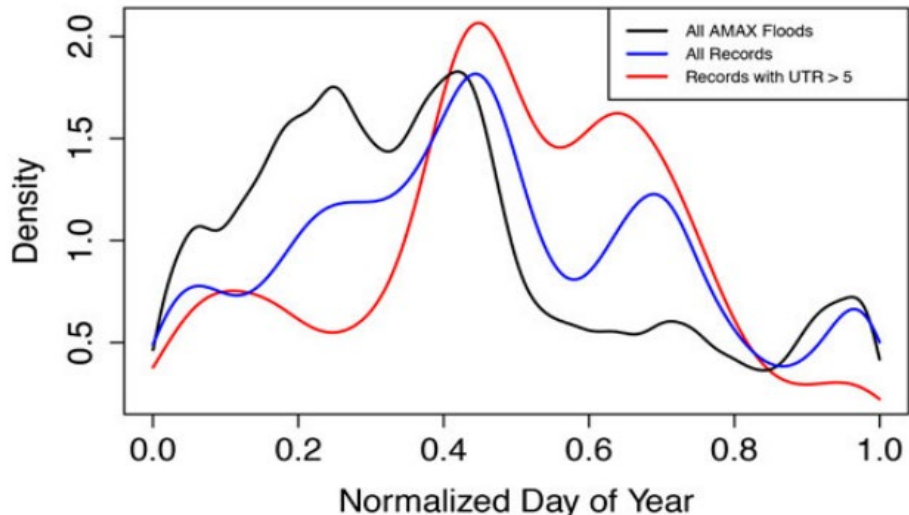
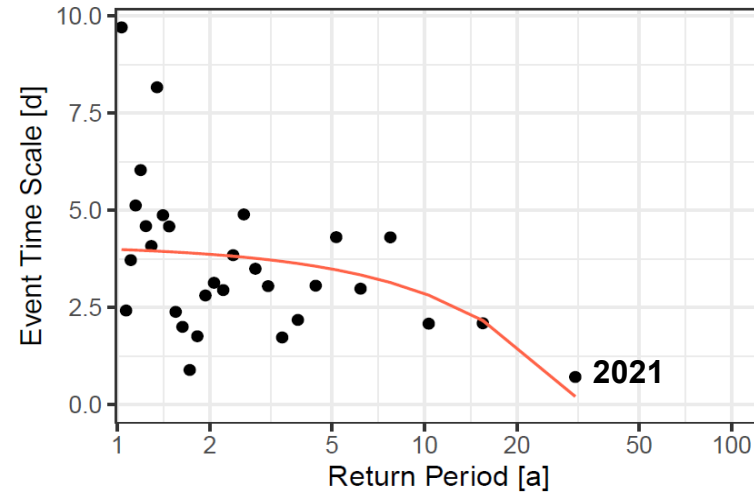
- Historische Hochwasser: 1804, 1888, 1910, 1918, 1920 (Roggenkamp & Herget, 2014)
- Integration historischer Hochwasser in Extremwertanalyse (Merkblatt DWA-M 552, Bomers et al., 2019)
- GEV Form Parameter ξ : 0.06 (systematische Messungen) vs 0.26 (inkl. historische Daten)



Dürfen wir von üblichen Ereignissen auf Extreme extrapolieren?



Pegel Altenahr: Saisonale Verteilung von jährlichen Maximalabflüssen, Ereignis-Zeitskala (30 Jahre Daten)



“Strange floods” in USA (Smith et al., 2018, WRR):

- Hochwasserzeitreihen von 8,900 Pegeln in USA.
- Unterschiedliche Saisonalität von Rekord-Ereignisse und restlichen Hochwassern.
- Hochwasserzeitreihen repräsentieren Mischungen verschiedener Hochwassertypen (flood agents).



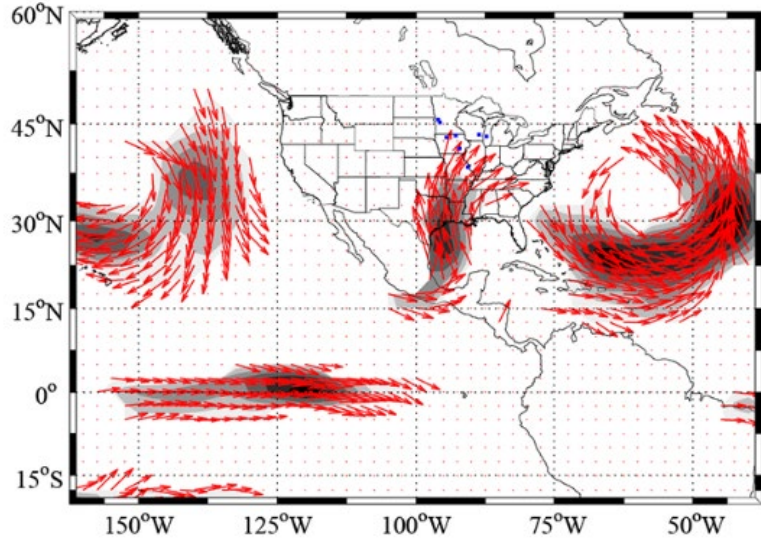
- Extreme (High-Impact, Low-Probability, Worst-Case, Black Swans ...) sind nicht (immer) die große Version von häufigeren Ereignissen
 - Prozesse bei Extremen verstehen und in Risikobetrachtungen einbauen
- Risikoreduktion und Katastrophenmanagement sind nicht auf Extreme ausgelegt
 - Extremszenarien explorieren, Katastrophenmanagement stärken

Foto: Christian, Adobe Stock

Extreme sind nicht große Version von häufigeren Ereignissen

Atmosphäre

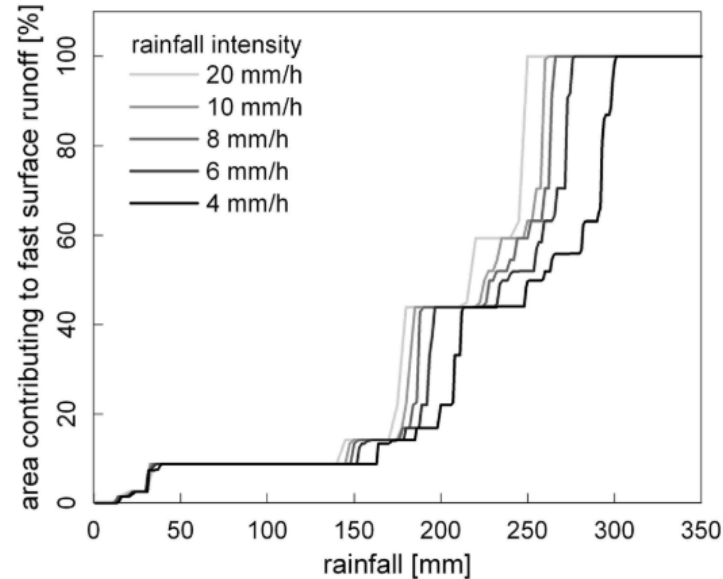
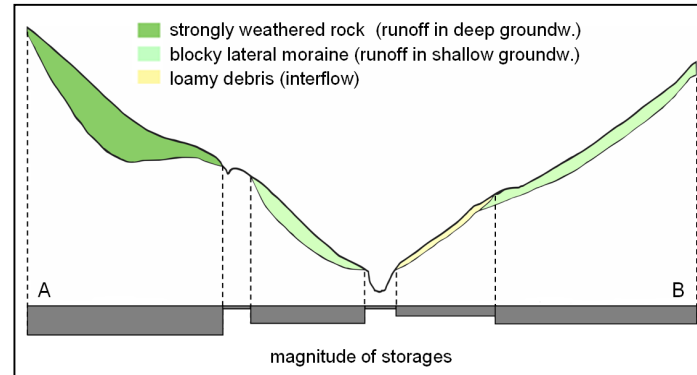
(Merz et al., 2014, nhess)



Vertically integrated moisture flux averaged over dates of 10 largest floods in Ohio River basin for 1948–2005. Arrows show wind direction, shading shows intensity of moisture flux. Only pixels whose moisture flux magnitude is in top 5% of the visible map are shown. Large-scale meridional lowlevel flow into region is active averaged across these events.

Catchment

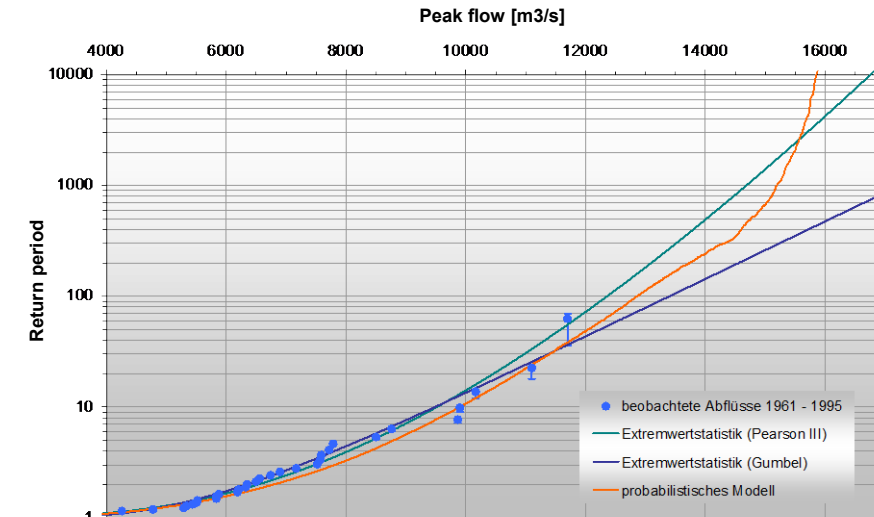
(Rogger et al., 2012, WRR)



River system

(Apel et al., 2009, Comp. & Geosci.)

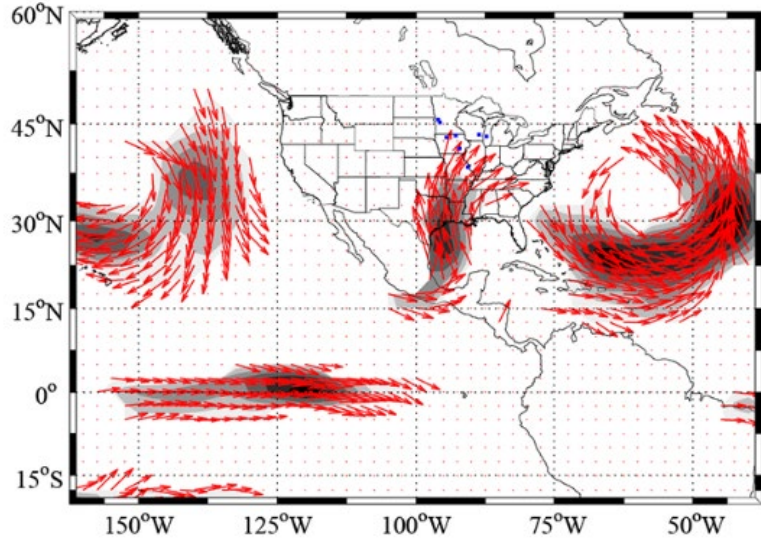
Flood frequency curves Rees/Lower Rhine. Extreme value statistics vs. process-based probabilistic model including dike breaches.



Extreme sind nicht große Version von häufigeren Ereignissen

Atmosphäre

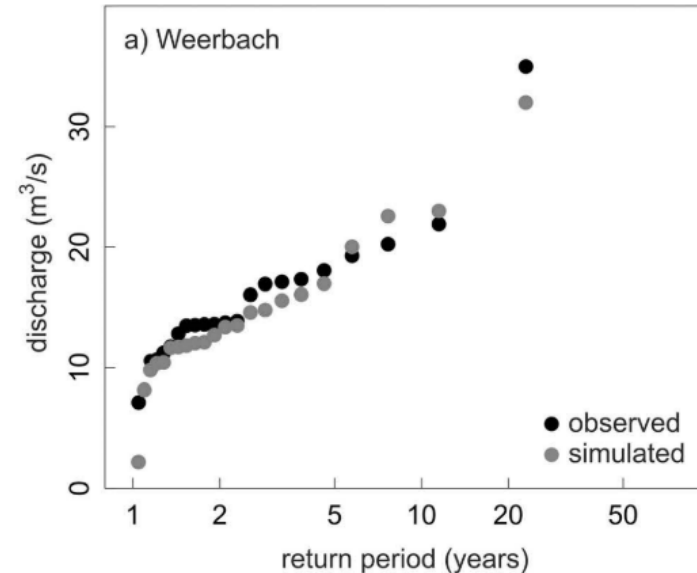
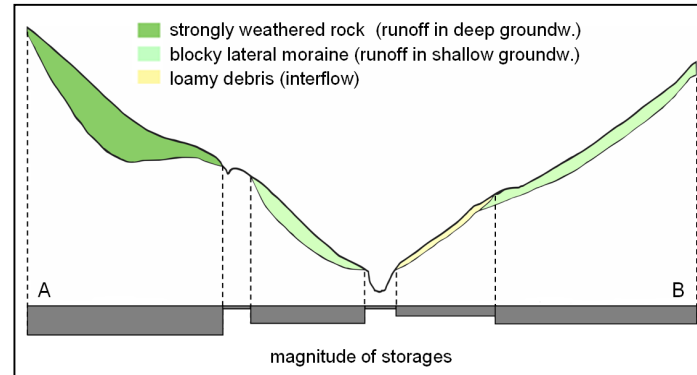
(Merz et al., 2014, nhess)



Vertically integrated moisture flux averaged over dates of 10 largest floods in Ohio River basin for 1948–2005. Arrows show wind direction, shading shows intensity of moisture flux. Only pixels whose moisture flux magnitude is in top 5% of the visible map are shown. Large-scale meridional lowlevel flow into region is active averaged across these events.

Catchment

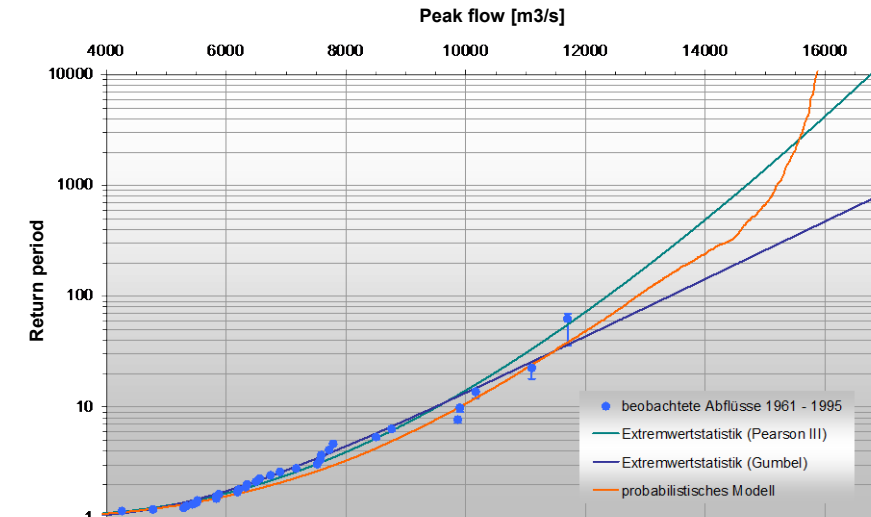
(Rogger et al., 2012, WRR)



River system

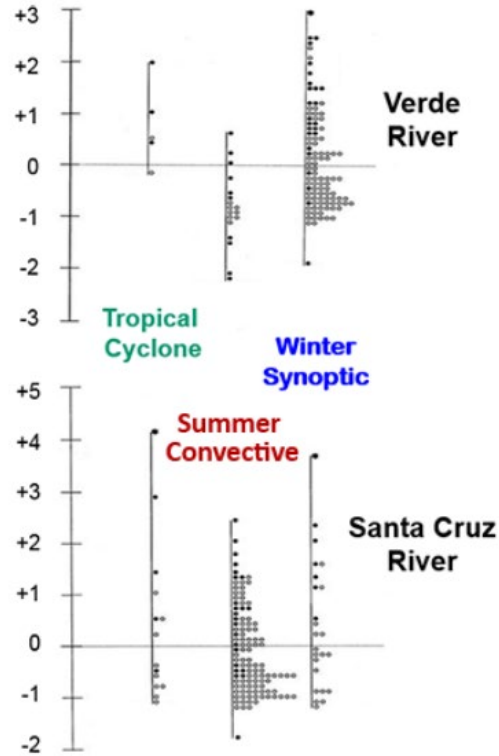
(Apel et al., 2009, Comp. & Geosci.)

Flood frequency curves Rees/Lower Rhine. Extreme value statistics vs. process-based probabilistic model including dike breaches.



Prozessverständnis in Extrapolation integrieren

Climate-informed flood frequency analysis:
Mixed distribution based on climate mechanisms



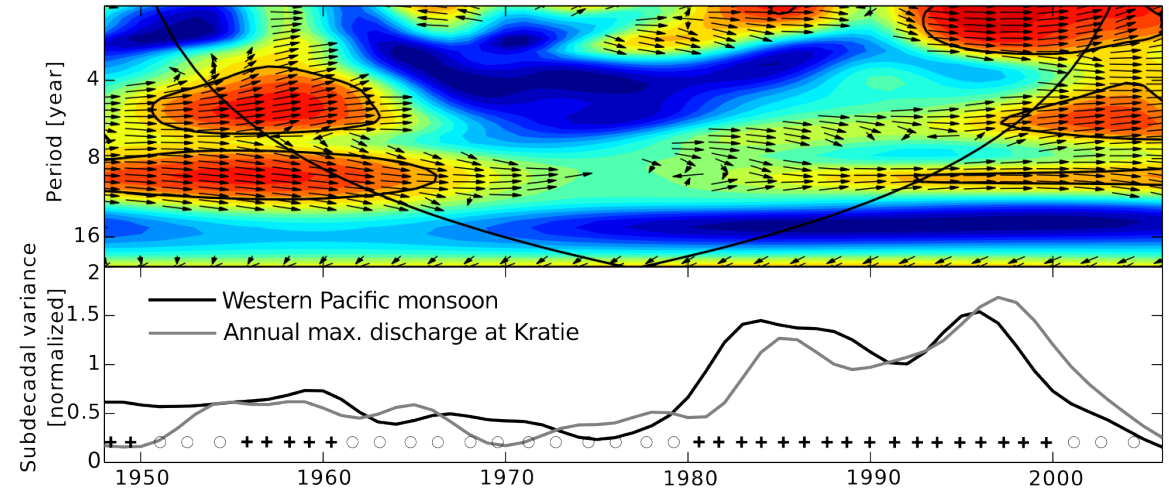
Stratification of flood peaks according to climatic mechanism
(Merz et al., 2014, nness, based on House & Hirschboeck, 1997)

Climate-informed flood frequency analysis:
Monsoon intensity as co-variate of flood pdf for Kratie, Mekong

$$f_{GEV}(HQ) = g(HQ, \mu, \sigma(t), \xi)$$

$$\sigma(t) = \beta_0 + \beta_1 * \sigma_{WPM}(t)$$

(a) Phase coherence: monsoon intensity vs. discharge



Nonstationary flood frequency analysis using monsoon index as co-variate.
Phase coherence between monsoon index and flood peaks. Warm colors: high coherence. Black contours: Significant periods, years. (Delgado et al., 2012, hess)

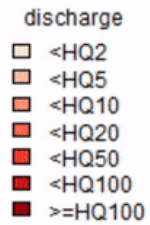
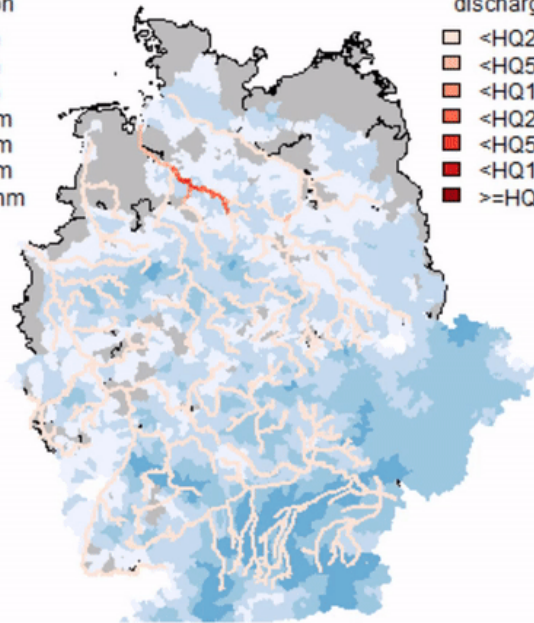
Prozesse in Extrapolation integrieren

RFM (Regional Flood Model) – Process-based flood risk model chain

(Falter et al., 2015, J. Hydrol., Sairam et al., 2021, Earth's Future, Farrag et al., 2022, HSJ)

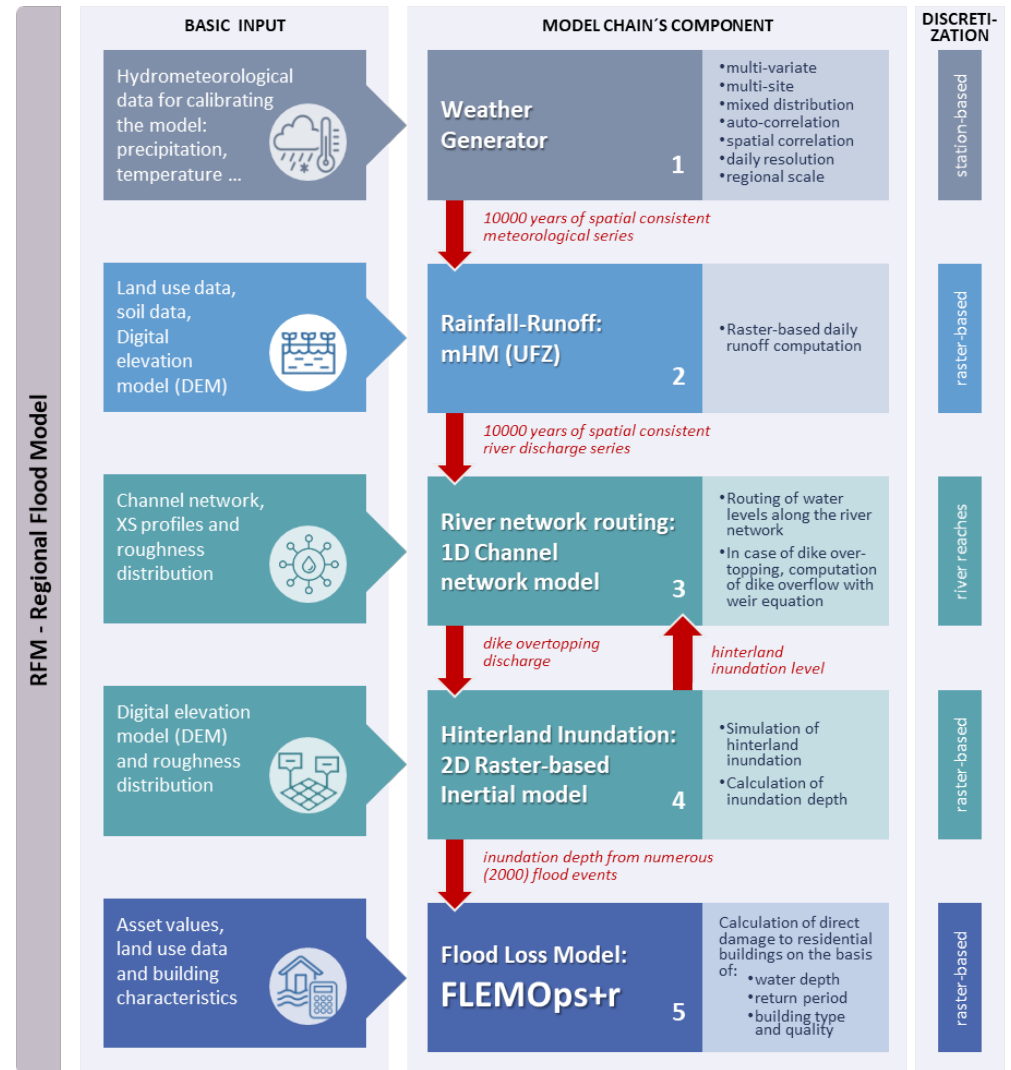
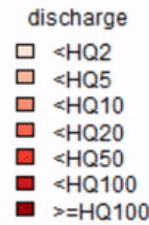
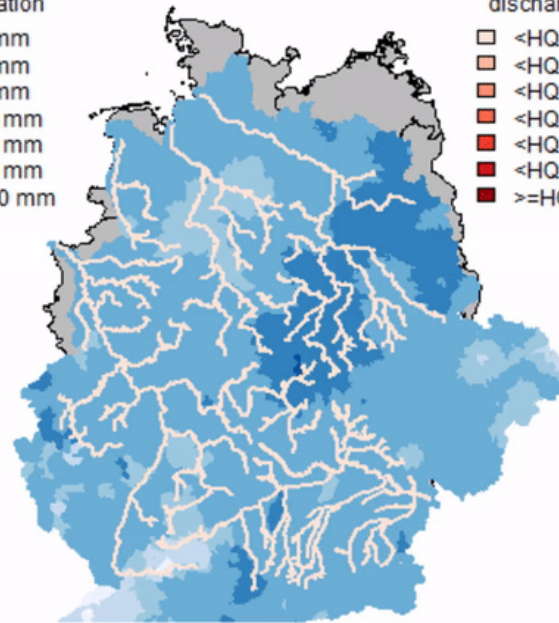
Elbe Flood 2002

2002-07-26

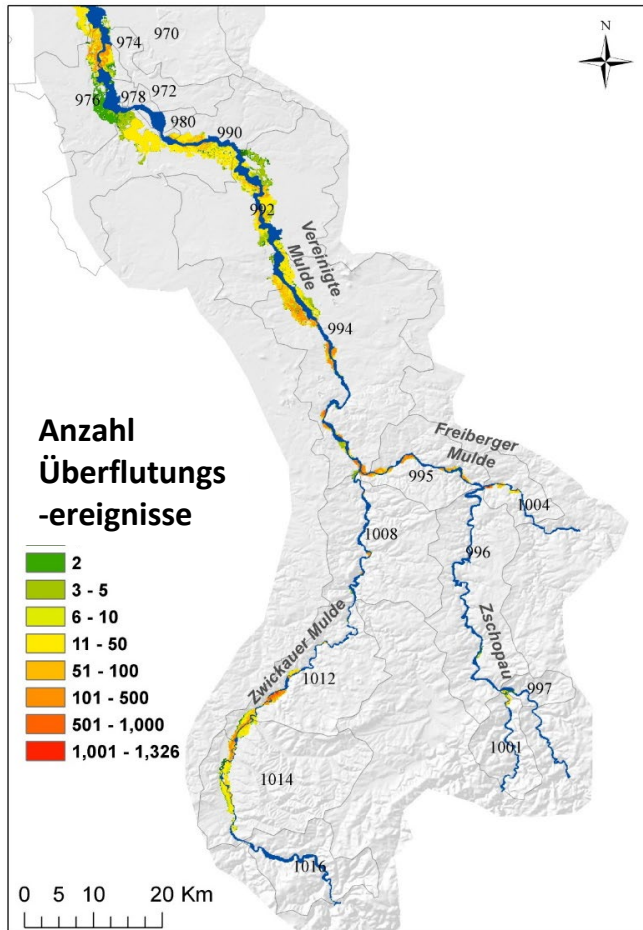


Synthetic Flood

XXXX-05-31

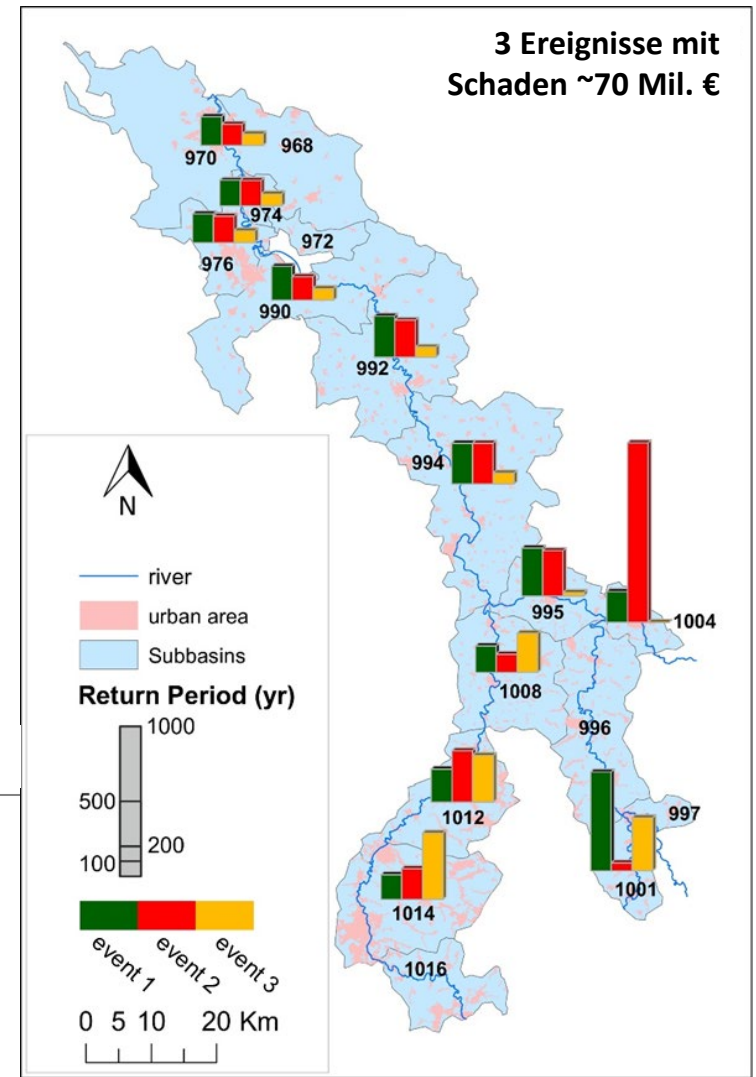
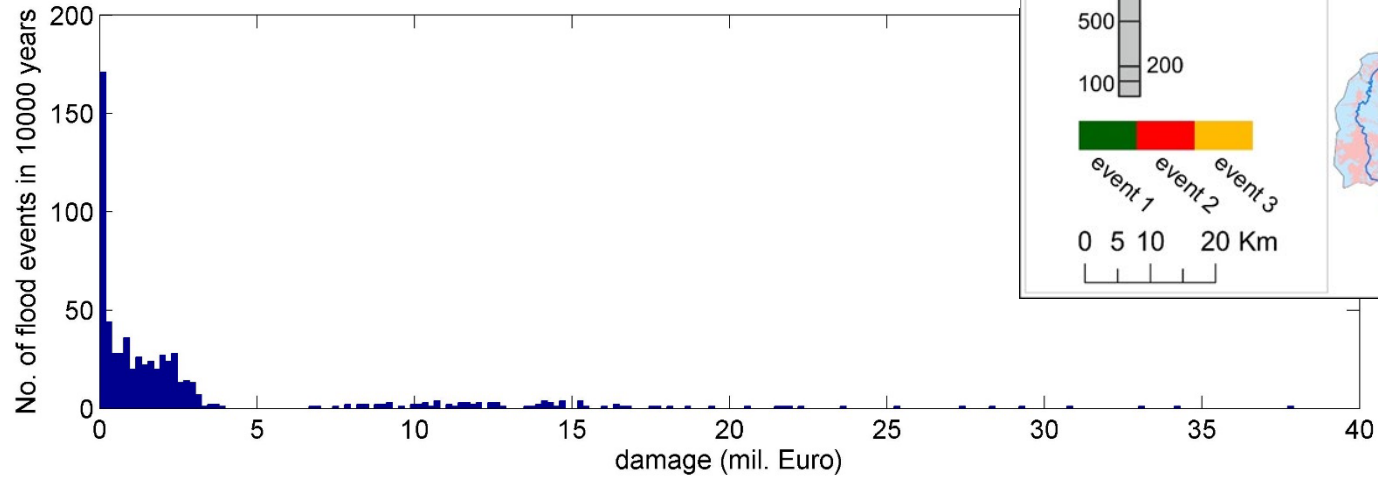


Prozesse in Extrapolation integrieren

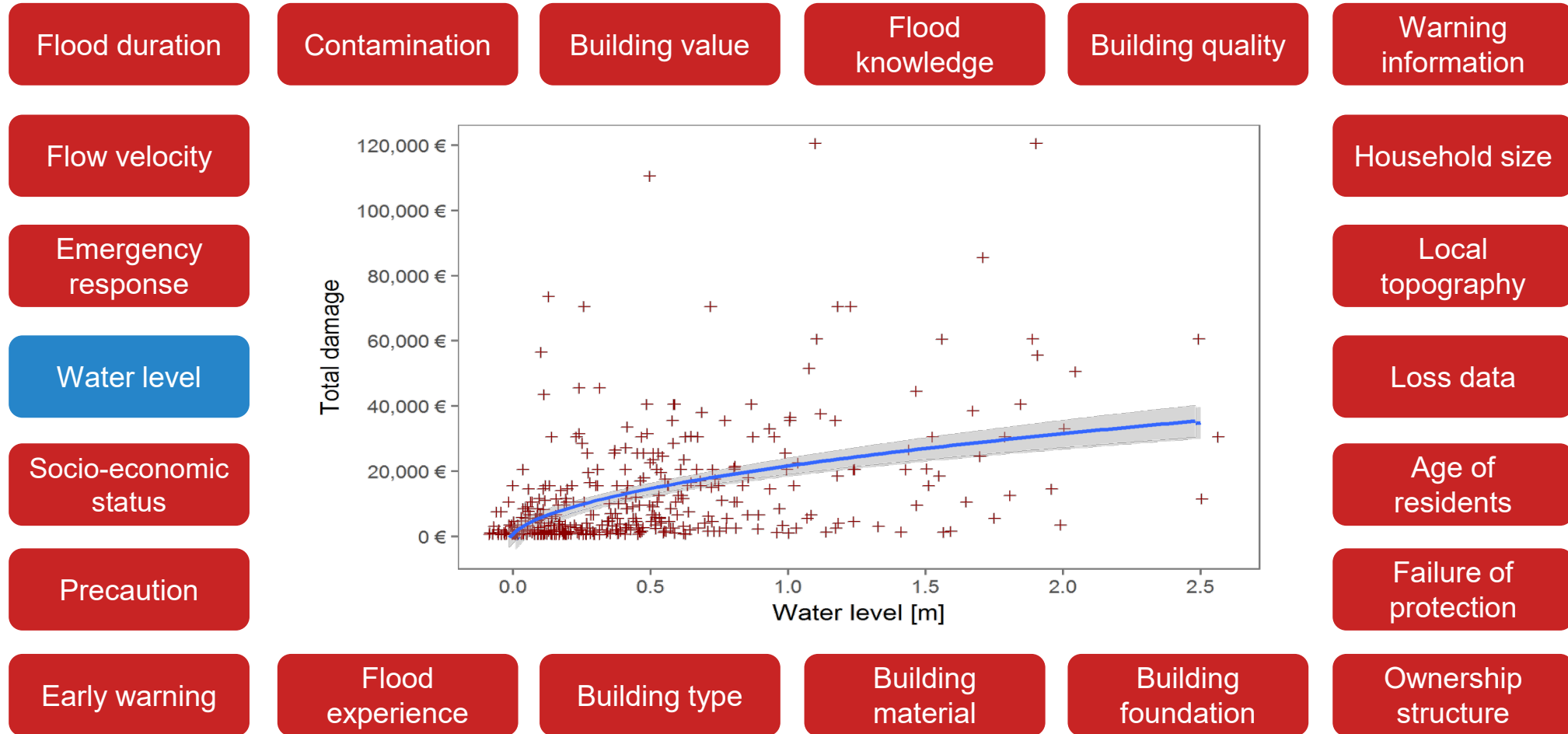


Beispiel Mulde (6,000 km²)
Simulation täglicher Werte für 10,000 Jahre
 (Falter et al., 2015, J Hydrol)

Histogramm der Schäden, Sub-Basin 1012 – 646 Ereignisse



Prozesse verstehen: Vulnerabilität

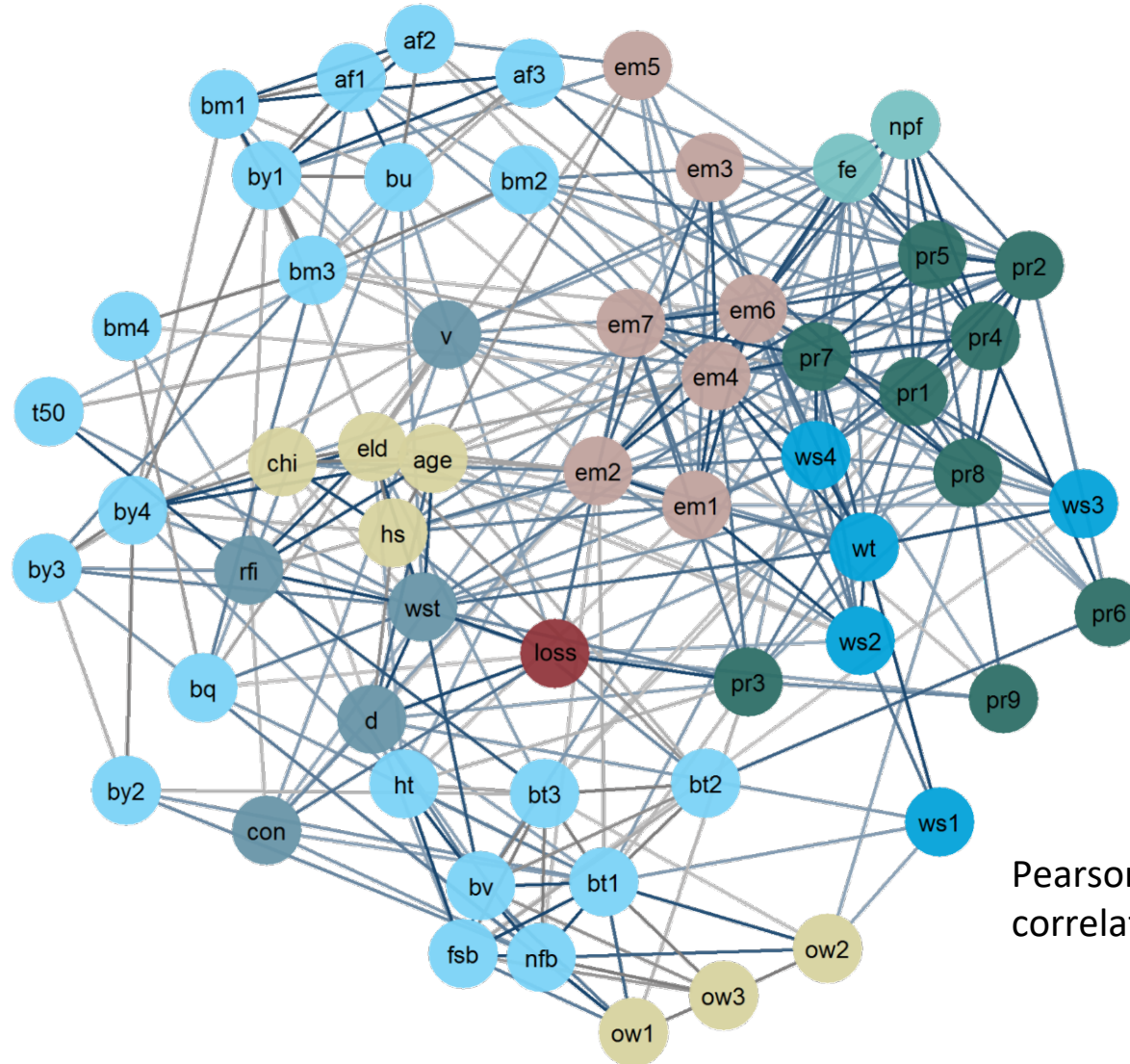


Prozesse verstehen: Vulnerabilität



57 Variables derived from 783 telephone interviews after 4 pluvial flood events in Germany (2005 – 2014)

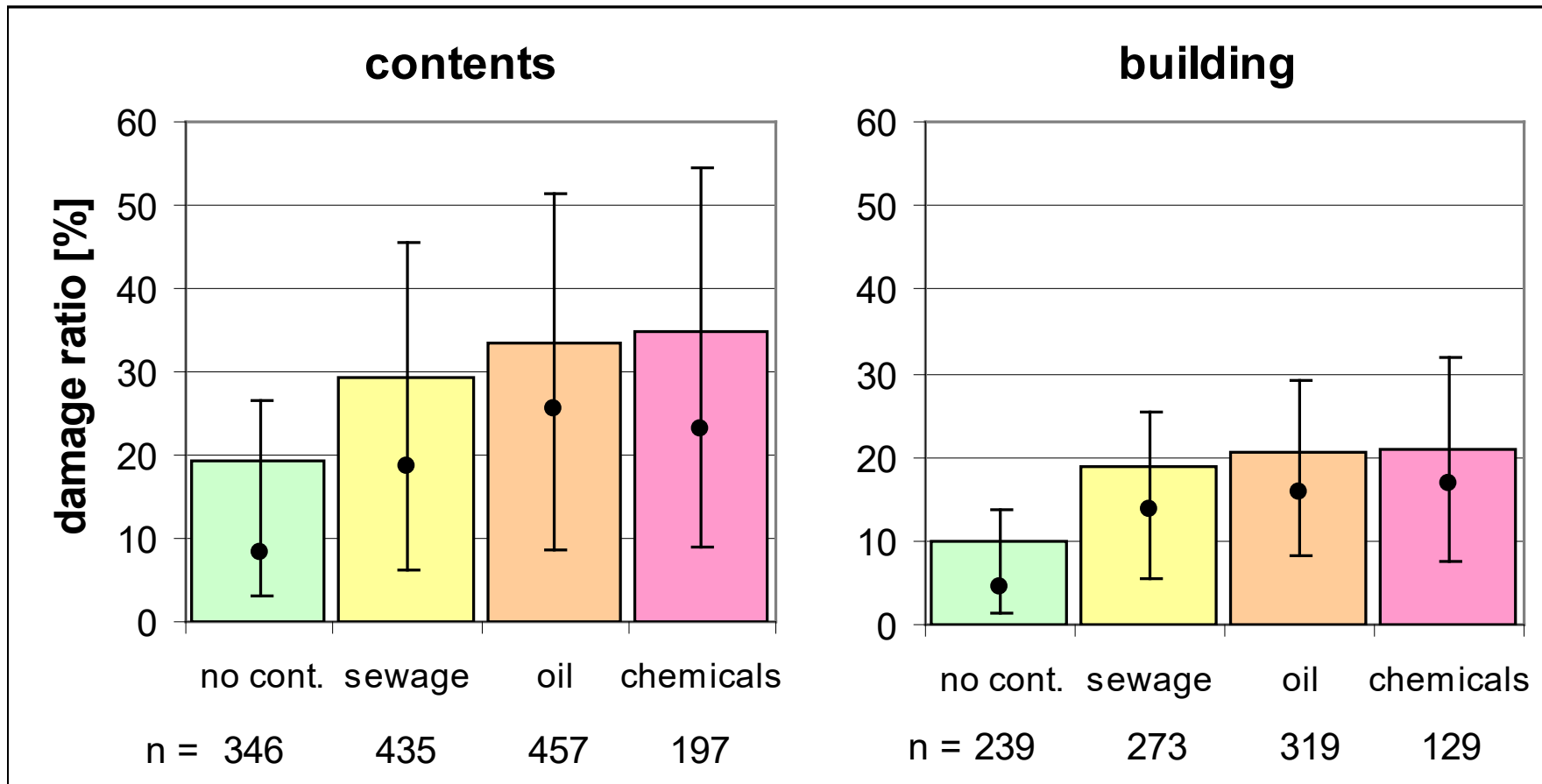
- Loss
- Hazard
- Warning
- Emergency
- Precaution
- Experience
- Building
- Socio-economic



Pearson's pairwise correlation network

Einfluss von Kontamination

(Kreibich et al., 2005, NHESS)



44% of affected residential buildings contaminated (survey flooded households in Aug 2002 in Elbe, Danube catchments)


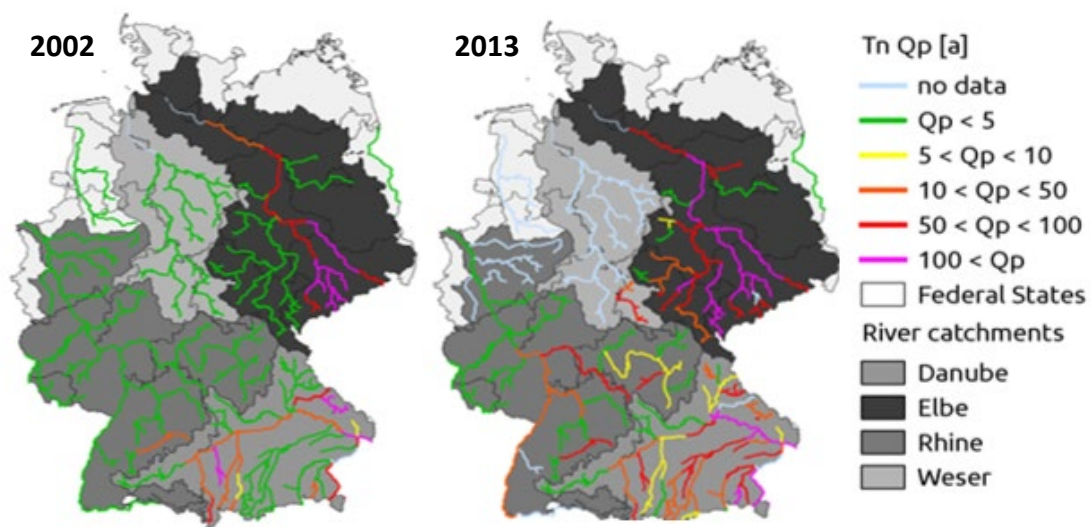
- 
- Extreme (High-Impact, Low-Probability, Worst-Case, Black Swans ...) sind nicht (immer) die große Version von häufigeren Ereignissen
 - Prozesse bei Extremen verstehen und in Risikobetrachtungen einbauen
 - Risikoreduktion und Katastrophenmanagement sind nicht auf Extreme ausgelegt
 - Extremszenarien explorieren, Katastrophenmanagement stärken

Foto: Christian, Adobe Stock

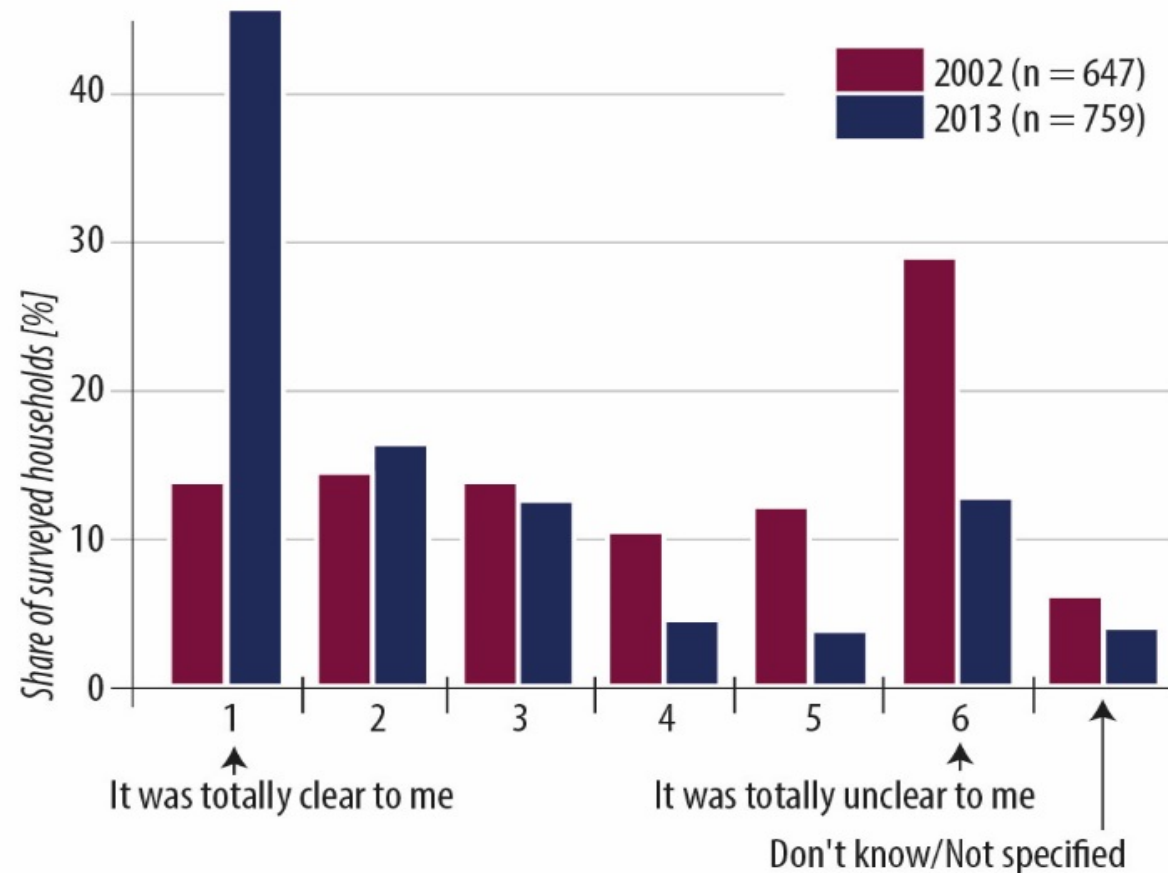
Aus Katastrophen lernen

(Kreibich et al., 2017, Earth's Future, Schröter et al., 2015, HESS)

Event	Hydrological severity	Affected share of river system	Share of residents who received warning	Loss [billion €]
2002	35	19%	74%	15
2013	75	45%	95%	7

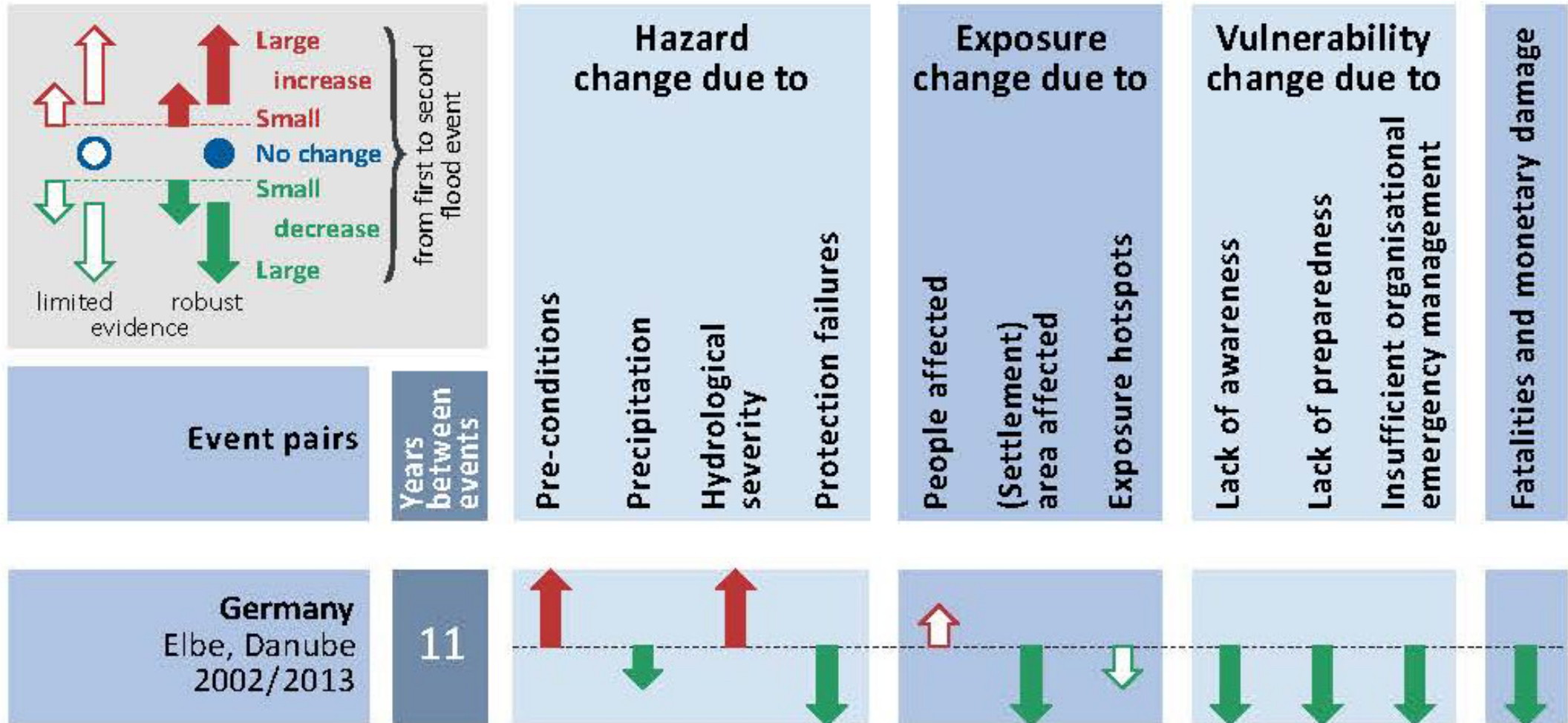


Did you know what to do when you received the flood warning?



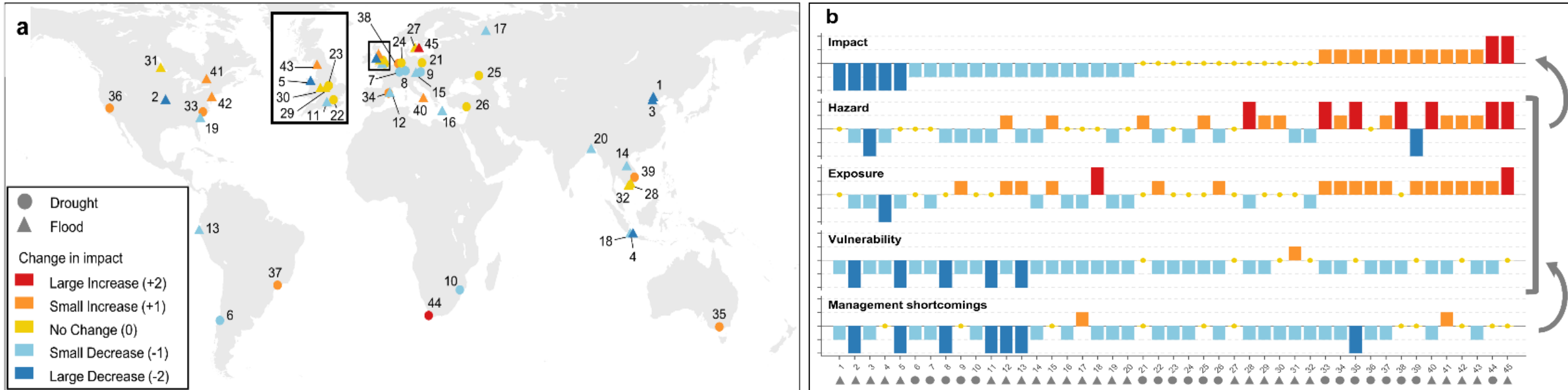
Aus Katastrophen lernen (Paired event studies: 2002 vs 2013)

(Kreibich et al., 2017, Earth's Future)



Aus Katastrophen lernen (Paired event studies)

(Kreibich et al., 2022, Nature)



- Hazard, exposure and vulnerability are equally important drivers of impact.
- Risk management generally reduces the impacts of floods and droughts, but faces difficulties in reducing the impacts of unprecedented events of a magnitude not previously experienced.

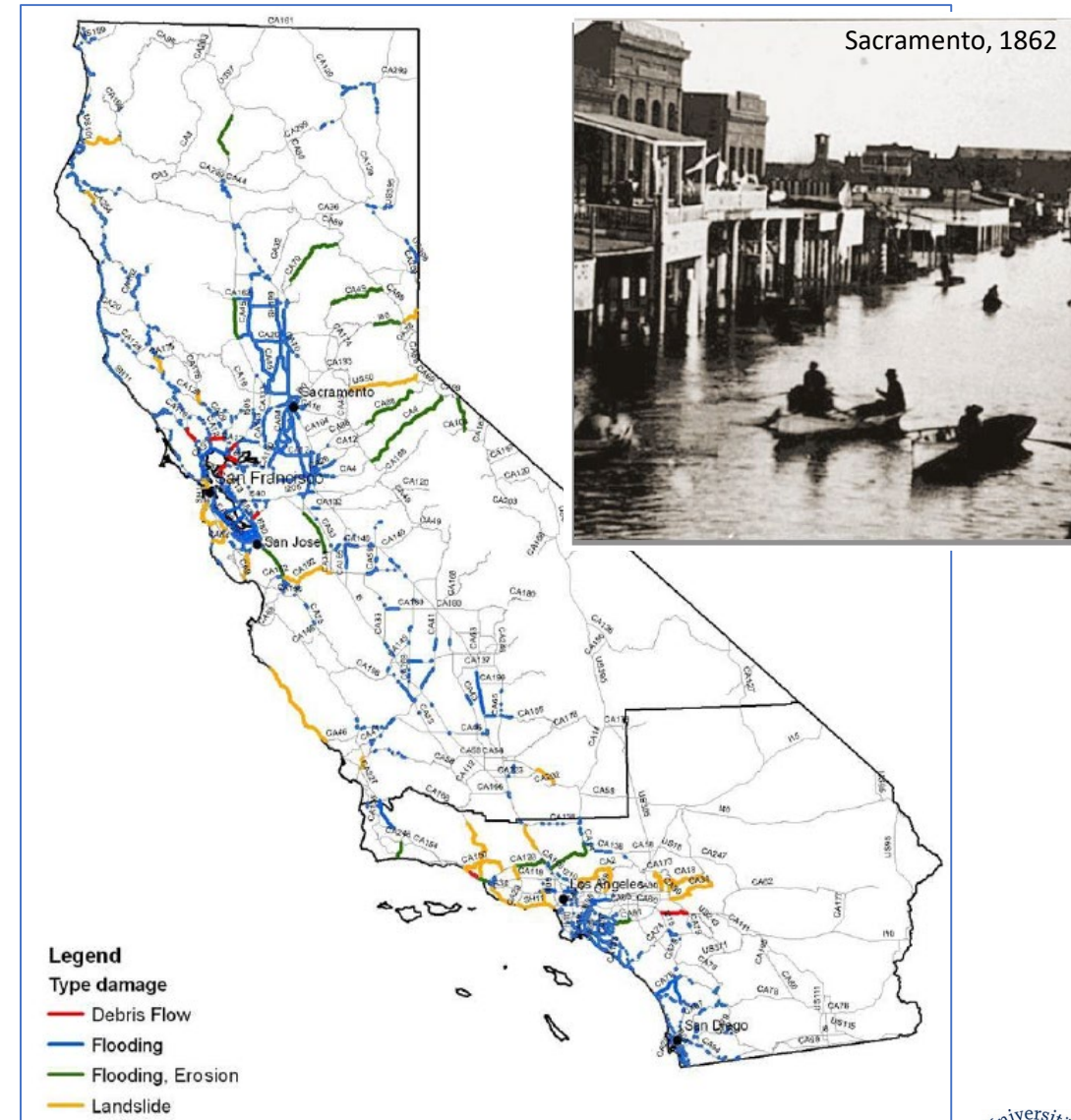
Extremszenarien untersuchen und kommunizieren

Historische Ereignisse, Worst-case Szenarien, Beinahe-Katastrophen ...

Beispiel: ARkStorm / Kalifornien

- Hypothetical storm scenario (AR for atmospheric river, k for 1,000-year event), based on storm 1861/62.
- Evaluated potential for flooding, severe winds, coastal inundation, landslides, damage to buildings and lifelines, agricultural impacts, insurance losses, evacuation planning, traffic, business interruption, environmental and health issues.
- Would widely overwhelm California's protection system and could cause damage of \$US 725 billion.

Porter et al. (2010), Overview of the ARkStorm scenario. Open-File Rep. No. 2010-1312, U.S.G.S.



Causes of ARkStorm cumulative highway damages (Porter et al., 2010)

Extremszenarien untersuchen und kommunizieren

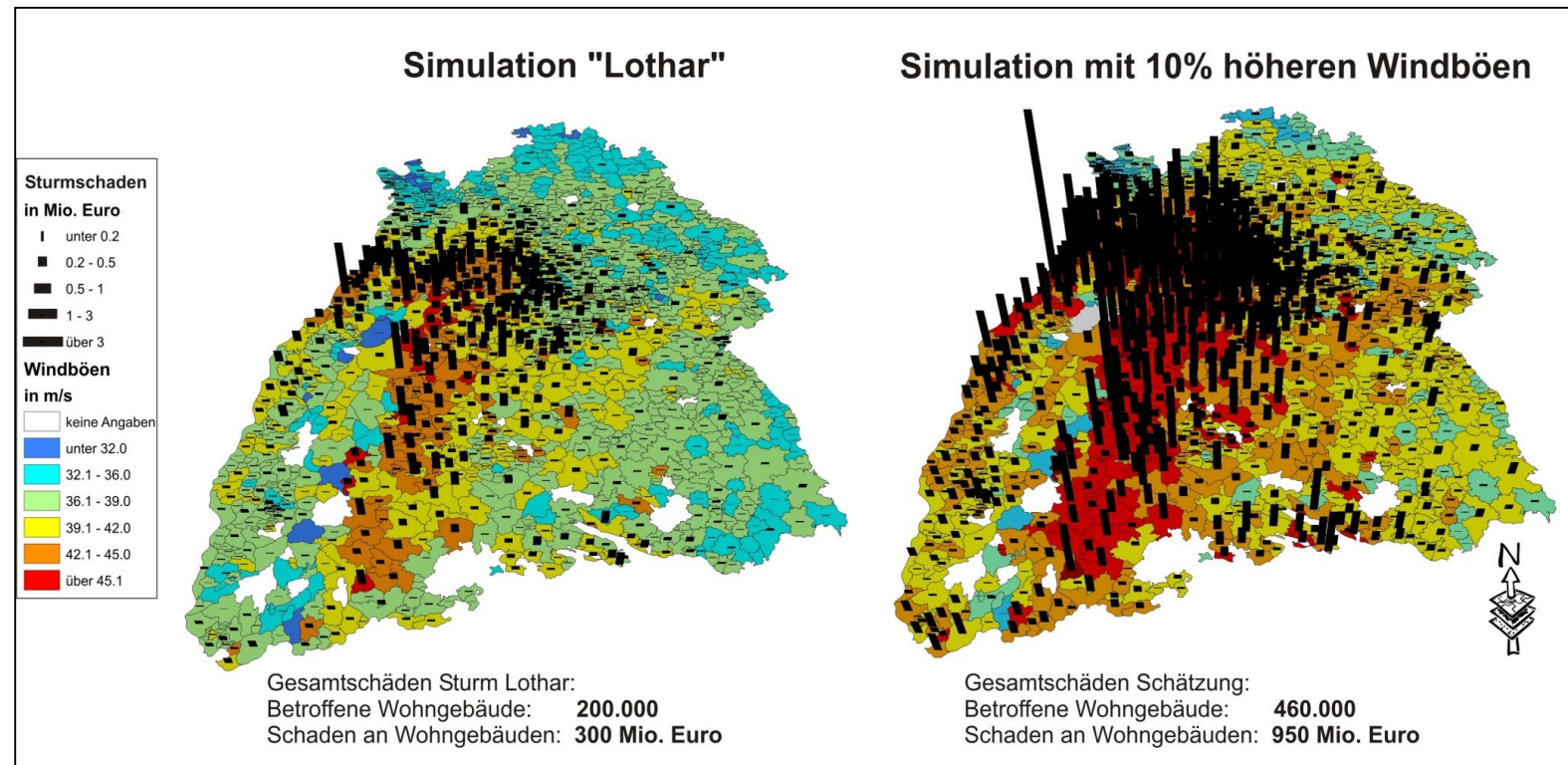
Gordon Woo (2019, Frontiers Earth Sci.): Downward Counterfactuals

“... many so-called Black Swan events can be found from a downward counterfactual search for extreme events. Most catastrophes have either happened before; nearly happened before; or might have happened before ...”

Gorkha-Erdbeben, Nepal, April 2015

(Samstag Mittagszeit):

- Hypozentrum in ländlicher Region (80 km von Kathmandu)
- > 26,000 Klassenzimmer komplett zerstört; > 40,000 Klassenzimmer leicht bis teilweise beschädigt
- 9,000 Tote; großer Teil der Bevölkerung außerhalb Gebäuden
- ‘Spatial counterfactual’: Erdbebenherd bei Kathmandu
- ‘Temporal counterfactual’: Erdbeben während Schulzeit



Michael Kunz, KIT (persönl. Komm.)

Mobililar Lecture 2022 – Bern – 14 November 2022

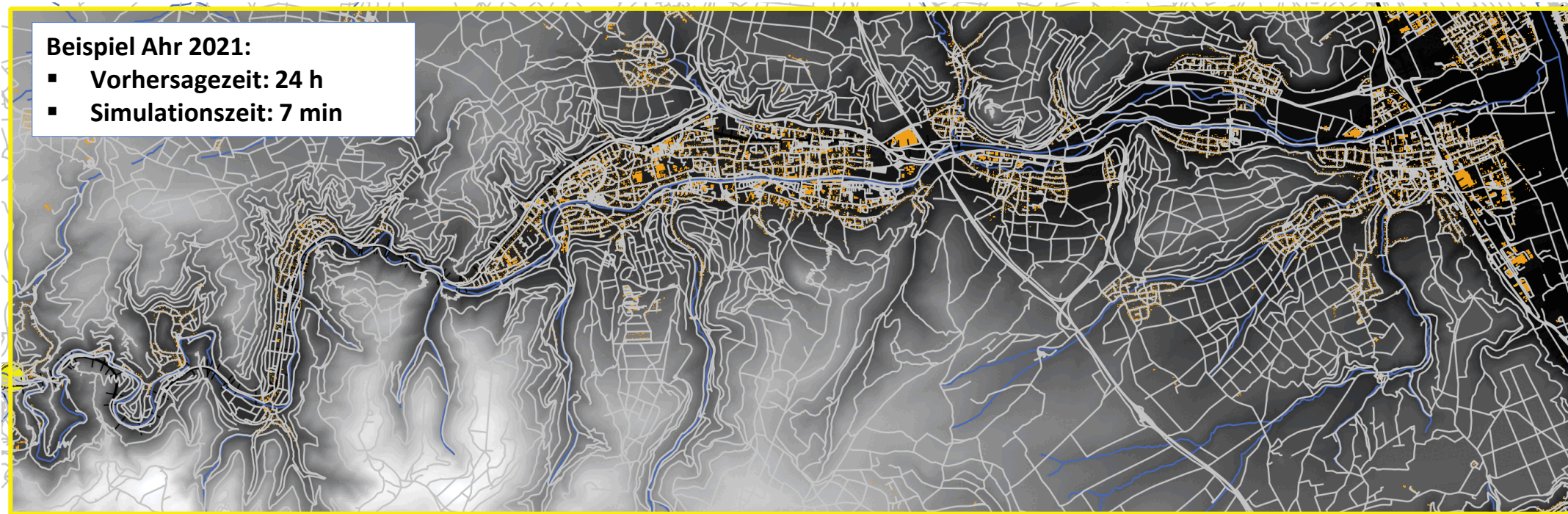
Von der Pegel-Wasserstandsvorhersage zur Impaktvorhersage

RIM2D (Apel et al., 2022, nhes)

- Rasterbasiertes 2D hydraulisches Modell
- Massiv parallelisiert: 7 min Simulationszeit für 15 h Ereignis
- Implementierung größtenteils automatisch auf Basis verfügbarer Daten (DGM, CORINE, OSM)

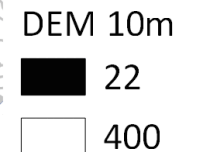
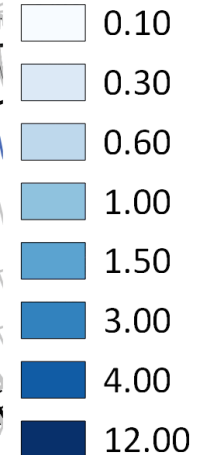
Beispiel Ahr 2021:

- Vorhersagezeit: 24 h
- Simulationszeit: 7 min



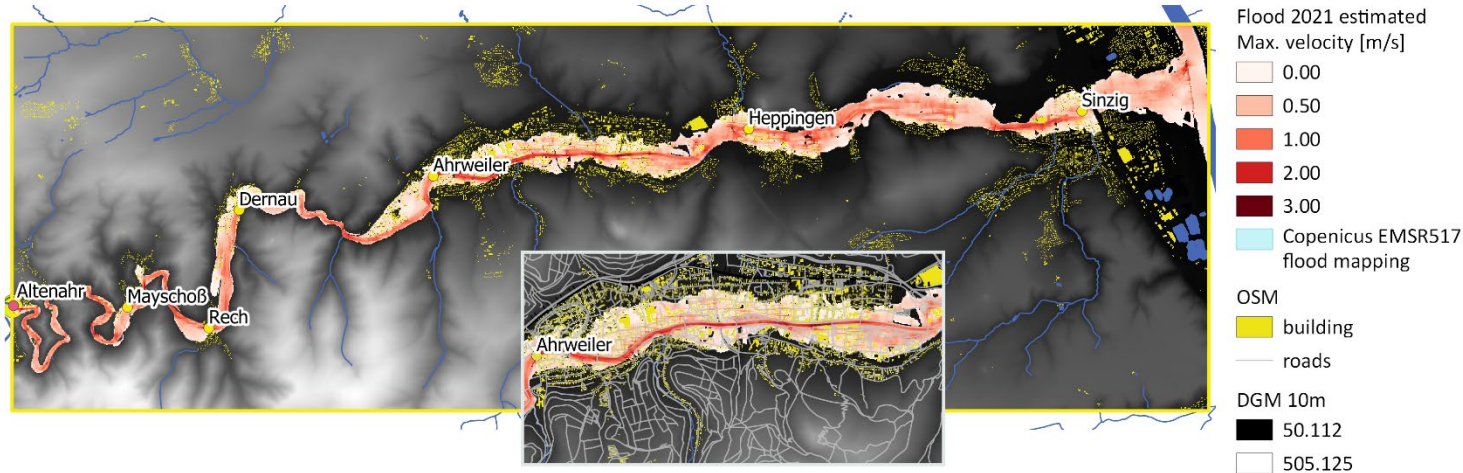
$t = 0$

water depth [m]
reconstructed flood



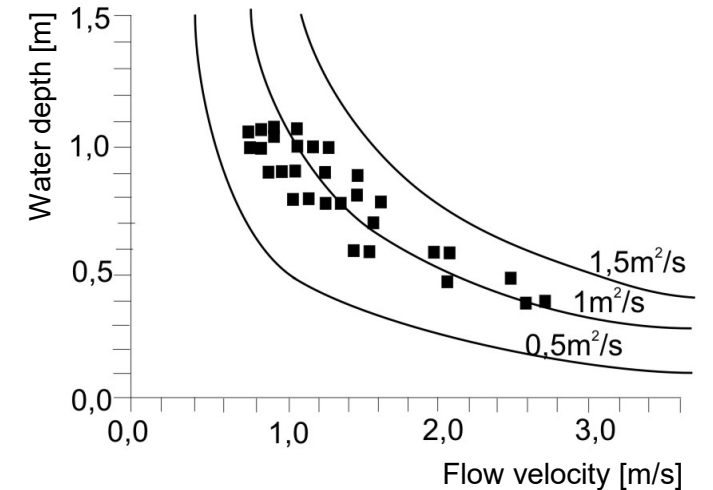
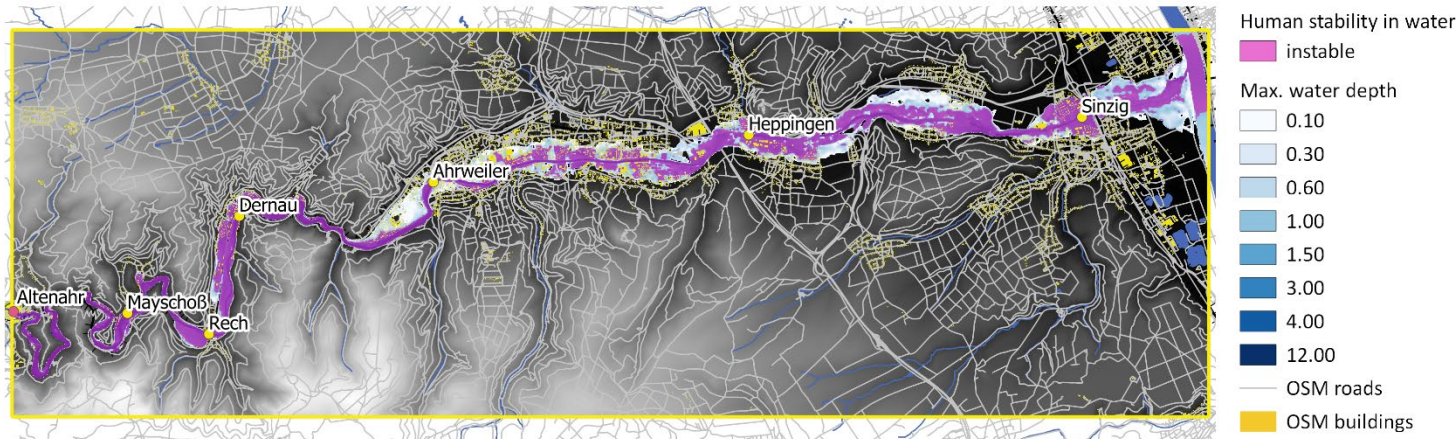
Von der Pegel-Wasserstandsvorhersage zur Impaktvorhersage

a) Simulated maximum flow velocities derived from maximum flow estimation



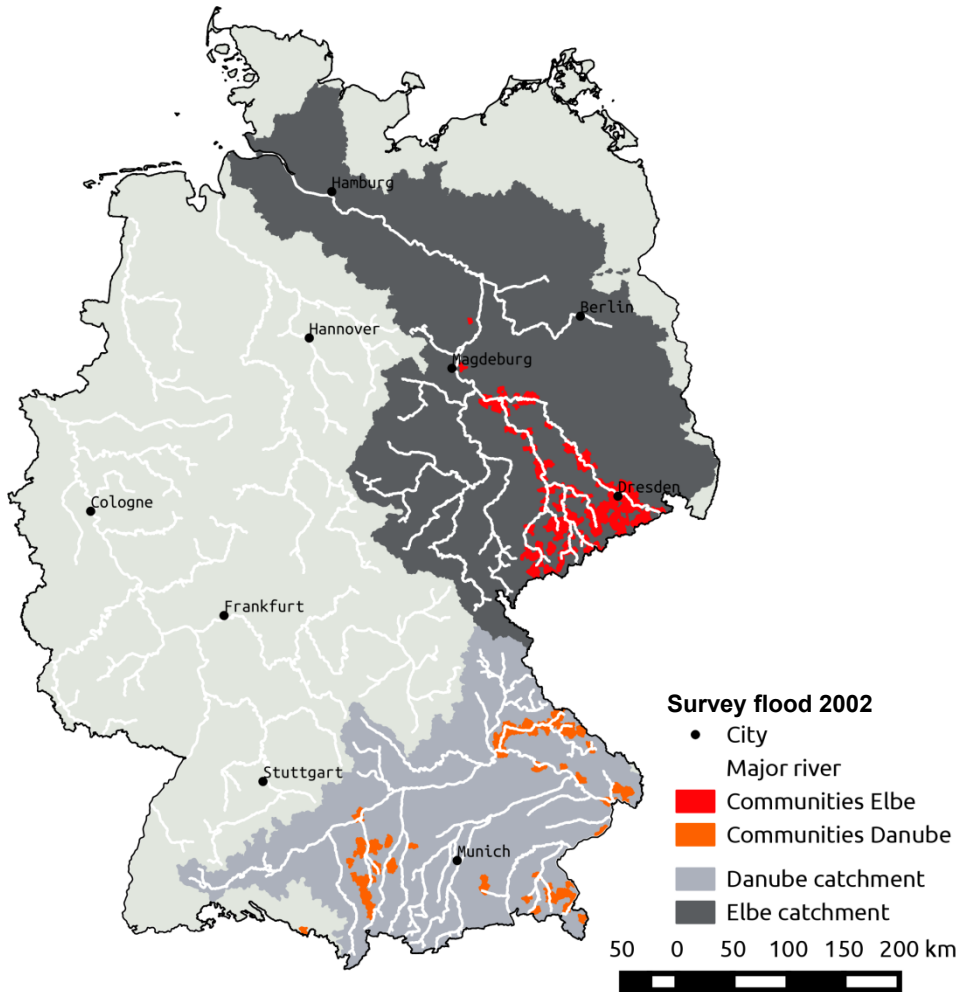
(RESCDAM, 2000, Helsinki University of Technology)

b) Human moment instability acc. to Jonkman & Penning-Rowse (2008)



Risikokommunikation: Wissen, was zu tun ist

(Kreibich et al., 2021, BAMS)



Characteristics	Surveys			
	Date of survey:	April/May 2003	November/December 2006	February/March 2012
Flood(s):	August 2002	August 2005, April 2006	August 2010, January 2011	June 2013
Affected regions	Elbe and Danube catchments	Elbe and Danube catchments	Elbe, Oder and Rhine catchments	Elbe, Danube, Rhine and Weser catchments
Number of households interviewed:	1697	461	558	1652
Response rate	15%	18%	16%	17%
Sampling type	random	comprehensive	comprehensive	comprehensive

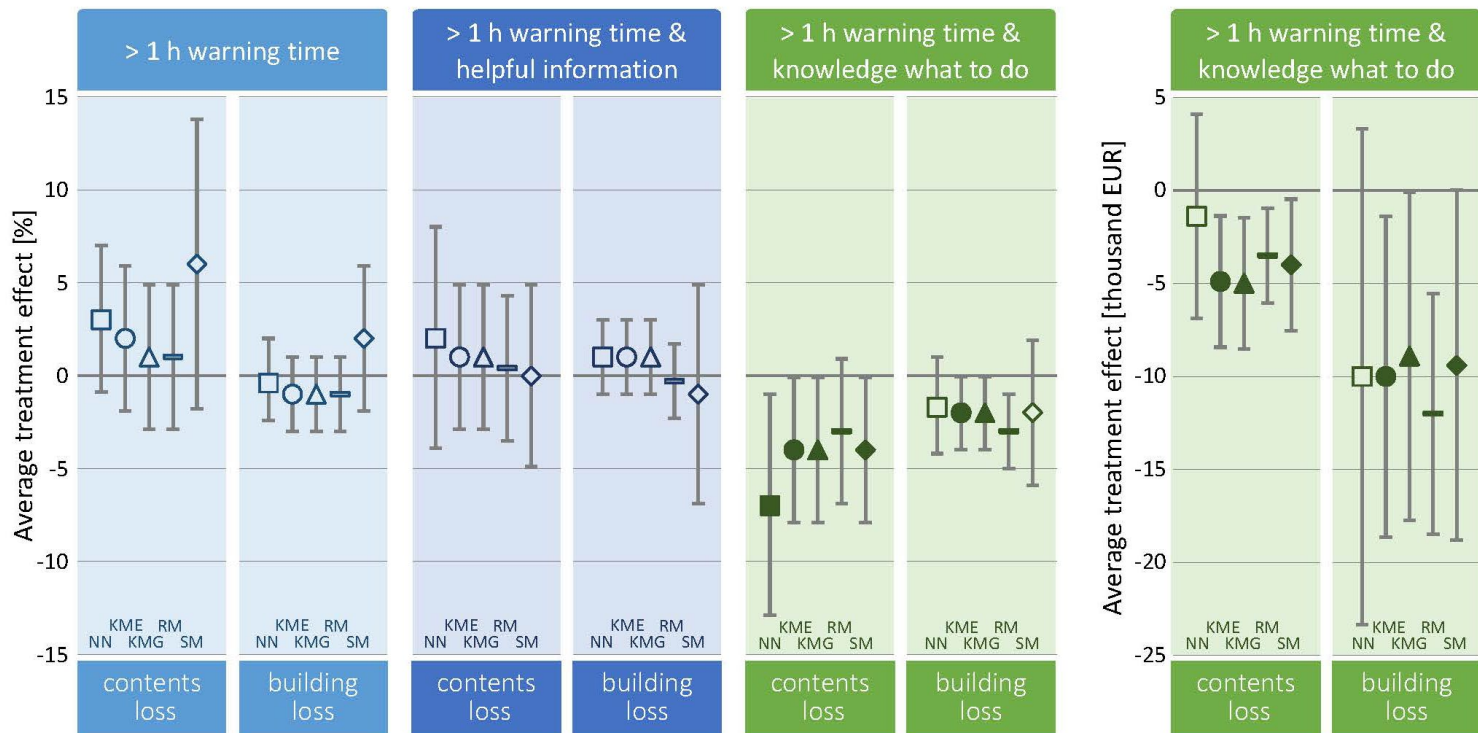
4,468 damage cases from 6 floods in Germany

Risikokommunikation: Wissen, was zu tun ist

(Kreibich et al., 2021, BAMS)

Which early warning situations lead to significant reduction in building and contents loss?

- 1) at least 1h warning lead time only
- 2) at least 1h warning lead time and people received a warning containing helpful information
- 3) at least 1h warning lead time and people (stated that they) knew what to do



Summary:

- Av. reduction contents loss ratio: 4% / 3,800 €
- Av. contents loss ratio: 21% / 17,000 €
- Av. reduction building loss ratio: 2% / 10,000 €
- Av. building loss ratio 11% / 48,000 €

Aus Extremen entwickeln sich Katastrophen, wenn Betroffene und Entscheidungsträger überrascht werden

- Prozesse bei Extremereignissen, inkl. Sekundärprozesse, analysieren
- Extremszenarien durchdenken und im Risikomanagement berücksichtigen
- Impact vorhersagen und Möglichkeiten zur Risikoreduktion kommunizieren