



Technische  
Universität  
Braunschweig



Leichtweiß-Institut für Wasserbau  
Abteilung Hydromechanik und Küsteningenieurwesen



© Thomas Panzau

# XtremRisK - Risikoanalyse offener Küsten und Ästuargebiete durch Extremsturmfluten

A. Burzel, M. Naulin, D. Dassanayake, A. Kortenhaus, H. Oumeraci | 10. März 2011 | FZK-Kolloquium 2011

# Inhalt

- Einführung XtremRisk
- Methodik XtremRisk
- Untersuchungsgebiete
- Beispielszenario für extreme Sturmflut
- Methodik und Ergebnisse im Teilprojekt 2
- Methodik und Ergebnisse im Teilprojekt 4
- Zusammenfassung und Ausblick



# Inhalt

- Einführung XtremRisk
- Methodik XtremRisk
- Untersuchungsgebiete
- Beispielszenario für extreme Sturmflut
- Methodik und Ergebnisse im Teilprojekt 2
- Methodik und Ergebnisse im Teilprojekt 4
- Zusammenfassung und Ausblick

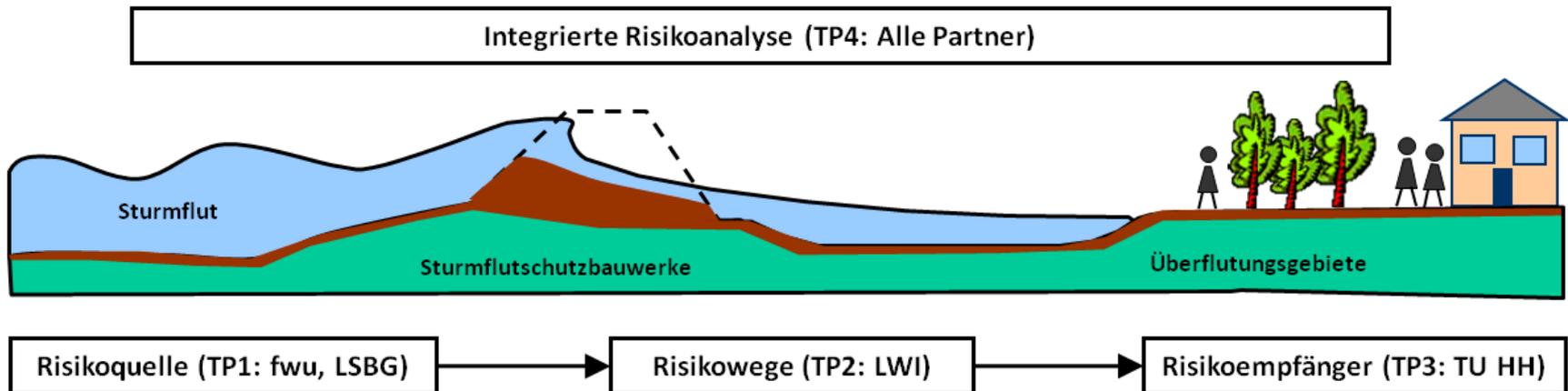


# Verbundprojekt XtremRisk: Teilprojekte und Partner

- TP1: Extreme Sturmfluten
  - Landesbetrieb für Straßen, Brücken und Gewässer (LSBG)
  - Forschungsinstitut Wasser und Umwelt, Universität Siegen
- **TP2: Belastung, Bruch und Bruchentwicklung von Hochwasserschutzwerken**
  - **Leichtweiß-Institut für Wasserbau, TU Braunschweig**
- TP3: Schadensermittlung und -bewertung
  - Institut für Wasserbau, TU Hamburg-Harburg
- **TP4: Risikoanalyse, Risikobewertung und Empfehlungen für Risikobeherrschung**
  - **Leichtweiß-Institut für Wasserbau, TU Braunschweig, in Zusammenarbeit mit allen Projektpartnern**
- Kooperative Partner: HPA, LKN SH, LSBG
- Beratende Partner CAU, HWWI, Artec
- Weitere Partner: BAW, DWD

# Einführung XtremRisk

- Durchführung einer integrierten Risikoanalyse
  - Ermittlung des Risikos durch Extremsturmfluten
  - Untersuchung tangibler und intangibler Schäden
  - Berücksichtigung derzeitiger (2010) und zukünftiger (2100) Klimabedingungen
  - Vorschlag von Maßnahmen zur Reduzierung des Risikos
- Laufzeit des Projekts: 2008 – 2012



# Inhalt

- Einführung XtremRisk
- Methodik XtremRisk
- Untersuchungsgebiete
- Beispielszenario für extreme Sturmflut
- Methodik und Ergebnisse im Teilprojekt 2
- Methodik und Ergebnisse im Teilprojekt 4
- Zusammenfassung und Ausblick



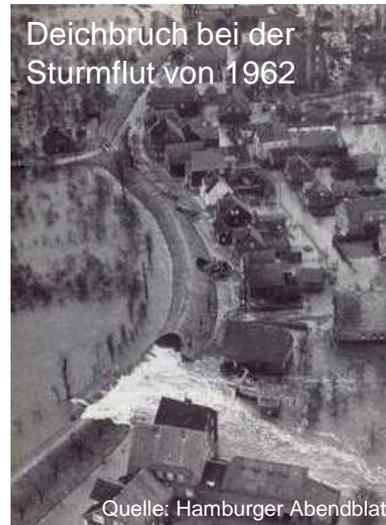
# Untersuchungsgebiete

## Hamburg

Megacity, 1,8 Mio. Einwohner, Hafen- und Industrieanlagen, Infrastruktur

### Elbeästuar in Hamburg

- MThw: ~ NN + 2,1 m
- HHThw: NN + 6,45 m (1976)
- Wellenverhältnisse:  $H_S \sim 1,0\text{m}$ ,  $T_p \sim 4\text{ s}$



## Sylt

Nordseeinsel, Naturschutzgebiet, große Bedeutung für den Tourismus

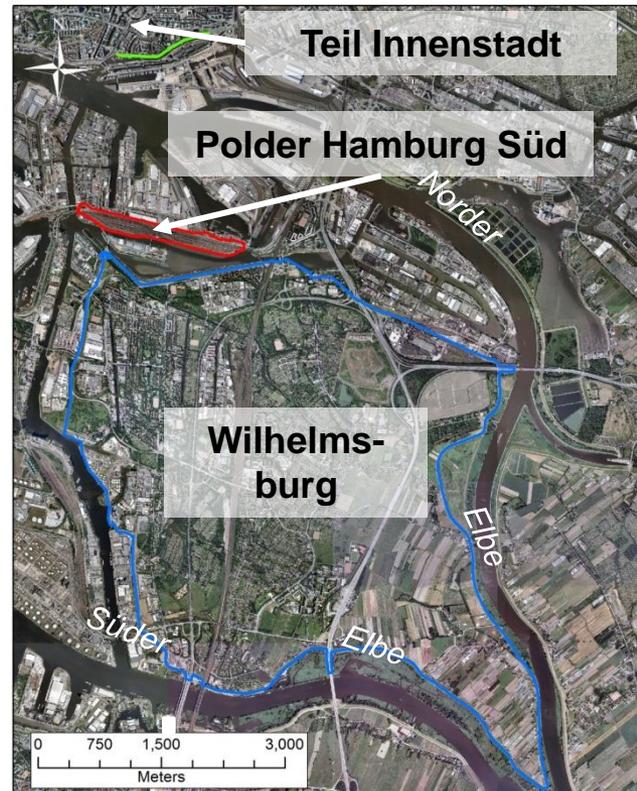
### Nordsee Sylt

- MThw: ~ NN + 1,0 m
- HHThw: NN + 4,05 m (1981)
- Wellenverhältnisse:  $H_S \sim 5,0\text{ m}$ ,  $T_p \sim 14\text{ s}$



# Untersuchungsgebiete

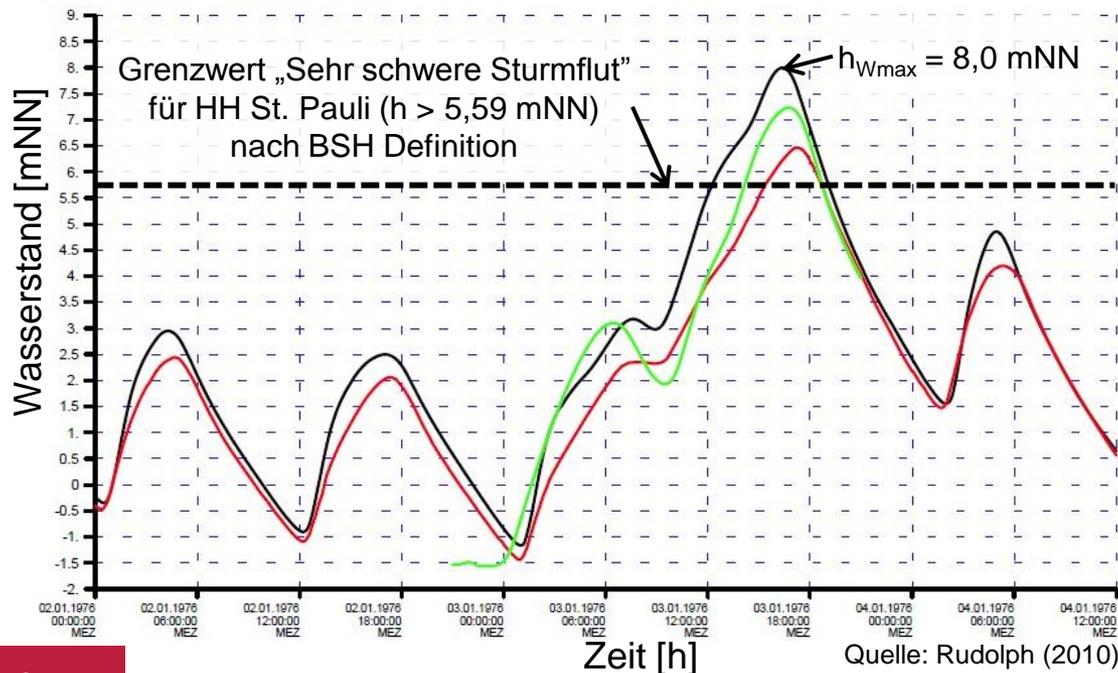
- Auswahl von Teilgebieten für detaillierte Studien in XtremRisk



# Beispielszenario für extreme Sturmflut in Hamburg

Vorläufige Ergebnisse aus XtremRisk Teilprojekt 1

- Sturmflutereignis mit  $h_{Wmax} = 8,0$  mNN am Pegel Hamburg St. Pauli (BAW-Simulation unter Berücksichtigung eines Abflusses von  $Q = 3.600$  m<sup>3</sup>/s basierend auf den Ergebnissen für den Pegel Cuxhaven mit  $h_{Wmax} = 6,1$  mNN von Gönner et al.(2010, 2011))
- Überschreitungswahrscheinlichkeit: ca.  $P_e = 1,0 \times 10^{-5}$  [1/Jahr] (Ermittlung unter Berücksichtigung des Sturmflutverlaufs über drei Tiden nach Wahl et al. (2010))



## Legende

XtremRisk Sturmflutszenario

Bemessungssturmflut

HHThw(1976)

# Inhalt

- Einführung XtremRisk
- Methodik XtremRisk
- Untersuchungsgebiete
- Beispielszenario für extreme Sturmflut
- Methodik und Ergebnisse im Teilprojekt 2
- Methodik und Ergebnisse im Teilprojekt 4
- Zusammenfassung und Ausblick



# Überblick Teilprojekt 2 | Risikowege

## Hauptziel:

- Belastung und Stabilitätsverhalten der Komponenten des Hochwasser-Küstenschutz-Systems (HWKS-Systems) bis zum vollständigen Versagen (Bruchentwicklung)

## Methodik:

- Probabilistische Analyse der HWKS-Systeme
- Bruchmodellierung von Deichen und Dünen

## Ergebnisse:

- Versagenswahrscheinlichkeit  $P_f$  des HWKS-Systems
  - Initialbedingungen für Flutwelle an der Bruchstelle der HWKS-Linie
- Übergabe an TP3 zur Überflutungssimulation und an TP4 für Risikoanalyse



# Probabilistische Analyse der HWKS-Systeme

## a) Beschreibung der HWS-Bauwerke



Deich



Dammbalken



HWS-Wand

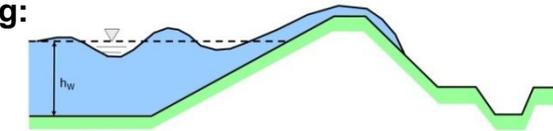


Sperrwerk

## b) Versagensmechanismen und Grenzustandgleichungen GZG: $z = R - S$

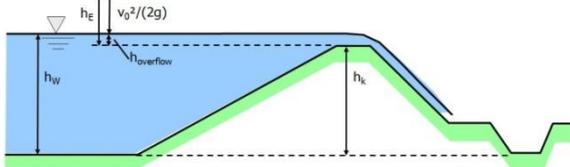
LSE Overtopping:

$$z = R_c - R_{c, \min}$$

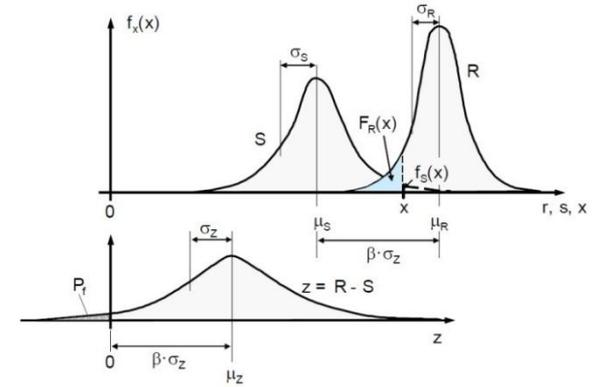


LSE Overflow:

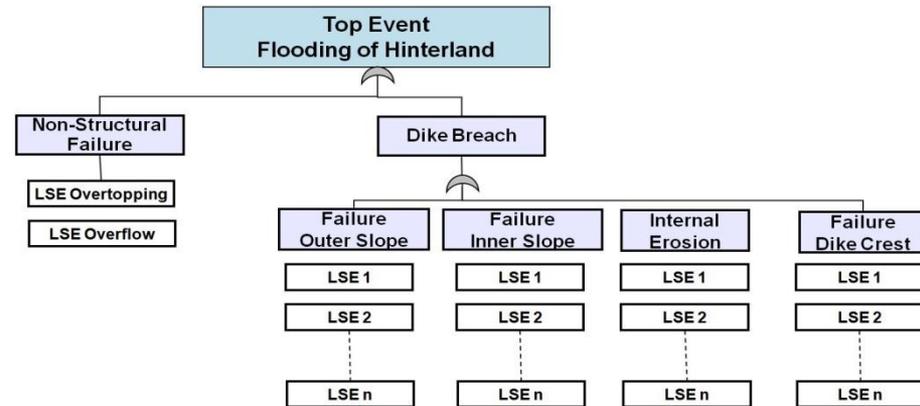
$$z = h_{E, \text{adm}} - h_E$$



## c) Unsicherheiten, Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeiten



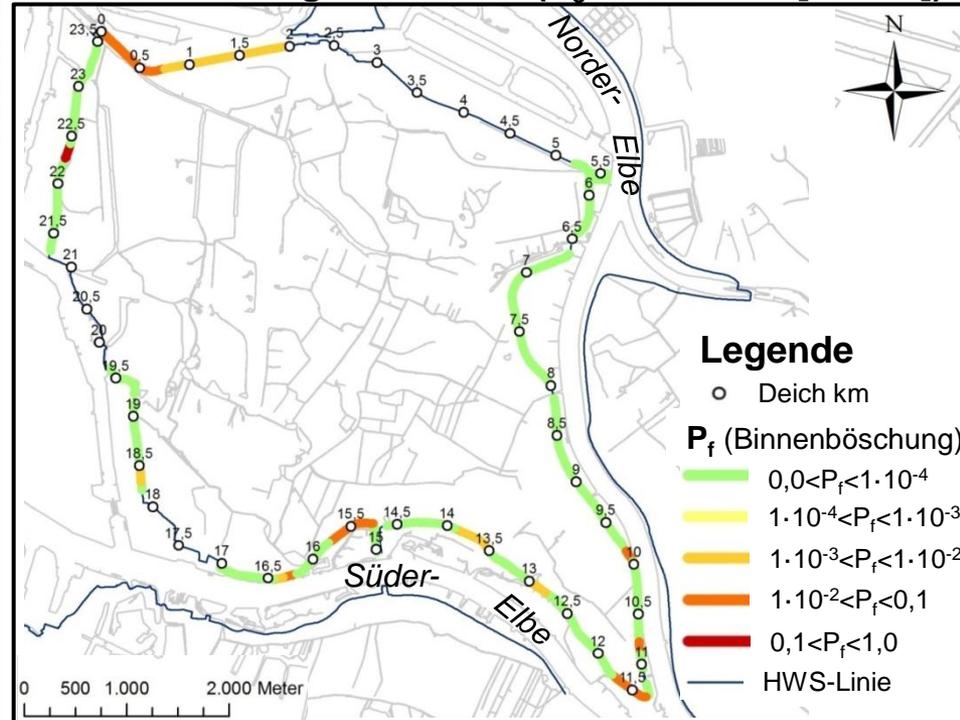
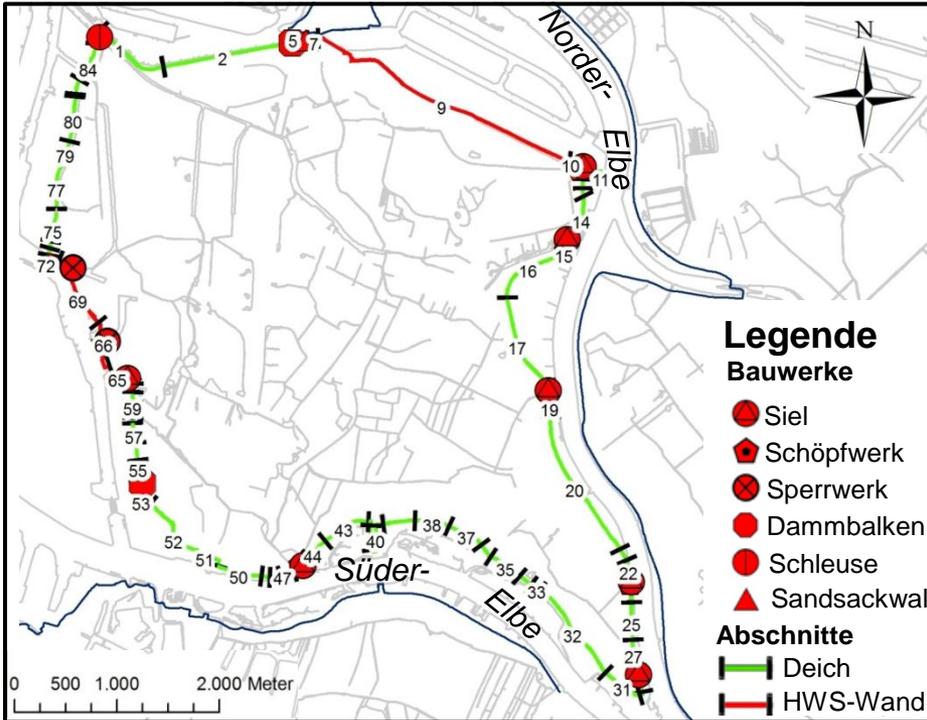
## d) Fehlerbaumanalyse



# Zwischenergebnisse der probabilistischen Analyse

a) Abschnittseinteilung der HWS-Linie

b) Versagenswahrscheinlichkeit  $P_f$  für Versagen der Binnenböschung der Deiche ( $P_e = 1,0 \times 10^{-5}$  [1/Jahr])



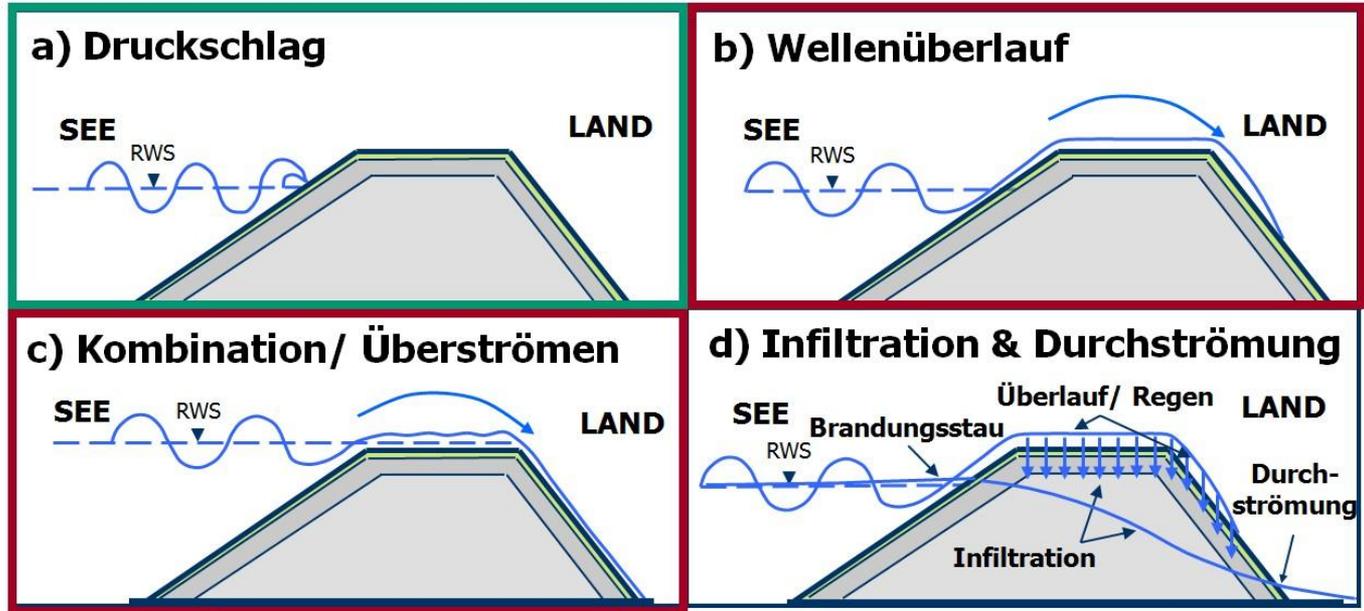
# Modellierung der Belastung und Deichbruchentwicklung

## Belastung:

- Druckschlag (Seeseite)
- Wellenüberlauf (Landseite) → Berechnung der Überlaufraten ggf. Überströmraten mit empirischen Formeln nach Oumeraci et al. (2001) & EurOtop (2007)

## Deichbruchmodellierung:

- Stanczak (2008),
- D'Eliso (2007),
- Tuan & Oumeraci (2010)



Quelle: D'Eliso (2007)

# Zwischenergebnisse Überlauf und Deichbruchmodellierung

## Berechnung der Überlauf-/Überströmraten

unter Berücksichtigung des Sturmflutverlaufs mit empirischen Formeln nach Oumeraci et al. (2001) & EurOtop (2007) entlang der Hochwasserschutz-Linie in Wilhelmsburg

- Max. Überlaufsraten  $q_{\max}$ : 600 l/s/m
- Gesamtes Überlaufvolumen  $V$ : 7,2 Mio. m<sup>3</sup>

→ Übergabe an TP3 zur Überflutungsmodellierung

## Modellierung der Bruchinitiierung aufgrund von Wellenüberlauf/ Überströmen

für den Klütjenfelder Hauptdeich in Wilhelmsburg mit dem Modell von Tuan & Oumeraci (2010)

- Max. Überlaufsraten  $q_{\max}$ : 1.690 l/s/m
- Max. tiefengemittelte Geschwindigkeit : 5,3 m/s
- Erosionstiefe (mittlere Grasqualität): 7,0 cm

# Überblick Teilprojekt 4 | Integrierte Risikoanalyse

## Hauptziele:

- Zusammenführung der Ergebnisse aller Teilprojekte
- Durchführung einer integrierten Risikoanalyse
- Ableitung von Handlungsempfehlungen zur Reduzierung der Flutrisiken

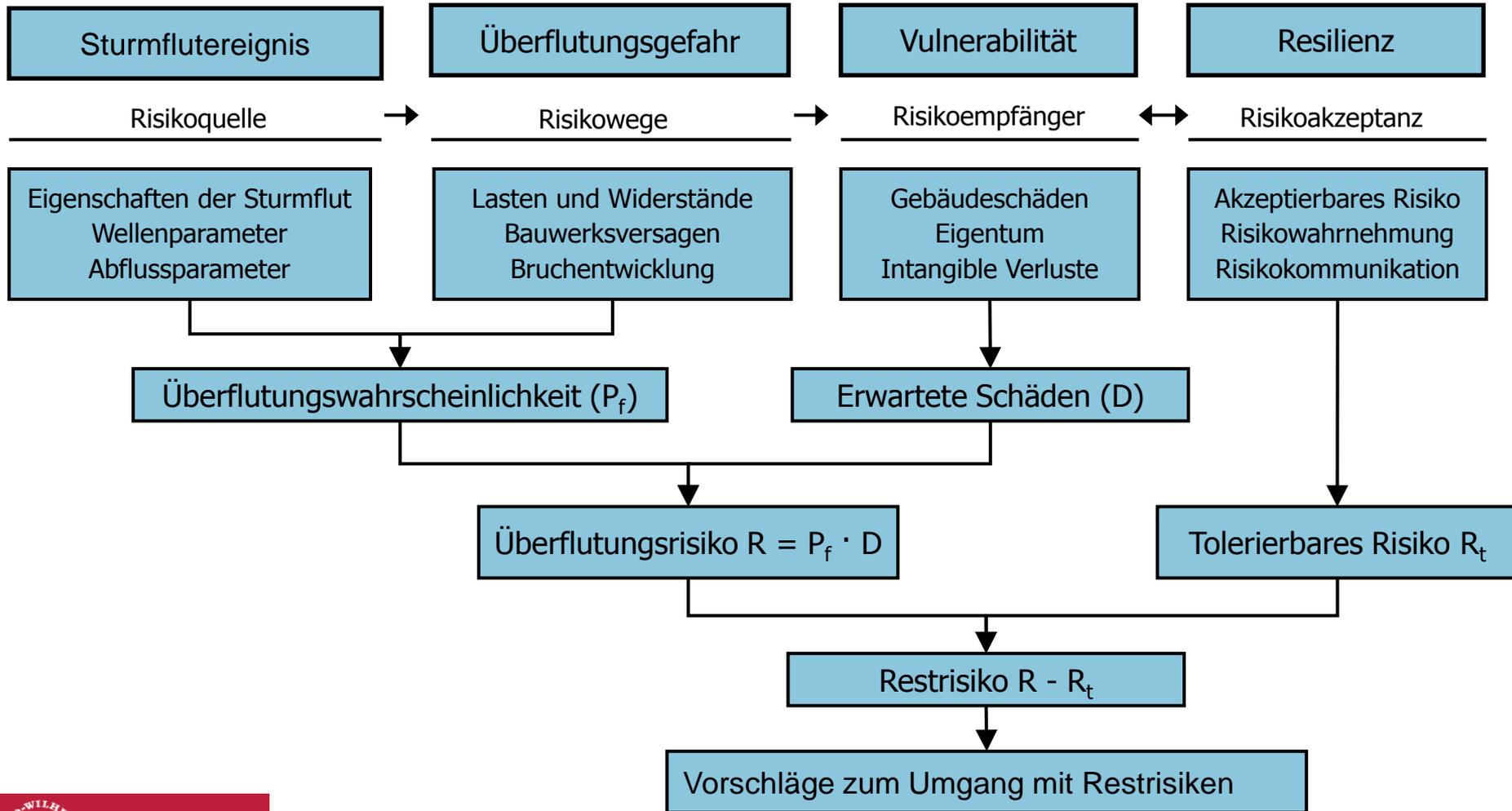
## Methodik:

- Modellierung intangibler Schäden an Mensch, Umwelt und Kultur in GIS
- Integration tangibler und intangibler Schäden
- Risikoermittlung und -bewertung

## Ergebnisse:

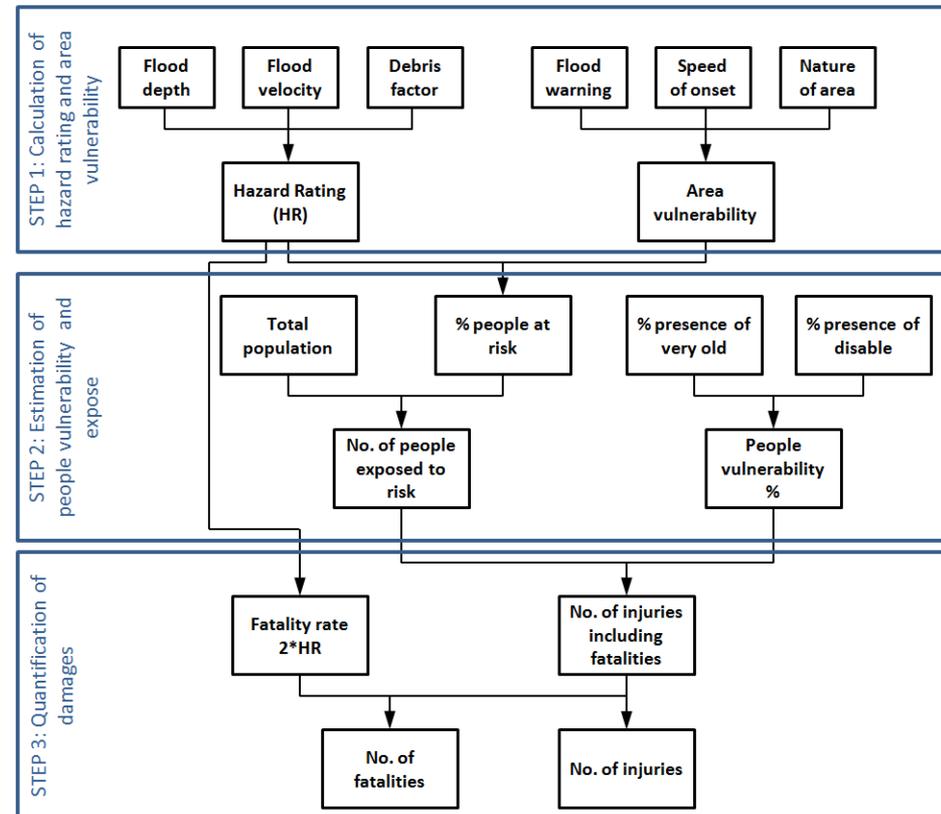
- Raumgenaue Ermittlung der intangiblen Schäden in GIS
- Integrationsmethode für tangible und intangible Schäden
- Gesamtrisiko für verschiedene Extremsturmflutszenarien

# Überblick Teilprojekt 4 | Integrierte Risikoanalyse



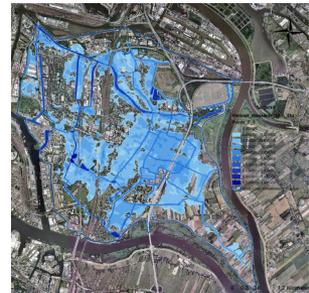
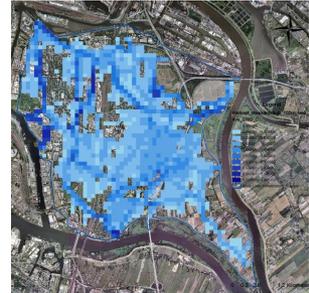
# Modellierung sozio-ökonomischer Schäden

- Modellierung „sozialer Schäden“
  - Abschätzung von Verletzten und Todesopfern
  - Ansatz nach Penning-Rowse (2005)
- Eingangsparemeter (Auswahl)
  - Überflutungshöhe
  - Fließgeschwindigkeit
  - Anzahl Betroffene
  - Expositionsgrad,
  - Gebietscharakteristik,
  - Evakuierungsmaßnahmen



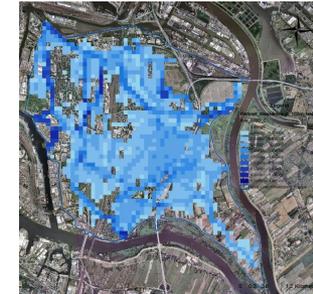
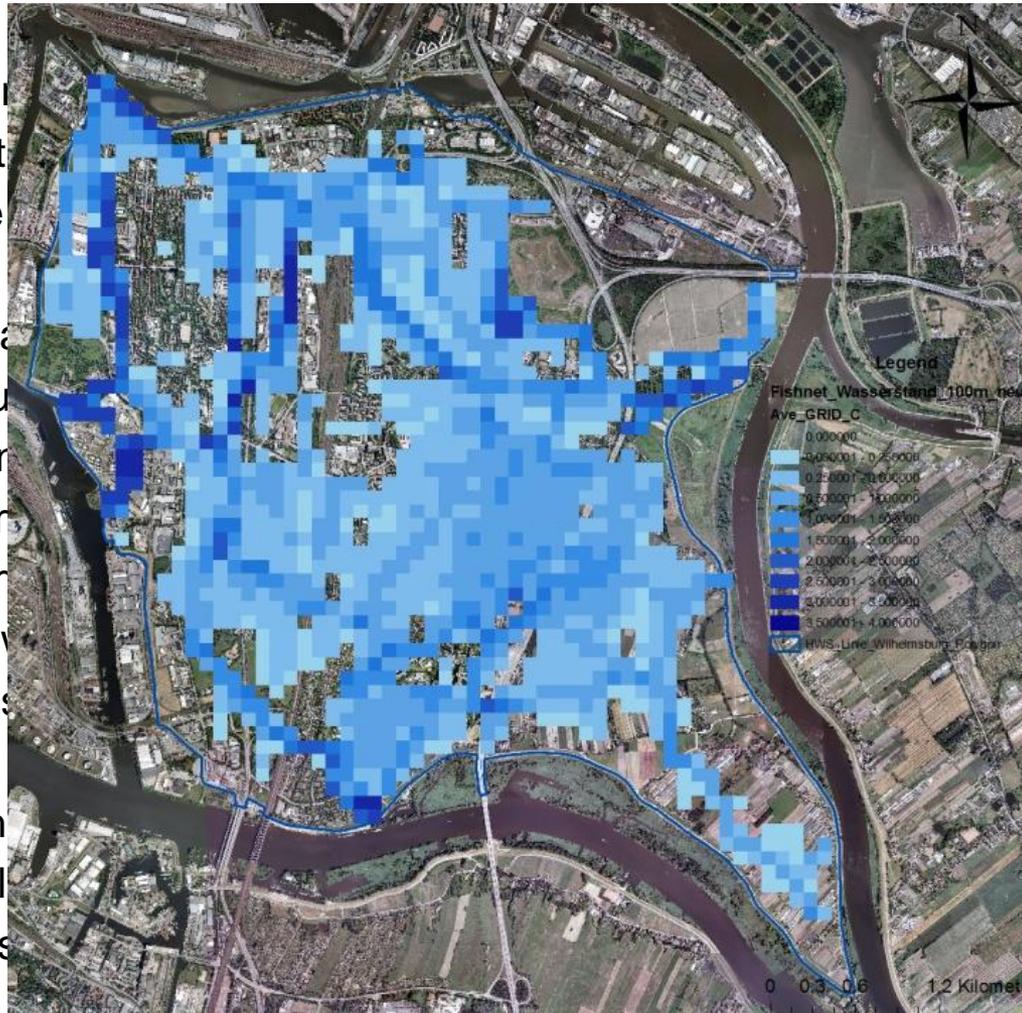
# Räumliche loss-of-life-Modellierung

- Implementierung des loss-of-life-Modells in GIS
  - Auswertung verschiedener Überflutungsszenarien
  - Analyse der räumlichen Verteilung möglicher Opfer
- Umsetzung als Geoprocessing-Tool in ArcGIS
  - Einführung einer Rasterstruktur im Projektgebiet
  - Auflösung des Rasters 100m, 50m, 10m
  - Programmierung von Geoprocessing-Workflows
    - Umwandlung der Eingangsdaten
    - Anwendung des loss-of-life-Modells
    - Ausgabe und Darstellung der Ergebnisse
- Raster-Methodik auf andere Untersuchungen übertragbar
  - Kulturelle Schäden in Wilhelmsburg
  - Ökologische Schäden auf Sylt



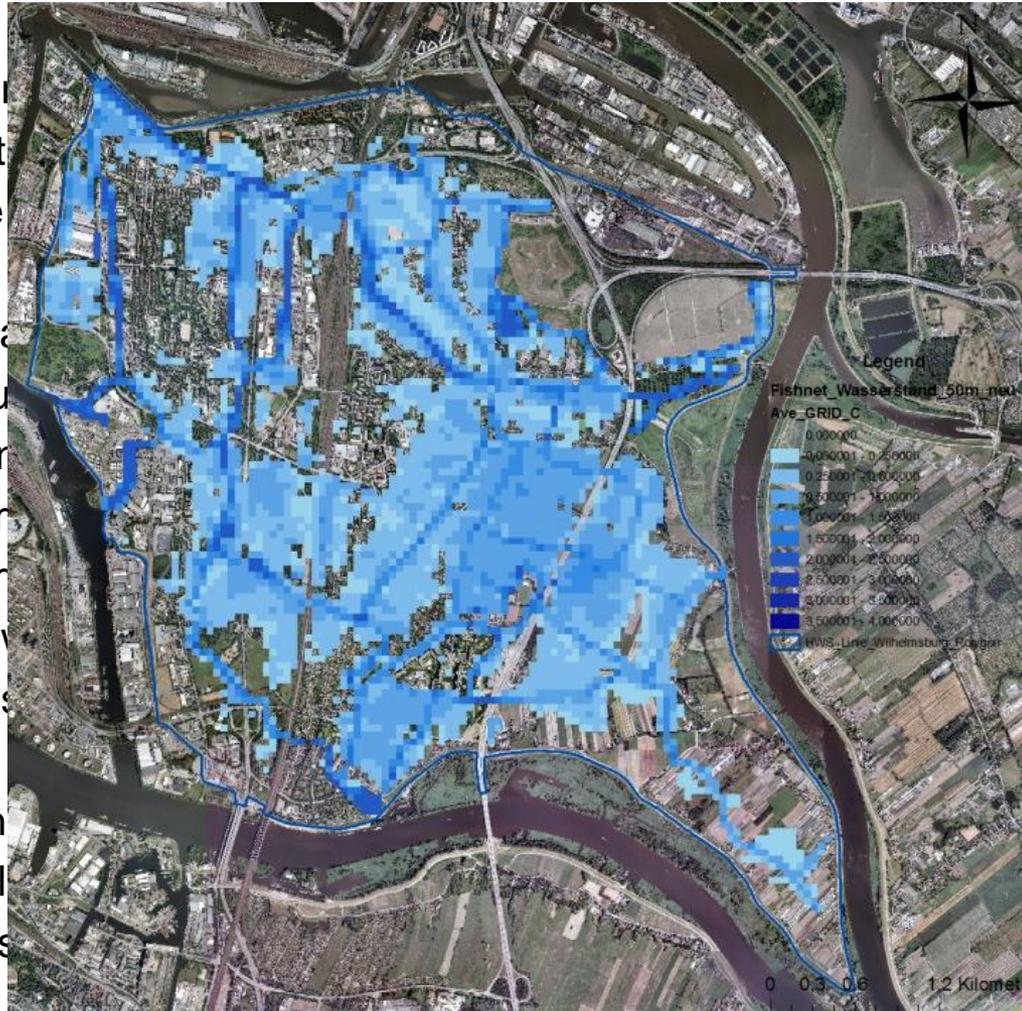
# Räumliche loss-of-life-Modellierung

- Implementierung
  - Auswertung
  - Analyse
- Umsetzung
  - Einführung
  - Auflösung
  - Programm
    - Um...
    - An...
    - Aus...
- Raster-Methode
  - Kulturell
  - Ökologis



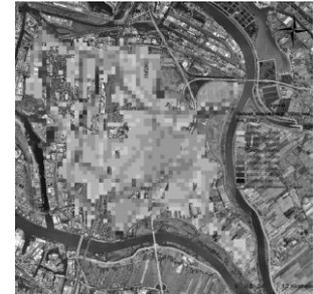
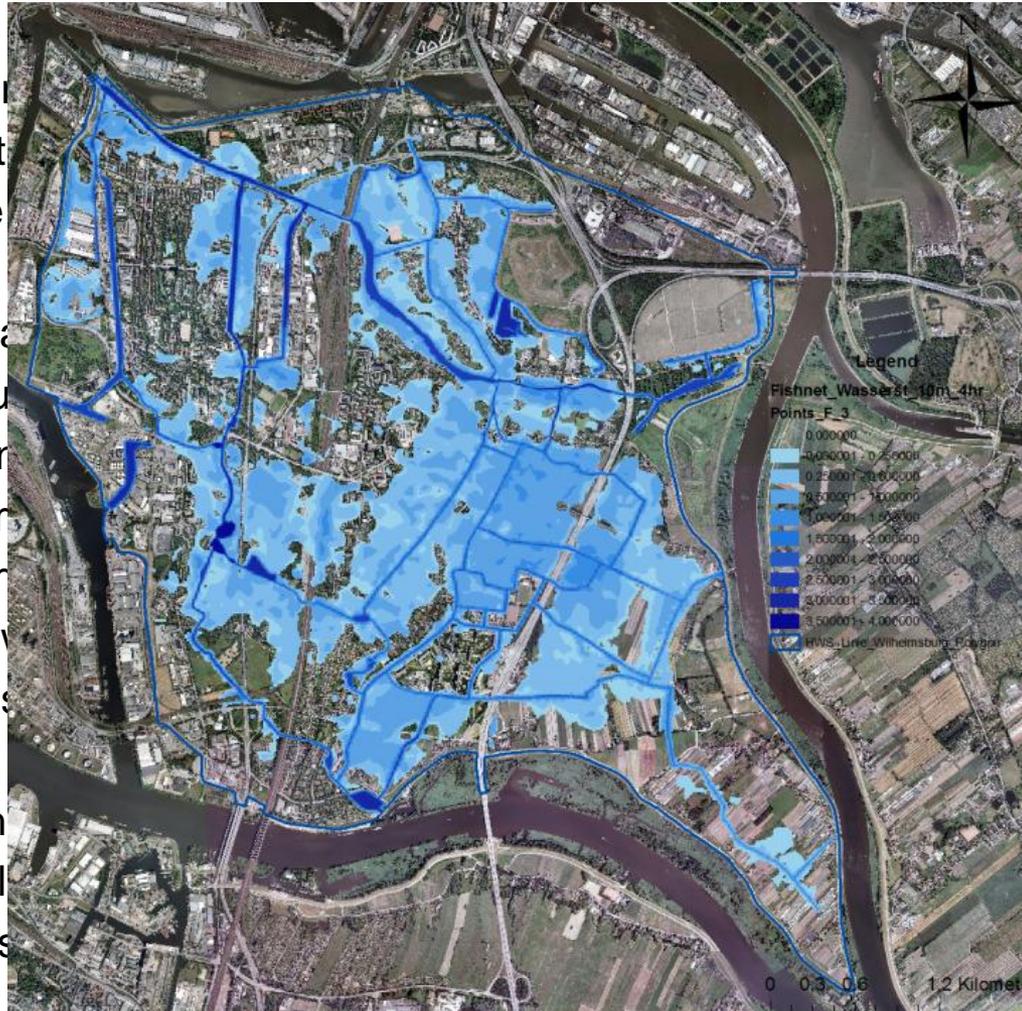
# Räumliche loss-of-life-Modellierung

- Implementierung
  - Auswertung
  - Analyse
- Umsetzung
  - Einführung
  - Auflösung
  - Programm
    - Um...
    - An...
    - Aus...
- Raster-Meth...
  - Kulturell
  - Ökologis



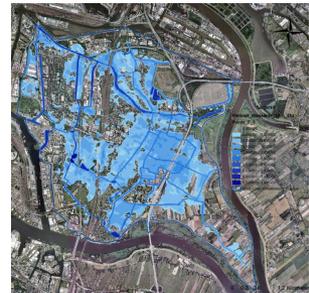
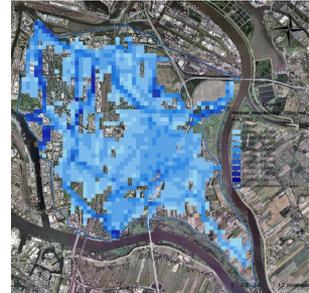
# Räumliche loss-of-life-Modellierung

- Implementierung
  - Auswertung
  - Analyse
- Umsetzung
  - Einführung
  - Auflösung
  - Programmierung
    - Um...
    - An...
    - Aus...
- Raster-Methode
  - Kulturell
  - Ökologis



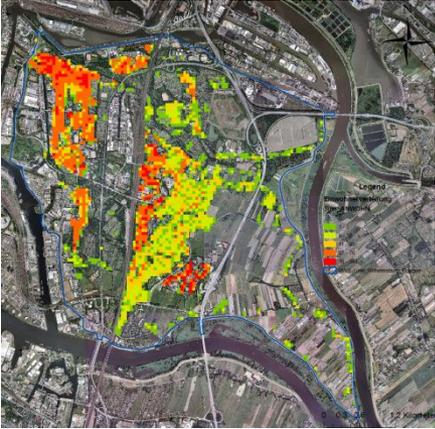
# Räumliche loss-of-life-Modellierung

- Implementierung des loss-of-life-Modells in GIS
  - Auswertung verschiedener Überflutungsszenarien
  - Analyse der räumlichen Verteilung möglicher Opfer
- Umsetzung als Geoprocessing-Tool in ArcGIS
  - Einführung einer Rasterstruktur im Projektgebiet
  - Auflösung des Rasters 100m, 50m, 10m
  - Programmierung von Geoprocessing-Workflows
    - Umwandlung der Eingangsdaten
    - Anwendung des loss-of-life-Modells
    - Ausgabe und Darstellung der Ergebnisse
- Raster-Methodik auf andere Untersuchungen übertragbar
  - Kulturelle Schäden in Wilhelmsburg
  - Ökologische Schäden auf Sylt

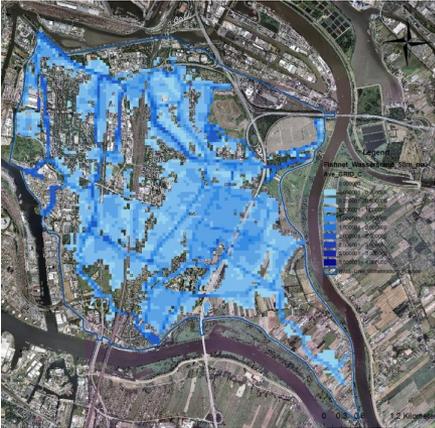


# Räumliche loss-of-life-Modellierung

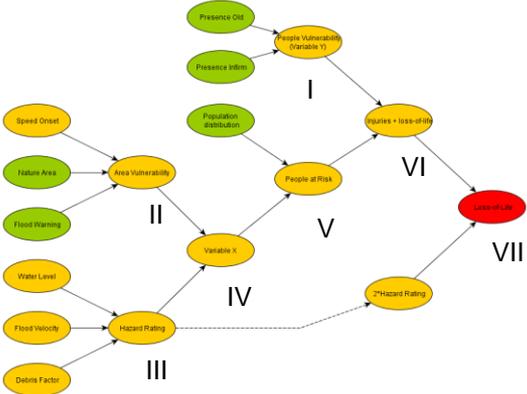
a) Eingangsdaten, u.a. Einwohnerverteilung



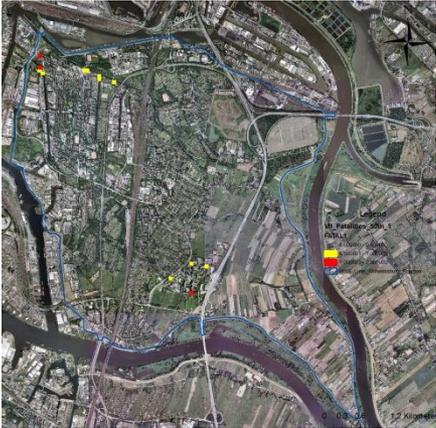
b) Überflutungsmodellierung aus TP3



c) Geoprocessing-Workflow des loss-of-life-Modells

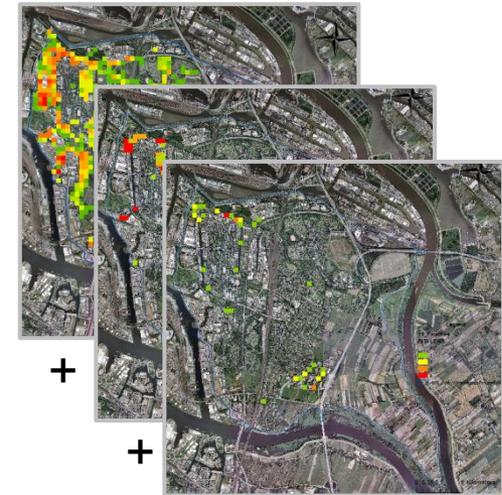


d) Ergebnis loss-of-life-Modellierung

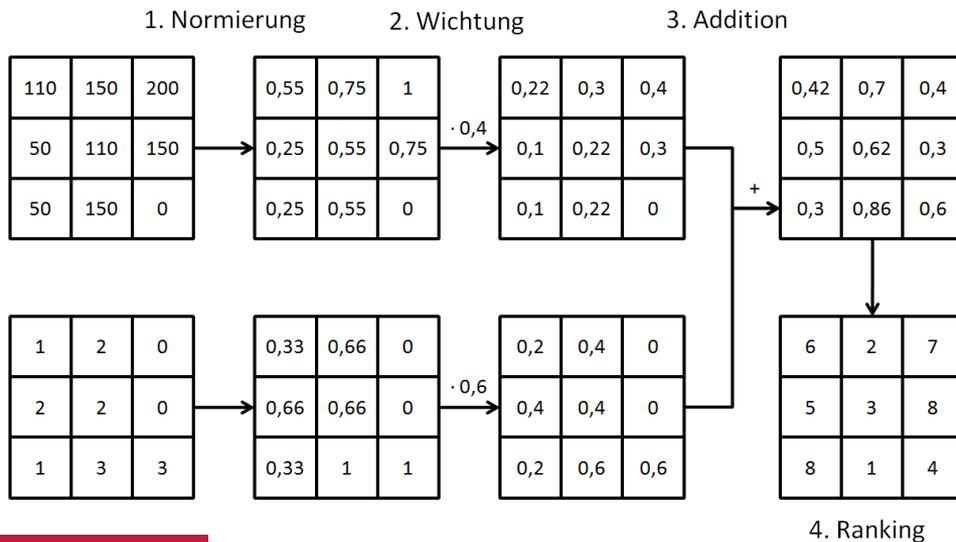
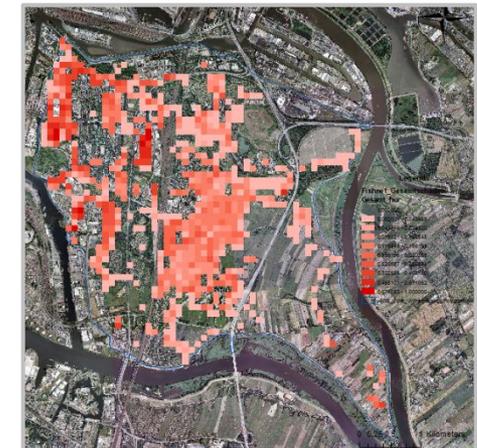


# Integration tangibler und intangibler Schäden

- Zusammenführung tangibler und intangibler Schäden
  - Ermittlung eines integrierten Gesamtrisikos
  - Untersuchung verschiedener Integrationsmethoden
- Integration mit Hilfe der Additiven Wichtungsmethode
  - Rasterbasiertes Verfahren aus der Multikriterienanalyse



=



# Inhalt

- Einführung XtremRisk
- Methodik XtremRisk
- Untersuchungsgebiete
- Beispielszenario für extreme Sturmflut
- Methodik und Ergebnisse im Teilprojekt 2
- Methodik und Ergebnisse im Teilprojekt 4
- Zusammenfassung und Ausblick



# Zusammenfassung

- Durchführung einer integrierten Risikoanalyse in XtremRisk
- Untersuchungen auf Basis des Source-Pathway-Receptor-Konzepts
- Teilprojekt 2 (Risikowege)
  - Extremsturmflutszenario verursacht Wellenüberlauf und Überströmen
  - Überflutungszenario mit 7,2 Mio. m<sup>3</sup> Überlaufvolumen
  - Zunächst kein vollständiger Bruch infolge Wellenüberlauf und Überströmen
- Teilprojekt 4 (Risikoanalyse)
  - Intangible Schäden infolge Überflutung des Untersuchungsgebietes
  - Abschätzung mit Hilfe zellenbasierter räumlicher Modelle in GIS
  - Berücksichtigung der Ergebnisse in einer integrierten Risikoanalyse

# Ausblick

- XtremRisk
  - Fortsetzung der Untersuchungen für Hamburg und Sylt für verschiedene Sturmflutszenarien „2010“ und „2100“
- Teilprojekt 2
  - Aktualisierung und Weiterentwicklung von Grenzzustandsgleichungen und Fehlerbäumen
  - Untersuchungen von zeitlichen Abhängigkeiten der Grenzzustandsgleichungen, wie z.B. vom Wasserstand des Sturmflutverlaufs
- Teilprojekt 4
  - Entwicklung und Implementierung weiterer Integrationsmethoden
  - Sensitivitäts- und Unsicherheitsanalysen
  - Durchführung der Risikoanalyse und Risikobewertung
  - Ableitung von Maßnahmen zur Reduzierung des Flutrisikos

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

- Weitere Informationen zum Projekt auf [www.xtremrisk.de](http://www.xtremrisk.de)

www.xtremrisk.de - Mozilla Firefox

http://xtremrisk.de/

Extremsturmfluten an offenen Küsten und Ästuargebieten  
Risikoermittlung und -beherrschung im Klimawandel

Englisch Deutsch Login für Partner

- Aktuelles
- Projektübersicht
  - Teilprojekt 1
  - Teilprojekt 2
  - Teilprojekt 3
  - Teilprojekt 4
- Erklärungen
- Ergebnisse
  - Teilprojekt 1
  - Teilprojekt 2
  - Teilprojekt 3
  - Teilprojekt 4
- Veröffentlichungen
- Fotos
- Links
- Impressum

**Aktuelles**

**Zwischenbericht Teilprojekt 1a verfügbar**  
01.04.2010

Der Zwischenbericht beschreibt das Verfahren zur Entwicklung einer Extremsturmflut, das im Rahmen der Arbeiten des TP1a entwickelt wurde. Grundlage des Verfahrens ist ein deterministisches Vorgehen, das die hydrodynamischen Interaktionen der einzelnen Faktoren der Sturmfluten berücksichtigt. Hierbei werden die Sturmflutkomponenten Tide, Windstau und Fernwelle einzeln betrachtet und in ihrer bisher maximalen beobachteten Ausprägung nach physikalischen Gesetzmäßigkeiten überlagert. Für die Berechnung einer realistischen Extremsturmflut ist die Untersuchung der nicht-linearen Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Komponenten erforderlich. Ausgangspunkt für das entwickelte Verfahren ist der Pegel Cuxhaven, da dieser eine homogene Zeitreihe aufweist. In einem nächsten Arbeitsschritt erfolgt die Übertragung des Verfahrens auf das Untersuchungsgebiet Sylt.

Der Zwischenbericht „Zur hydrodynamischen Interaktion zwischen den Sturmflutkomponenten Windstau, Tide und Fernwelle“ ist im internen Bereich der Projekthomepage verfügbar.

**Zwischenbericht Teilprojekt 1b verfügbar**  
30.03.2010

Der Zwischenbericht beschreibt im Detail einen stochastischen Sturmflutgenerator, der im Rahmen der Arbeiten des TP1b entwickelt wurde und die Grundlage für die anschließenden statistischen Analysen bildet. Die wichtigsten Schritte bei der stochastischen Sturmflutsimulation sind die Kollektivbildung, die Parametrisierung, die Anpassung univariater parametrischer Verteilungsfunktionen, die Durchführung von Monte-Carlo Simulationen und die Rekonstruktion von Sturmflutverläufen. Da sich die Untersuchungspegel nicht zwangsläufig in unmittelbarer Nähe zu den Untersuchungsgebieten befinden, wurden empirisch deterministische Transfermodelle zur Übertragung von Sturmflutverläufen erarbeitet. Anschließend werden innovative Verfahren der multivariaten Statistik, basierend auf Copula-Funktionen, vorgestellt und in Kombination mit den Simulationsergebnissen zur statistischen Einordnung der Ergebnisse aus den Teilprojekten 1a und 1b genutzt.

**Gefördert vom**

Bundesministerium für Bildung und Forschung

**Projektpartner**

LWI  
WASSERBAU  
River and Coastal Engineering

fwu  
Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer

**Kooperative Partner**

HPA  
Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer

Fertig

