



Extremsturmfluten an offenen Küsten und in Ästuargebieten:

Risikoermittlung und –beherrschung im Klimawandel

Projektbearbeiter:

Dr. rer. nat. habil. Gabriele Gönnert, LSBG Hamburg
Prof. Dr.-Ing. Jürgen Jensen, fwu, Universität Siegen
Prof. Dr.-Ing. Hocine Oumeraci und
Dr.-Ing. Andreas Kortenhau, LWI, TU Braunschweig
Prof. Dr.-Ing. Erik Pasche IfW, TU Hamburg-Harburg

Projektleitung: Prof. Dr.-Ing. H. Oumeraci

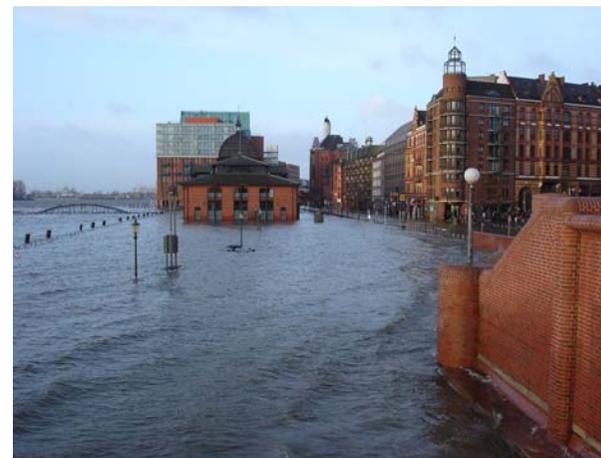
14. KFKI-Seminar
Bremerhaven, 28.10.2009

Inhalt

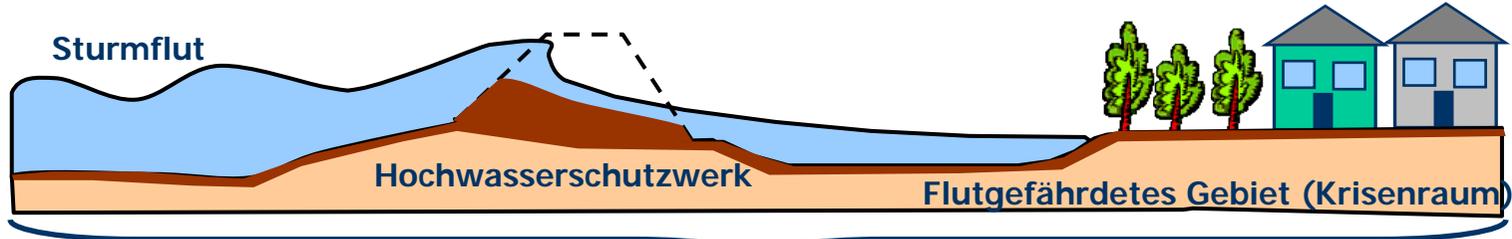
- **Projektübersicht**
- **Teilprojekt 1 – Extreme Sturmfluten**
- **Teilprojekt 2 – Hochwasser- und Küstenschutz-Werke**
- **Teilprojekt 3 – Schadensermittlung**
- **Teilprojekt 4 – Risikoanalyse**
- **Ausblick**

Übergeordnetes Ziel des Verbundprojekts

- **Ermittlung von physikalisch möglichen extremen Sturmfluten und integrierte Risikoanalyse auf der Basis des „Source-Pathway-Receptor - Konzepts“ für offene Küsten (Beispiel Sylt) und den Ästuarraum (Beispiel Hamburg), einschließlich Unsicherheitsanalysen und Sensitivitätsanalysen**



Source-Pathway-Receptor - Konzept



TP4: Integration (Risikoanalyse, Risikobewertung und Risikobeherrschung)



Teilprojekte im Überblick

- **Teilprojekt 1 - Extreme Sturmfluten (Risikoquelle):**
Prof. Jensen (Teilprojektleiter), Dr. Gönnert (Teilprojektleiter)
- **Teilprojekt 2 - Belastung, Bruch und Bruchentwicklung von Hochwasserschutzwerken (Risikowege):**
Prof. Oumeraci (Teilprojektleiter) und Dr. Kortenhaus
- **Teilprojekt 3 - Schadensermittlung und –bewertung (Risikoempfänger):**
Prof. Pasche (Teilprojektleiter)
- **Teilprojekt 4 – Risikoanalyse, Risikobewertung und Empfehlungen für Risikobeherrschung (Integration):**
Prof. Oumeraci (Teilprojektleiter), Dr. Gönnert, Prof. Jensen, Dr. Kortenhaus, Prof. Pasche





Teilprojekt 1: Extreme Sturmfluten (Risikoquelle)

TP1a: LSBG, Dr. Gabriele Gönnert, Sigrid Thumm

TP1b: fwu, Prof. Jürgen Jensen, Thomas Wahl

TP 1: Extreme Sturmfluten (Risikoquelle)

- **Zielsetzung**

- Welche Extremwerte der einzelnen Sturmflutkomponenten sind physikalisch möglich?
- Wie lassen sie sich physikalisch sinnvoll zu extremen Sturmfluten kombinieren?
- Wie können Unsicherheiten dabei explizit berücksichtigt werden?

- **Zeitskala**

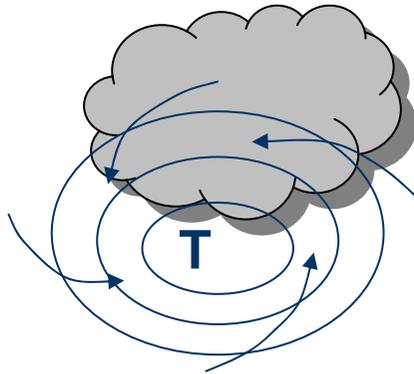
- Derzeitige Bedingungen (2010)
- Zukünftige Klimaänderungen (2100)

- **Ergebnisse**

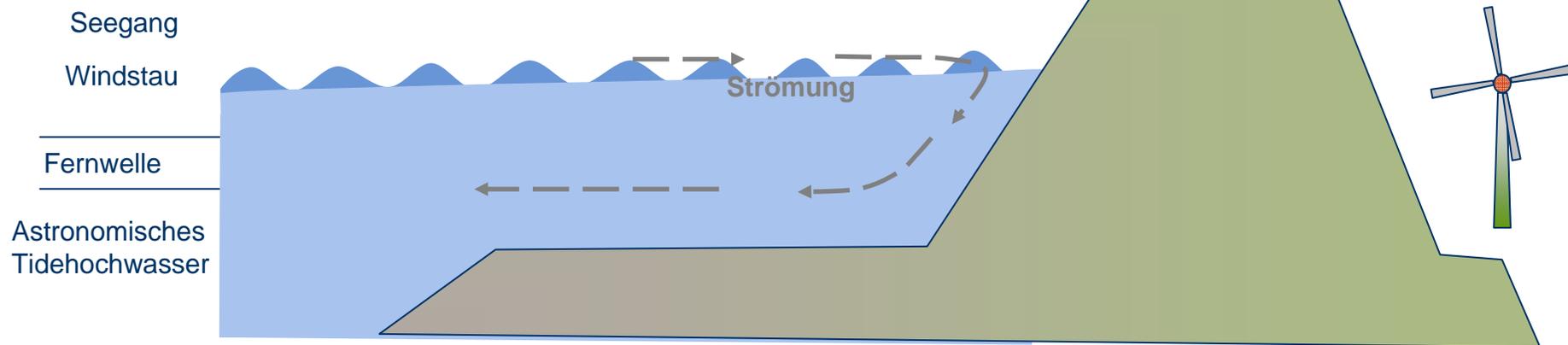
- Verlaufskurven und Seegangparameter der extremen Sturmflut, inkl. deren Unsicherheiten (pdf, jpdf)
- werden (für HH über BAW) an TP 2 und TP3 geliefert



Physik der Sturmflut



- Windstau bei Tnw
445 cm (astronomische Tide)
- Spring- und Nipptide:
bis zu 58 cm Differenz zur mittleren Tide
- Fernwelle aus dem Atlantik:
bis 110 cm in Cuxhaven

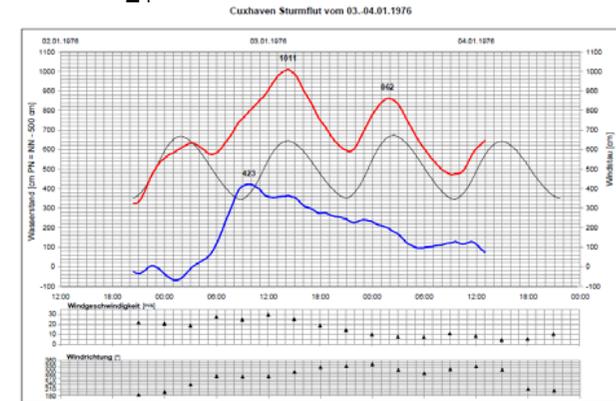
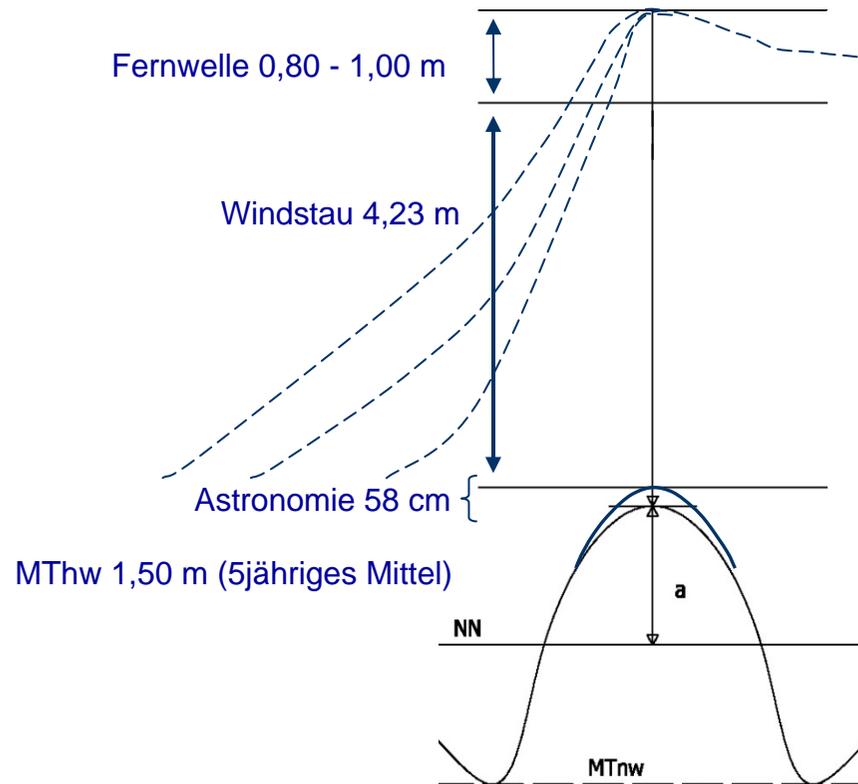


Nichtlineare Überlagerung - Faktoren einer Sturmflut



Folgerung: Extremsturmfluten

7,33 m ü. NN (Cuxhaven)



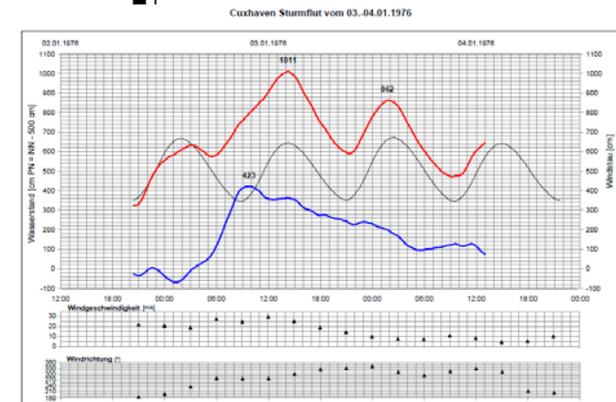
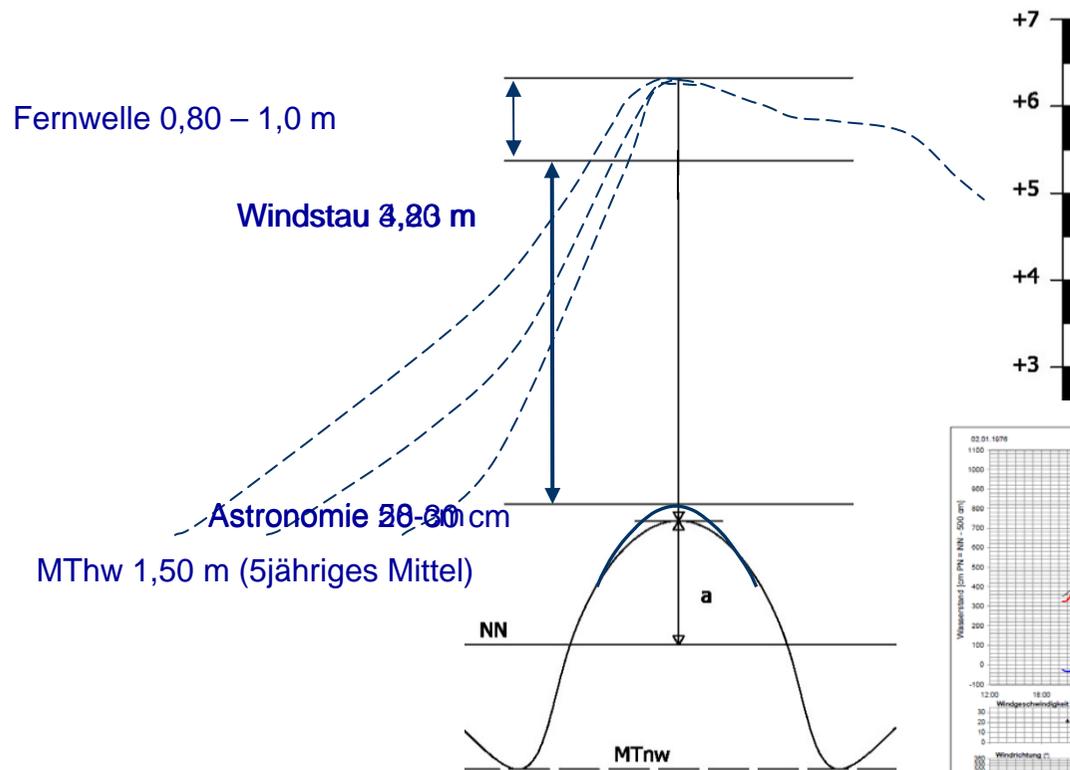
Sturmflutverlauf unter linearer Berücksichtigung aller Faktoren

Extremsturmflut bei Berücksichtigung des Windstaus vom 03.01.1976



Folgerung: Extremsturmfluten

6,10 – 6,30 m ü. NN (Cuxhaven)



➡ Sturmflutverlauf unter physikalischer Berücksichtigung aller Faktoren

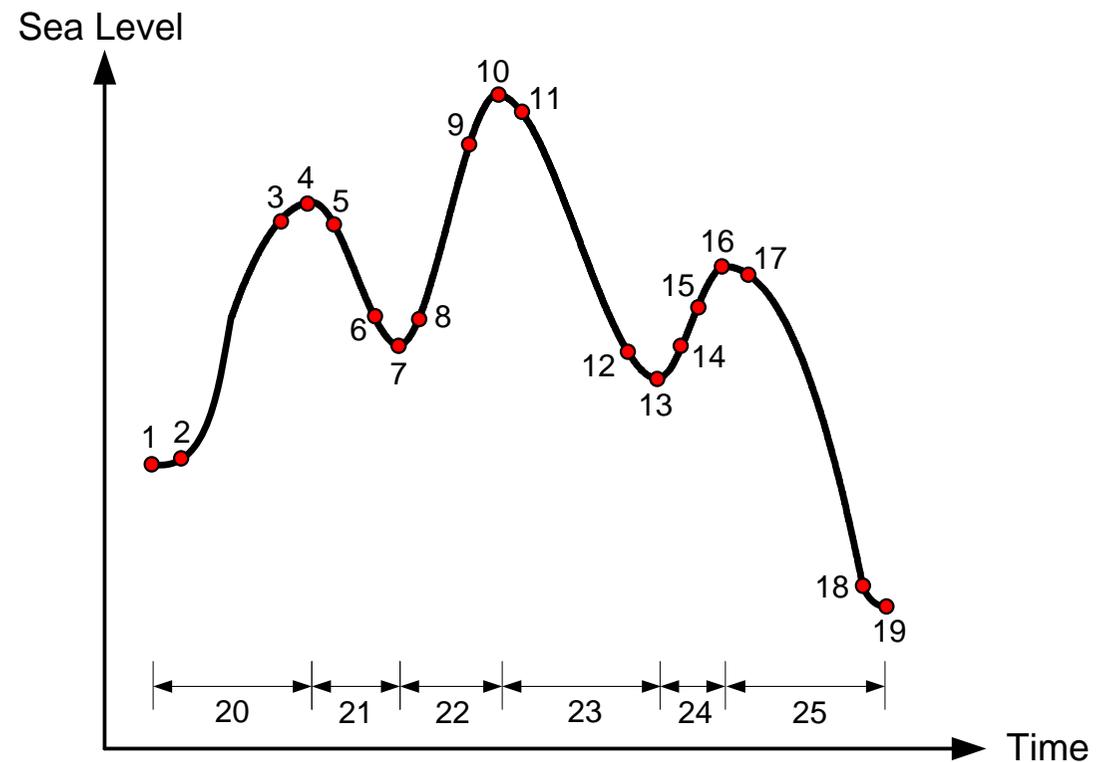
Extremsturmflut bei Berücksichtigung des Windstaus vom 03.01.1976



Automatische Parametrisierung

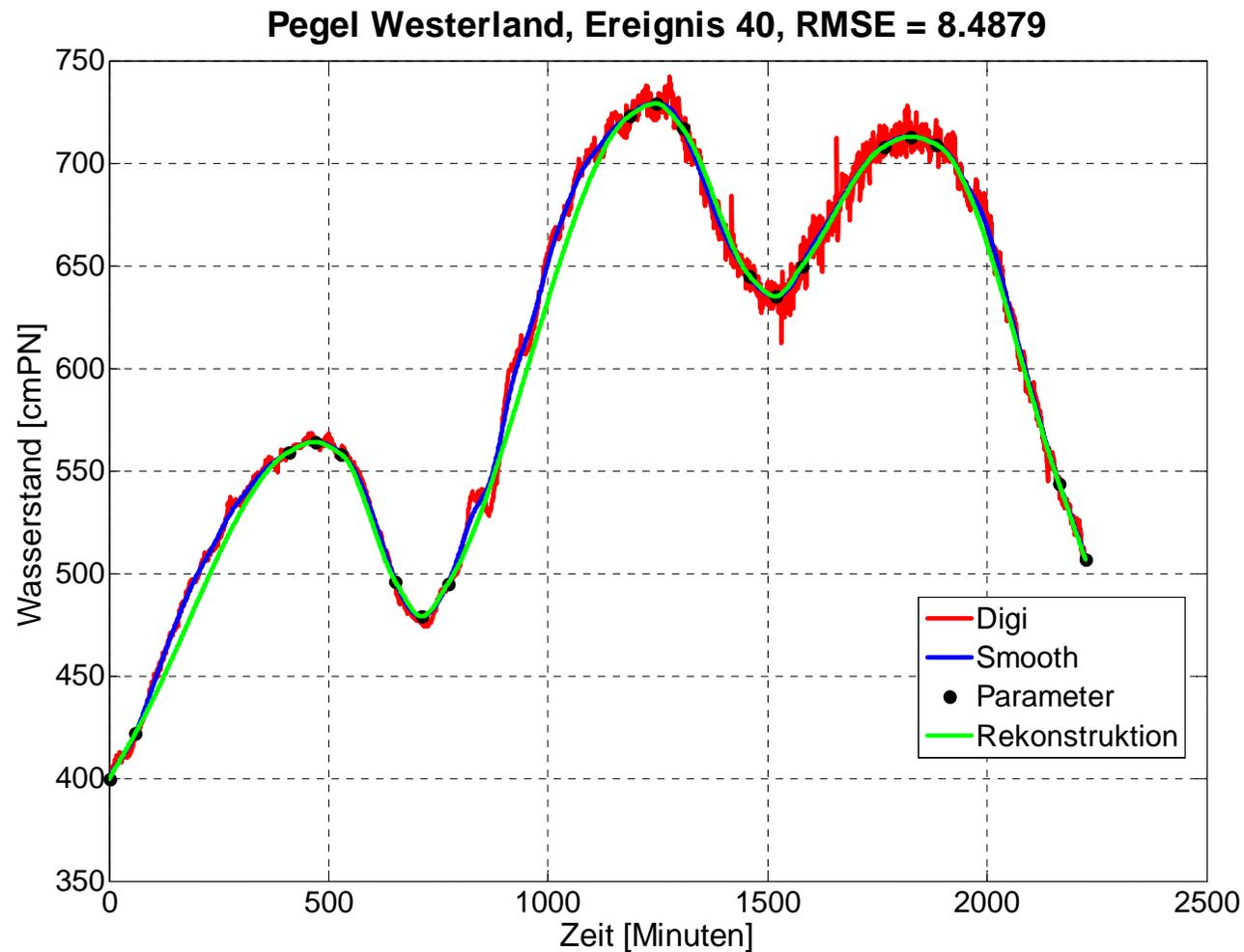
Benötigte Parameter

- 19 Wasserstandsparameter
- 6 Zeitparameter
- z.B. Parameter 3 und 5:
Wasserstand je 1h vor bzw.
nach dem Scheitel
(Parameter 4)
- z.B. Parameter 20:
Zeitdifferenz zwischen Tnw
und nachfolgendem Thw



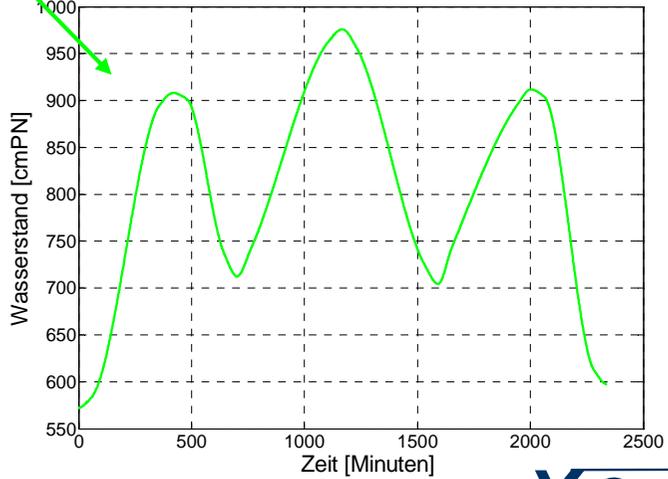
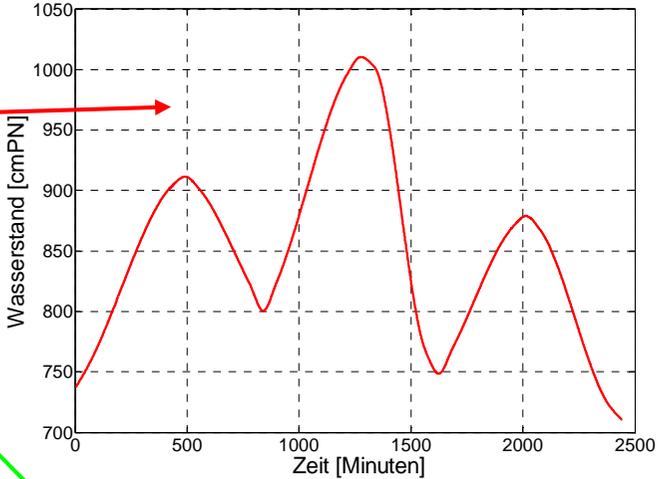
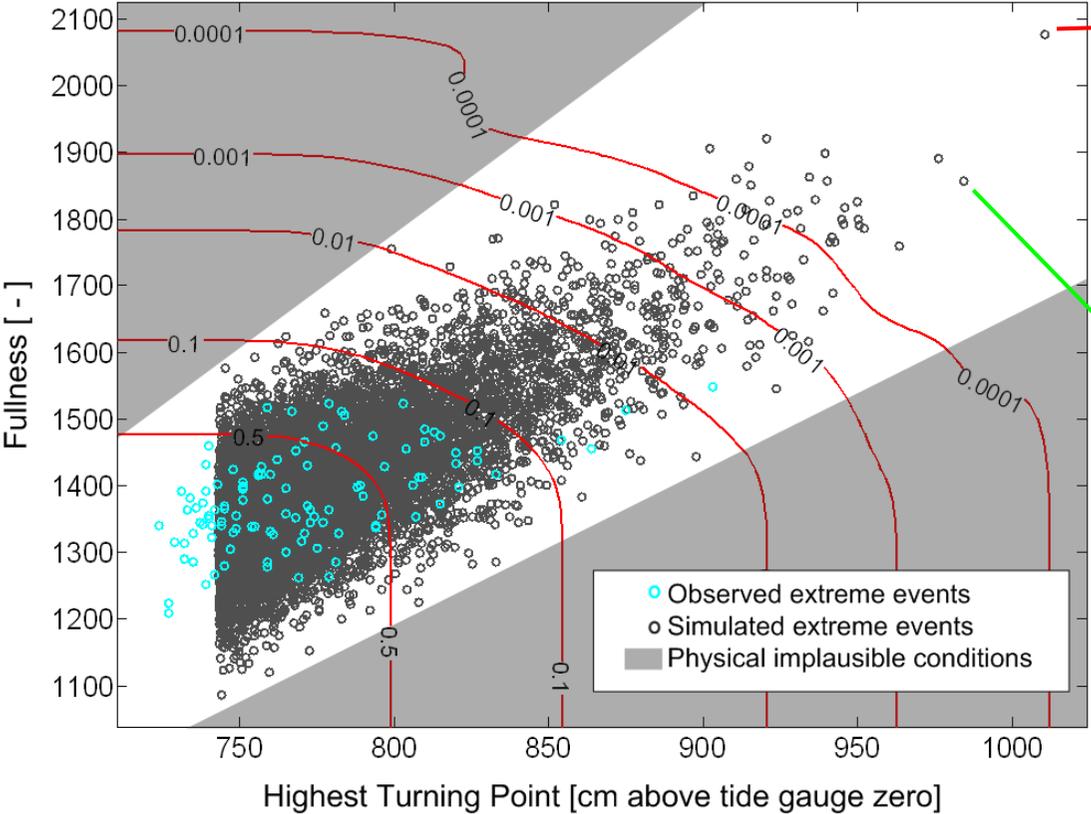
Automatische Parametrisierung

Matlabtool „ParaXtremes“ – Bsp.-Ergebnisse



Kombinierte Eintrittswahrscheinlichkeiten

Zwischenergebnisse – Hörnum (1969 – 2008)





Teilprojekt 2: Hochwasser- und Küstenschutz- Werke (Risikowege)

LWI, Prof. Hocine Oumeraci,
Dr. Andreas Kortenhaus, Marie Naulin



TP 2: HWKS-Werke (Risikowege)

- **Zielsetzung**

- Belastung und Stabilitätsverhalten der Hochwasser-Küstenschutz-Systeme (HWKS)
- Bruch und Bruchentwicklung bei Versagen der HWKS-Bauwerke
- Versagenswahrscheinlichkeiten der jeweiligen HWKS-Systeme

- **Zeitskala**

- Derzeitige Bedingungen (2010)
- Zukünftige Klimaänderungen (2100)

- **Ergebnisse**

- Überflutungswahrscheinlichkeit des HWKS-Systems
- Initialbedingungen für die Flutwelle an den Bruchstellen
- Wird an TP 3 und 4 geliefert



Ergebnisse der Abschnittseinteilung Hamburg

- **Teilgebiete in Hamburg**

- Wilhelmsburg: 69 Abschnitte
- Polder Hamburg Süd: 85 Abschnitte
- Altstadt (Innenstadt): 13 Abschnitte

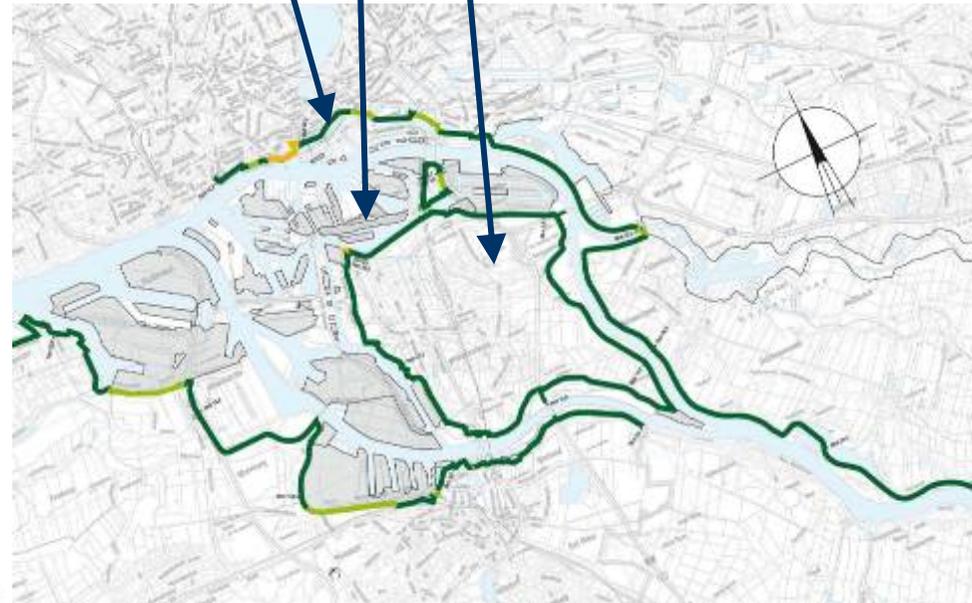
Landesbetrieb
Straßen, Brücken
und Gewässer



**Bauprogramm
Hochwasserschutz**
Stand: Februar 2007

- fertig gestellt
- Im Bau bzw. in Bauvorbereitung
- Planungsarbeiten eingeleitet
- Planungen noch aufzunehmen
- Polder
- Deich – km

Kartengrundlage: Karte von Hamburg und Umgebung 1:50 000 – Stand 2007
Kartographie und Druck: Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung 2007



HWKS-Abschnitte Wilhelmsburg, Hamburg

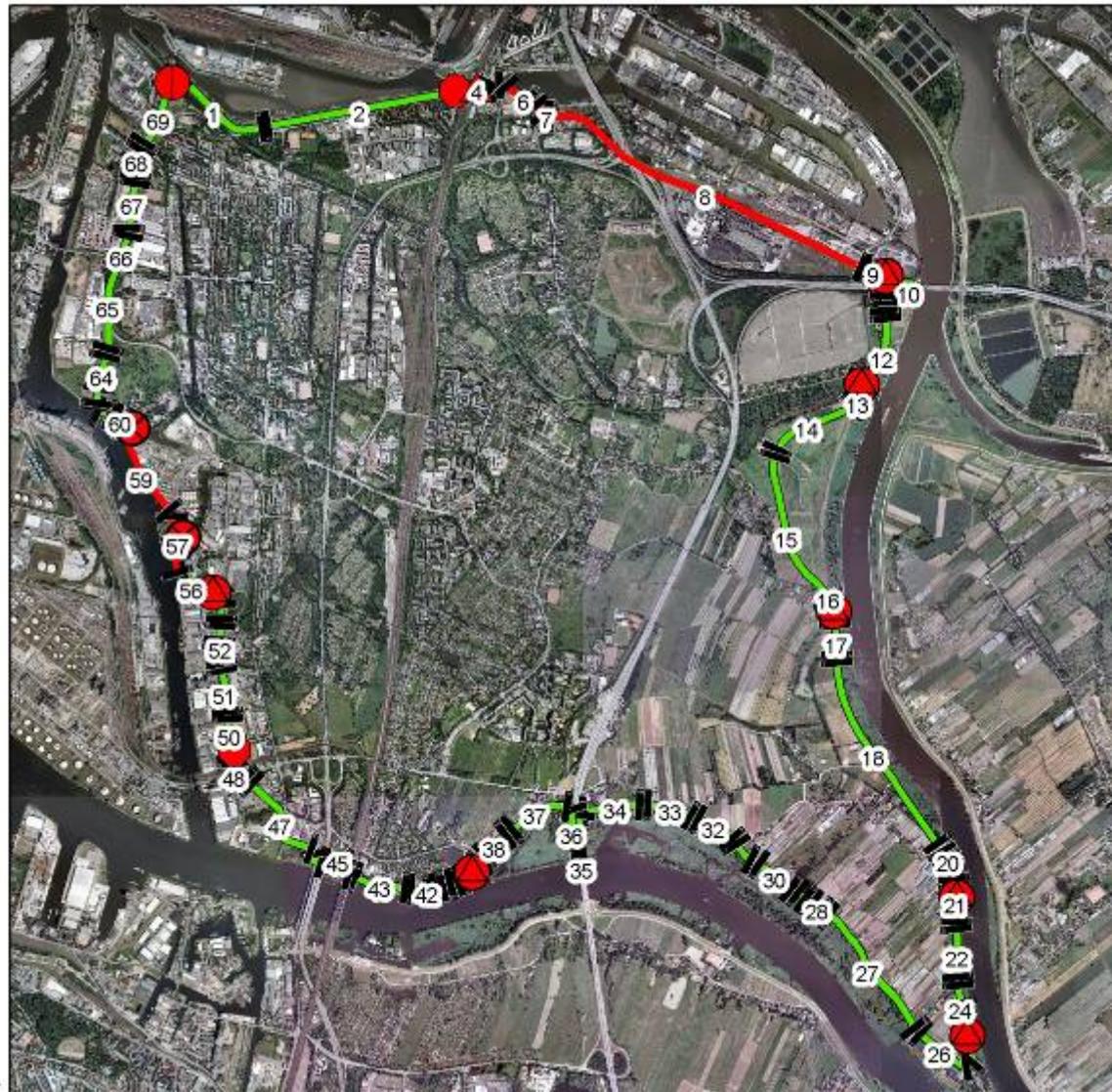
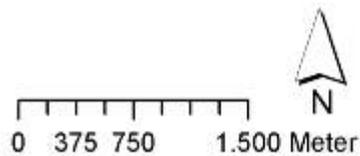
Legende

Punktuelle Bauwerke

-  Siel
-  Schöpfwerk
-  Sperrwerk
-  Dammbalken
-  Schleuse
-  Sandsackwall

Abschnitte

-  Deich
-  HWS-Wand



Übersicht vorhandener Bauwerke

- **Hamburg**

- Deich
- HWS-Wand
- HWS-Tor
- Schleuse
- Sperrwerk
- Siel, Schöpfwerk
- Dammbalkenverschluss
- Sandsackwall

- **Sylt**

- Düne
- Deich
- Deckwerk
- (Strand-)Mauer
- Stöpe



Hamburg: Deich



Hamburg: Dammbalken



Hamburg: HWS-Wand



Hamburg: Sperrwerk



Sylt: Düne



HH: Schleuse



Katalog der Versagensmechanismen

	Bauwerk	Versagensmechanismen (VM)				Fehlerbaum
		Vorh.	Entw.	Bruch	Betrieb	
Hamburg	Deich	>25 VM	Erf.	Vorh.	-	Vorh.
	HWS-Wand	>5 VM	Erf.	-	-	(Vorh.)
	Schleuse	>3 VM	Erf.	-	Erf.	Vorh.
	Sperrwerk	>3 VM	Erf.	-	Erf.	Vorh.
	Siel	???	Erf.	-	Erf.	Erf.
	Dammbalken	???	Erf.	-	Erf.	Erf.
	Sandsack	>2 VM	Erf.	-	Erf.	Erf.
Sylt	Düne	>2 VM	Erf.	Vorh.	-	Erf.
	Deckwerk	>3 VM	Vorh.	-	-	Vorh.
	Mauer	>2 VM	Erf.	-	-	(Vorh.)
	Stöpe	???	Erf.	-	Erf.	Erf.



Teilprojekt 3: Schadensermittlung (Risikoempfänger)

TUHH, Prof. Erik Pasche, Gehad Ujeyl



TP 3: Schadensermittlung (Risikoempfänger)

- **Zielsetzung**

- Modellierung der Wasserstände und Wellenhöhen in Hamburg
- Direkte Schäden infolge Flutwellenausbreitung
- Ermittlung der direkten und indirekten ökonomischen Schäden in den Pilotgebieten

- **Zeitskala**

- Derzeitige Bedingungen (2010)
- Zukünftige Klimaänderungen (2100)

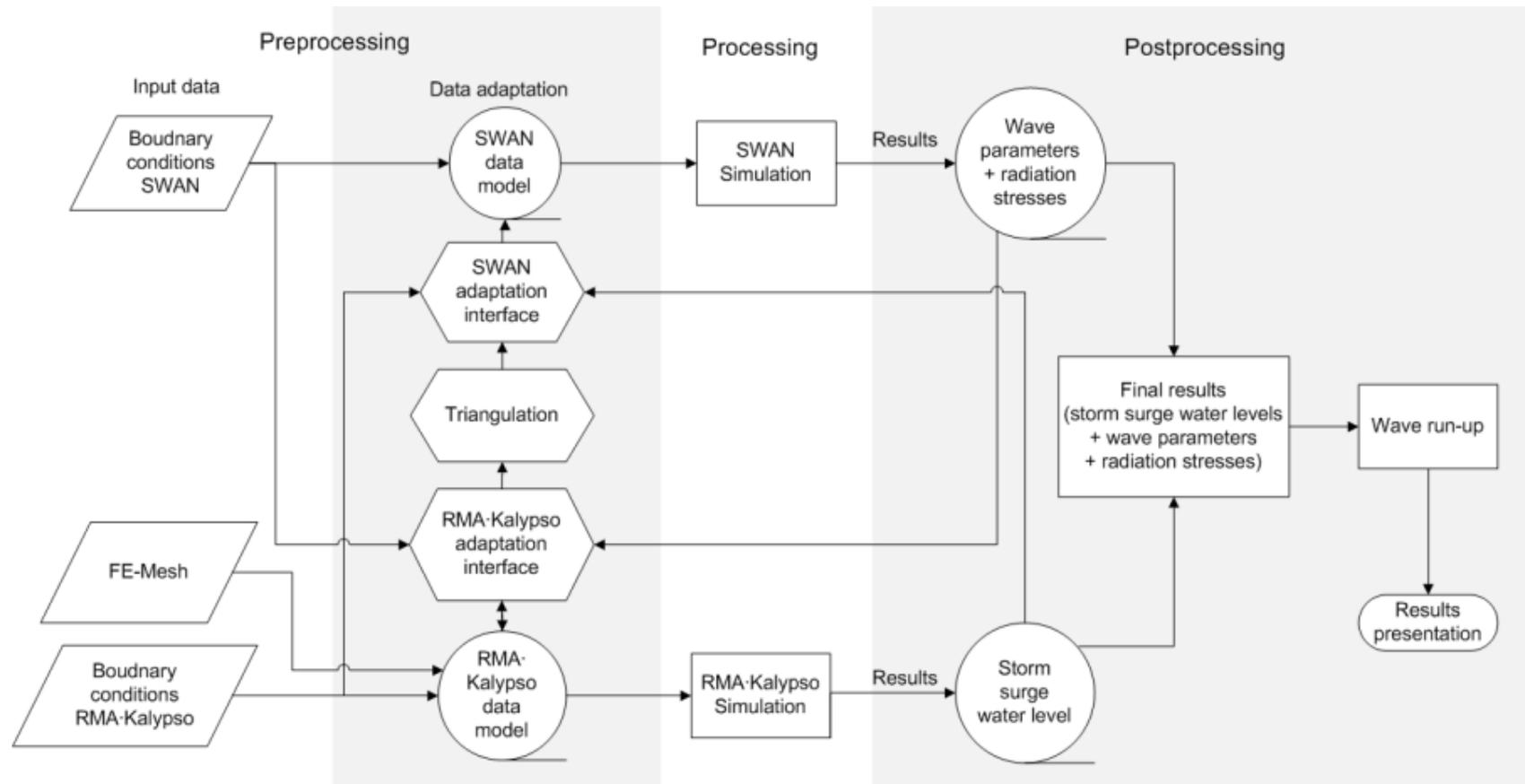
- **Ergebnisse**

- Angabe der Wasserstände und Wellenhöhen an der HWKS-Linie
- Wird an TP2 geliefert
- Angabe des ökonomischen und direkten Schadens für Überflutungen der Pilotgebiete
- Wird an TP 4 geliefert



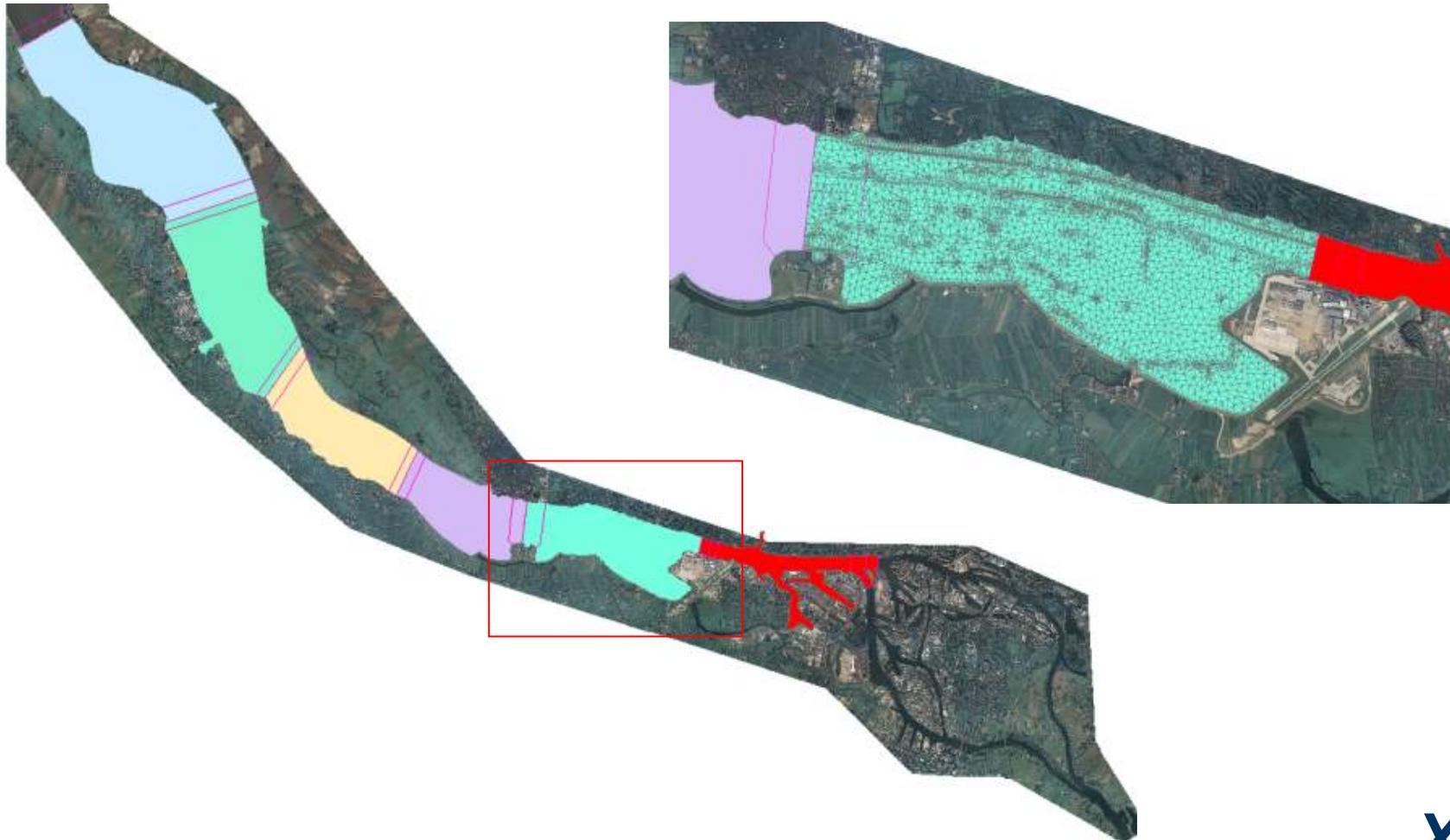
Modellierung der Wasserstände und Wellenhöhen, HH

- Erweiterung der Modellplattform „Kalypso“



Modellierung der Wasserstände und Wellenhöhen, HH

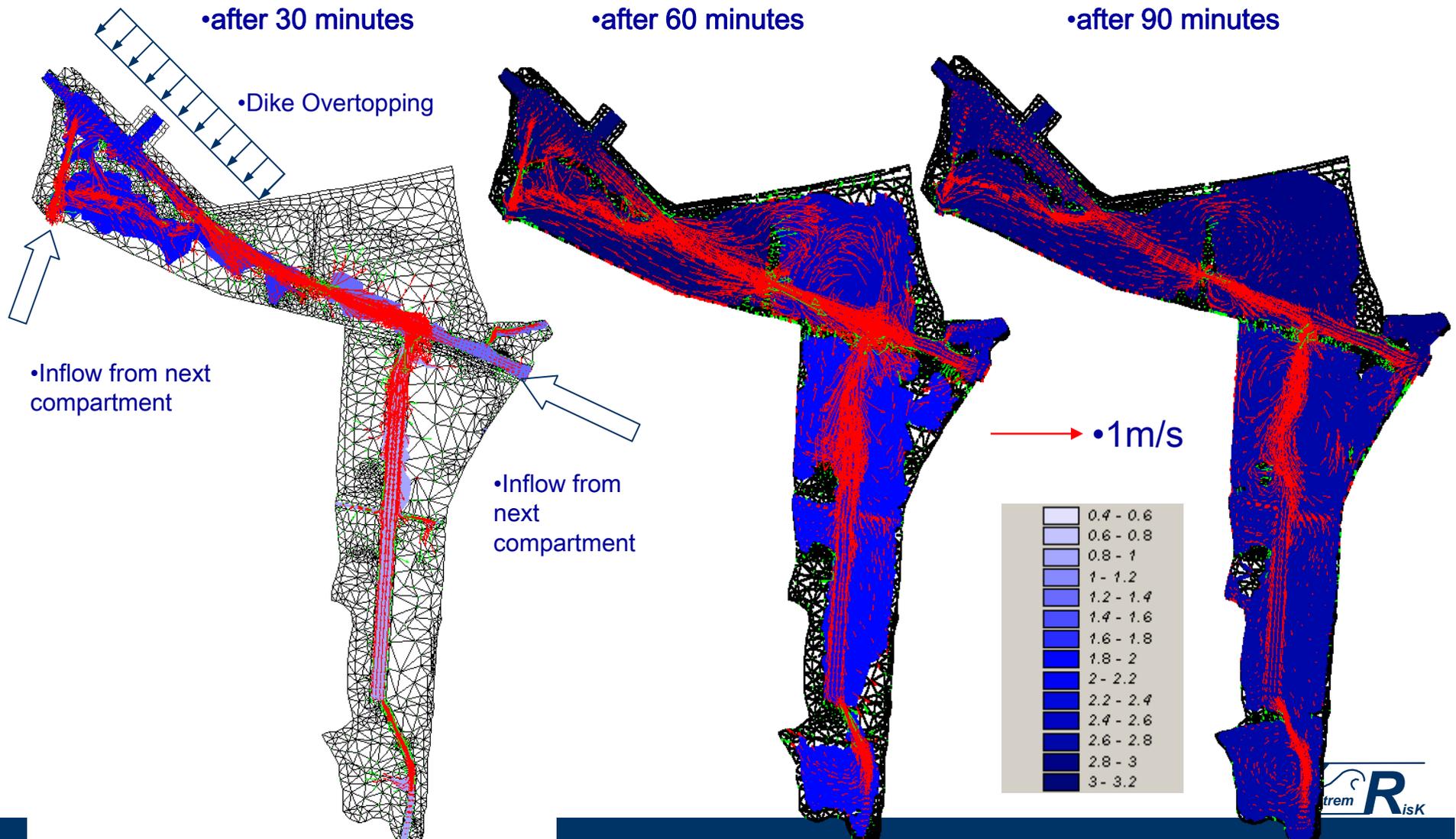
- Unterteilung des 2d-Modells in Teilgebiete



Modellaufbau



Simulation der Flutung im Deichhinterland





Teilprojekt 4: Risikoanalyse, Risikobewertung und Empfehlungen für Risikobeherrschung (Integration)

LWI, Prof. Hocine Oumeraci,
Dr. Andreas Kortenhaus, Andreas Burzel



TP 4: Risiko-Analyse/Bewertung/Beherrschung (Integration)

- **Zielsetzung**

- Bestimmung der intangiblen Schäden und deren Zusammenführung mit den tangiblen Schäden aus TP3
- Durchführung der Risikoanalyse
- Bewertung der ermittelten Flutrisiken und Bestimmung der Akzeptanzgrenzen
- Handlungsempfehlungen für die Reduzierung der Flutrisiken

- **Zeitskala**

- Derzeitige Bedingungen (2010)
- Zukünftige Klimaänderungen (2100)

- **Ergebnisse**

- Risikoermittlung für Hamburg und Sylt
- Risikobewertung und Maßnahmen für die Risikobeherrschung



Definition Intangible Schäden

- **Intangible Schäden (intangible losses)**
 - intangible (engl.) = nicht greifbar, vage, immateriell
 - nicht oder nur schwer in monetären Einheiten auszudrücken
 - sozioökonomische Schäden
 - Schäden am Menschen
 - Schäden am Ökosystem
 - Schäden an Kulturgütern



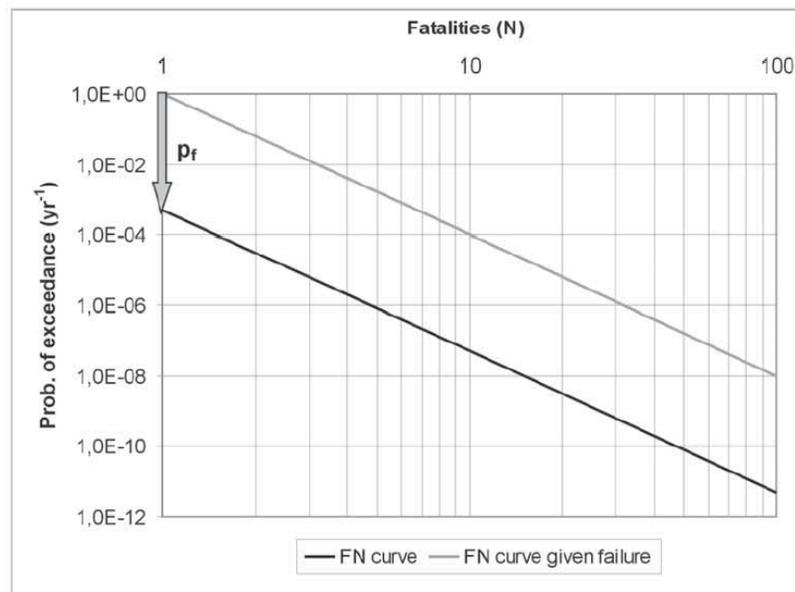
Quelle: Wikipedia - Sturmflut 1962 in Wilhelmsburg



Probleme und Grenzen

- **Hauptprobleme**

- Quantifizierung: Schadensfunktionen
- Bewertung: Monetarisierung
- Übertragbarkeit: Einzigartigkeit extremer Ereignisse
- ethische Grenzen: Bewertung von Menschenleben



Quelle: (Jonkman, 2007: 101)

Ausblick

- **TP1:**
 - Entwicklung von Verfahren zur Ableitung von möglichen Sturmflutverläufen und deren Eintrittswahrscheinlichkeiten
 - Ermittlung der maßgebenden Sturmflutwasserstände
- **TP2:**
 - Fehlerbaumanalyse
 - Bruchentwicklung
- **TP3:**
 - Ermittlung maßgebender Wasserstands- und Wellenhöhen (HH)
 - Vulnerabilitätsanalyse für Hamburg und Sylt
- **TP4:**
 - Modellierung sozio-ökonomischer intangibler Schäden für Hamburg und Sylt (Forts.)
 - Bestimmung der Akzeptanzgrenzen

Homepage

www.xtremrisk.de

www.xtremrisk.de - Mozilla Firefox

Datei Bearbeiten Ansicht Chronik Lesezeichen Extras Hilfe

http://www.xtremrisk.de/?page=result_subpage&subpage=1

XtremRisk

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**

Ergebnisse des Teilprojekts 1

Die empirischen Untersuchungen berücksichtigen die Einzelkomponenten einer Sturmflut. Der maximale Wasserstand einer Sturmflut setzt sich aus der astronomischen Tide und dem Windstau zusammen. Zusätzlich zu diesen beiden Faktoren wird jede vierte Sturmflut in der Nordsee von einer Fernwelle mit einem Maximum über 60 cm beeinflusst. Diese Faktoren überlagern sich nicht linear. Erste Ergebnisse zeigen, dass zur Beschreibung der Interaktion zwischen Wind, Windstau und resultierendem Wasserstand nicht, wie bisher angenommen, die vorausberechnete astronomische Tidekurve zum Betrachtungszeitpunkt, sondern der eingetretene Wasserstand ein bis drei Stunden zuvor relevant ist.

Wind

Seegang

Windstau

Fernwelle

Vorher-gesagtes HW

Strömung

Komponenten eines Sturmflutereignisses in der Nordsee

Grundlegend kann gesagt werden, dass bestimmte Windbedingungen in Kombination mit einem bestimmten Wasserstand in der Lage sind einen gewissen Windstau zu erzeugen. Der Wasserstand wird von der astronomischen Tide, in manchen Fällen von einer Fernwelle und für langfristige Prognosen vom Meeresspiegelanstieg beeinflusst. Die nicht linearen Zusammenhänge der maßgebenden Sturmflutkomponenten werden detailliert analysiert, so dass synthetische Sturmfluten generiert werden können.

Gefördert vom

Bundesministerium für Bildung und Forschung

Projektpartner

LWI
WABERBAU
River and Coastal Engineering

fwi
Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer

Kooperative Partner

HPA
Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer



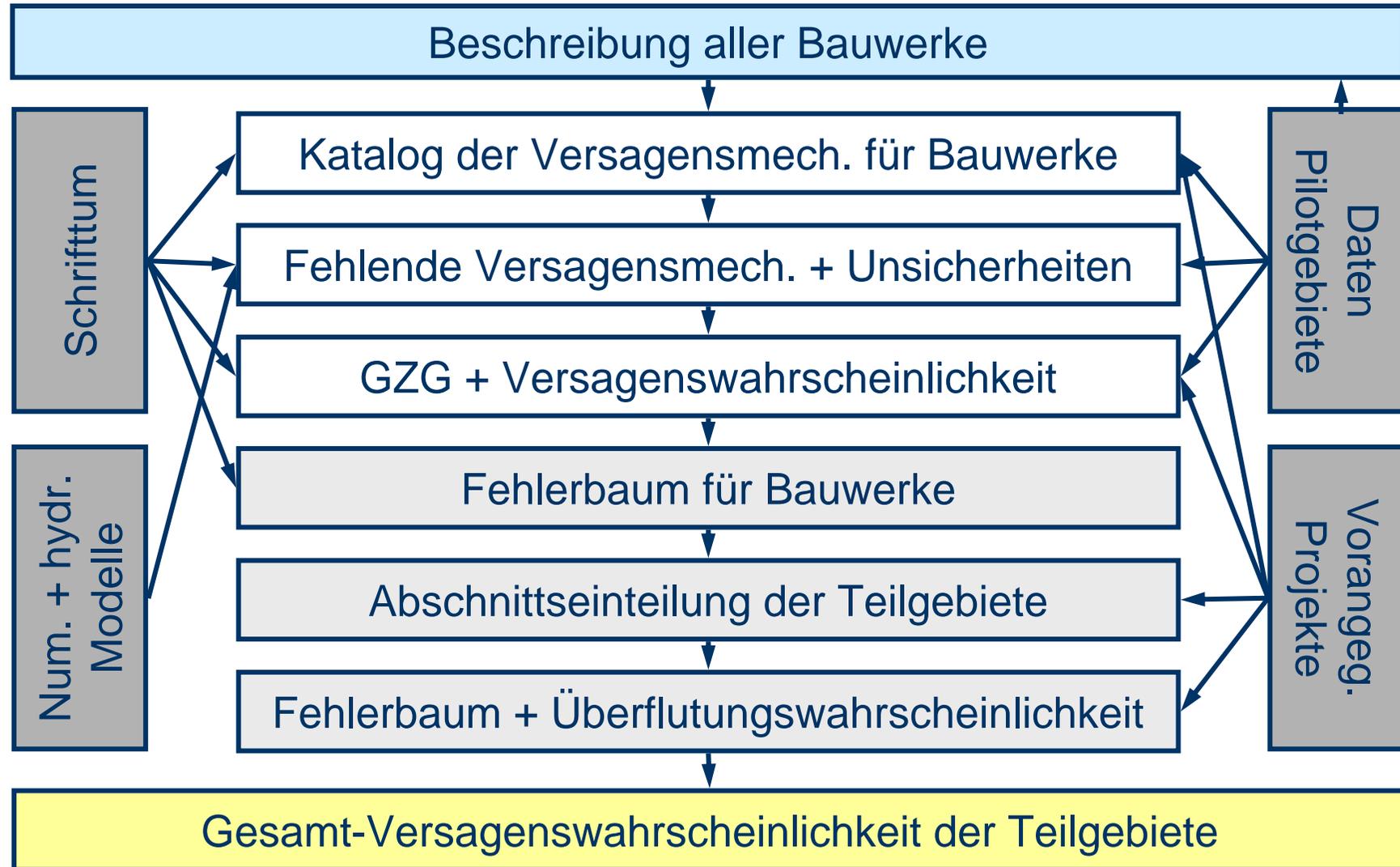
Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.



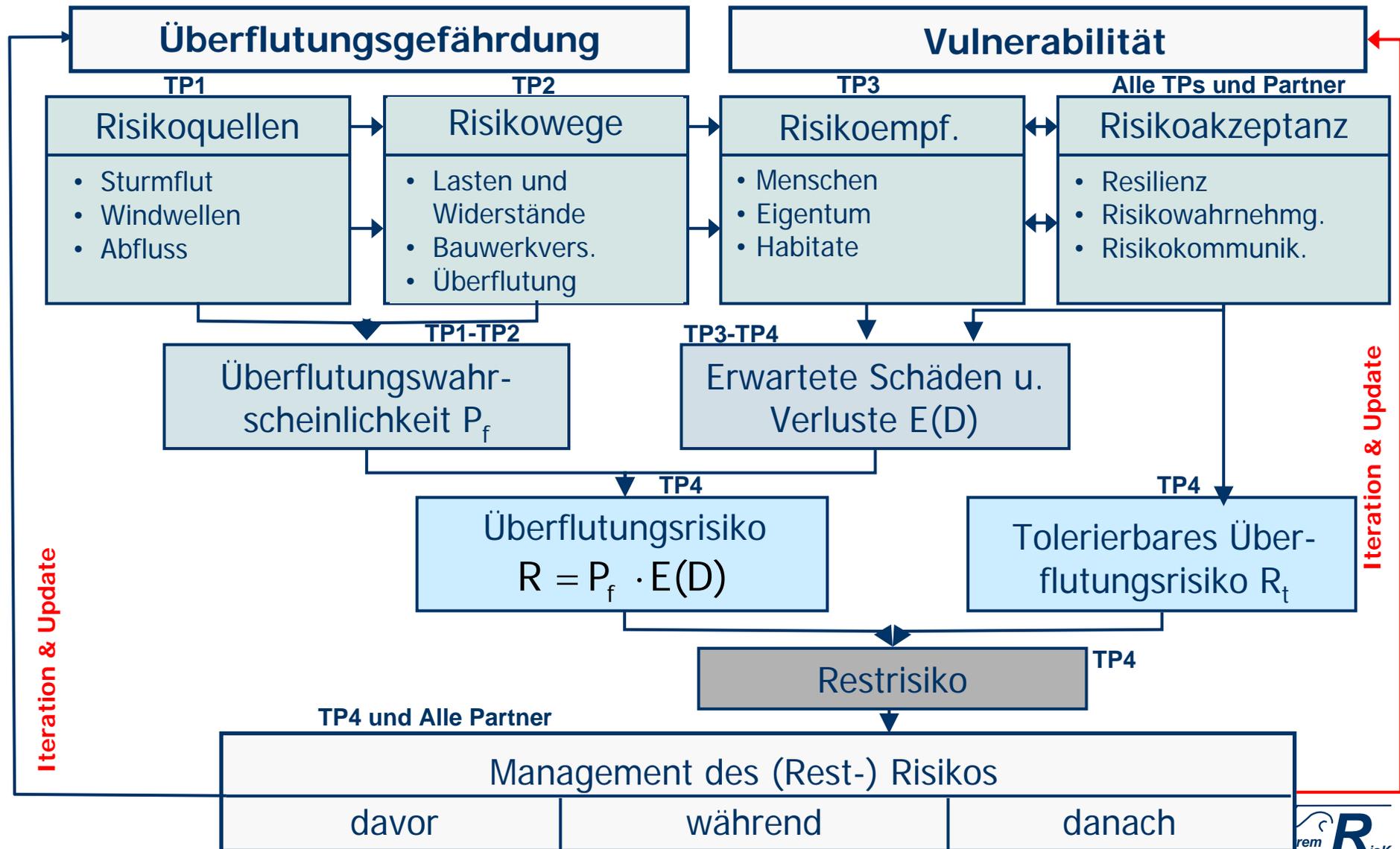
Anhang



Ablaufdiagramm der Bearbeitung



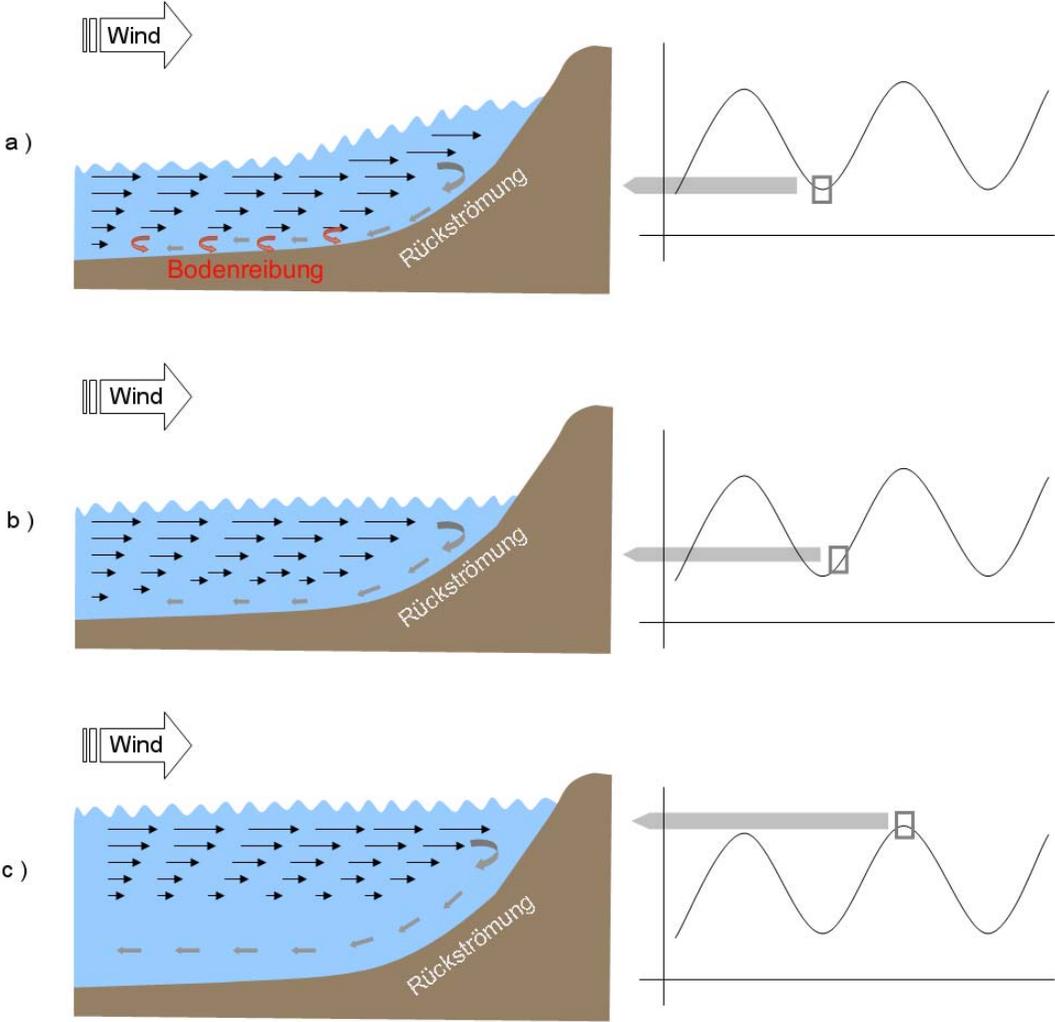
Integriertes Konzept für Risiko-Analyse und -Management



Sturmfluthöhe

Flachwasserbereich vor der Küste

Tidephase zur Zeit der Darstellung



Klimazuschlag

50 cm - > 1.00 m
Potsdam-Institut
für Klimafolgenforschung, 2006

bis 100 cm
Schellnhuber, 2008

55 - 130 cm
Deltacommissie, 2008

18 - 59 cm
IPCC, 2007

29 - 36 cm

35 - 85 cm

Koninklijk Nederlands
Wetenschappelijk Instituut, 2006

bis 80 cm
Pfeffert et al., 2008

40 - 80 cm

30 - 80 cm
Nordost-Atlantik
Katsmann et al., 2008

42 - 61 cm bis 2085
Sturmflutzunahme (Cux)
Von Storch, 2007

Deutsche Küste
Sterr, 2007

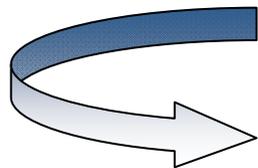
+ 150 cm
Sturmflutzunahme heute
MUSE, 2006

bis 58 cm
Deutsche Küste
Max-Planck-Institut für
Meteorologie, 2006

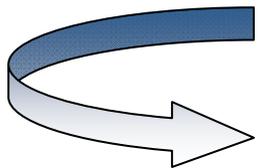
+ 65 cm
Sturmflutzunahme
heute
Gönnert, 2003

Instationäre Extremwertstatistik bei partiellen Zeitreihen

- Zur Kollektivbildung wird ein dynamisches Peak-Over-Threshold (POT) Verfahren verwendet (*XtremEvents.m*)
- Krümmungsparameter der GEV wird sehr stark von den weniger extremen Ereignissen geprägt
- Literatur (z.B. *Coles, 2001*) empfiehlt die Anwendung der 2-Parametrischen Allgemeinen Pareto Verteilung (GP) in Verbindung mit POT-Verfahren
- GP besitzt keinen Lageparameter



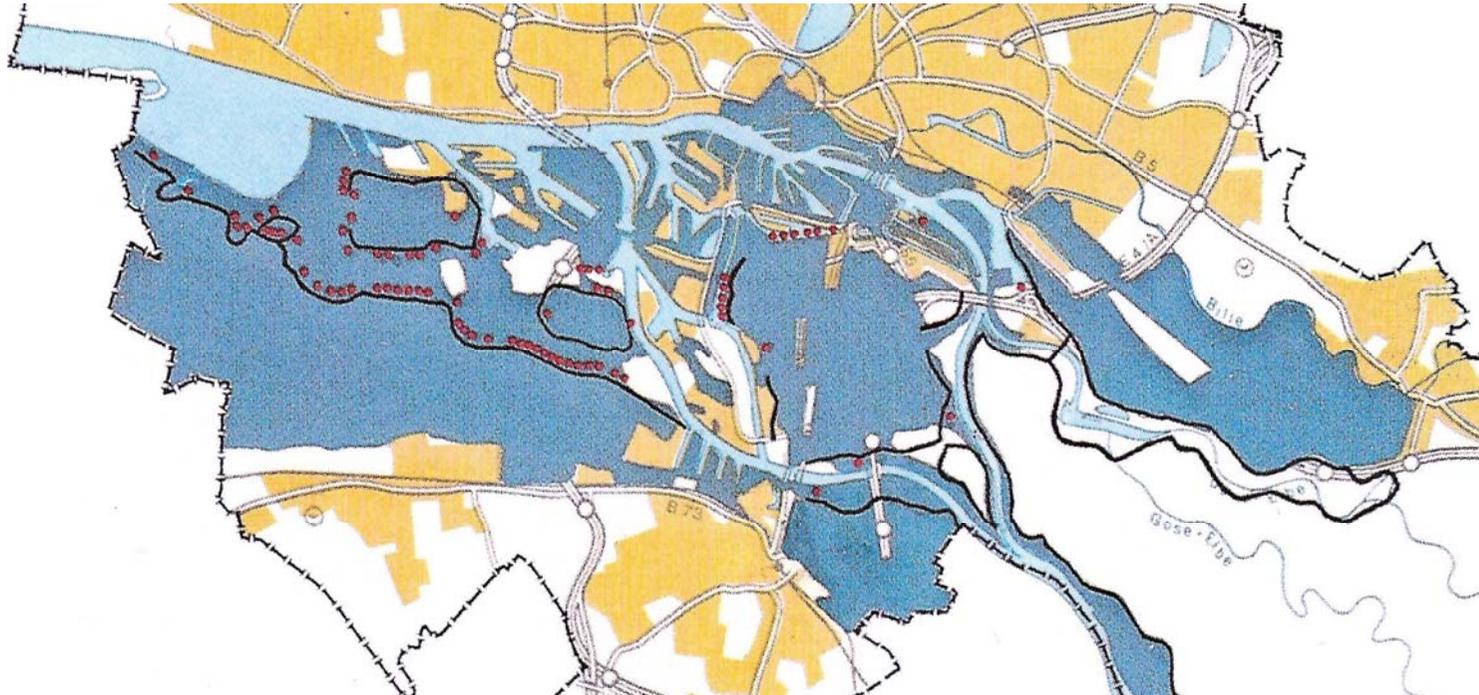
- Ansatz zur Berücksichtigung von Instationaritäten in der Extremwertstatistik nach Mudersbach (2009) nicht anwendbar



- MSL Szenarien können bei der Simulation von synthetischen Extremereignissen in Form des einzubeziehenden Thresholds berücksichtigt werden

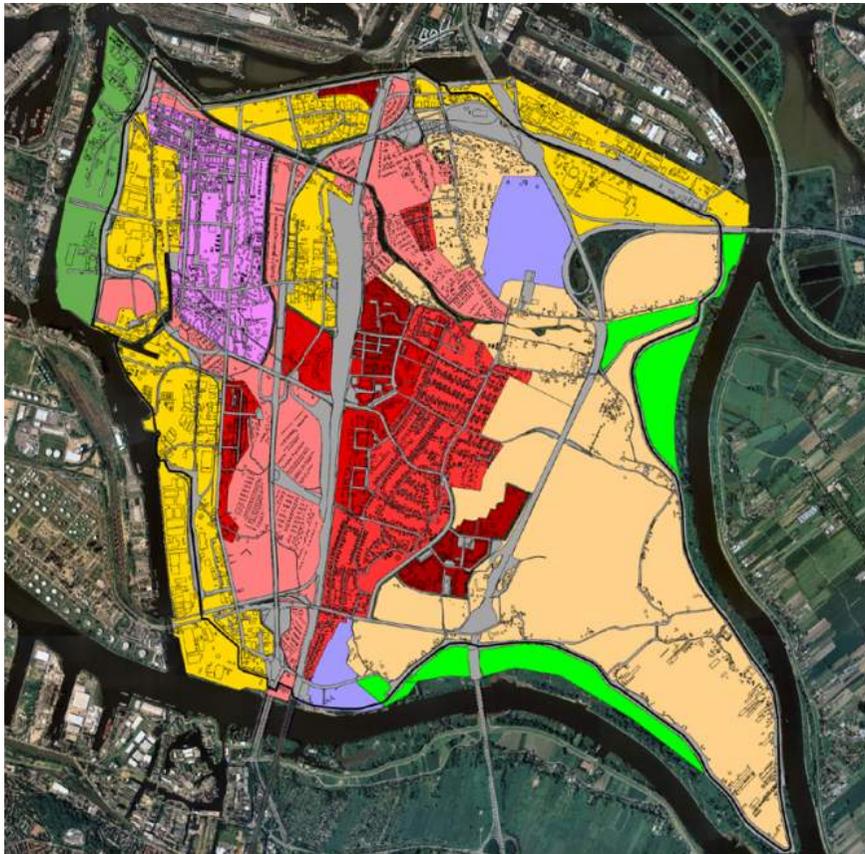
Schadenspotentialanalyse

- **Beispiel: Wilhelmsburg**



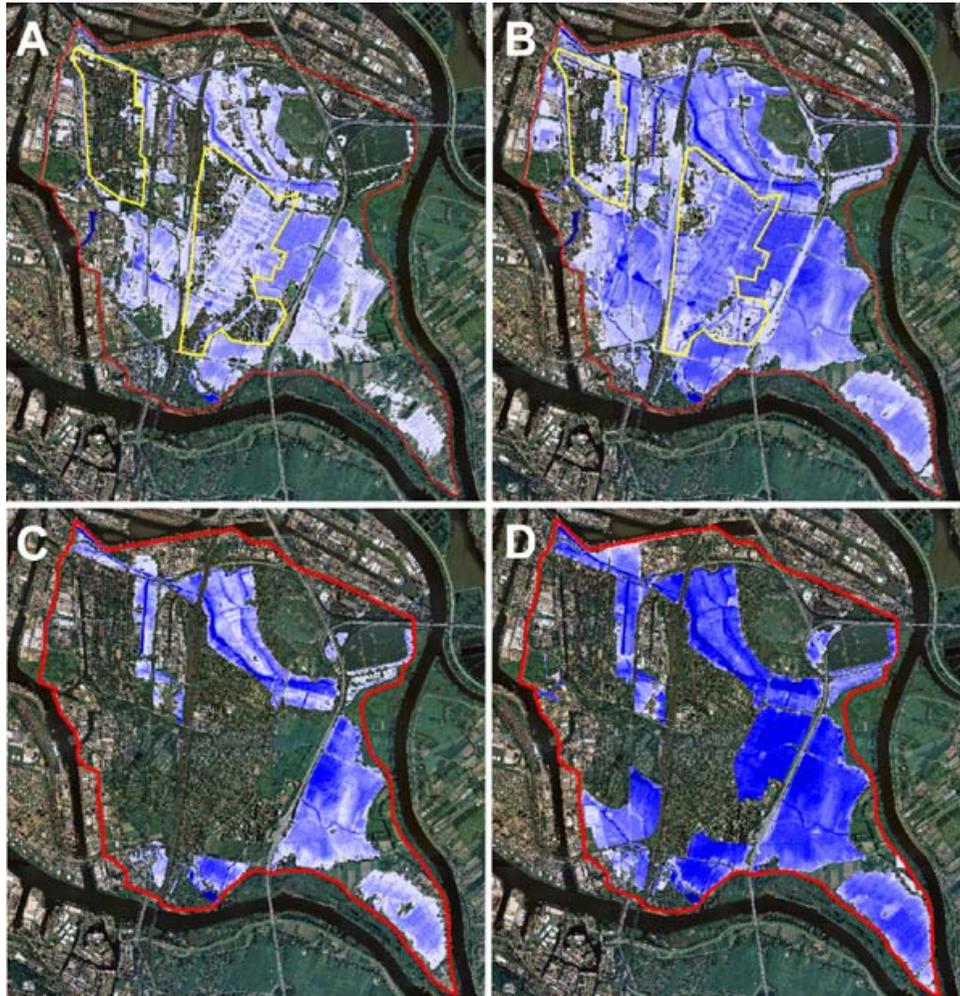
Quelle: (Sönnichsen et al., 1997: 118)

Einteilung von Clustern - Klassifizierung nach Nutzung und Gebäudetypen



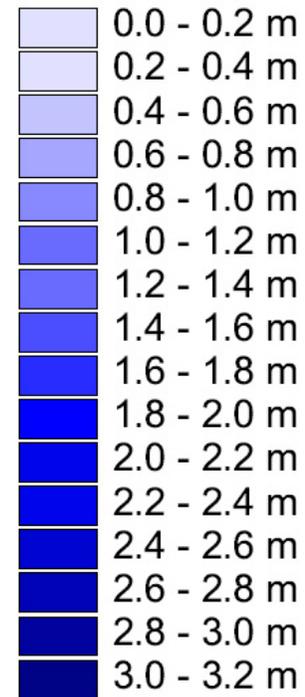
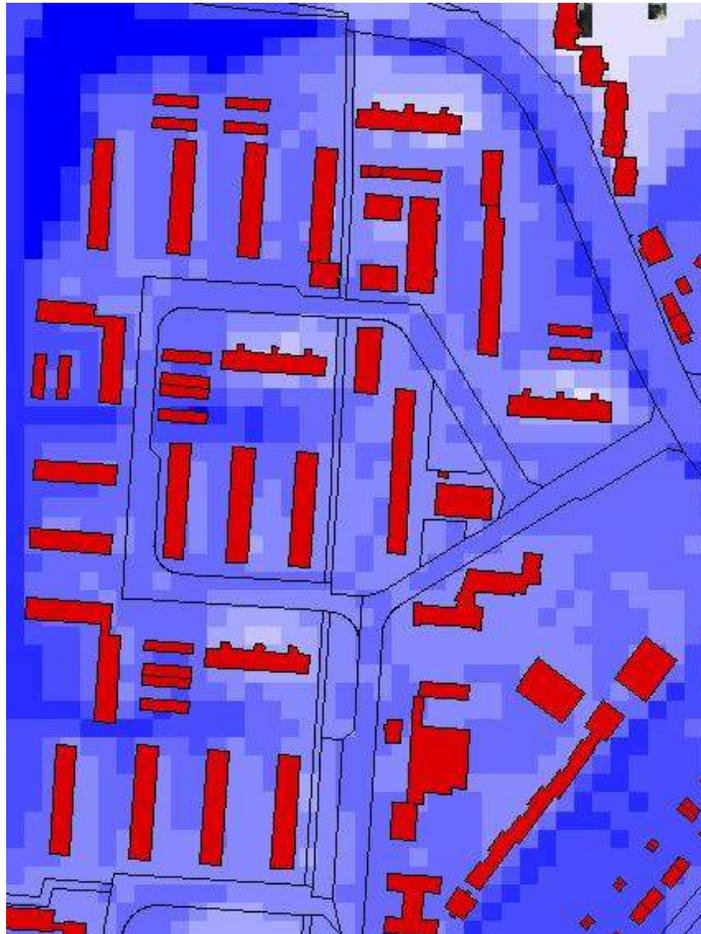
- Verkehrsflächen
- Einzelhausbebauung
- Gewerbe und Industrie
- Gewerbe außerdeichs
- Hochgeschossige Bebauung
- Kleingärten
- Landschaftsschutzgebiet
- Mehrgeschossige Bebauung
- Sanierte Wohnbebauung
- Sondernutzung
- Wohnen und Gewerbe

Untersuchte Szenarien



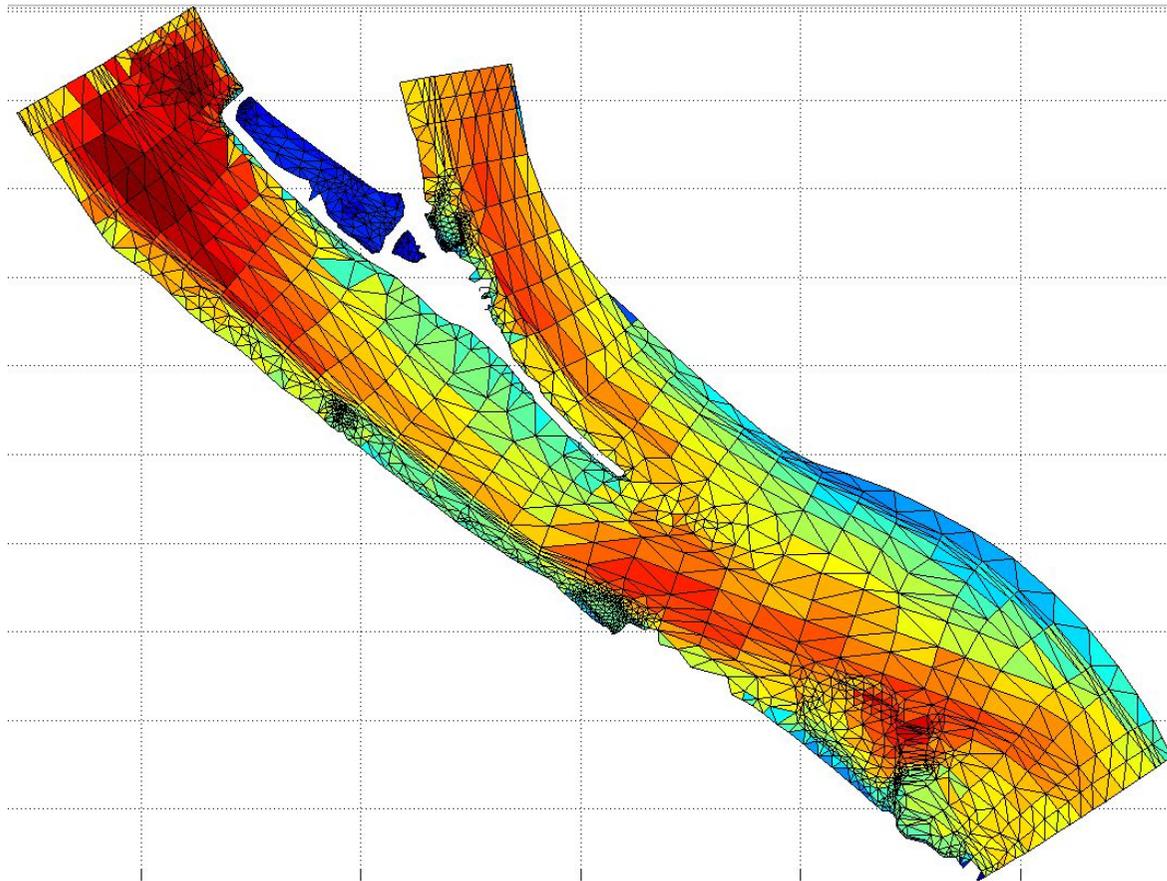
- A) Szenario 2030
ohne Anpassung
- B) Szenario 2085
ohne Anpassung
- C) Szenario 2030
mit Flutkammersystem
- D) Szenario 2085
mit Flutkammersystem

Einstauhöhen der einzelnen Wohngebäude



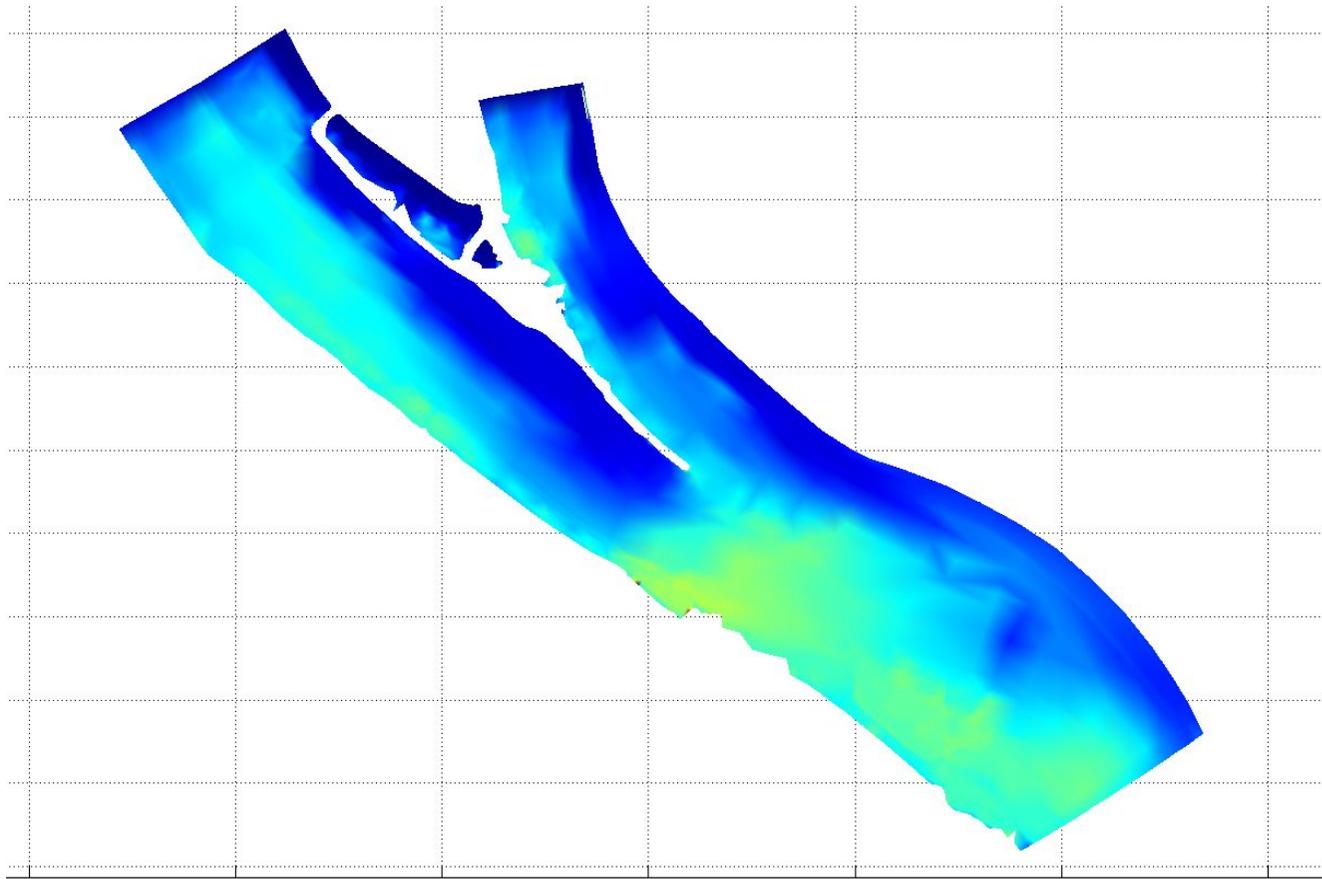
Modellierung der Wasserstände und Wellenhöhen, HH

- Erweiterung der Modellplattform „Kalypso“
Darstellung Windeingabe



Aktueller Stand des Teilprojekts 3.1

- Erweiterung der Modellplattform „Kalypso“
Ergebnisdarstellung SWAN



Untersuchte Schäden

Tangible Schäden	Intangible Schäden
<p>Direkte Schäden an Wohngebäuden</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gebäudeschäden • Inventarschäden 	<p>Personenschäden</p> <ul style="list-style-type: none"> • Todesfälle • psychische und physische Erkrankungen • Emigration <p>Umweltschäden</p>
<p>Schäden an Pkw</p>	<p>Schäden an Kulturgütern</p>
<p>Schäden an der Infrastruktur</p>	
<p>Schäden bei Gewerbe- und Industriebetrieben</p> <ul style="list-style-type: none"> • Schäden an Gebäuden • Schäden am Inventar, an Anlagen und an Lagerprodukten <p>Kapitalschäden bei Produktionsausfall und Vertragsstrafen</p>	

