

HoRisk

Hochwasserrisikomanagement für den Küstenraum



HoRisk – Hochwasserrisikomanagement für den Küstenraum

Peter Fröhle
Universität Rostock

Holger Schüttrumpf
RWTH Aachen

Frank Thorenz
NLWKN Norden Norderney



HoRisk – Hochwasserrisikomanagement für den Küstenraum

Angelika Gruhn, Dörte Salecker & Christian Schlamkow
Universität Rostock

Daniel Bachmann & Christian Grimm
RWTH Aachen

Holger Blum & Hans-Jörg Lambrecht
NLWKN Norden Norderney

KFKI/BMBF-Forschungs-Verbundprojekt

Laufzeit 1. November 2009 bis zum 30. April 2013

HoRisk-A

Versagen von Küstenschutzanlagen
und Schäden
Lehrstuhl und Institut für Wasserbau und
Wasserwirtschaft, RWTH Aachen

HoRisk-B

Belastungen von Küstenschutzanlagen
und Konsequenzen des Versagens im
Bereich der Ostseeküste
Universität Rostock, Professur Geotechnik
und Küstenwasserbau

HoRisk-C

Konsequenzen des Versagens im
Bereich der Nordseeküste und
Schadensminimierung
Niedersächsischer Landesbetrieb für
Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz
Betriebsstelle Norden-Norderney

KFKI /BMBF-Forschungs-Verbundprojekt

Weitere Projektpartner

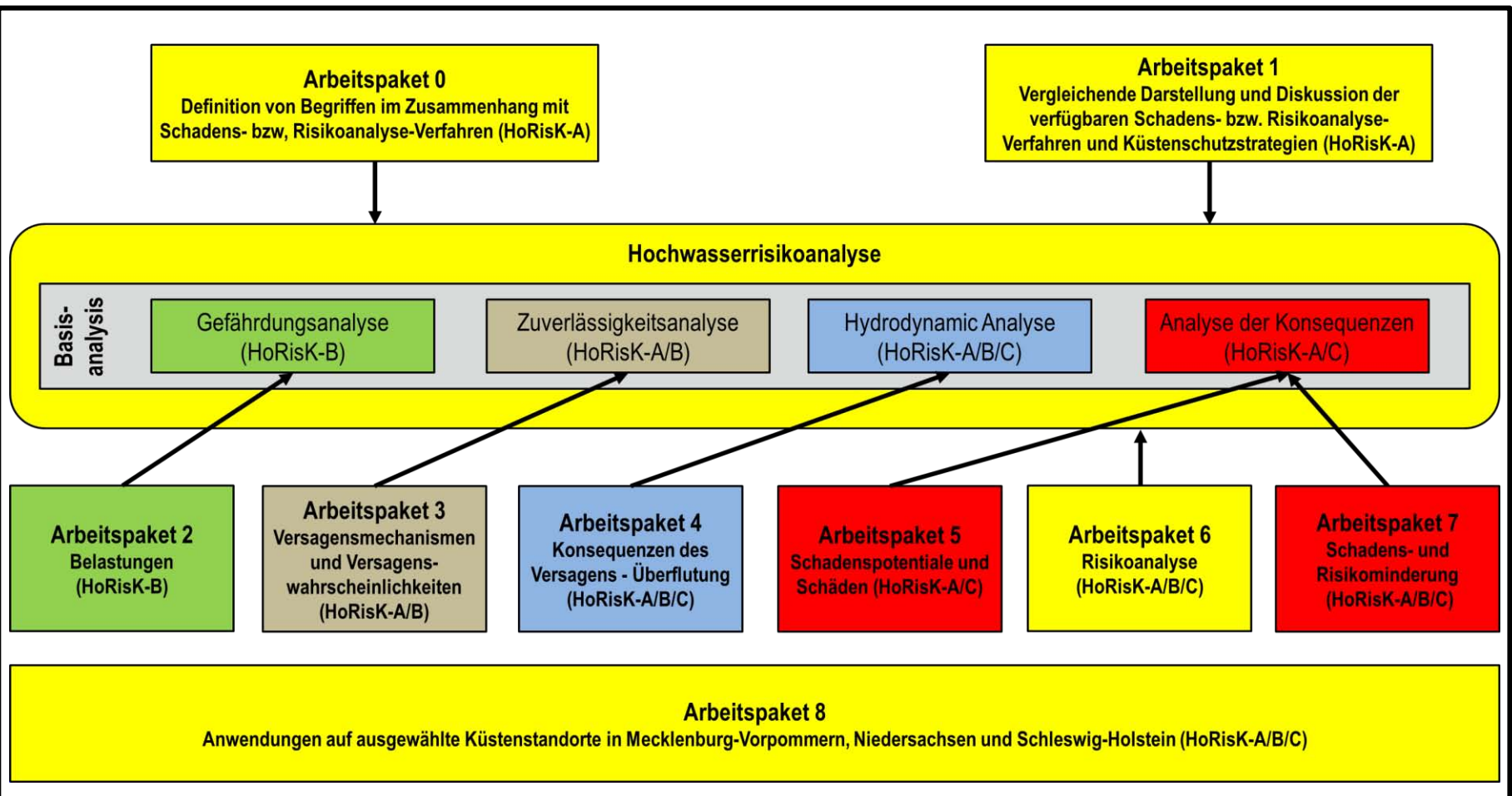
- Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz Schleswig-Holstein, Husum
- Staatliches Amt für Landwirtschaft und Umwelt Mittleres Mecklenburg, Rostock
- Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Oldenburg
- HKV Hydrokontor GmbH, Aachen

Ziel des Verbundprojektes

Ableitung von küstenschutzbezogenen Ansätzen und Methoden für **anwendungs-orientierte** Schadens- bzw. Risikoanalysen als Grundlage für die Erarbeitung von Hochwassergefahrenkarten, Hochwasserrisikokarten und Hochwasserrisikomanagementplänen.

Weiterführende Informationen <http://www.iww.rwth-aachen.de/horisk>

Arbeitspakete



Ablauf

	2009		2010												2011												2012												2013			
	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A
AP0																																										
AP1																																										
AP2																																										
AP3																																										
AP4																																										
AP5																																										
AP6																																										
AP7																																										
AP8																																										
ZB / AB																																										

Legende:

AP Arbeitspaket

ZB Zwischenbericht

AB Abschlussbericht

	Beendet
	in Bearbeitung
	noch nicht begonnen
	Projektverlängerung

AP0: Definition von Begriffen in Zusammenhang mit Schadens- bzw. Risikoanalyse-Verfahren

AP1: Vergleichende Darstellung und Diskussion der verfügbaren Schadens- bzw. Risikoanalyse-Verfahren und Küstenschutzstrategien

AP2: Belastungen inkl. Datenerhebung

AP3: Versagensmechanismen und Versagenswahrscheinlichkeiten

AP4: Konsequenzen des Versagen – Überflutung

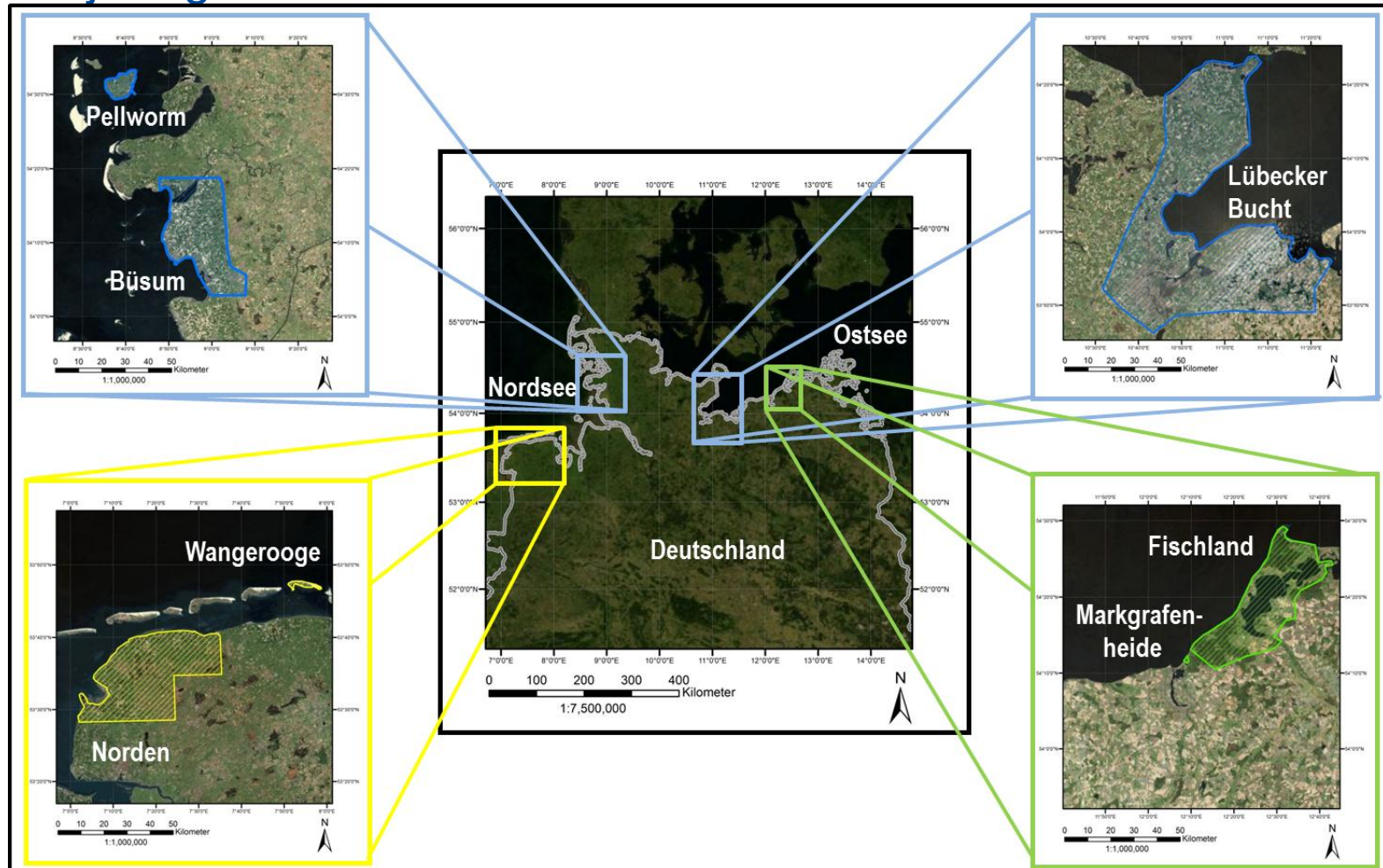
AP5: Schadenspotentiale und Schäden

AP6: Risikoanalyse

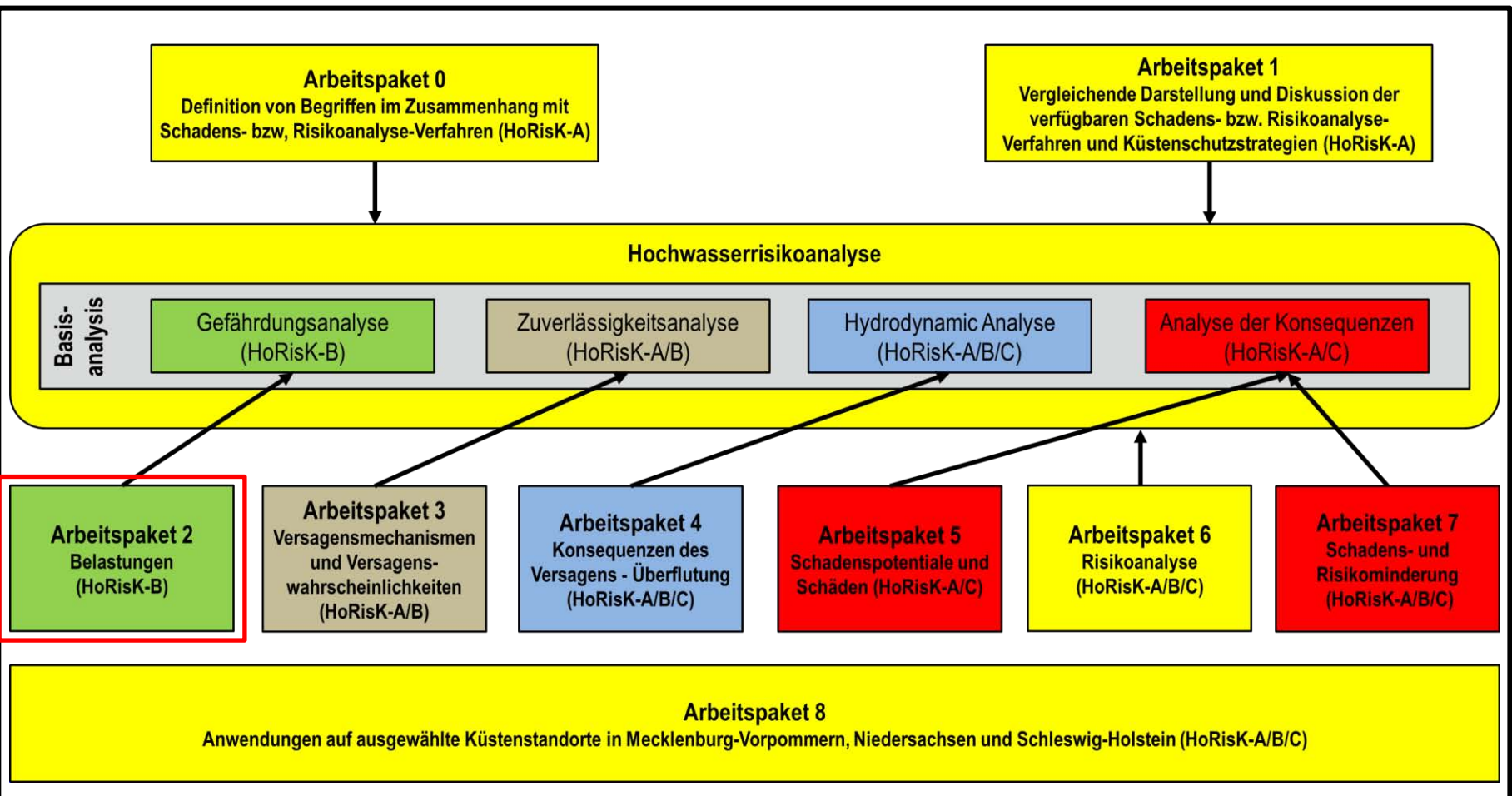
AP7: Schadens- und Risikominderung

AP8: Anwendung auf ausgewählte Küstenstandorte in Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen und Schleswig Holstein

Projektgebiete



Arbeitspakete



AP 2 - Belastungen

Im Arbeitspaket 2 werden **Untersuchungen zu den Gefährdungen und Belastungen** als Grundlage für schadensbasierte und/oder risikobasierte Ansätze und Methoden durchgeführt.

Belastungen resultieren grundsätzlich aus:

- Wasserständen,
- Seegang,
- Strömungen und
- Eisgang

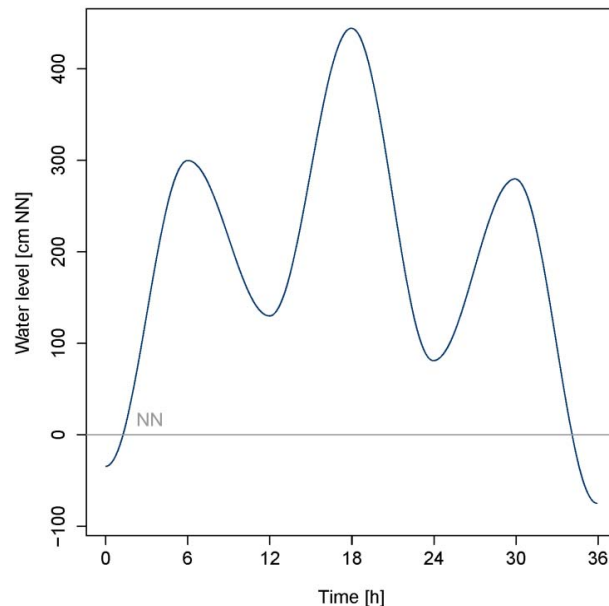
Im Vorhaben werden **schwerpunktmäßig** die Belastungsgrößen resultierend aus **Wasserstand** und **Seegang** behandelt. Beispielsweise:

- Ermittlung extremer Hochwasserstände und Dauern von Sturmfluten an der Nord- und Ostseeküste univariat, bivariat sowie in Kombination mit Seegangsbedingungen
- Statistische Schätzung von zugehörigen kombinierten Eintrittswahrscheinlichkeiten
- Abschätzung von potentiellen Auswirkungen des Klimawandels auf die Belastungsgrößen in Form von Sensitivitätsanalysen

Arbeitsschritte

- Zusammenstellung verfügbarer Informationen aus Messungen, Modellierung und administrativen Festlegungen (Bemessungsgrößen)
- Weitere (Seegangs)simulationen für einzelne Küstenabschnitte zur Ermittlung der räumlichen Verteilung
- Statistische Bewertung von Wasserständen und Seegang für den Küstenraum (**anwendungsorientiert**)
 - Welche Aussagen sind mit verfügbaren Daten im Sinne einer Schadensbewertung/ Risikoanalyse möglich?
 - Wie verfahren wir bei schlechter Datenlage?
 - Einfluss des Datenumfangs => Bewertung von Unsicherheiten in den Daten und Konsequenzen für die Schadens- und Risikoanalyse
- Bauwerksspezifische Sensitivitätsanalysen der resultierenden Belastungsgrößen (auch Grenzwerte) als Grundlage für AP 3 (Versagensmechanismen).
- Sensitivitätsanalysen der räumlichen Verteilung der resultierenden Belastungsgrößen für ausgewählte Gebiete als Grundlage für AP 4 (Überflutung).
- **Sturmflutsimulator:** Monte-Carlo Simulationsrechnungen zur Erzeugung statistisch konsistenter Ganglinien der Belastungsgröße als Grundlage für AP 3 und AP 4
- Abschätzungen von potentiellen Auswirkungen des Klimawandels auf die Belastungsgrößen

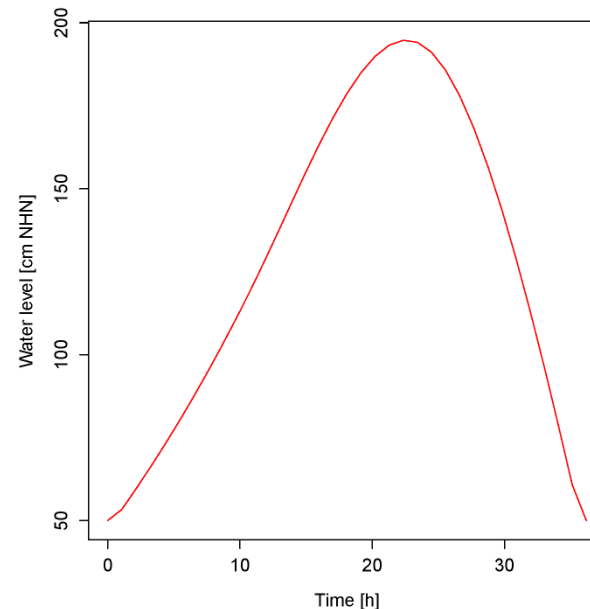
Ableitung von Sturmflutganglinien



Sturmflutganglinien mit definierten
Eintrittswahrscheinlichkeiten
(Nordsee)



Bauwerksversagen AP3 und Numerische Simulation von Überflutungsflächen AP4



Sturmflutganglinien mit definierten
Eintrittswahrscheinlichkeiten
(Ostsee)



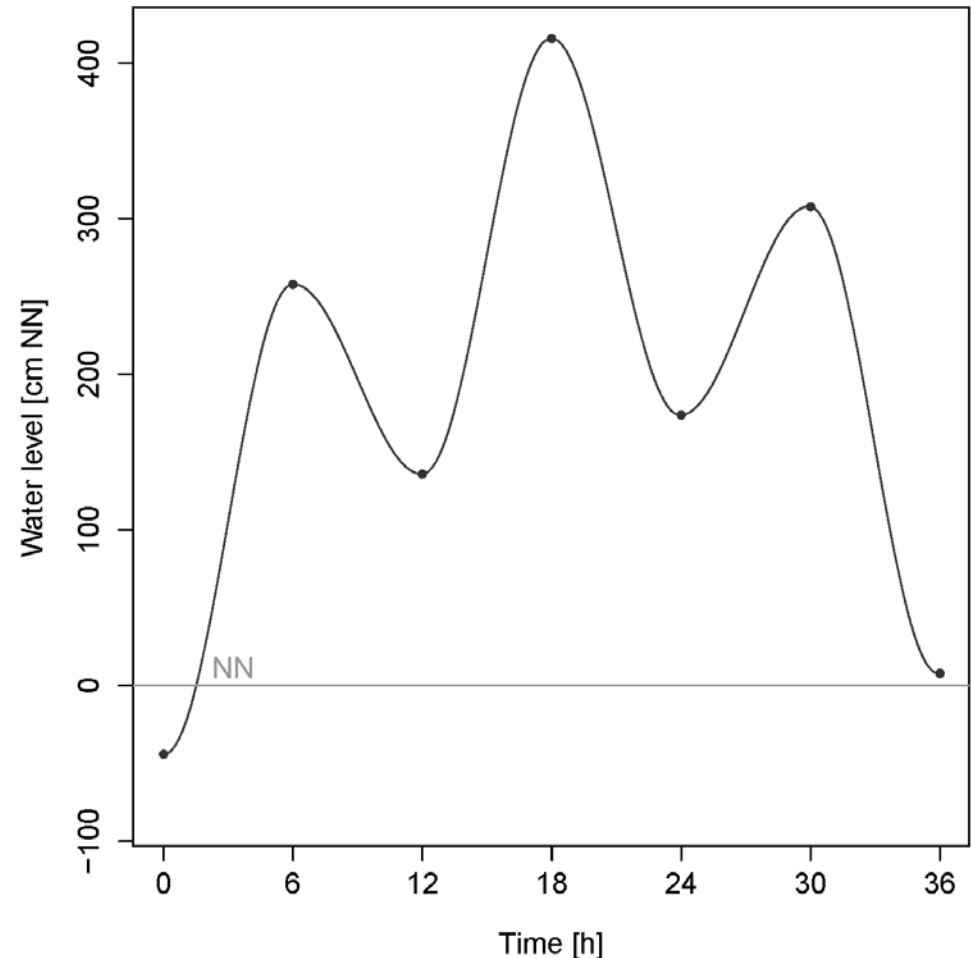
Parametrisierung von Sturmflutganglinien

Beispiel: Norderney

- Minütliche Daten des Wasserstands seit 2000
- Tidescheitelwerte seit 1935
- Sturmflutganglinie zusammengesetzt aus Vortide, Haupttide und nachlaufender Tide

Ziel:

- Verlauf wird beschrieben durch 7 Punkte:
(3 Thw + 4 Tnw)

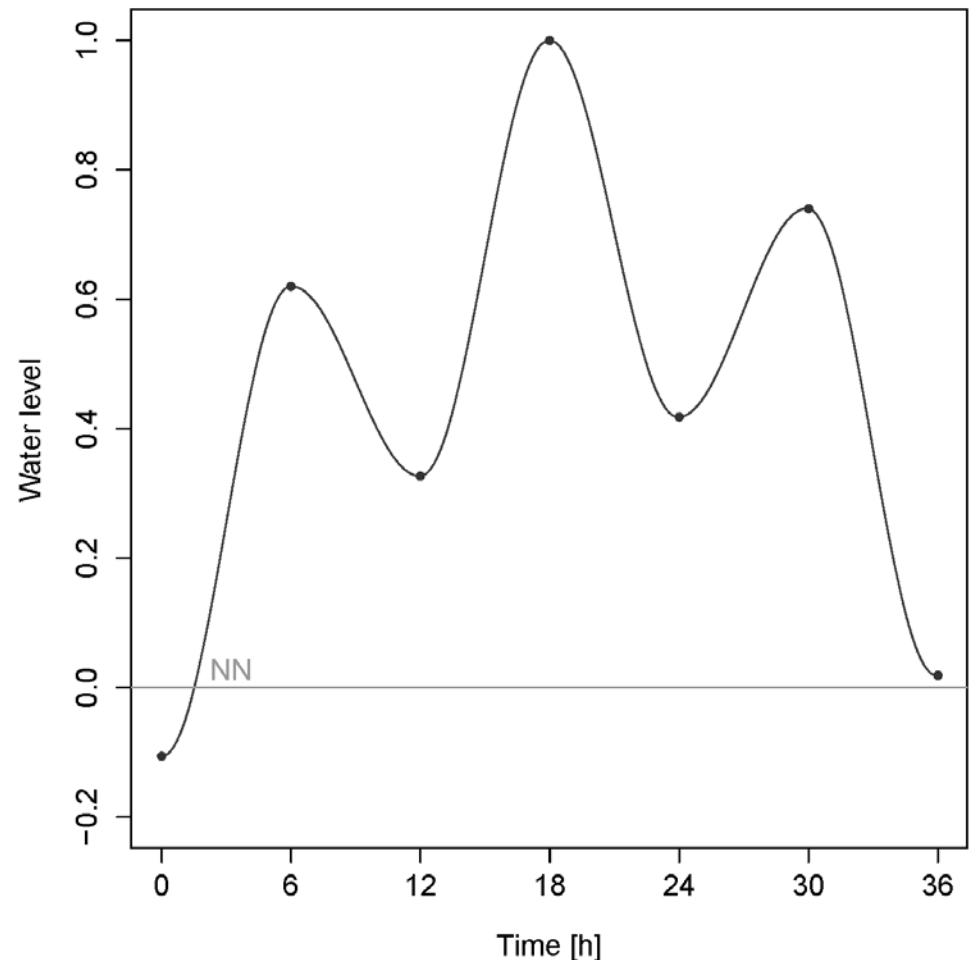


Parametrisierung von Sturmflutganglinien

Beispiel: Norderney

Normierung der Wasserstände

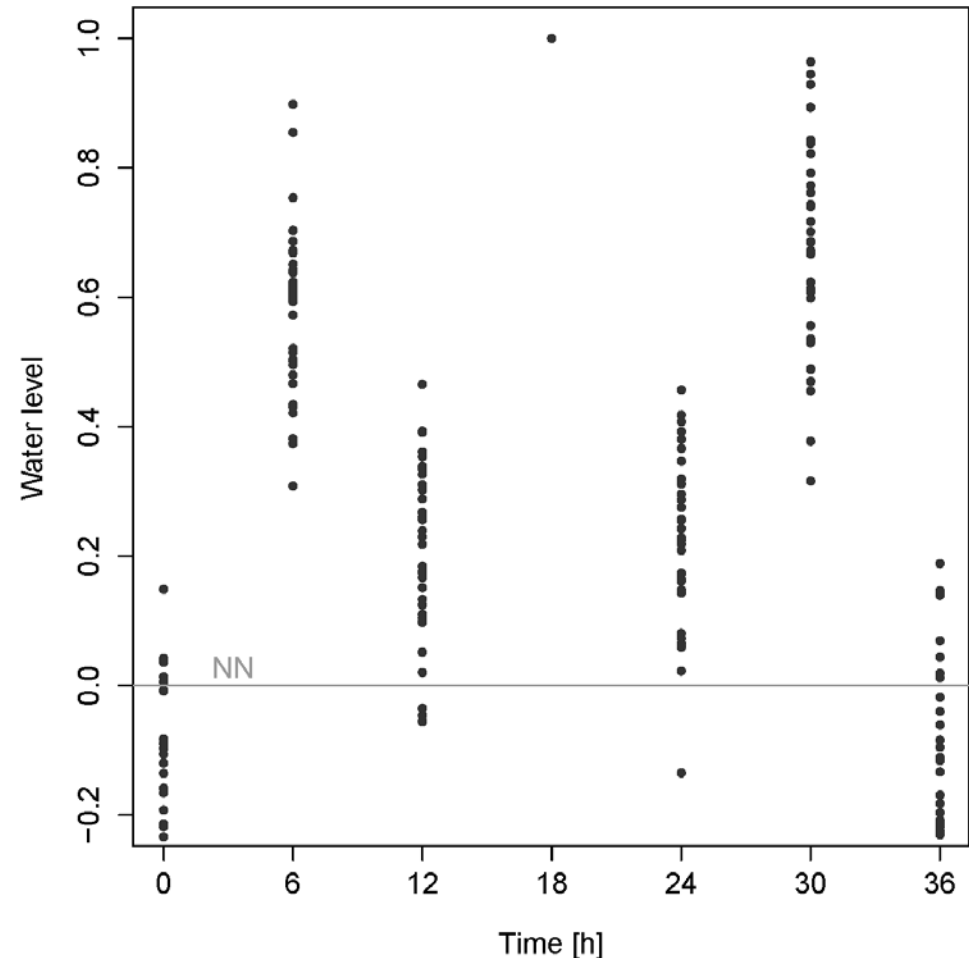
- Division durch den Scheitelwasserstand
- Dimensionslose Sturmflutganglinie



Parametrisierung von Sturmflutganglinien

Beispiel: Norderney

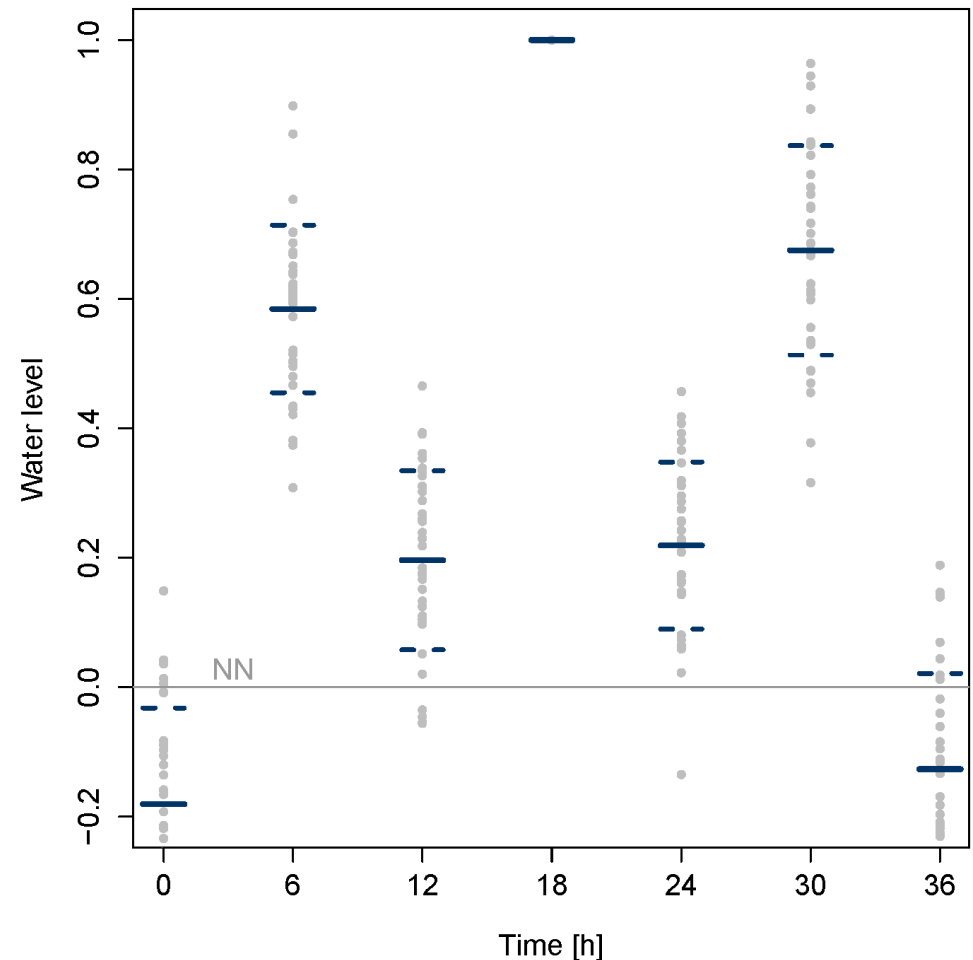
- Überlagerung der normierten Ganglinien mit den 30 höchsten Scheitelwasserständen
- Annahme: Normalverteilung der Wasserstände für jeden Zeitpunkt



Parametrisierung von Sturmflutganglinien

Beispiel: Norderney

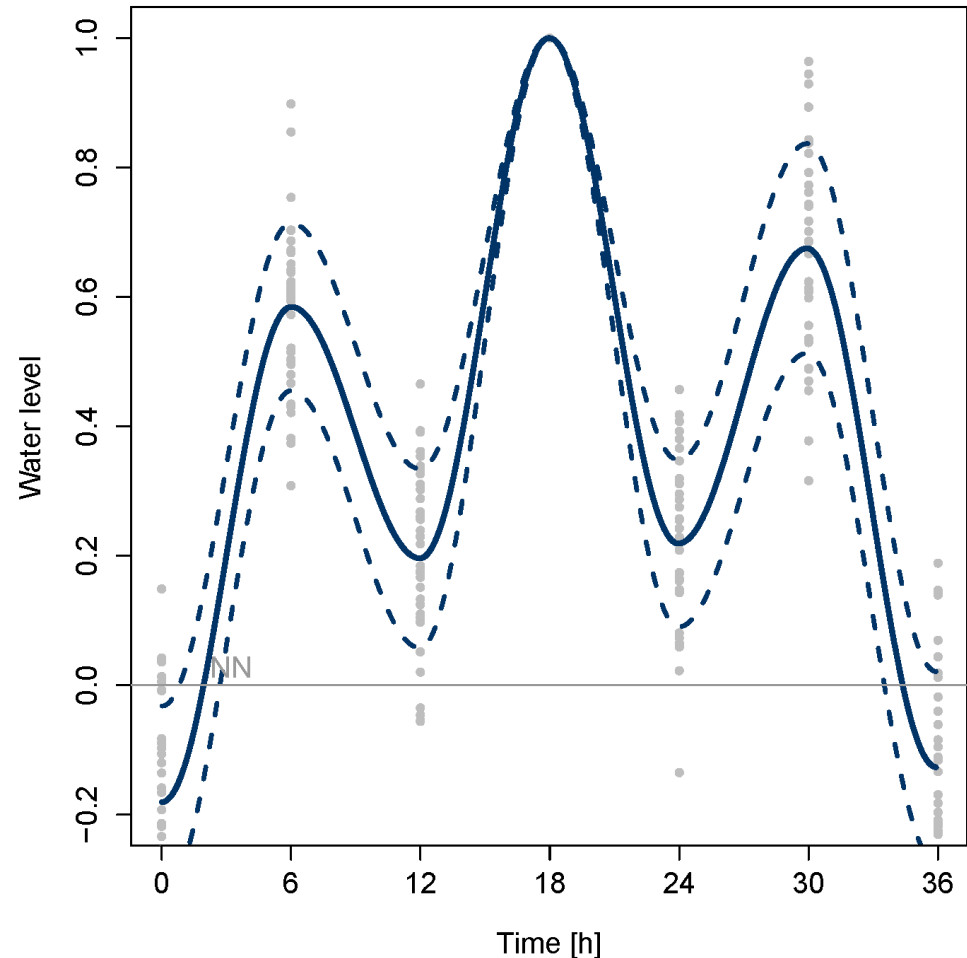
- Ermittlung des Mittelwertes und der Standardabweichung für die Zeitpunkte der Thw und Tnw
- Normalverteilung kann damit für diese Zeitpunkte aufgestellt werden



Parametrisierung von Sturmflutganglinien

Beispiel: Norderney

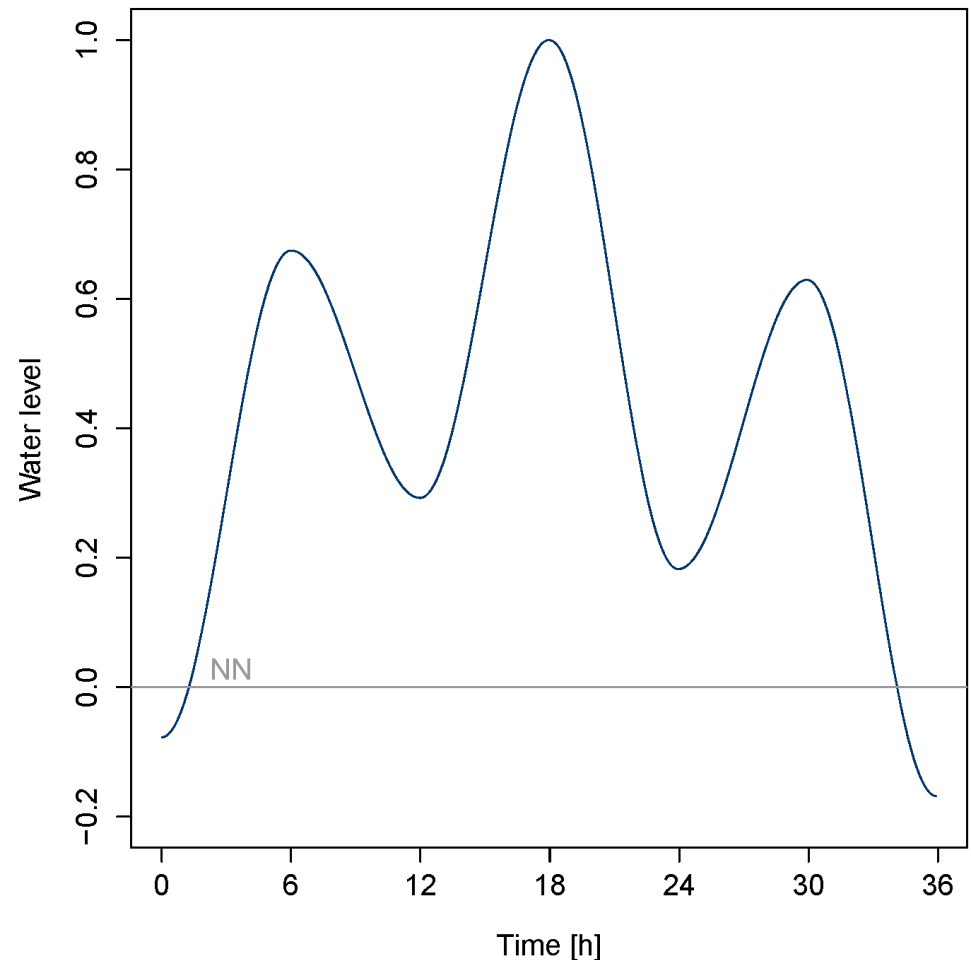
- Ermittlung des Mittelwertes und der Standardabweichung für die Zeitpunkte der Thw und Tnw
- Normalverteilung kann damit für diese Zeitpunkte aufgestellt werden



Formen von Sturmflutganglinien

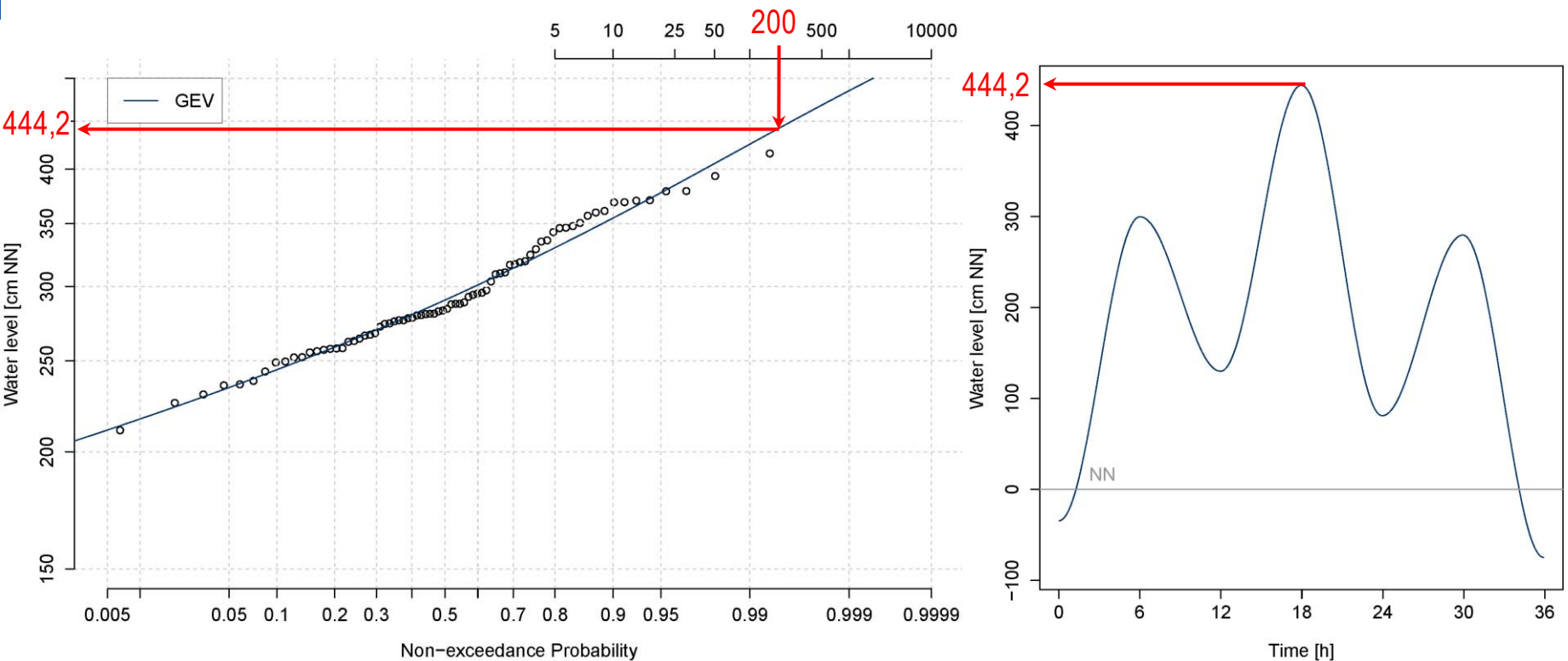
Beispiel: Norderney

- Beliebige Formen von Sturmflutganglinien können simuliert werden
- Skalierung erfolgt durch Multiplikation mit dem gewünschten Scheitelwasserstand



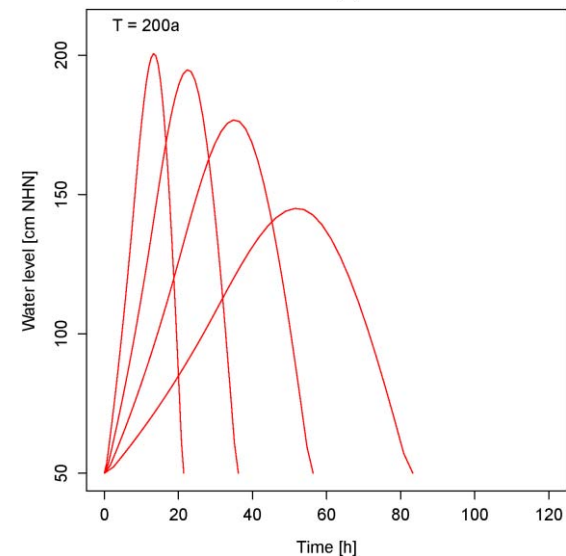
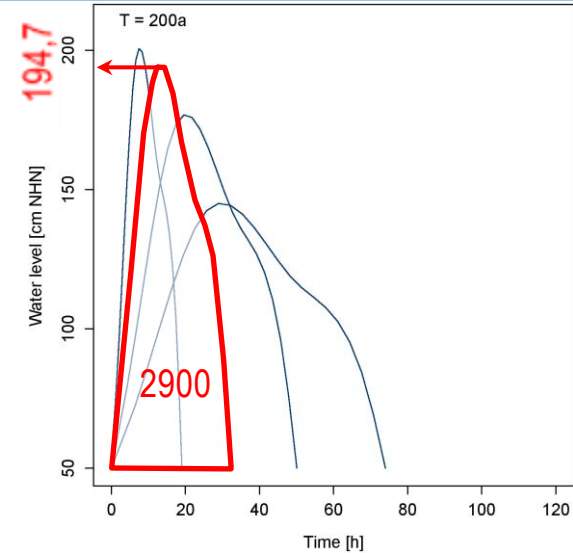
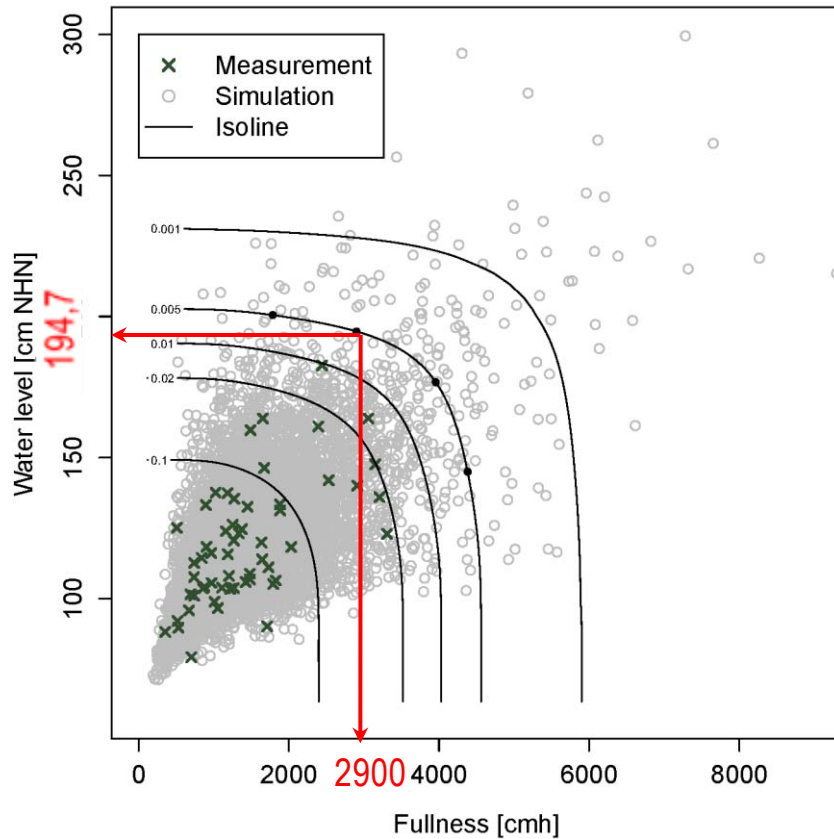
Skalierung von Sturmflutganglinien

Beispiel: Norderney



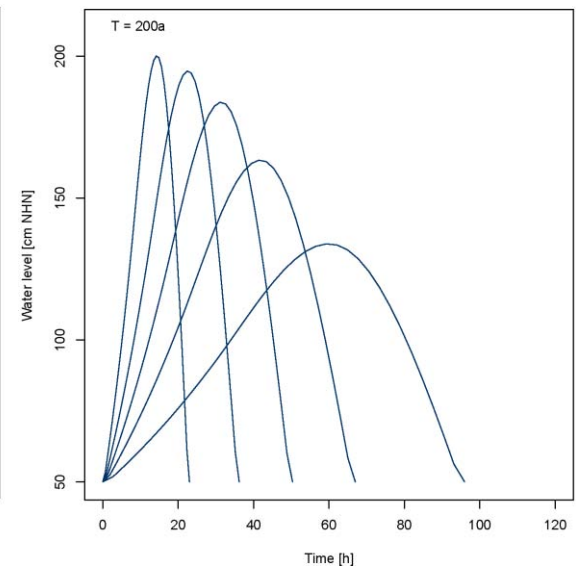
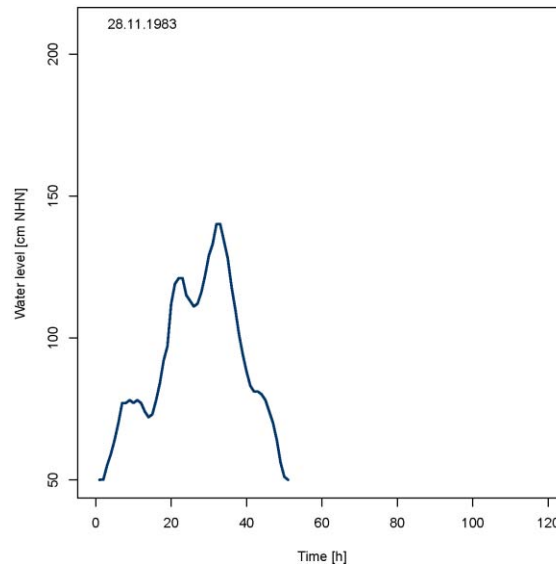
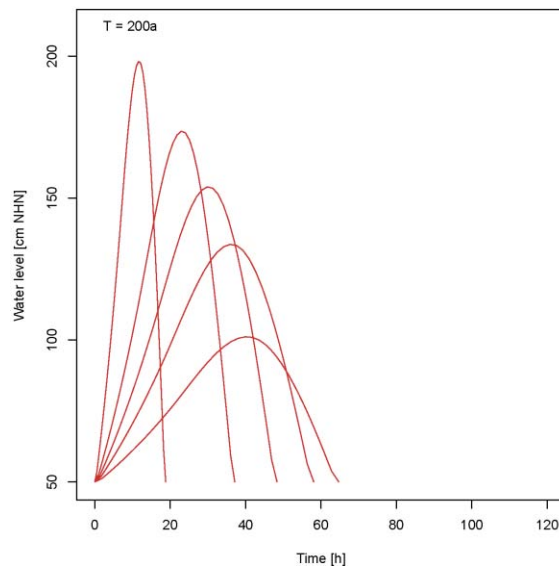
Skalierung von Sturmflutganglinien

Beispiel: Warnemünde



Vergleich: Simulierte Ganglinien – Gemessene Ganglinien

Beispiel: Warnemünde



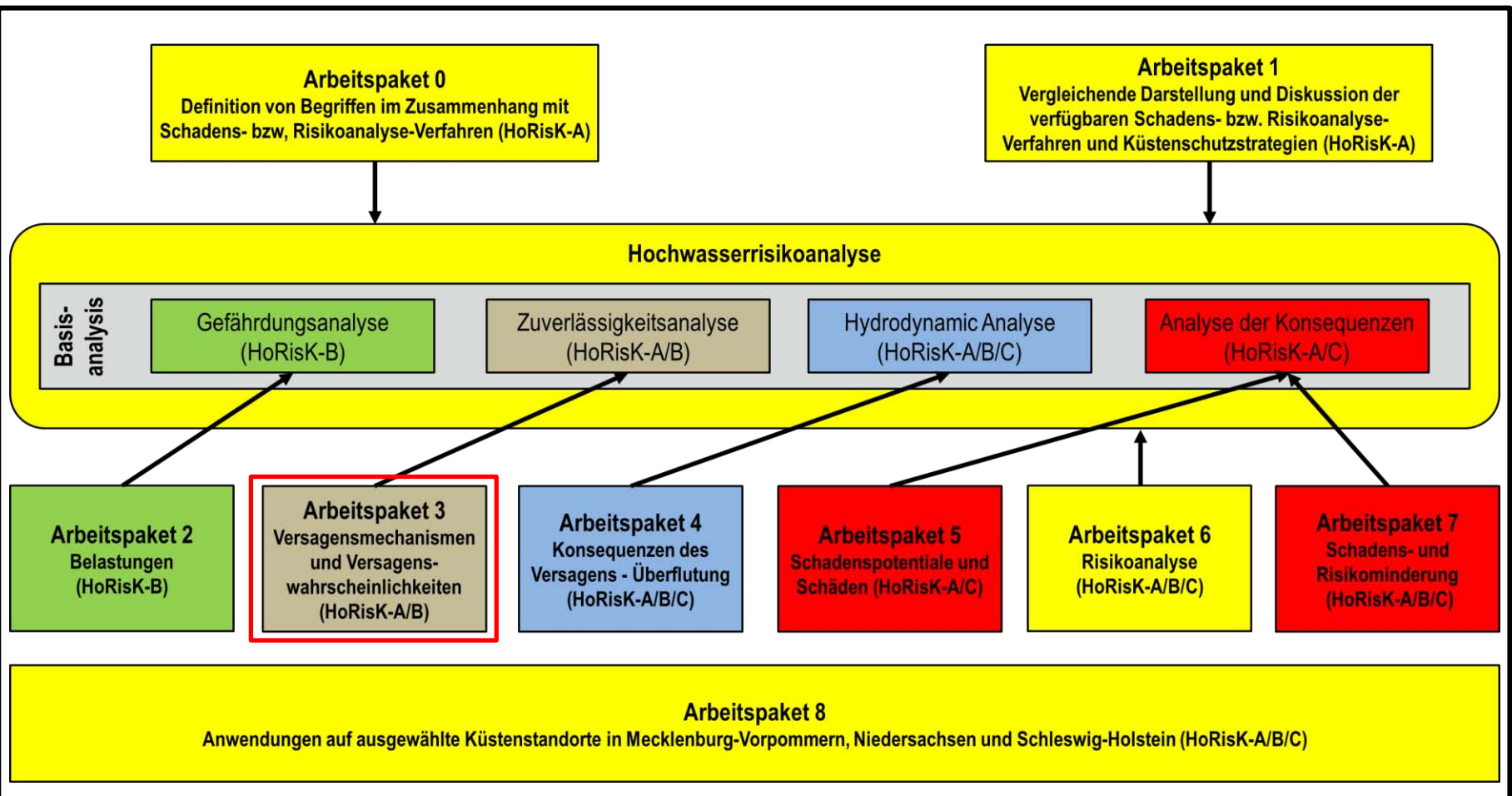
Arbeitspaket 2 - Belastungen

- Aussagen über die Wahrscheinlichkeit des Eintretens einzelner Belastungsgrößen (Wasserstand, Sturmflutdauer, Seegang) sowie über die Wahrscheinlichkeit des gemeinsamen Auftretens können getroffen werden
- Sturmflutganglinien beliebiger Wahrscheinlichkeit können für Nord- und Ostsee Stationen simuliert werden
- Aufgrund der Formenvielfalt von Sturmflutganglinien in der Nord- und Ostsee ist eine exakte Nachbildung tatsächlich eingetretener Sturmfluten nicht möglich. Für die Beurteilung des Versagensrisikos eines Bauwerkes können sie jedoch herangezogen werden.

Arbeitspaket 2 - Belastungen

- Anwendung der vorgestellten Methoden zur Simulation von Ganglinien auf weitere Nord - und Ostsee- Pegel
- Übertragung der vorgestellten Methoden auf Gebiete mit schlechter Datenlage
- Entwicklung eines Sturmflutgenerators zur Erzeugung von Ganglinien beliebiger Wahrscheinlichkeit

Arbeitspakete



Im Arbeitspaket 3 werden **Untersuchungen zu Versagensmechanismen und Versagenswahrscheinlichkeiten** verschiedener / typischer Hochwasserschutzbauwerke durchgeführt.

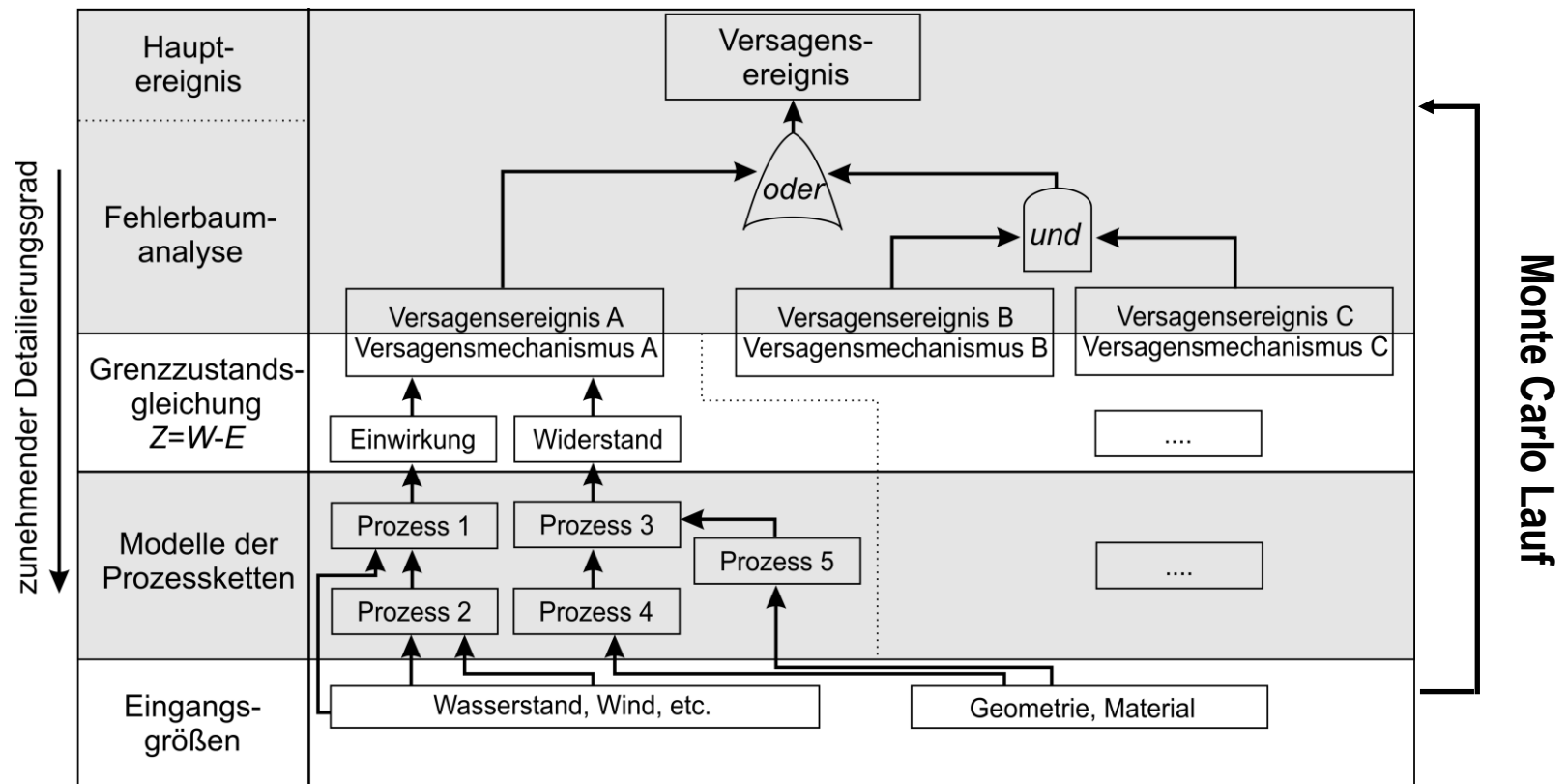
Es sind dazu Kenntnisse über die relevanten Versagensmechanismen **auf Grundlage** idealer und realer Bauwerke sowie in Abhängigkeit des Unterhaltungszustandes in Kombination mit den dazugehörigen Versagenswahrscheinlichkeiten nötig.

Ziel soll es sein, maßgebende Versagensmechanismen für verschiedene Bauwerkstypen als Grundlage für schadensbasierte und/oder risikobasierte Ansätze und Methoden zur Ermittlung des Hochwasserrisikos zu identifizieren.

Der **Schwerpunkt der Untersuchungen** liegt dabei auf den Bauwerkstypen

- Deichen (u. a. Breschenbildung und -entwicklung)
- Dünen
- Hochwasserschutzmauern und -wänden
- Vorländern und Sommerdeichen
- 2. Deichlinien
- Deichscharten und -stößen
- Sielen und Schöpfwerken
- Sperrwerke
- Schleusen
- Kombinationen von Bauwerken
- Hochwasserschutzdüne
- Siele & Schöpfwerke
- Bauwerkskombinationen

Modellbasierte Zuverlässigkeit

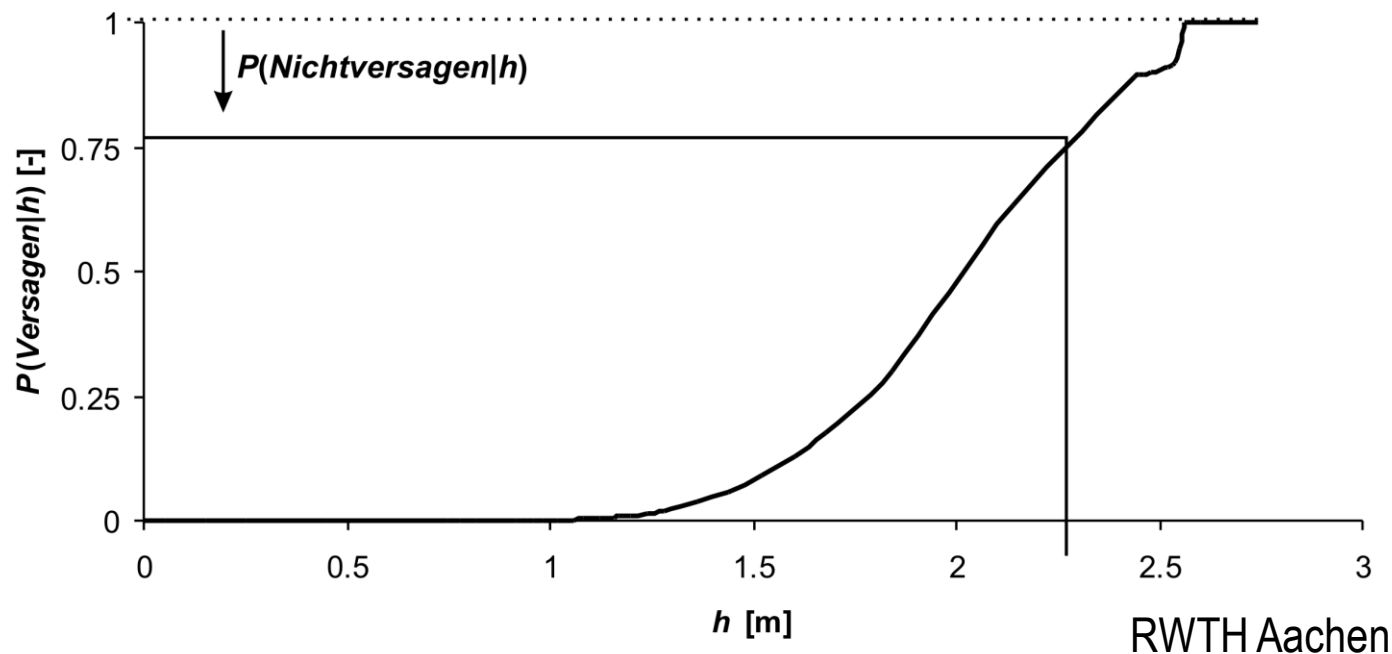


RWTH Aachen

Bauwerk verliert komplette Schutzwirkung durch Breschenbildung

Definition Einwirkungs-Versagensfunktion (*fragility curve*)

Versagenswahrscheinlichkeit eines Bauwerkes in
Abhängigkeit der Einwirkung (Zusammenfassung der Zuverlässigkeit)



Bauwerkstypen

Deich



HWS-Wände



Düne



Deichschart



Siel



2. Deichlinie



Arbeitsschritte

- Schriftumsanalyse zu möglichen Versagensmechanismen für die betrachteten Bauwerkstypen & Berechnung von Versagenswahrscheinlichkeiten
- Zusammenstellung der Versagensmechanismen
- Zusammenstellung entsprechender Berechnungsmodelle
- Zuordnung der Versagenswahrscheinlichkeiten für die jeweiligen Versagensmechanismen (als Grundlage für AP6)
- Identifizierung maßgebender Versagensmechanismen
- Ermittlung der Gesamtversagenswahrscheinlichkeit für den jeweiligen Bauwerkstyp



Programmtechnische Umsetzung

Versagensmechanismen

- Erosion
- Überströmen / Overflow
- Overwash
- Durchströmen
- Geotechnisches Versagen (Böschungsbruch, Grundbruch, etc.)
- ...

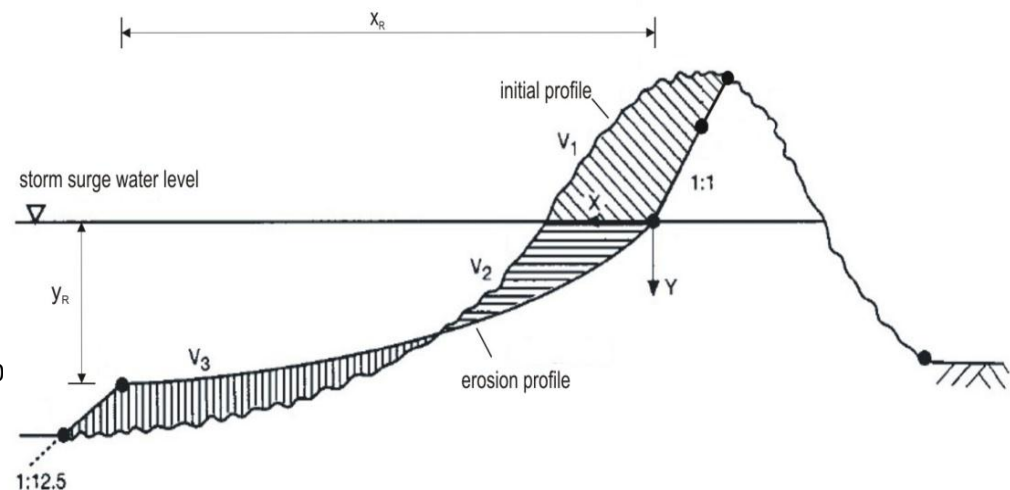
Stand der Arbeiten

- Ansatz von Van Gent (2008)
 - Basierend auf Gleichgewichtsprofil
- Numerische Analyse des Versagens Sbeach / XBeach

$$y_R = \left(\frac{H_{0S}}{7,6} \right) * \left[0,4714 * \left(250 * \left(\frac{12}{T_p} \right)^{0,45} + 18 \right)^{0,5} - 2 \right]$$

$$x_R = 250 * \left(\frac{H_{0S}}{7,6} \right)^{1,28} * \left(\frac{0,0268}{w} \right)^{0,56}$$

$$\frac{7,6}{H_{0S}} y = 0,4714 * \left[\left(\frac{7,6}{H_{0S}} \right)^{1,28} * \left(\frac{12}{T_p} \right)^{0,45} * \left(\frac{w}{0,0268} \right)^{0,56} * x + 18 \right]^{0,5} - 2,0$$



Definitionsskizze Van Gent (2008)

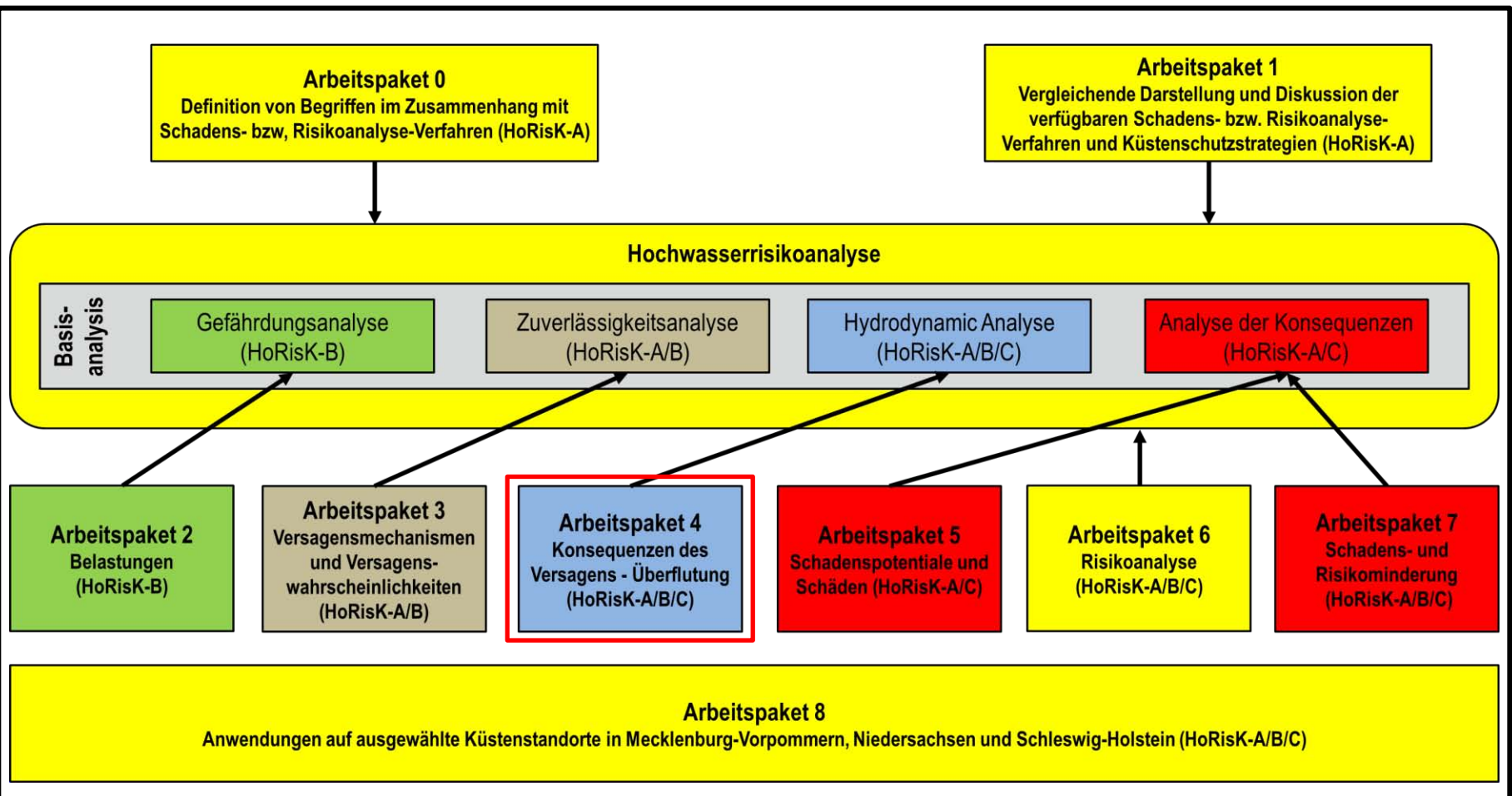
Probabilistische Berechnungen & Ergebnisse

- Aufstellung einer Grenzzustandsgleichung: $Z = m \cdot d_{\text{Krobr_akt}} - d_{\text{KroBr_kr}}$
 - $d_{\text{Krobr_akt}}$: mittels Van Gent (2008) bestimmt, $d_{\text{KroBr_kr}}$: 5 m, m : 0,4
 - Versagen des Bauwerks: $Z < 0$
- Berechnung der individuellen Versagenswahrscheinlichkeiten für definierte Zeiträume als Monte-Carlo Simulation unter Berücksichtigung einer bzw. mehrerer Sturmfluten
- Versagenswahrscheinlichkeit: rel. Wahrscheinlichkeit für $Z < 0$
- Berücksichtigung von Vorschäden
 - Verwendung eines errechneten Erosionsprofils aus vorangegangenen Berechnungen als Initialprofil

Ausblick

- Durchführung erster Modellrechnungen mit den numerischen Model XBeach
- Berechnung von Versagenswahrscheinlichkeiten für weitere Versagensmechanismen (Overflow / Overtopping) → Identifizierung maßgebender Versagensmechanismen
- Zusammenstellung von Versagensmechanismen und Berechnung von Versagenswahrscheinlichkeiten für Siele/Schöpfwerke & Kombinationen von Bauwerken (Düne / Deich, Strand / Düne / Deich, ...)

Arbeitspakete



Konsequenzen des Versagens - Überflutung

Beurteilung der Wirkung unterschiedlicher Küstenschutzsysteme in Bezug auf deren Schutzwirkung und Überflutungsausbreitung im Versagensfall als Grundlage für die Schadensermittlung

Sensitivitätsuntersuchungen zu relevanten Prozesse sowie maßgebenden Einflussfaktoren

- Breschenentwicklung bei Deichen und Dünen
- Wirkung von Küstenschutzsystemen (z.B. Vorland, Sommerdeiche, 2. Deichlinie, Polder, System HW-Schutzdune,....)
- Einfluss der Topographie der geschützten Bereiche wie z. B. Geländehöhen, linienhaften Strukturen wie Dämme und Entwässerungssystemen auf die Überflutungsausbreitung im Versagensfall
- Einfluss von Poldergrößen bzw. zur Wirkung von 2. Deichlinien
- Sensitivitäten der Methodik der Überflutungsmodellierung

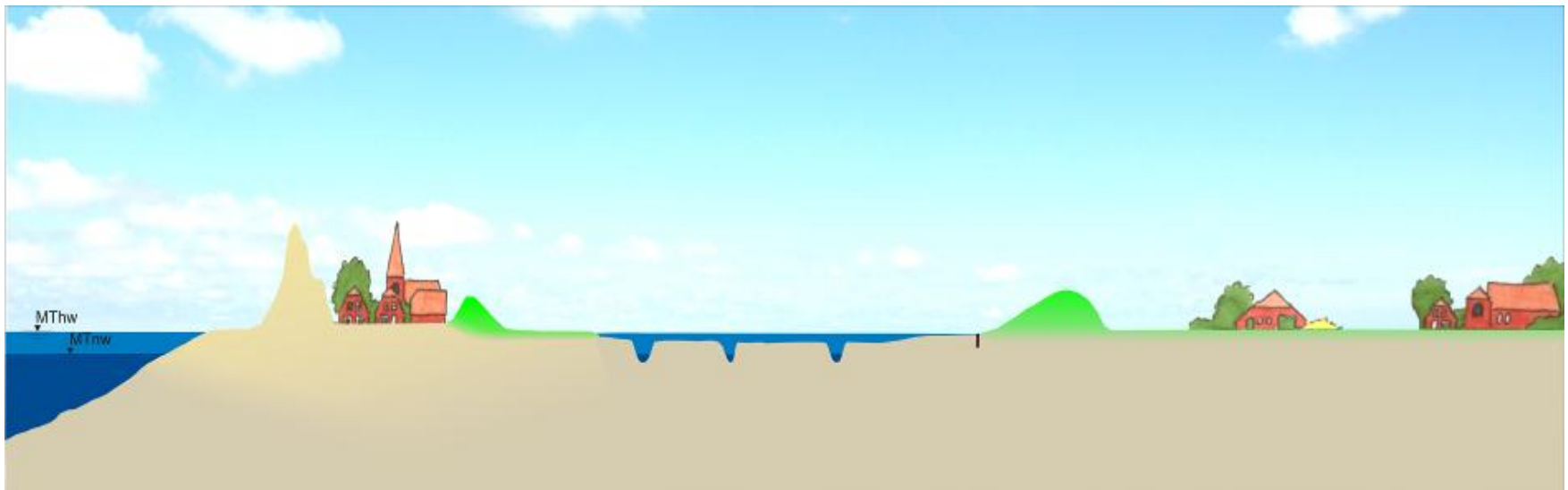
Küstenschutz in Niedersachsen



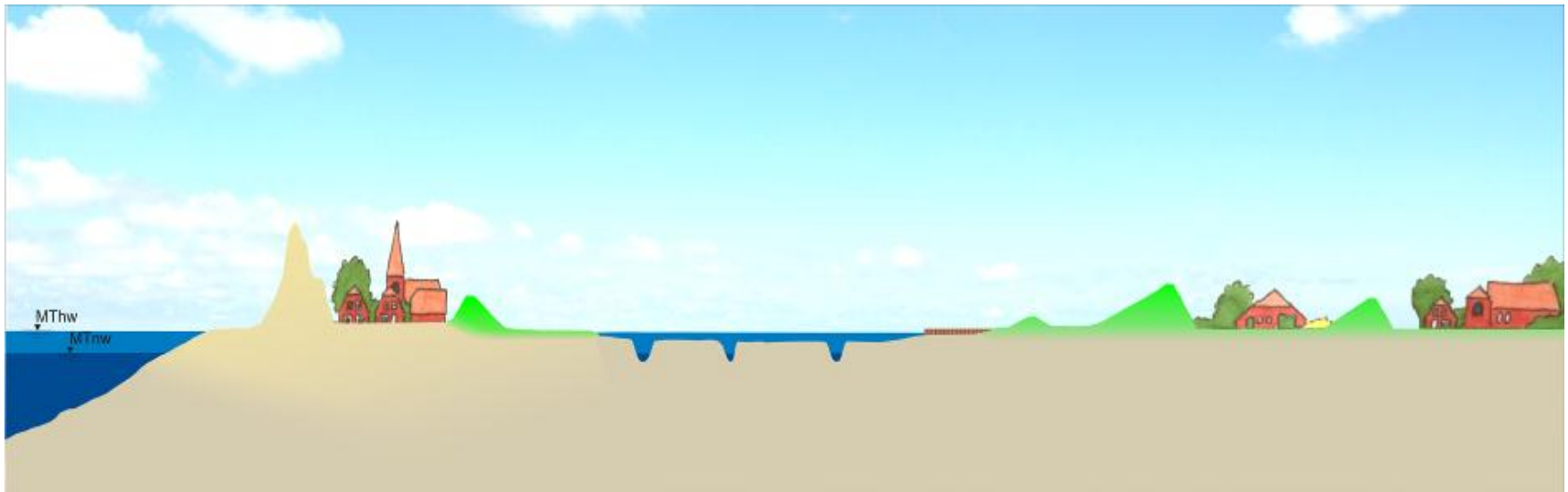
Festlandsküste:

- Hauptelemente: 610 km Hauptdeiche, 17 Sperrwerke

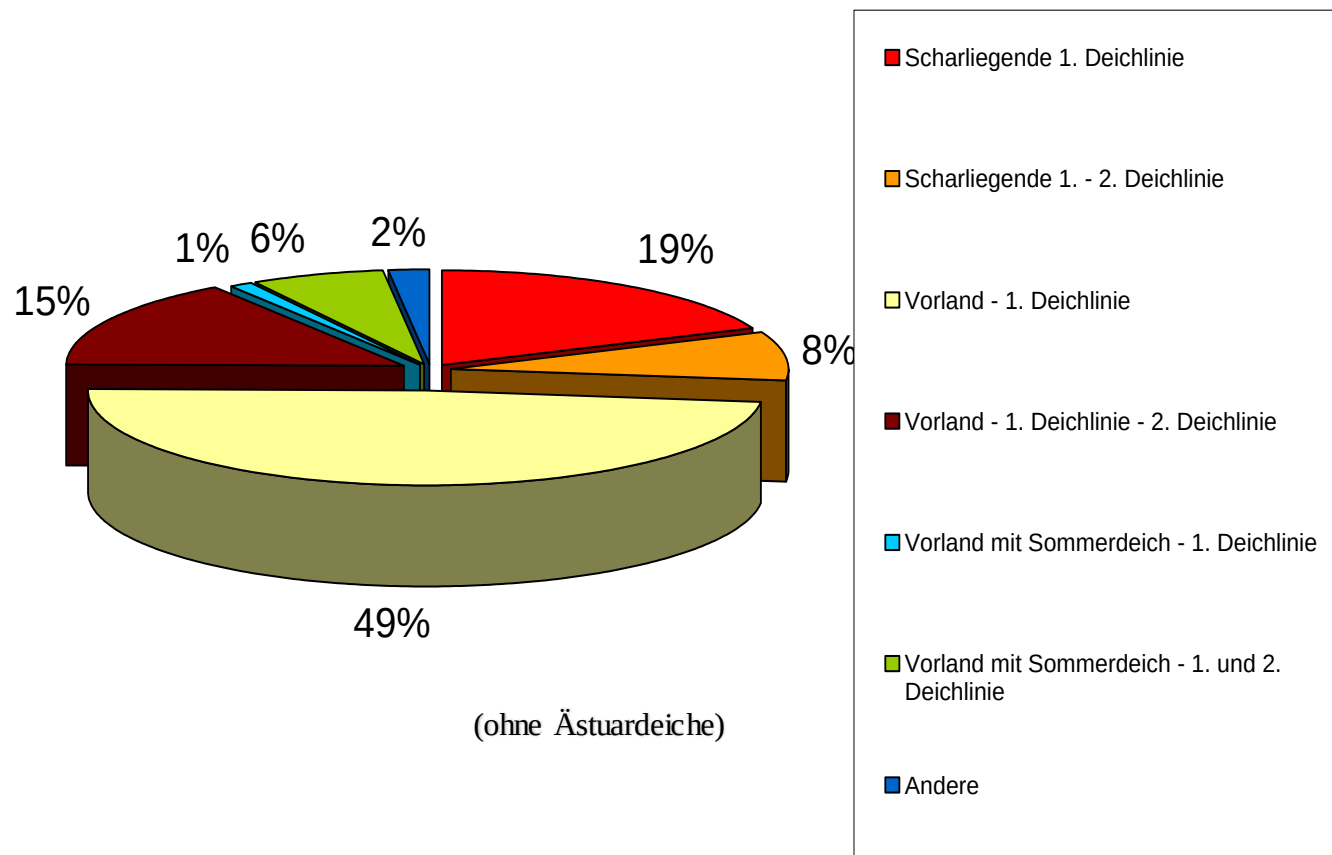
Typisierung von Küstenschutzsystemen: Scharliegende 1. Deichlinie



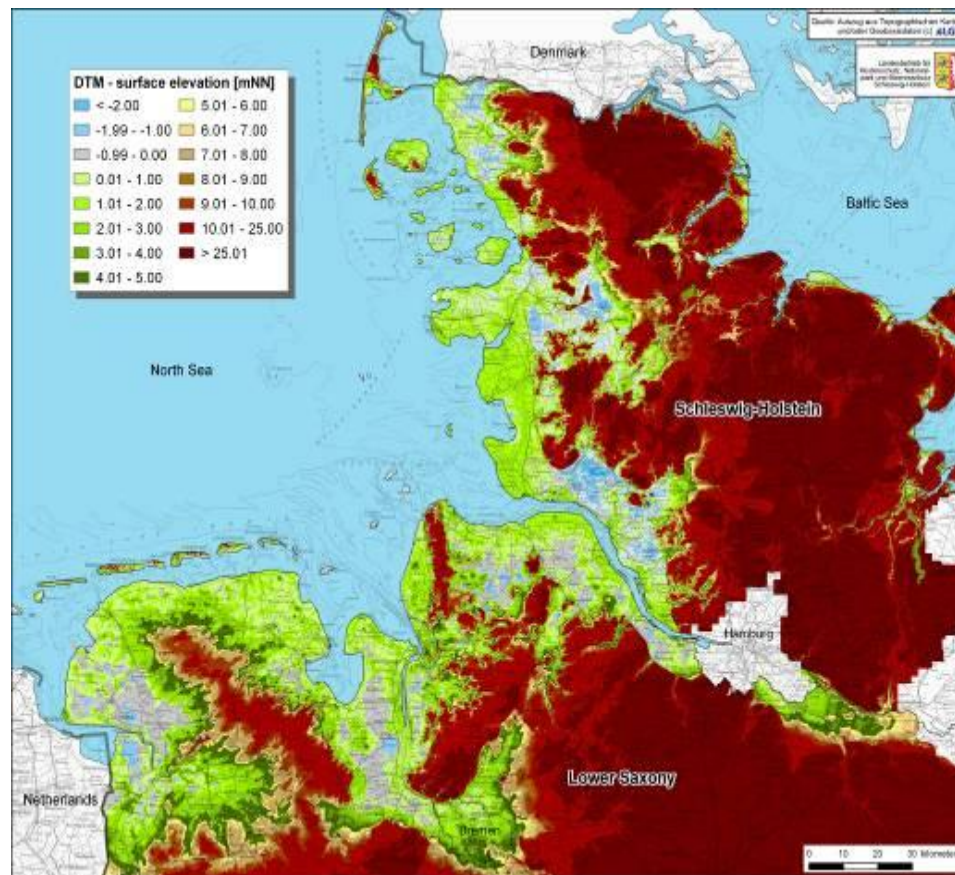
Typisierung von Küstenschutzsystemen: Vorland mit Sommerdeich – 1. Deichlinie - 2. Deichlinie



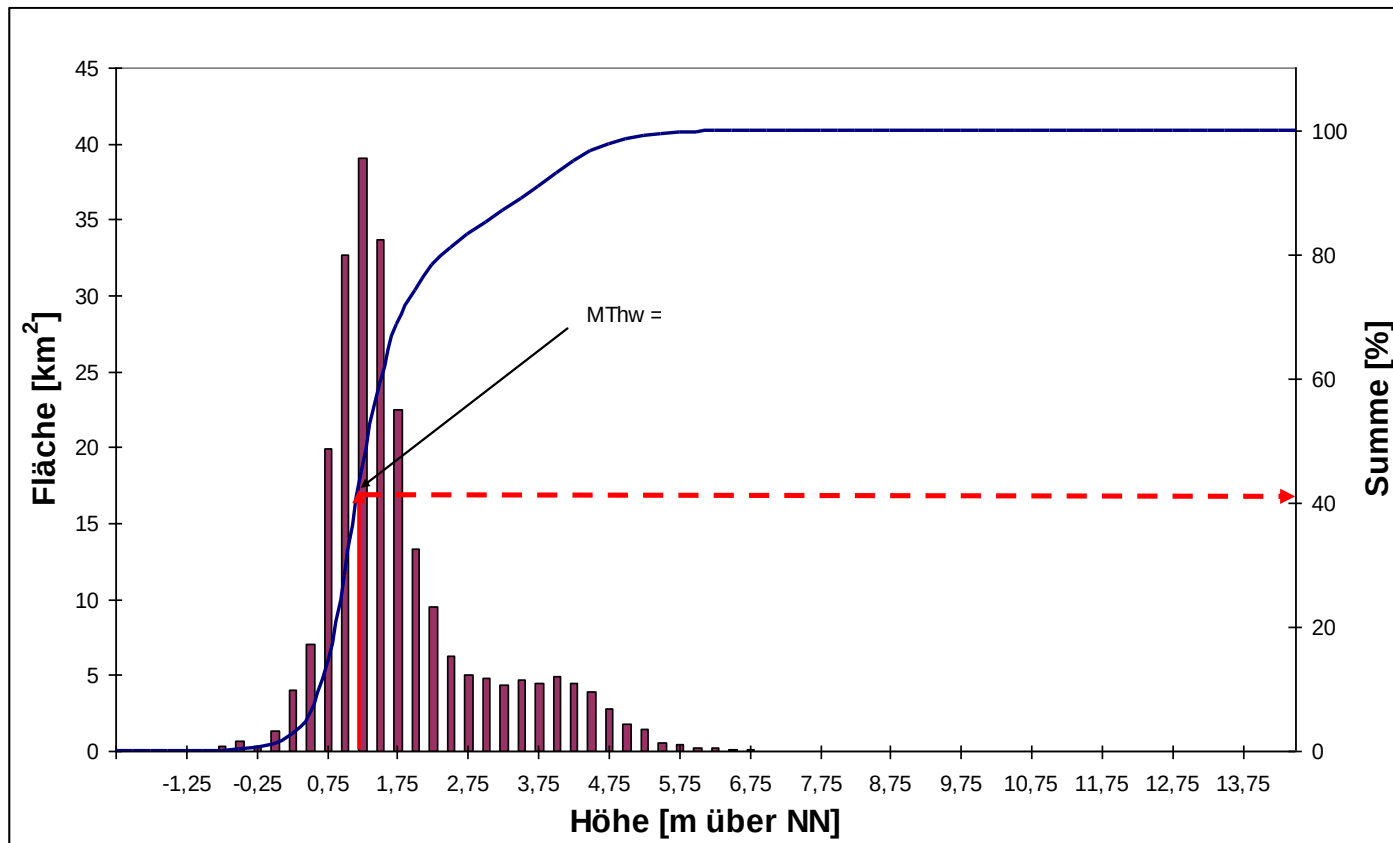
Typisierung der Küstenschutzsysteme Niedersachsen - Vorläufige Ergebnisse



Analyse der Höhenverhältnisse in den Küstengebieten von NI und SH



Einfluss der Topografie – Analyse der Höhenverhältnisse in Teilgebieten



Konsequenzen des Versagens – Überflutung Sensitivitätsanalysen Markgrafenheide

Numerische Simulationen

Untersuchte Faktoren: Lage & Breite der
Bresche, Versagenszeitpunkt während der
Sturmflut, Sturmflutscheitelwasserstand

Untersuchungsstandorte: Düne & beide
Deichstrecken

Untersuchungsgebiet: Markgrafenheide
(westlich v. Rostock)

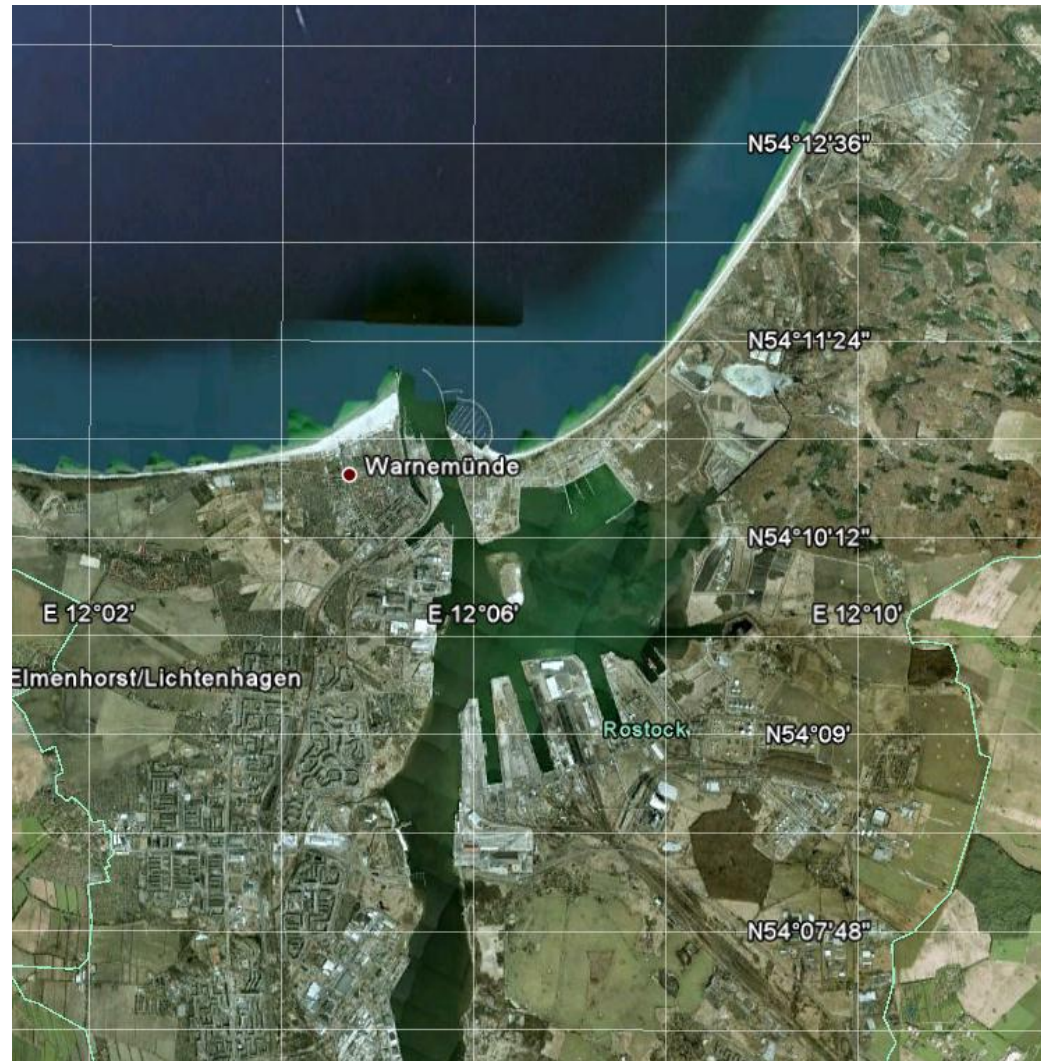
durch Hochwasserschutzdüne,
Landesschutzdeich &
Hochwasserschutzwände geschützt



Markgrafenheide

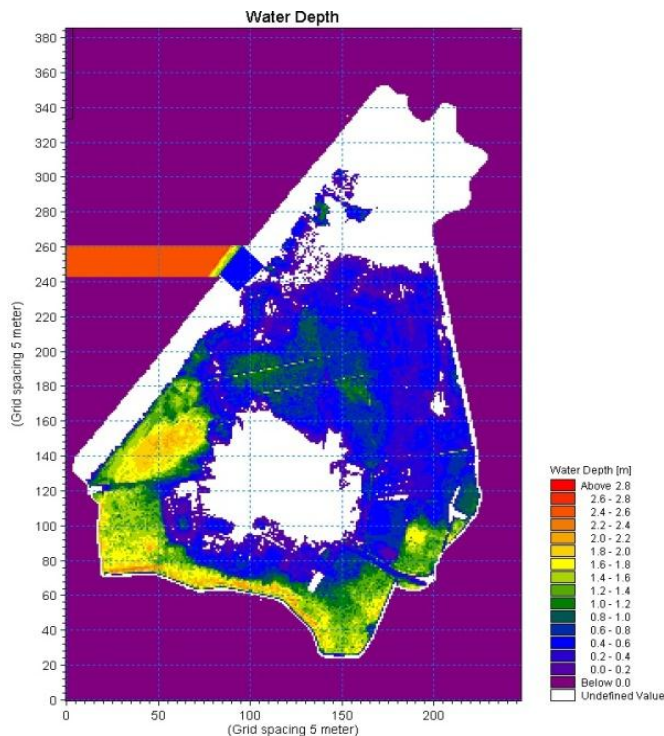
Nordöstlich von Rostock

Überflutung von der Ostsee
und über den Breitling

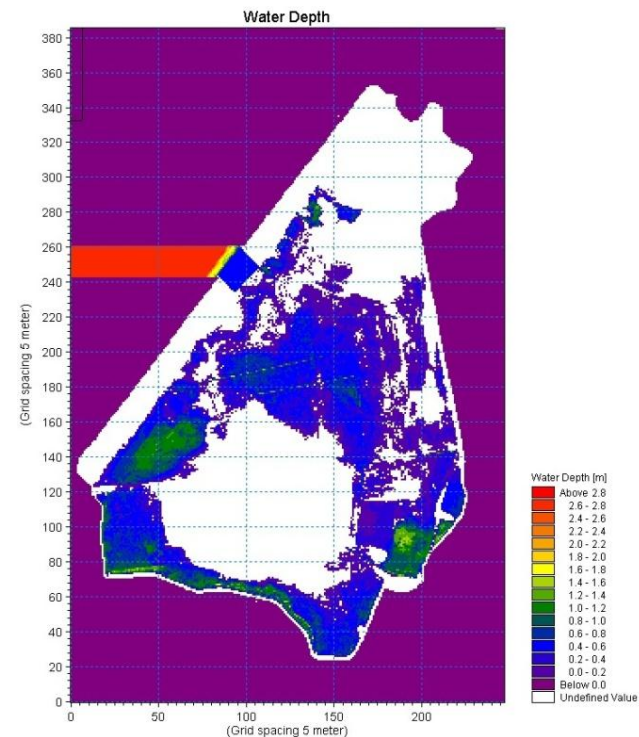


Arbeitspaket 4 – Stand der Arbeiten

Zeitpunkt d. Versagensbeginn (4 Std. vor (links) bzw. nach (rechts) Eintritt des Sturmflutscheitels)



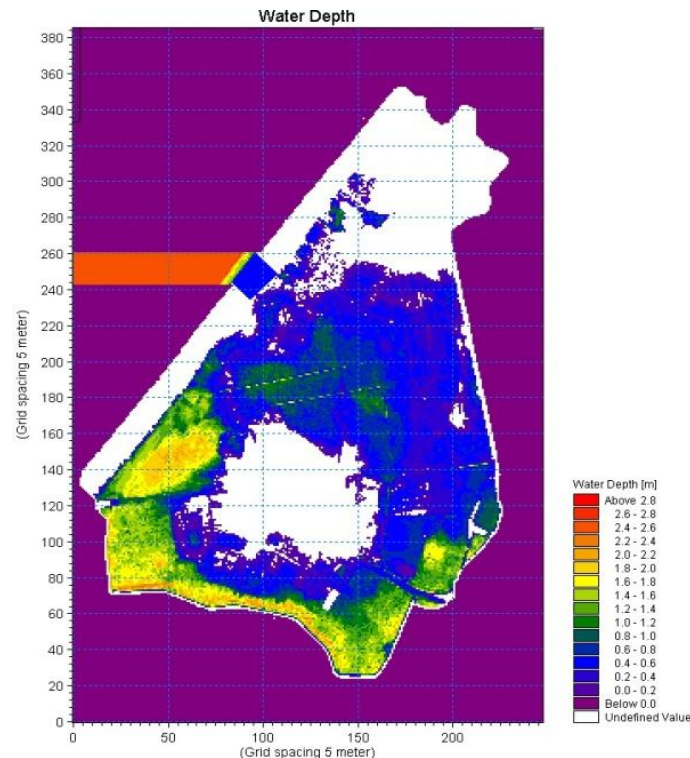
Max. Fläche= 685.450 m²



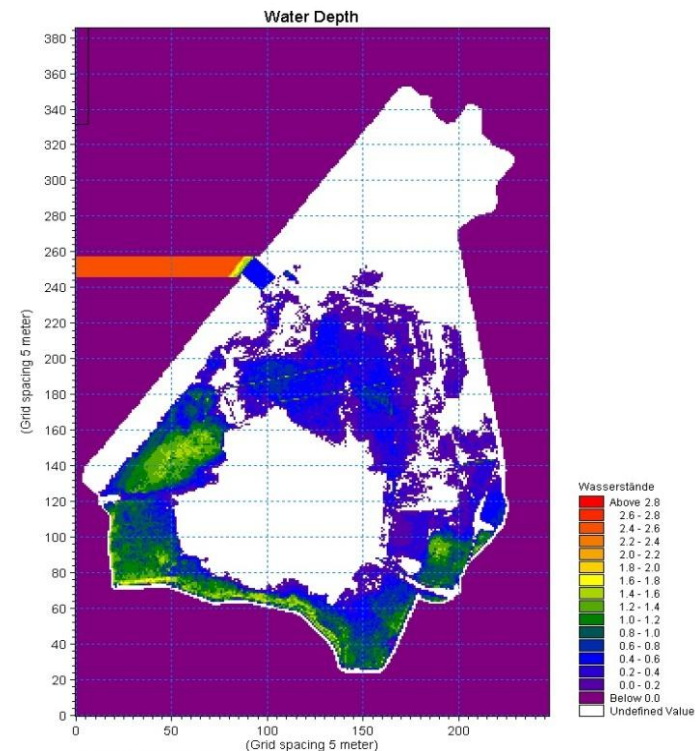
Max. Fläche = 488.275 m²

Arbeitspaket 4 – Stand der Arbeiten

Breschenbreite (100 m (links) bzw. 50 m (rechts))



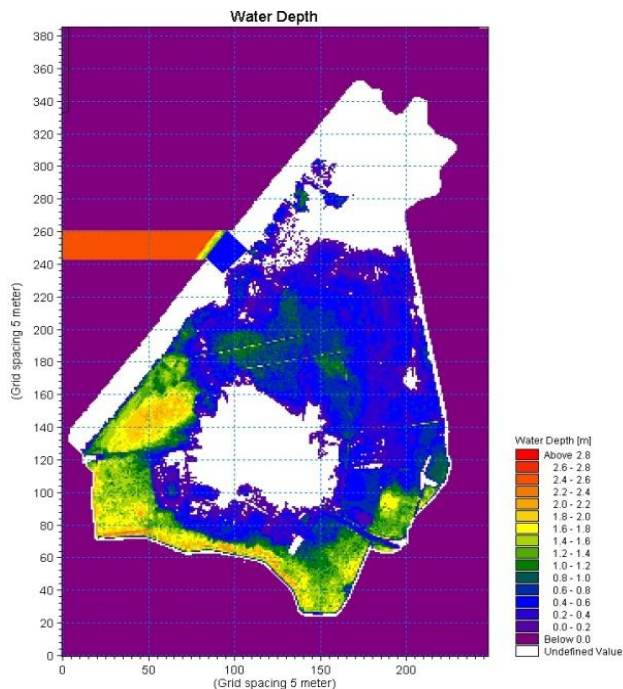
Max. Fläche= 685.450 m²



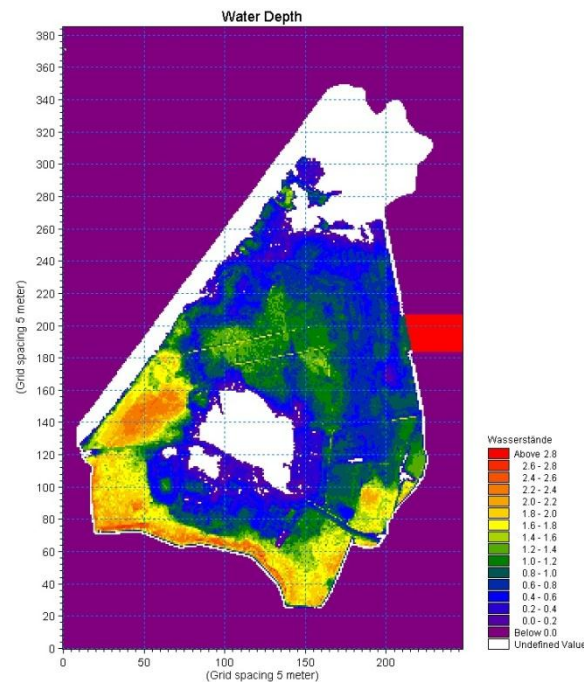
Max. Fläche = 454.775 m²

Arbeitspaket 4 – Stand der Arbeiten

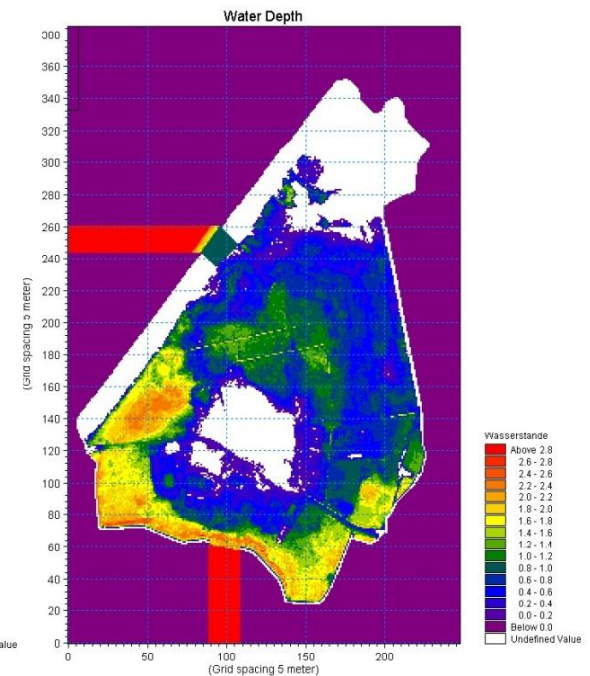
Lage des Versagensorts (BHW) => Lage spielt bzgl. BHW keine Rolle



Max. Fläche = 685.450 m²



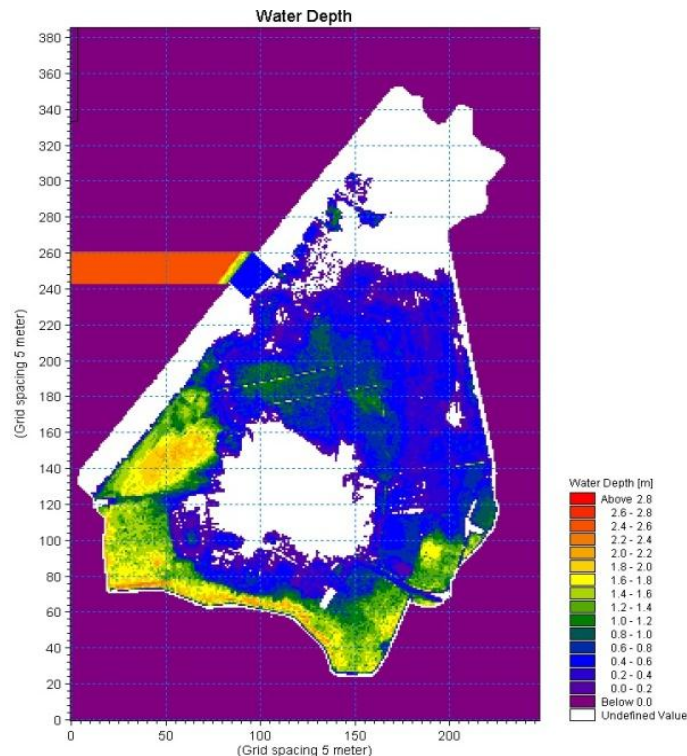
Max. Fläche = 789.975 m²



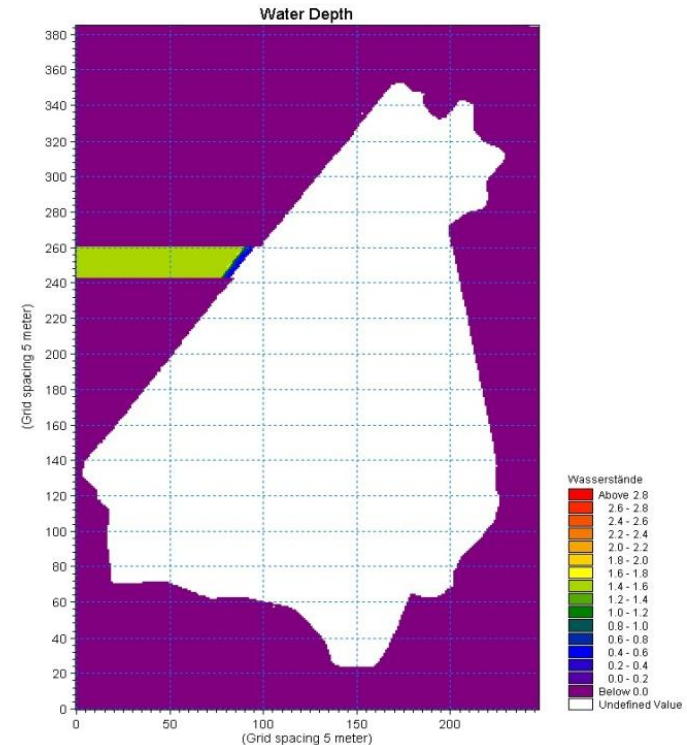
Max. Fläche = 781.600 m²

Arbeitspaket 4 – Stand der Arbeiten

Sturmflutscheitelwasserstand (BHW (links), T = 200 a (rechts))

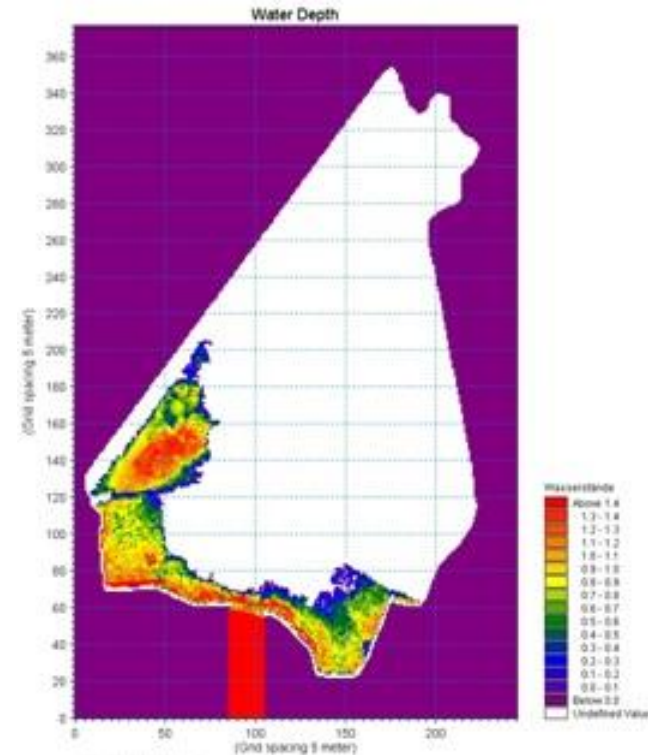
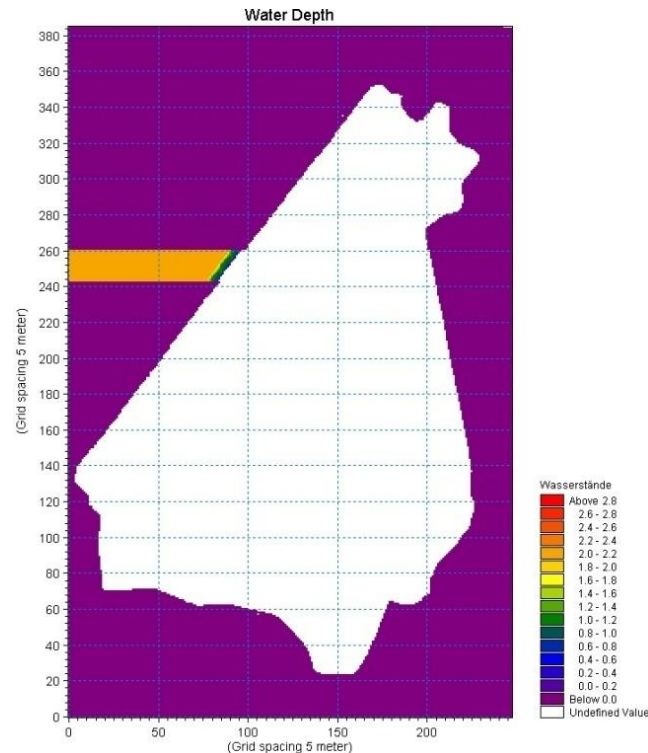


Max. Fläche= 685.450 m²



Arbeitspaket 4 – Stand der Arbeiten

Lage des Versagensortes (Düne (links) & südl. Deichstrecke (rechts) (T = 200a))



Max. Fläche= 185.425 m²

Simulationen Markgrafenheide

- Zeitpunkt des Versagens spielt lediglich untergeordnete Rolle (sofern vor bzw. kurz nach Scheitelwasserstand)
 - Breite der Bresche limitiert einlaufende Wassermenge
 - Maximaler Wasserstand hat (ortsbezogen) den größten Einfluss auf die überflutete Fläche
- ➔ Art und Größenordnung des Bauwerksversagens ist relevant!

Numerische Simulationen – Untersuchungsgebiet & Software

Untersuchungsgebiet: Markgrafenheide
(nordöstlich von Rostock)

durch Hochwasserschutzdüne, Landesschutzdeich &
Hochwasserschutzwände geschützt

**Verwendung verschiedener
Softwarelösungen: NLWKN – Sobek,
RWTH Aachen – ProMaIDES,
Universität Rostock – Mike 21**

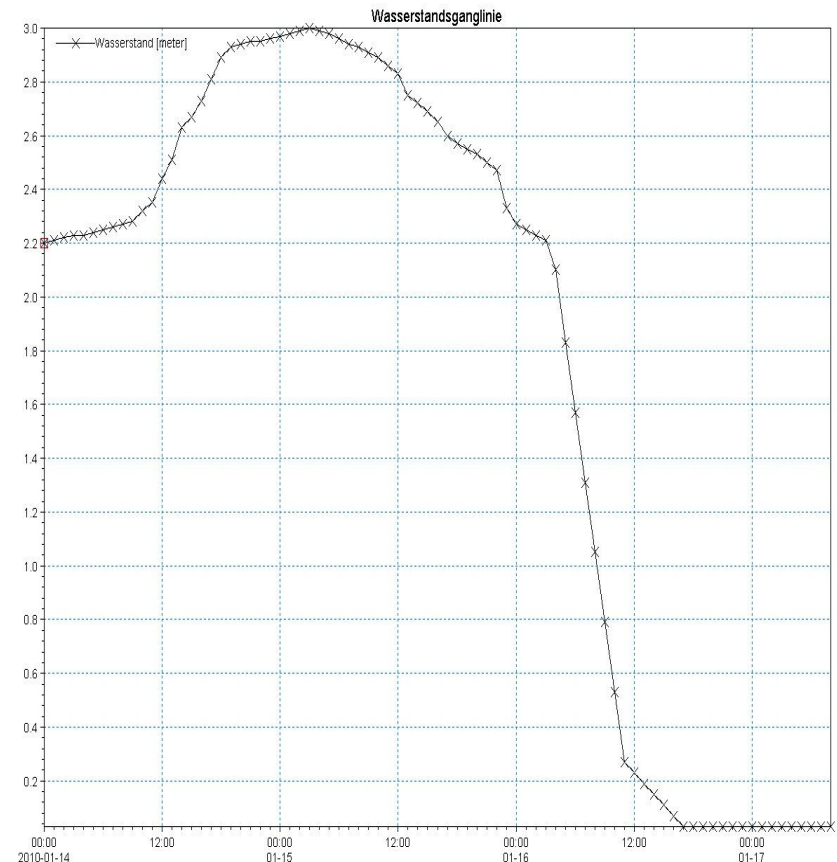
Versagensort – südliche Deichstrecke

Einfluss der Modellauflösung



Numerische Simulationen - Randbedingungen

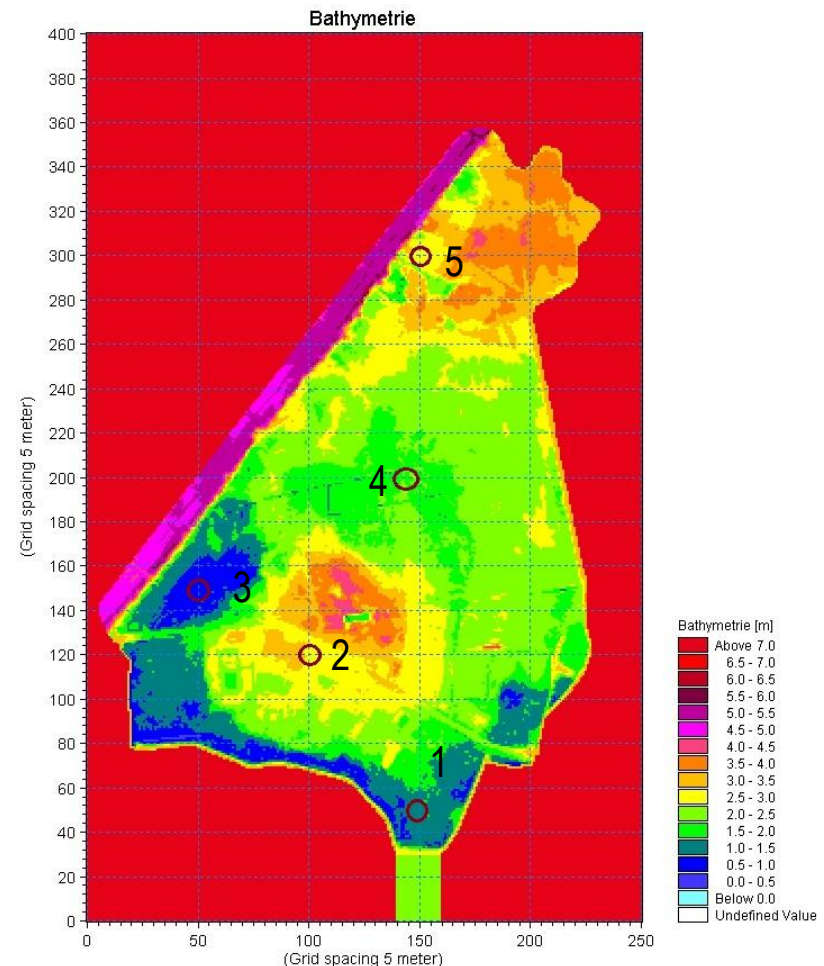
- Breschenbreite: 100 m
- Breschenbildung erfolgt linear
- Versagensdauer: 1 Std.
- Versagensbeginn: 1 Std. vor Eintritt des Sturmflutscheitels
- Wasserstandsganglinie :
Scheitelwasserstand entspricht Bemessungshochwasser



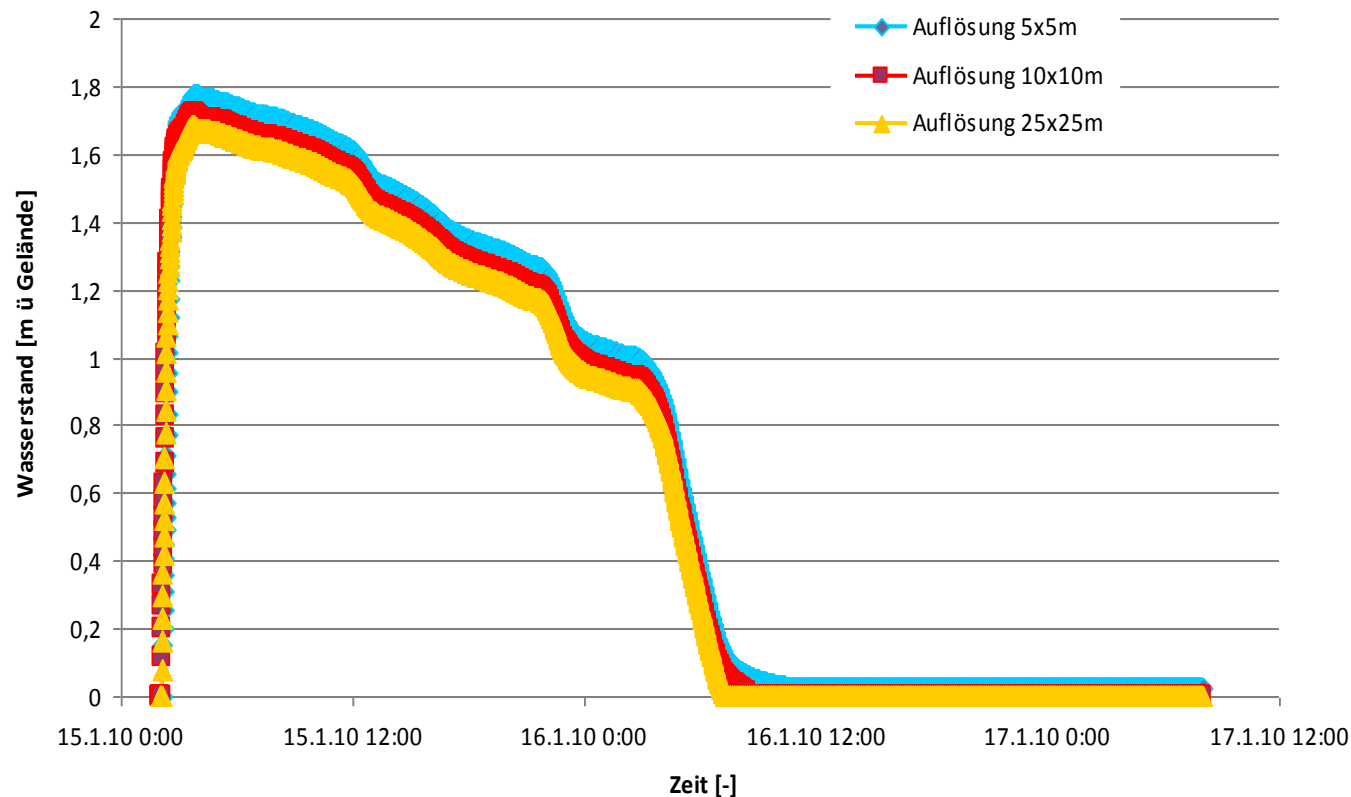
Numerische Simulationen - Auswertungen

Auszuwertende Größen

- max. Überflutungsfläche,
- Wasserstandsganglinien an 5 "Pegelpunkten"

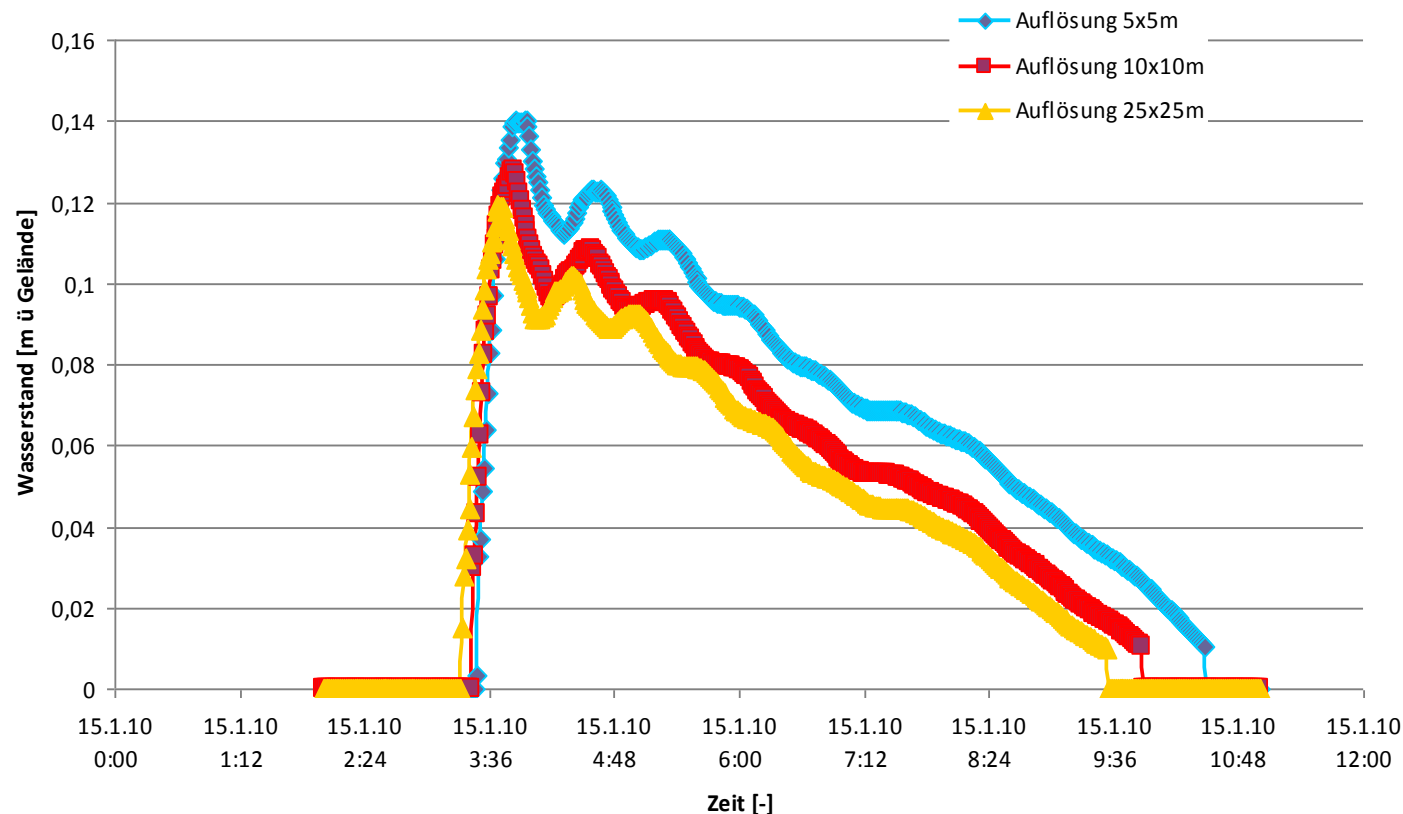


Wasserstandsganglinien Pegelpunkt 1

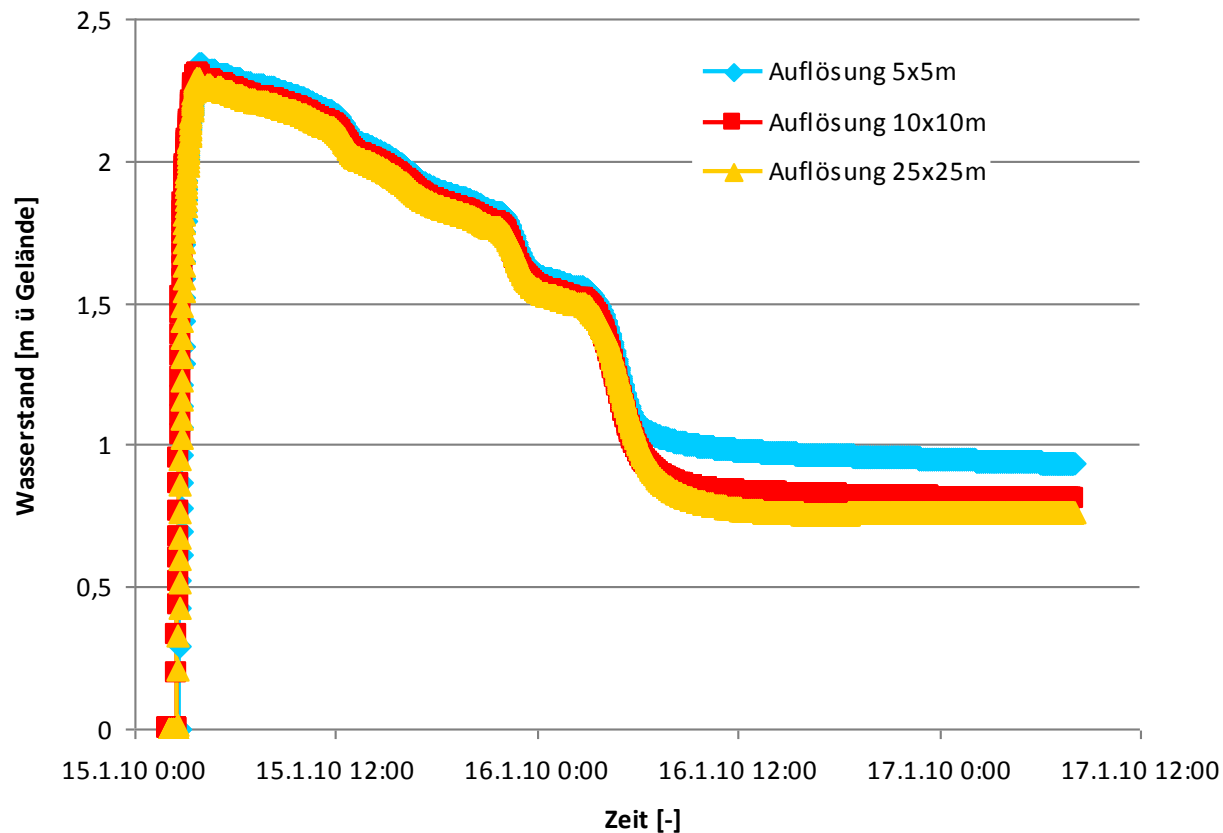


Konsequenzen des Versagens - Überflutung

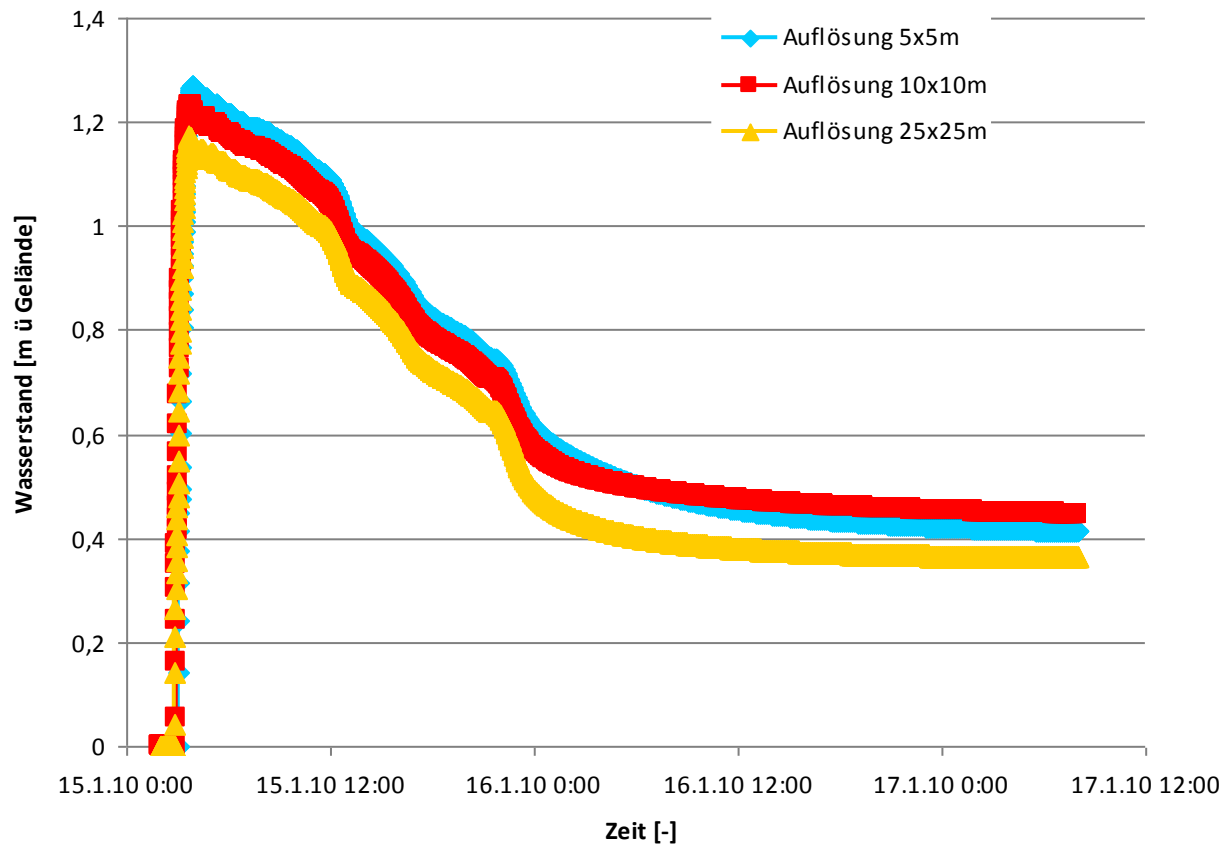
Wasserstandsganglinien Pegelpunkt 2



Wasserstandsganglinien Pegelpunkt 3

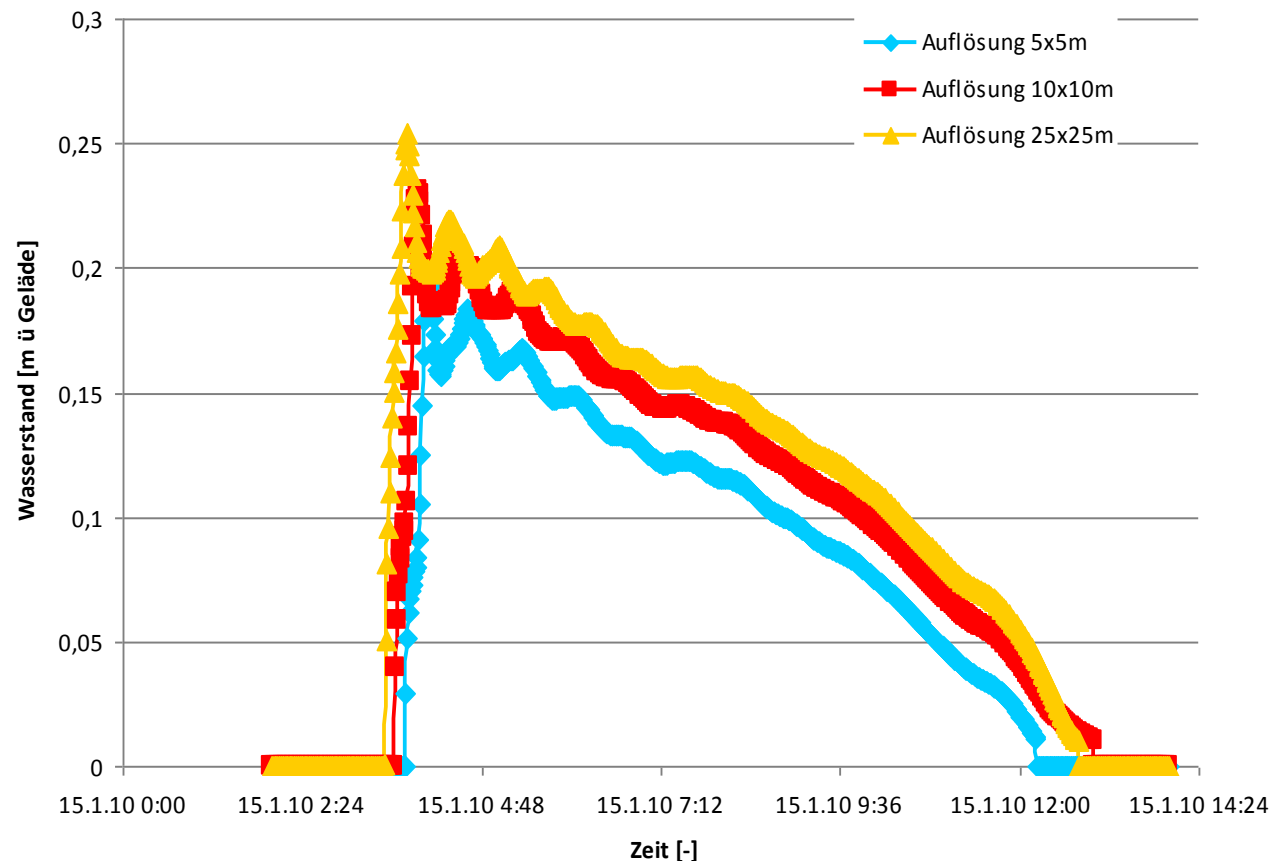


Wasserstandsganglinien Pegelpunkt 4

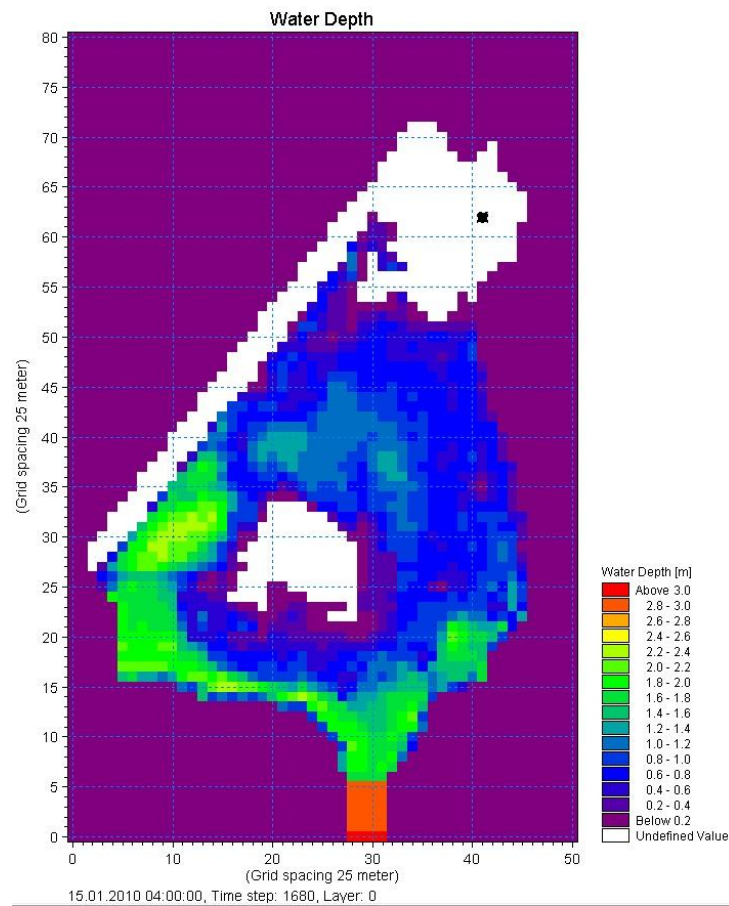


Konsequenzen des Versagens - Überflutung

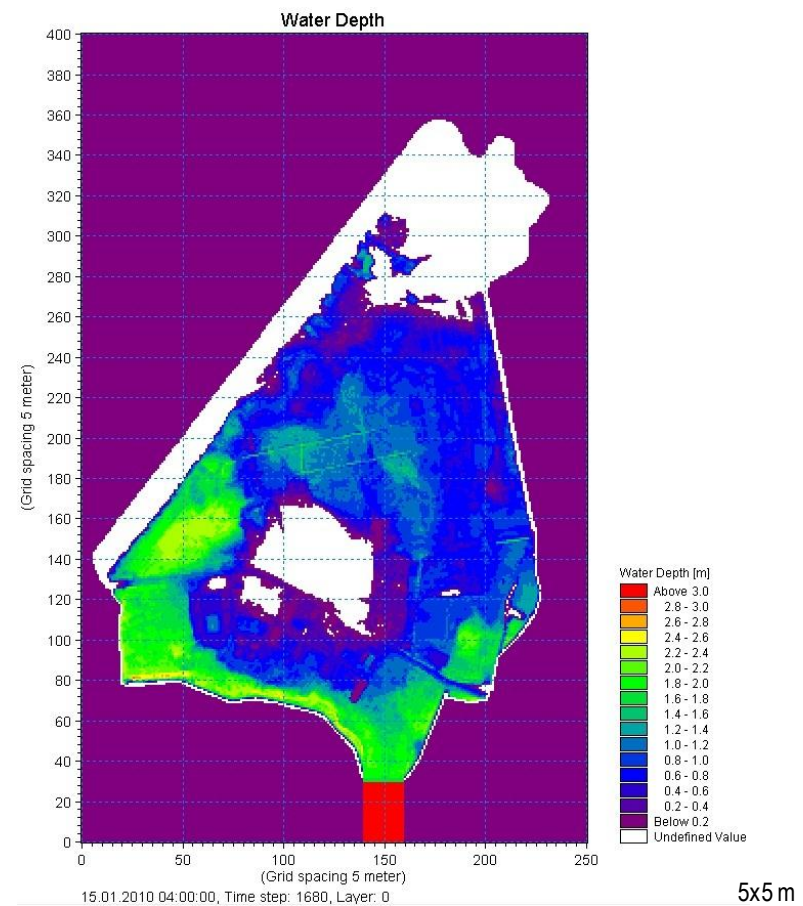
Wasserstandsganglinie Pegelpunkt 5



Numerische Simulationen – maximale Überflutungsfläche (1)



25x25 m

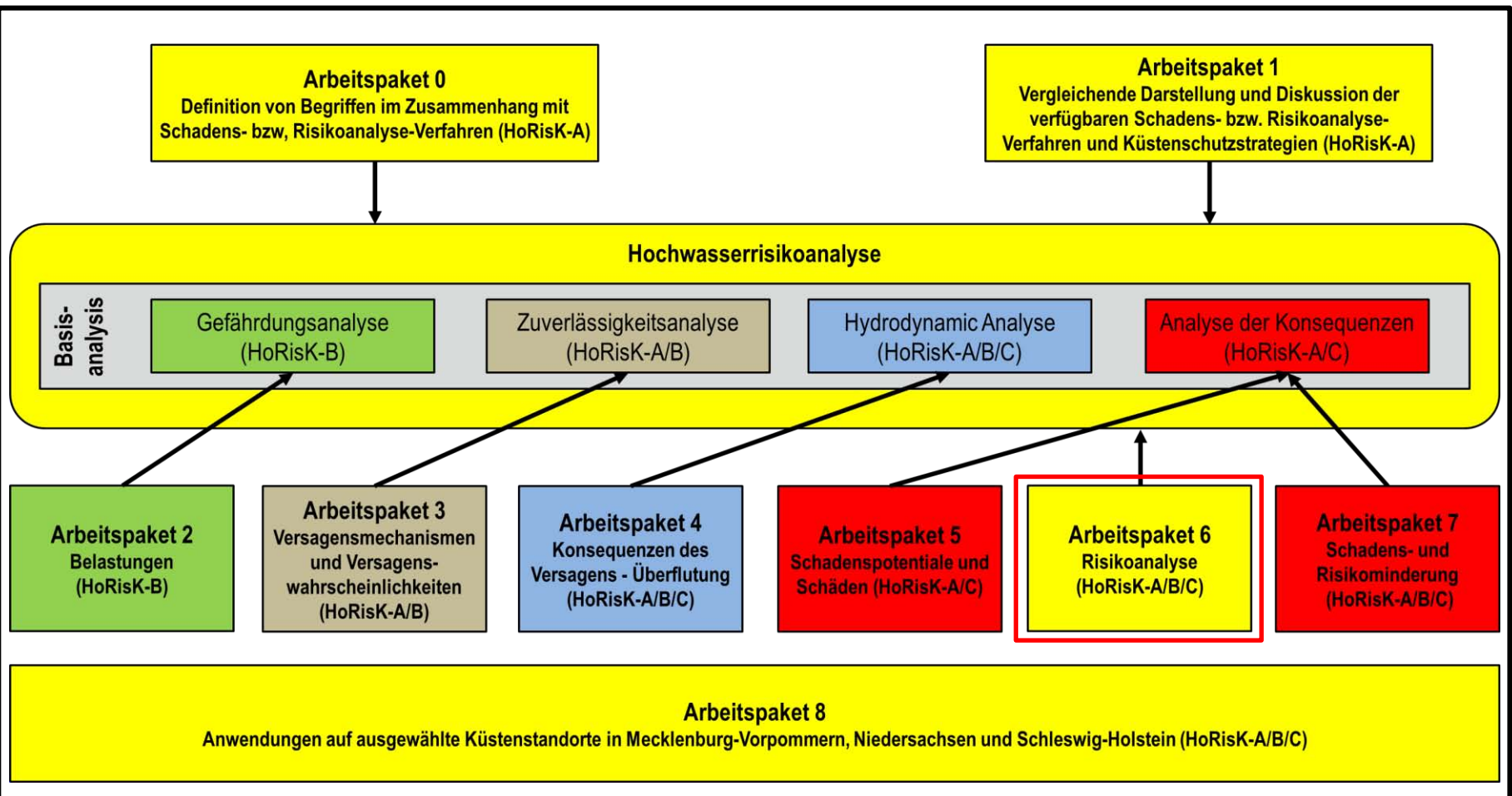


5x5 m

Vorläufige Ergebnisse (2D-Simulation):

Raster- größe [m x m]	Anzahl der Zellen	Max. überflutete Fläche [m²] MIKE (Uni Rostock)	Max. überflutete Fläche [m²] SOBEK (NLWKN)
5 x 5	100651	795.000	789.350
10 x 10	25326	804.700	805.900
25 x 25	4131	818.750	819.375

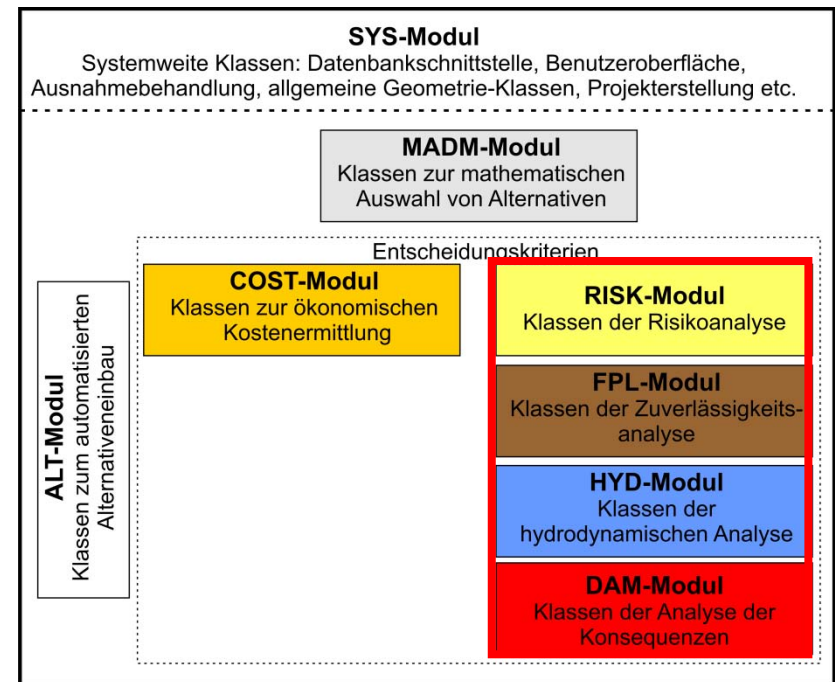
Arbeitspakete



Integration der Arbeitspakete in einer Risikoanalyse

ProMalDes (Protection Measures against Inundation Decision support)

- Entscheidungsunterstützungssystem zur Bewertung von Hochwasserschutzmaßnahmen auf Risikobasis
- Modular aufgebautes Programmpaket (C++), mit Verfahren zur Hochwasserrisikoanalyse und ihren Basisanalysen



Vergleich mit anderen Methoden und Verfahren

RWTH Aachen

Zusammenfassung

- Projektlaufzeit 2009 – 2013
- Ziel: anwendungsorientierte Schadens- bzw. Risikoanalysen
- AP2 Sturmflutsimulator als Grundlage für Monte-Carlo-Untersuchungen
- AP3 Versagensmechanismen als Grundlage für die Ermittlung von fragility curves
- AP4 Überflutungen und Einfluss von i) Versagensort und –intensität, ii) Küstenschutzsystemen, iii) Hinterland, iv) eingesetzte Modellkette
- AP6 Integration in Risikoanalysesystem (Makroskalige Bewertung)

Vielen Dank für die Unterstützung



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Kuratorium für
Forschung im Küsteningenieurwesen

KFKI



Projekträger Jülich
Forschungszentrum Jülich