TUHH
Technische Universität Hamburg-Harburg

WASSERBAU
River and Coastal Engineering

Versagen und Konsequenzen des Versagens von Küstenschutzbauwerken in Mecklenburg-Vorpommern

19. KFKI-Seminar zur Küstenforschung

M.Sc. Angelika Gruhn

Prof. Dr.-Ing. Peter Fröhle

11. November 2014

Inhalt

- Arbeitspaket 3 – Versagen von Küstenschutzbauwerken
  - Allgemeines
  - Arbeitsschritte
  - Hochwasserschutzdüne
  - Dünenerosionsmodell Van Gent et.al. (2008)
  - Numerische Modell Xbeach (Roelvink 2009)
  - Eingangsparameter
  - Einwirkungsversagensfunktion & Versagenswahrscheinlichkeiten
  - Einwrkungsversagensfunktionen

- Arbeitspaket 4 – Konsequenzen des Versagens
  - Allgemeines
  - Sensitivitätsuntersuchungen
  - Anwendung auf das Projektgebiet Markgrafenheide
  - Modellvergleich: Mike 21 HD vs. Führböter (1987)

- Zusammenfassung

Arbeitspaket 3 - Allgemeines

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

Deiche	Deichscharts- und Stöpen
2. Deichlinie	Siele und Schöpfwerke
Hochwasserschutzdünen	Sperrwerk
Hochwasserschutzwände	Schleusen
Vorländer und Sommerdeiche	Kombination von Bauwerken

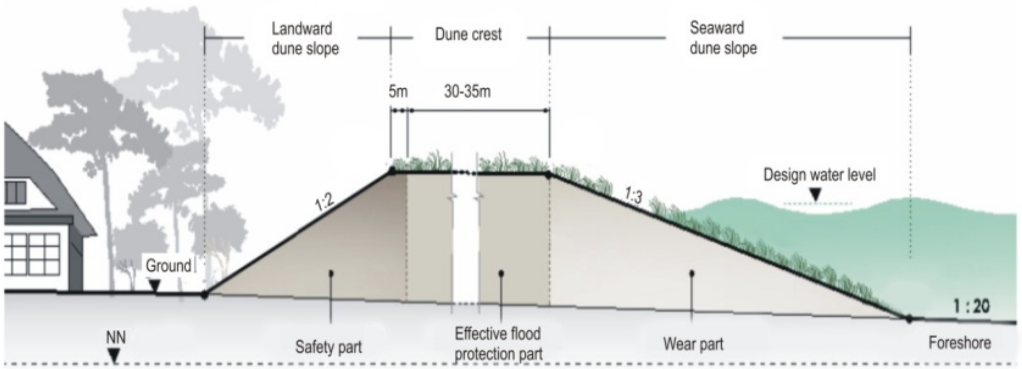
Arbeitspaket 3 - Arbeitsschritte

- Schrifttumsanalyse zu möglichen Versagensmechanismen für die betrachteten Bauwerkstypen & Berechnung von Versagenswahrscheinlichkeiten
- Zusammenstellung der Versagensmechanismen
- Zusammenstellung entsprechender Berechnungsmodelle
- Zuordnung der Versagenswahrscheinlichkeiten für die jeweiligen Versagensmechanismen
- Identifizierung maßgebender Versagensmechanismen
- Ableitung von Einwirkungsversagensfunktionen

Programmtechnische Umsetzung

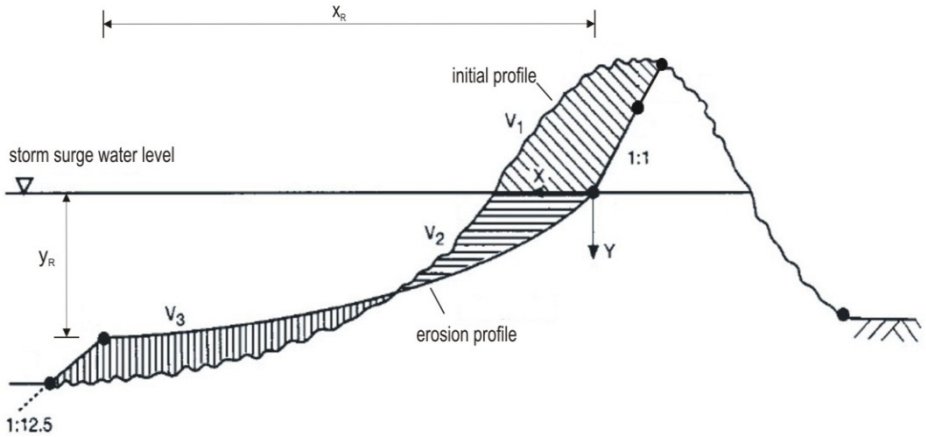
Arbeitspaket 3 - Hochwasserschutzdüne

- Als Vollschutzdüne: Verschleißteil, Reserveteil und Sicherheitsteil
- Beurteilung der Zuverlässigkeit mit Hilfe von Einwirkungsversagensfunktionen
- Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeiten ➔ Anwendung verschiedener Dünenerosionsmodelle
- Untersuchungen am Projektgebiet Markgrafenheide



Arbeitspaket 3 – Dünenerosionsmodell Van Gent et.al. (2008)

- Semi-empirischer Ansatz ➔ Annahme eines Gleichgewichtsprofils
- Eingangsparameter: direkt - H_{0s} , T_p , w; indirekt – Sturmflutwasserstand
- Berechnung des Gleichgewichtsprofils ➔ Ableitung der resultierenden Restkronenbreite



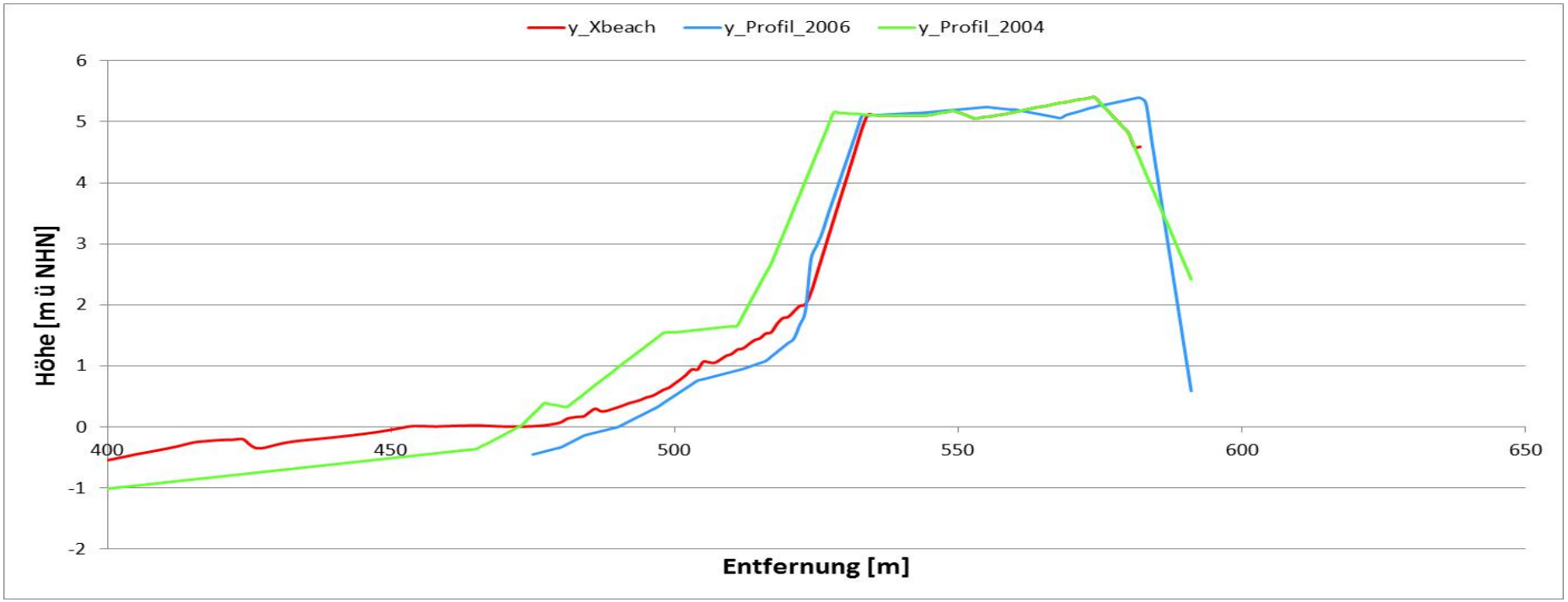
$$\frac{7,6}{H_{oS}} y = 0,4714 * \left[\left(\frac{7,6}{H_{0S}} \right)^{1,28} * \left(\frac{12}{Tp} \right)^{0,45} * \left(\frac{w}{0,0268} \right)^{0,56} * x + 18 \right]^{0,5} - 2,0$$

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

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

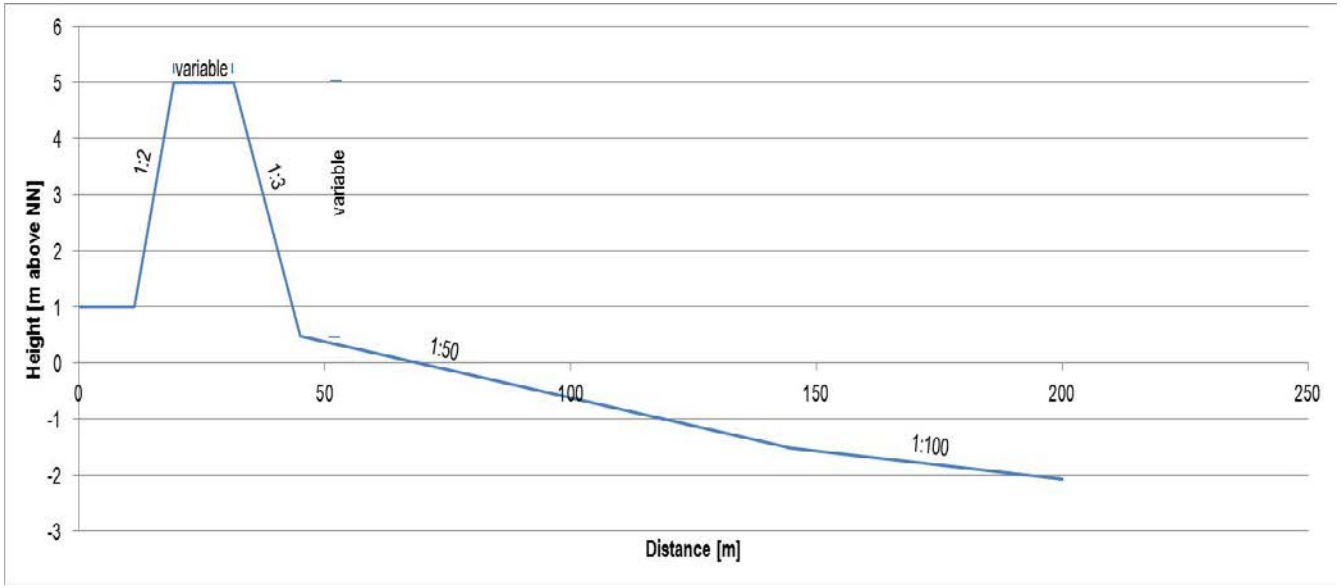
Arbeitspaket 3 – numerische Modell Xbeach (Roelvink 2009)

- Modellierung der morphodynamischen Entwicklung des Strandbereiches
- Kalibrierung am Projektgebiet Markgrafenheide



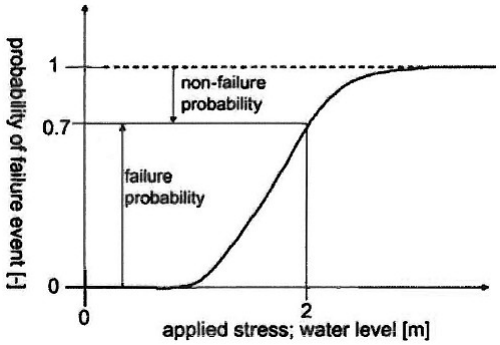
Arbeitspaket 3 – Eingangsparameter

- Kombination 2er bivariater statistischer Analysen (AP 2)
  - Anwendung auf Messungen des Wasserstands und der Fülle
  - Anwendung auf Messungen des Wasserstandes und der Wellenhöhe
- Querprofil



Arbeitspaket 3 – Einwirkungsversagensfunktion & Versagenswahrscheinlichkeit

- Versagenswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit der Belastung auf das Bauwerk (AP 2)



Bachmann et.al. 2009

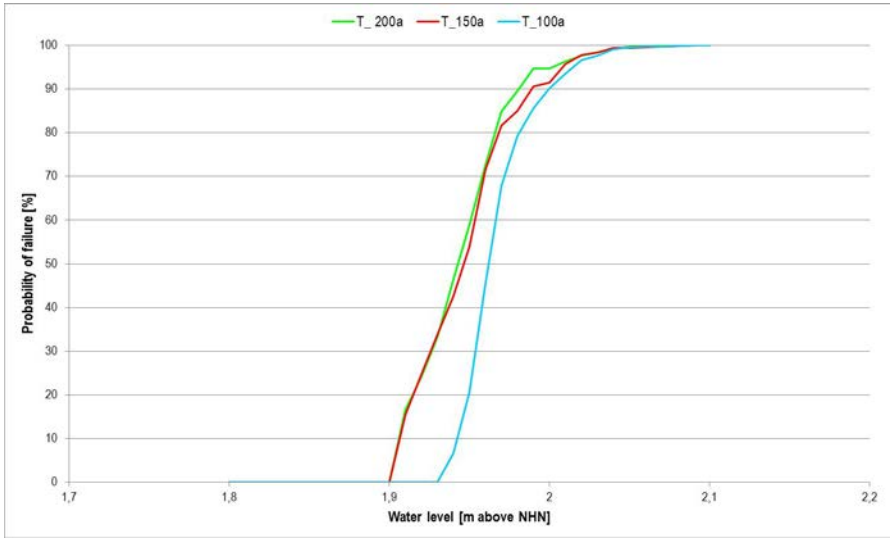
- Ableitung der Einwirkungsversagensfunktionen auf Grundlage von Zuverlässigkeitsanalysen für diskrete Werte der Belastung
- Definition einer Grenzzustandsgleichung ➔ Vergleich der „Widerstandsfähigkeit“ der Bauwerke und der einwirkenden Belastung

$$Z = m * d_{Krobr_akt} - d_{KroBr_kr}$$

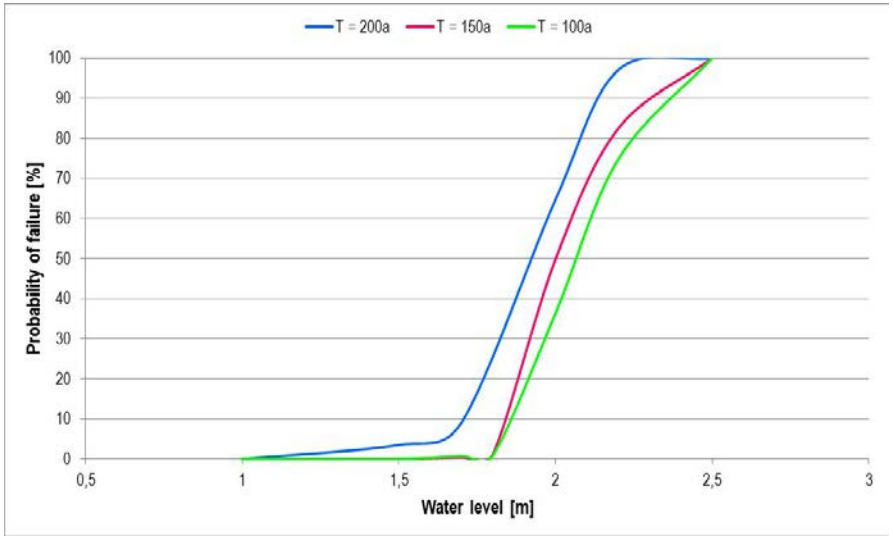
- Berechnung der Versagenswahrscheínlichkeiten: Anwendung von Monte Carlo Simulationen auf Grenzzustandsgleichung

Arbeitspaket 3 – Einwirkungsversagensfunktionen

- Simulationen für fixe Werte des Wasserstandes in Kombination mit möglichen Seegangsbedingungen und Sturmdauern des Selben Wiederkehrintervalls



Van Gent et.al. (2008)



Xbeach (Roelvink 2009)

Arbeitspaket 4 – Allgemeines

- Beurteilung der Wirkung unterschiedlicher Küstenschutzsysteme in Bezug auf deren Schutzwirkung und Überflutungsausbreitung im Versagensfall als Grundlage für die Schadensermittlung
- Sensitivitätsuntersuchungen zu relevanten Prozessen sowie maßgebenden Einflussfaktoren

    - Breschenentwicklung bei Deichen und Dünen
    - Wirkung von Küstenschutzsystemen (z.B. Vorland, Sommerdeiche, 2. Deichlinie, Polder, System HW-Schutzdüne,….)
    - 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

Arbeitspaket 4 – Sensitivitätsuntersuchungen

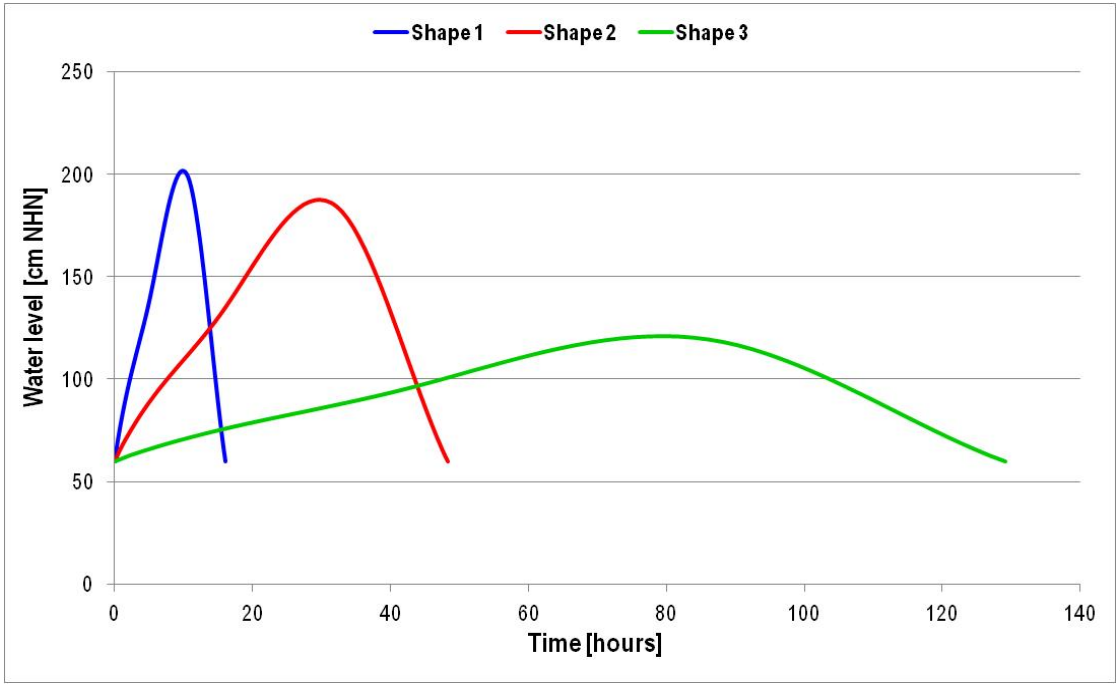
- Ziel: Ableitung von **Abhängigkeiten** zwischen **hydrodynamischen** bzw. **versagens-bezogenen Einflussfaktoren** und **Überflutungsparametern**

Untersuchte Faktoren	Überflutungsparameter
Breschenbreite	Überflutungstiefe
Versagensdauer	Fließgeschwindigkeit
Wiederkehrintervall der Sturmflut	Verweildauer der maximalen Überflutung
Sturmflutfülle	
Tideeinfluss	

- Statistische Untersuchung von potentiellen Überflutungsflächen an der Ostsee ➔ Ableitung typischer Flächengrößen und Geländehöhen
- Untersuchte Flächen: 3, 5 km²: 1,5 m Geländehöhe; 20 km²: 0,375 m Geländehöhe; 50 km²: 0,875 m Geländehöhe

Arbeitspaket 4 – Sensitivitätsunterschungen - Eingangsparameter

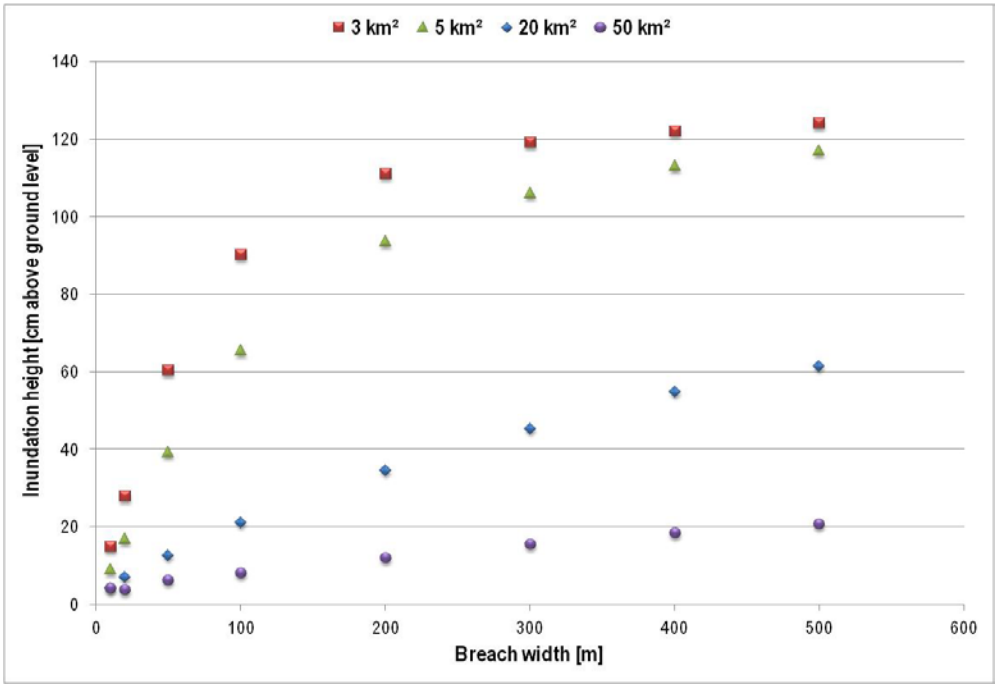
- Eingangsdaten: Minutenwerte (für Nordsee) bzw. Stundenwerte (für Ostsee) des Wasserstandes
- Ableitung der Ganglinien mittels bivariater Statistik(vgl. AP 2)
- Wiederkehrintervalle: 50, 100, 150 & 200 Jahre; 3 verschiedene Ganglinienformen



Arbeitspaket 4 – Sensitivitätsunterschungen - Einfluss der Breschenbreite

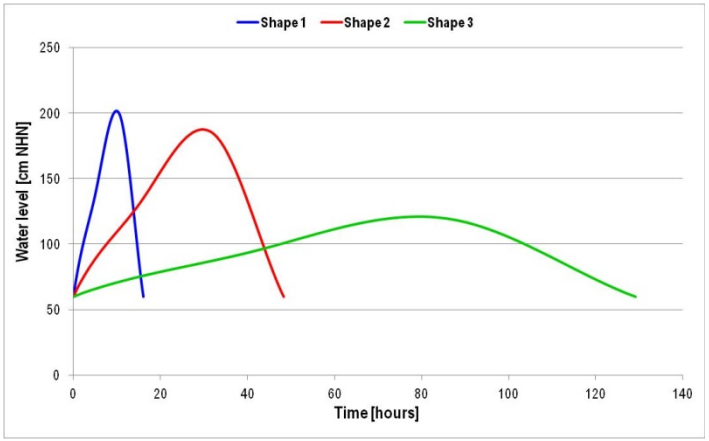
- Versagensdauer: 1 Stunde
- Versagensbeginn: 1 Stunde vor Erreichen des Sturmflutscheitels (T=200a)

	Polder dimension [km²]			
Breach Width [m]	**3**	**5**	**20**	**50**
10	14,9	9	4	4
20	27,8	16,8	7	3,6
50	60,3	39,3	12,6	6,1
100	90,1	65,6	21,1	8
200	111	93,7	34,4	12
300	119	106	45,3	15,5
400	122	113	54,7	18,3
500	124	117	61,3	20,7

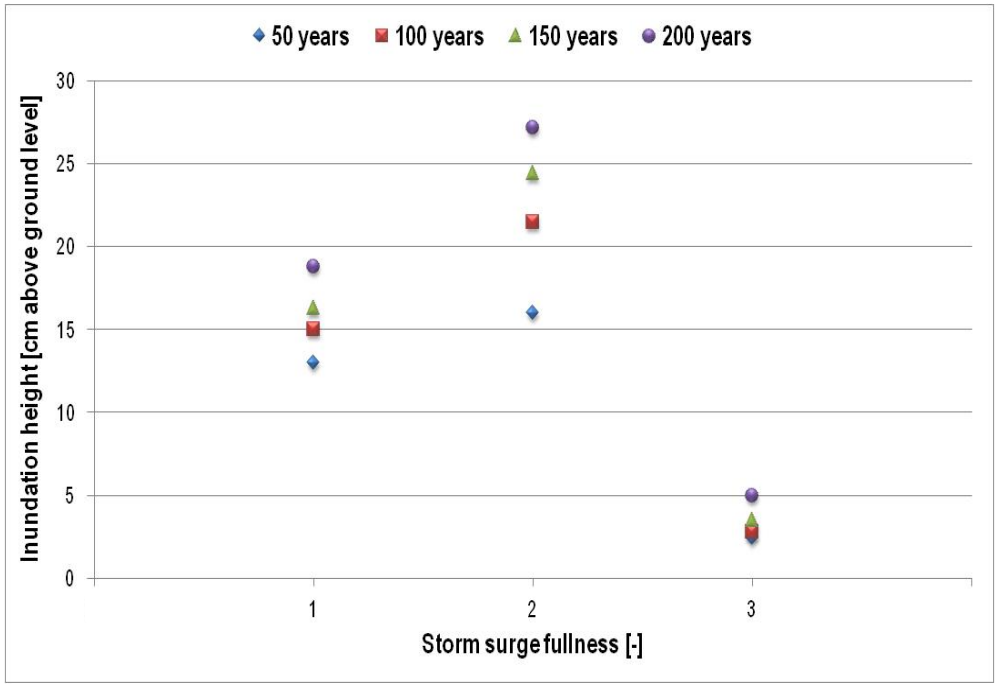


Arbeitspaket 4 – Sensitivitätsunterschungen - Einfluss der Sturmflutfülle

- Breschenbreite: 50 m (fix), Fläche: 5 km²
- Versagen bei Erreichen des jeweiligen Sturmflutscheitels abgeschlossen, Dauer: 1 Stunde



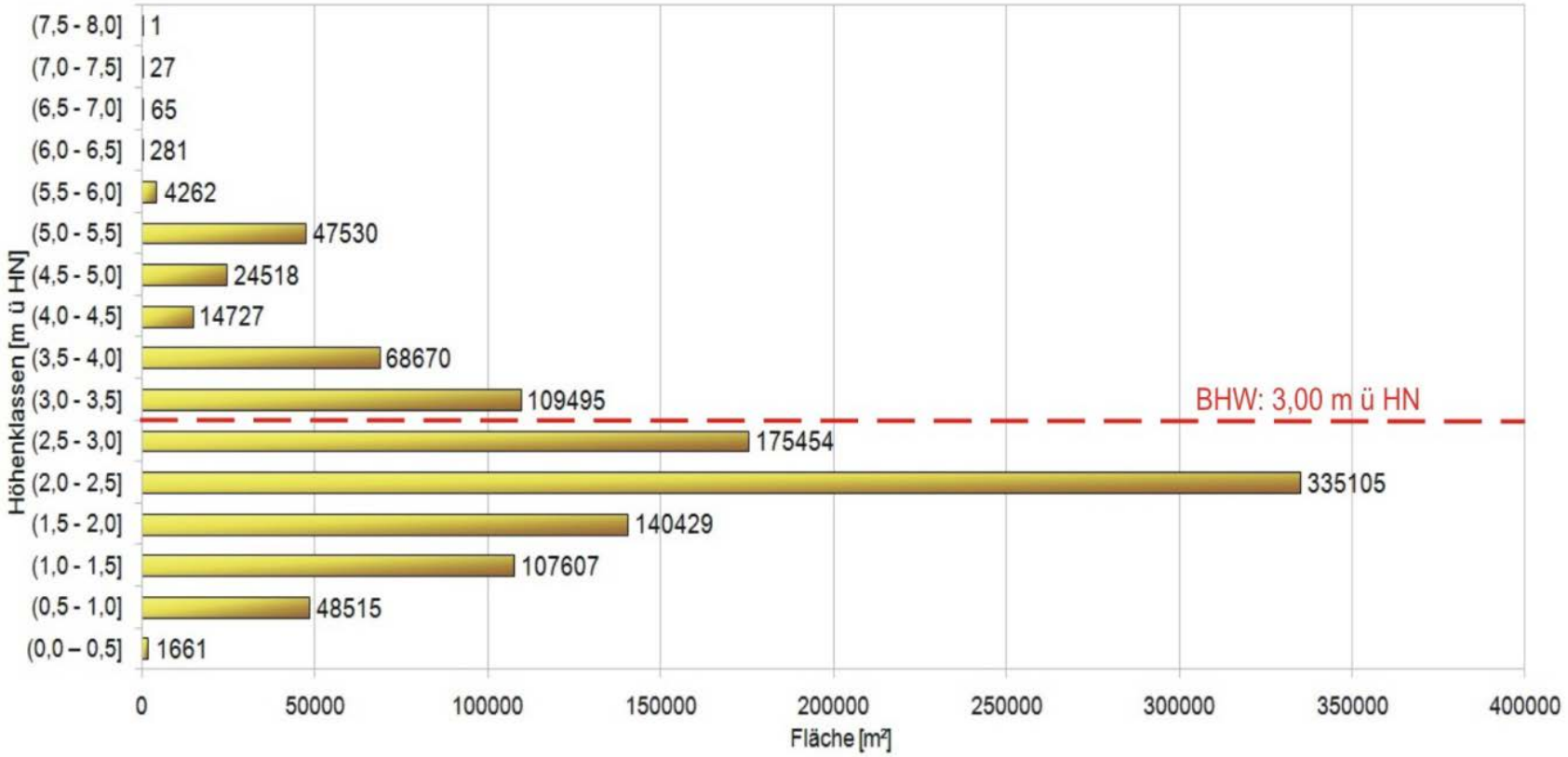
	Return period [years]			
Fullness	**50**	**100**	**150**	**200**
1	13	15	16,3	18,8
2	16	21,5	24,4	27,2
3	2,4	2,8	3,5	5



Arbeitspaket 4 – Anwendung auf das Projektgebiet Markgrafenheide

- Markgrafenheide im nördöstlichen Bereich des Rostocker Stadtgebietes gelegen
- Fläche ca. 107 ha, von einem Ring von Hochwasserschutzanlagen umgeben

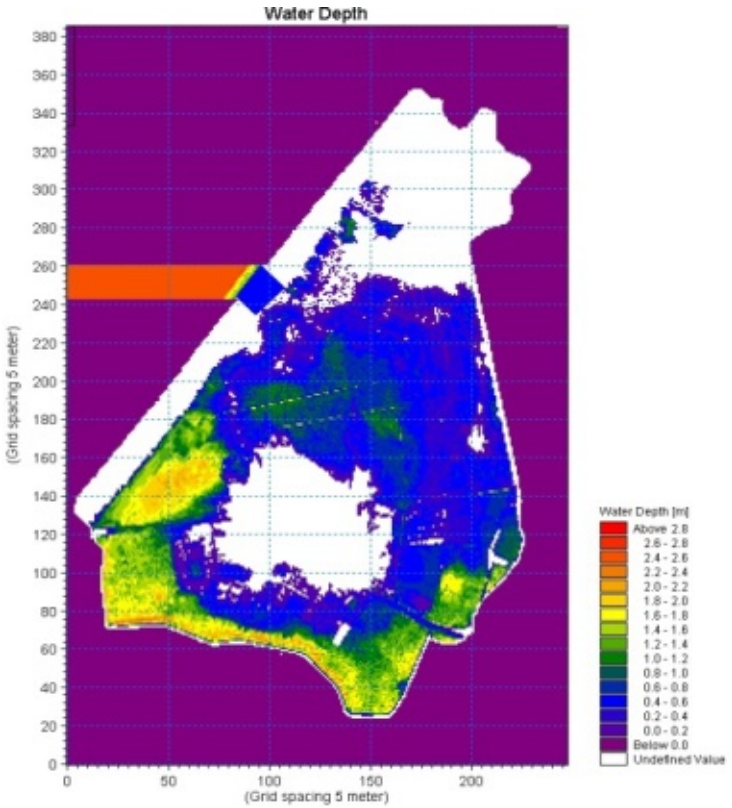
Arbeitspaket 4 – Anwendung auf das Projektgebiet Markgrafenheide



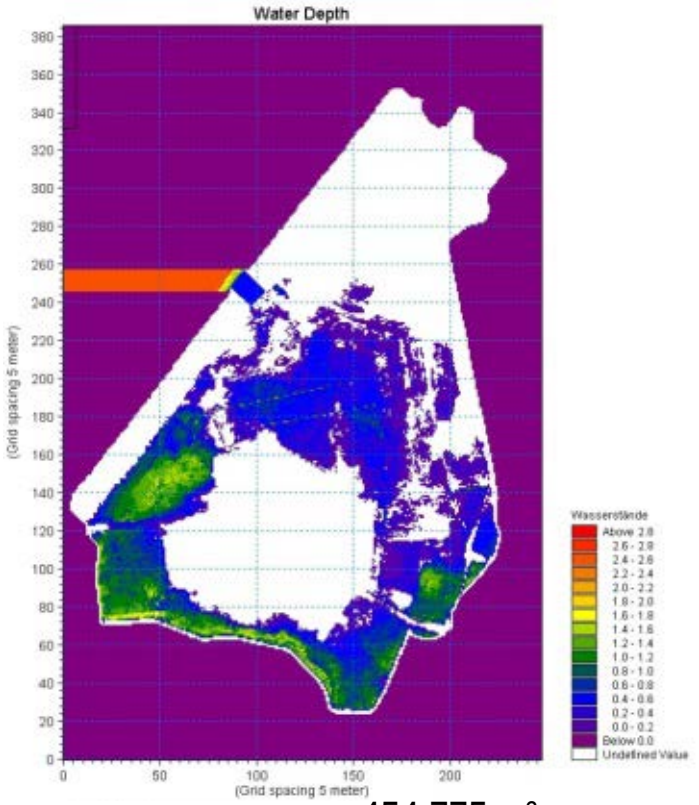
Arbeitspaket 4 – Anwendung auf das Projektgebiet Markgrafenheide

Arbeitspaket 4 – Anwendung auf das Projektgebiet Markgrafenheide

- Einfluss der Breschenbreite – 100m (links) & 50m (rechts)



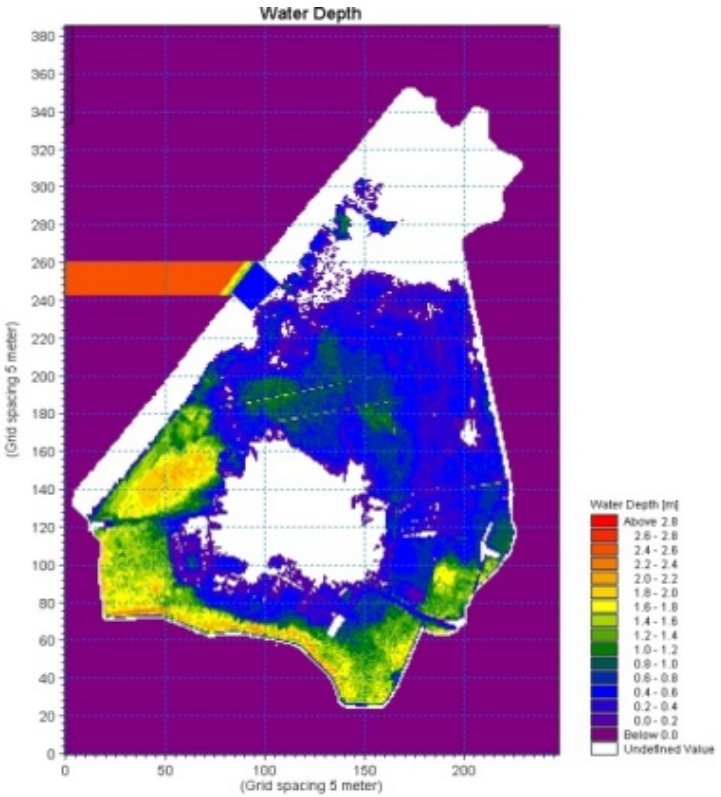
max. area = 685.450 m²



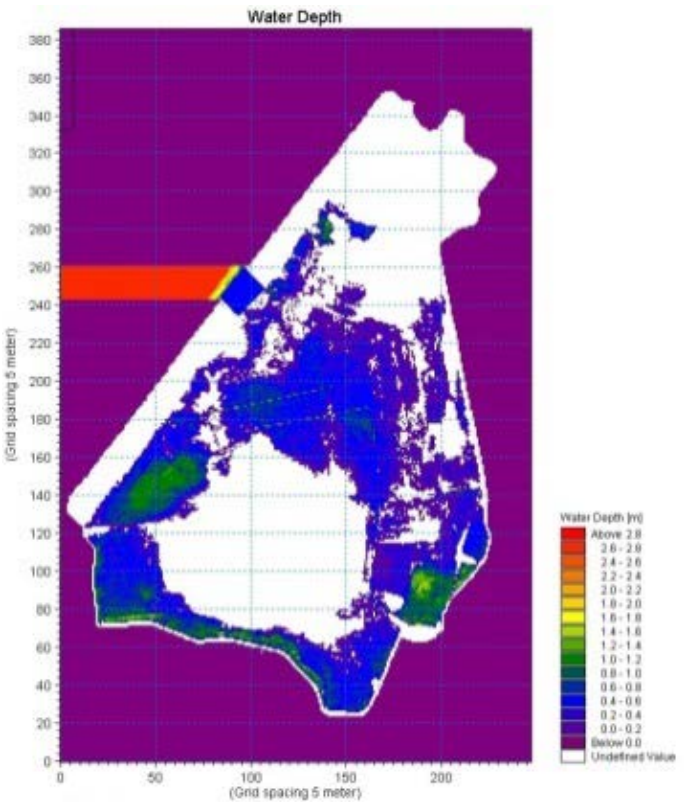
max. area = 454.775 m²

Arbeitspaket 4 – Anwendung auf das Projektgebiet Markgrafenheide

- Einfluss des Versagensbeginns – zum Sturmflutscheitel (links) & 4h nach Sturmflutscheitel (rechts)



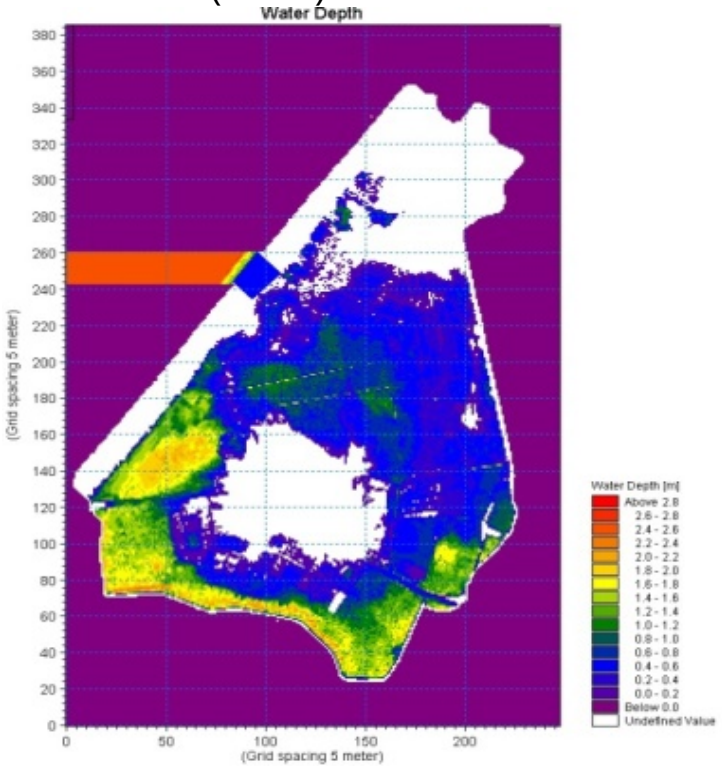
max. area = 685.450 m²

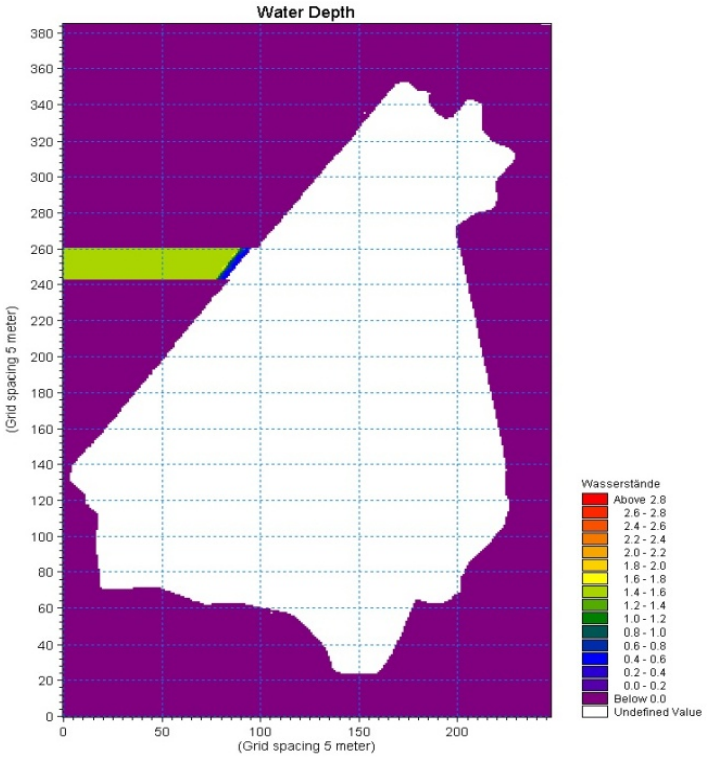


max. area = 488.275 m²

Arbeitspaket 4 – Anwendung auf das Projektgebiet Markgrafenheide

- Einfluss des Sturmflutwasserstandes – Bemessungswasserstand (links) & Wiederkehrintervall 200 Jahre (rechts)





max. area = 685.450 m²

Zusammenfassung

- Ableitung von Einwirkungsversagensfunktionen für den Bauwerkstyp Hochwasserschutzdüne
  - Anwendung eines semi-empirischen (Van Gent et.al. 2008) und prozessbasierten numerischen Modells (Xbeach)
- Durchführung systematischer Sensitivitätsuntersuchungen zur Ableitung von Abhängigkeiten zwischen hydrodynamischen bzw. versagens-bezogenen Einflussfaktoren und Überflutungs-parametern
  - Signifikater Einfluss: Breschenbreite, Breschenlokation, Sturmflutwasserstand (Wiederkehr-intervall), Sturmflutfülle
- Anwendung von Überfltungsmodellierung auf das Projektgebiet Markgrafenheide
  - Signifikanter Einfluss: Versagensbeginn, Breschenbreite, Sturmflutwasserstand, Breschenlkation, Topographie des Gebietes

Danke für Ihre Aufmerksamkeit.