

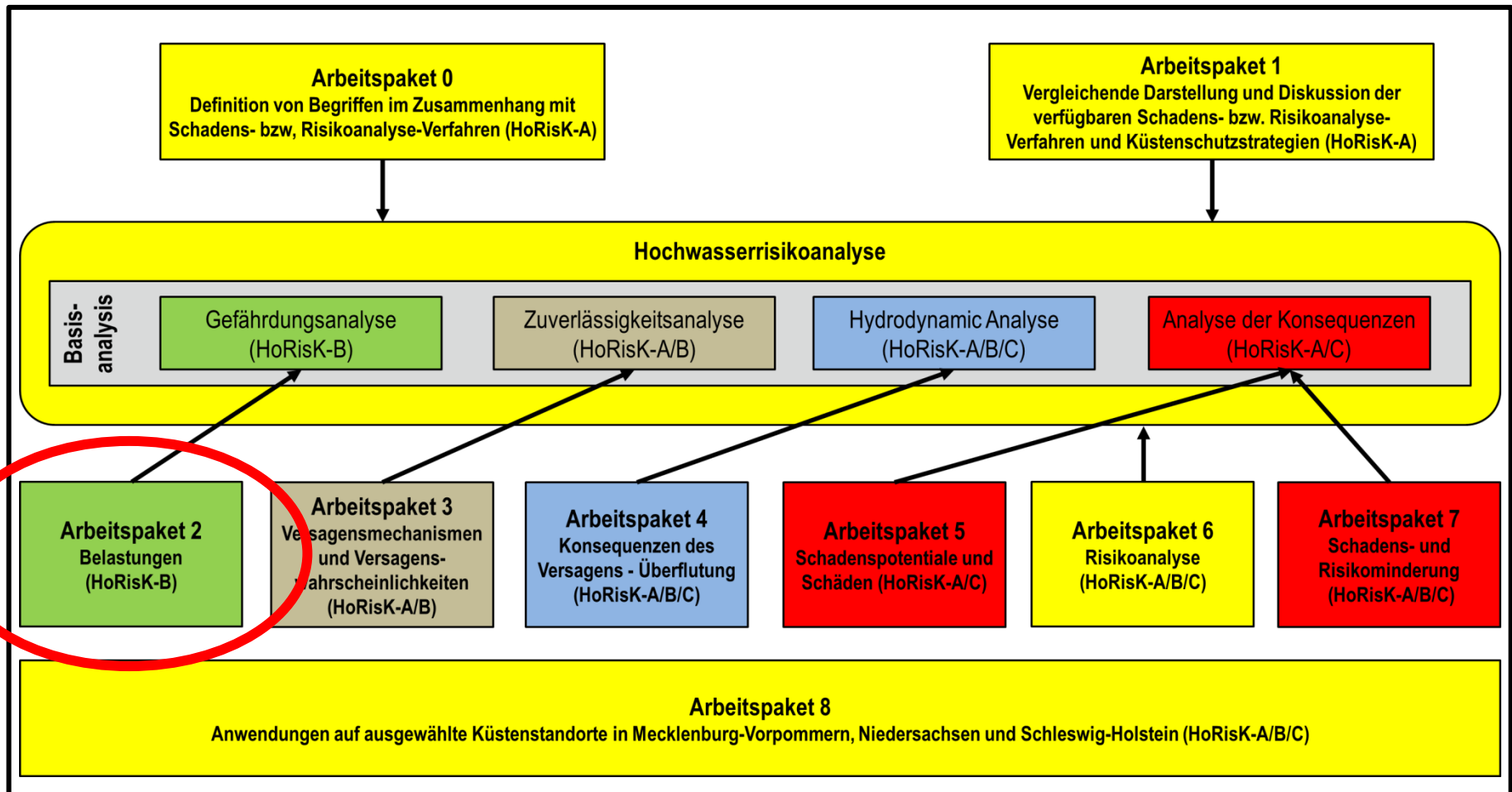
Belastungen von Küstenschutzanlagen

Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt HoRisk

*Dipl.-Ing. Dörte Salecker
Prof. Dr.-Ing. Peter Fröhle*

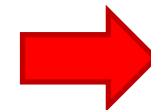
11. November 2014

Arbeitsschritte



Überblick

- Wasserstandsinformationen
 - Ableitung von univariaten Eintrittswahrscheinlichkeiten für Wasserstände, Dauern
 - Ableitung von bivariaten Eintrittswahrscheinlichkeiten für die Kombinationen
 - Wasserstände und Dauer
- Seegangsinformationen
 - Ableitung von univariaten Eintrittswahrscheinlichkeiten für den Seegang
 - Ableitung von bivariaten Eintrittswahrscheinlichkeiten für Kombinationen von
 - Wellenhöhe und Wellenanlauffrichtungen
- Statistische Auswertungen und Bewertungen
 - Ableitung von bivariaten Eintrittswahrscheinlichkeiten für die Kombinationen
 - Wasserstände und Wellenhöhen
 - Ableitung von Sturmflutganglinien beliebiger Eintrittswahrscheinlichkeiten
 - Modellbasierte Übertragung der Ergebnisse an die Küste



Sturmflutsimulator

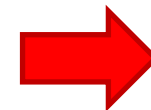
Inhalt

- Wasserstandsinformationen
 - Ableitung von univariaten Eintrittswahrscheinlichkeiten für Wasserstände, Dauern
 - Ableitung von **bivariaten** Eintrittswahrscheinlichkeiten für die Kombinationen
 - Wasserstände und Dauer

- Seegangsinformationen
 - Ableitung von univariaten Eintrittswahrscheinlichkeiten für den Seegang
 - Ableitung von **bivariaten** Eintrittswahrscheinlichkeiten für Kombinationen von
 - Wellenhöhe und Wellenlängenrichtungen

- Statistische **Auswertungen** und Bewertungen
 - Ableitung von **bivariaten** Eintrittswahrscheinlichkeiten für die Kombinationen
 - Wasserstände und Wellenhöhen
 - Ableitung von Sturmflutganglinien beliebiger Eintrittswahrscheinlichkeiten
 - **Modellbasierte Übertragung der Ergebnisse entlang der Küsten**

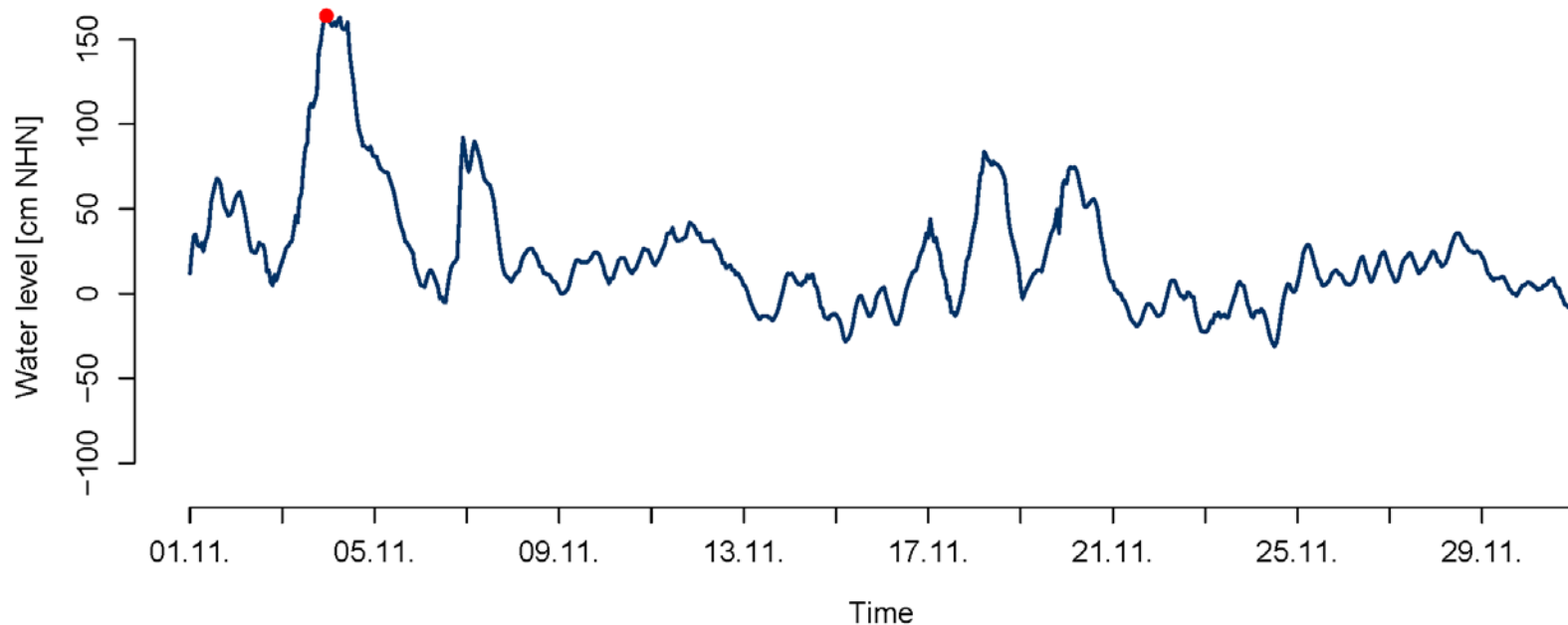
Methoden für die Ostsee und die Nordsee



Sturmflutsimulator

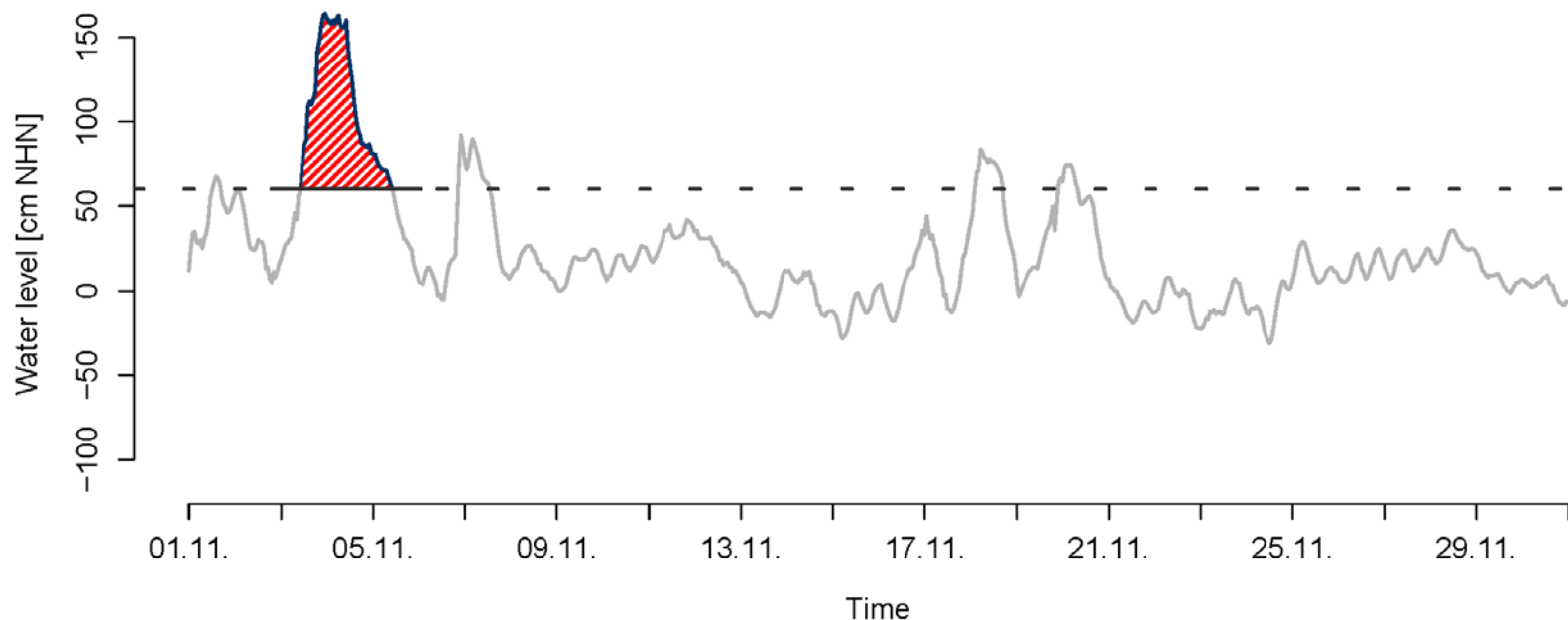
Eingangsdaten

- Wasserstandszeitreihen (Stundenwerte)
- Jahresmaxima der Wasserstände
- Für jedes Jahresmaxima des Wasserstandes wird die zugehörige Fülle der Ganglinie ermittelt



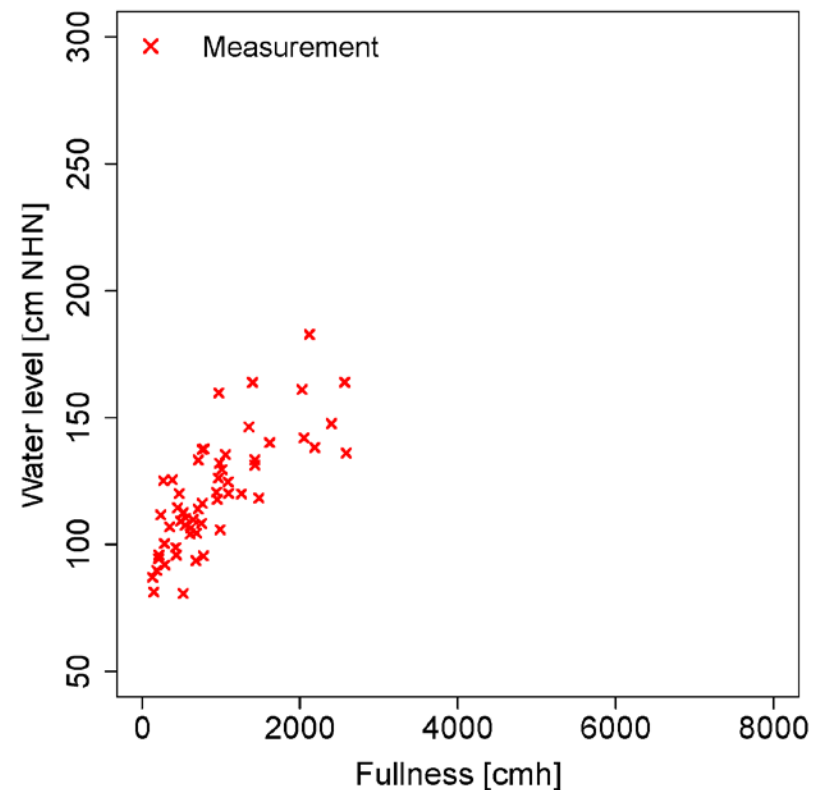
Eingangsdaten

- Die Fülle einer Ganglinien ist die Fläche zwischen einem Grenzwasserstand (60 cm NHN) und dem Verlauf der Wasserstände über die Zeit
- Für jedes Jahr in der Zeitreihe wird ein Wertepaar, bestehend aus Wasserstand und Fülle, ermittelt
- An die Stichprobe des Wasserstandes und der Fülle werden univariate Verteilungsfunktionen angepasst



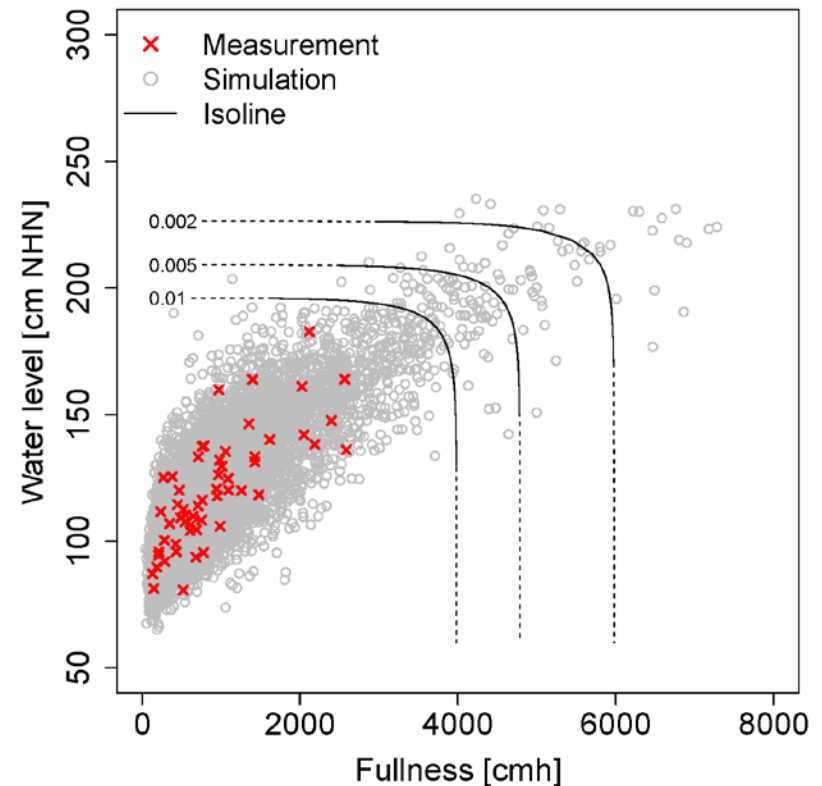
Bivariate statistische Untersuchungen

- Um den Zusammenhang zwischen hohen Wasserständen und den zugehörigen Füllen zu untersuchen werden beide Größen gemeinsam dargestellt
- Es wird eine Verteilungsfunktion gesucht mit der der Zusammenhang der bivariaten Stichprobe beschrieben werden kann
- Eine Verteilungsfunktion einer bivariaten Stichprobe kann mit Hilfe der Randverteilungen und einer Copula aufgestellt werden



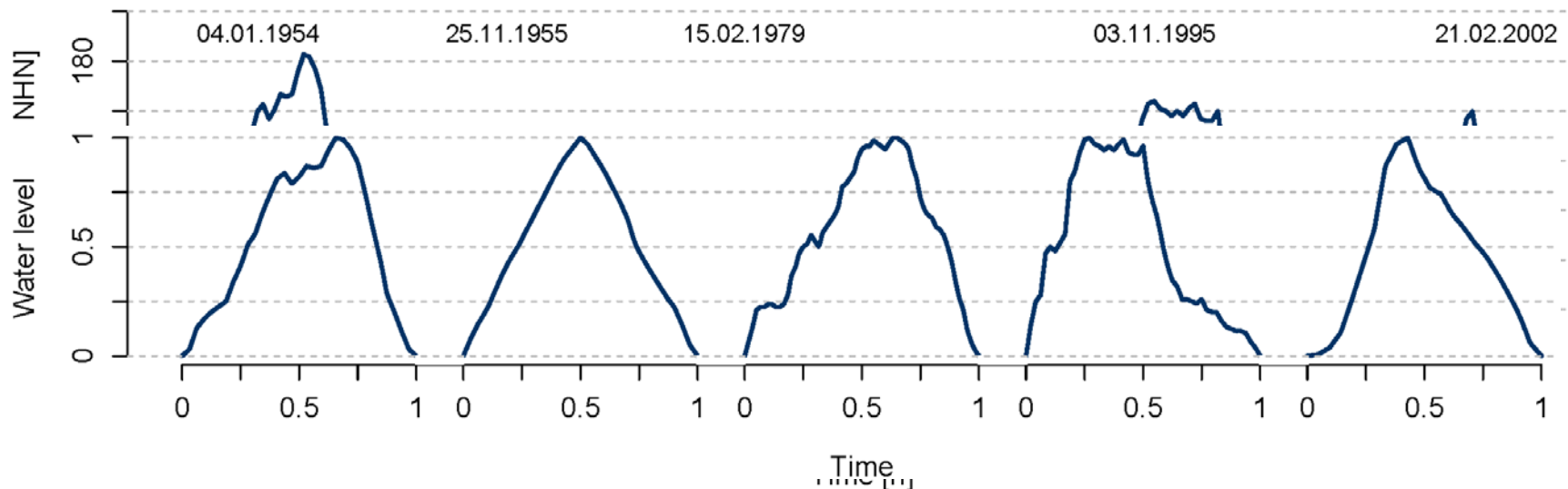
Bivariate statistische Untersuchungen

- Die Randverteilungen beschreiben die Wasserstände und Füllen, die Copula beschreibt den Zusammenhang zwischen Wasserständen und Füllen
- Damit kann jeder Wasserstand-Fülle-Kombination eine Wahrscheinlichkeit zugeordnet werden
- Hohen Scheitelwasserständen und Füllen kann somit eine gemeinsame Eintrittswahrscheinlichkeit zugeordnet werden



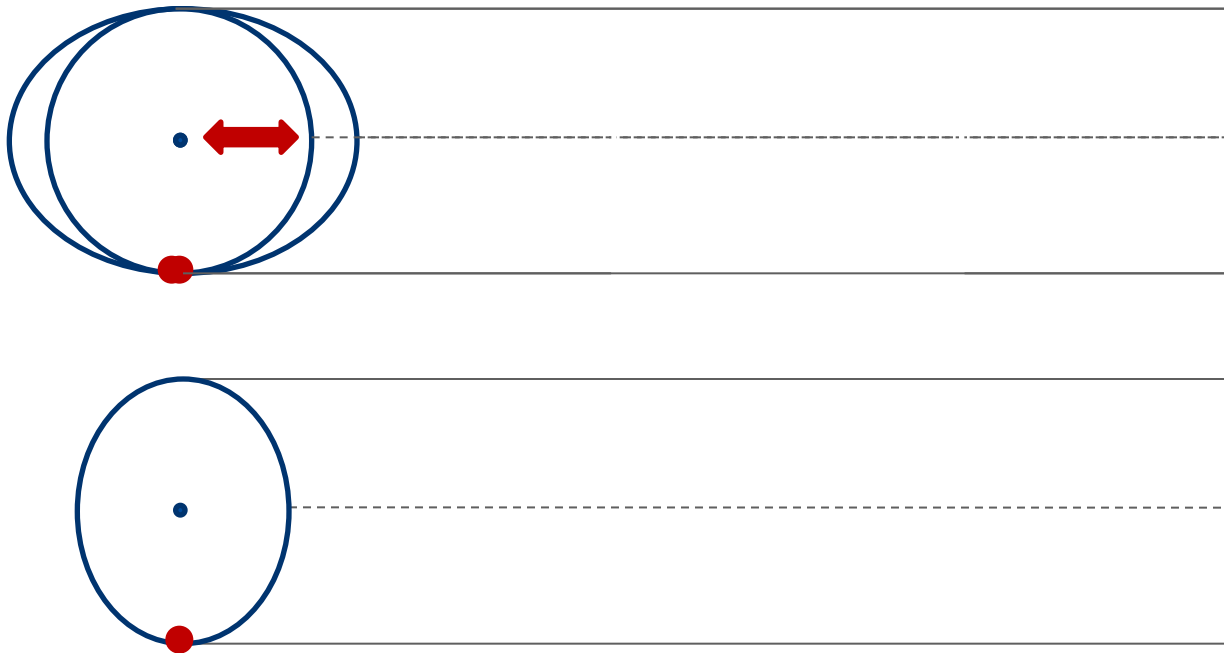
Formen von Sturmflutganglinien

- Untersucht wurden Sturmflutganglinien die an verschiedenen Ostseepegeln aufgezeichnet wurden
- Auswahlkriterien:
 - Sturmfluten mit Scheitelwasserständen über 100 cm NHN
 - Sturmfluten mit einem Peak
- Aufgezeichnete Ganglinien wurden standardisiert (Wasserständen und Dauern von 0 bis 1)



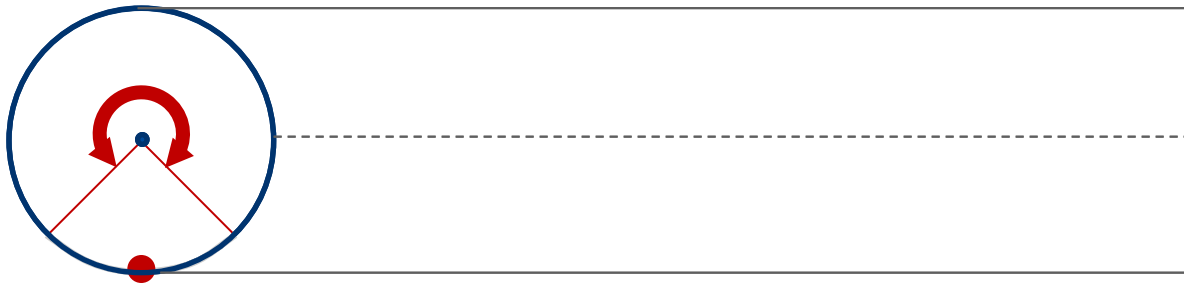
Formen von Sturmflutganglinien

- Grundlage: Sinusfunktion
- Um Ganglinienformen mit unterschiedlich langen Scheiteldauern zu erzeugen ist der Kreis durch eine Ellipse ersetzt worden (Parameter a)



Formen von Sturmflutganglinien

- Um unterschiedliche Füllen zu simulieren wird nur ein Teil des Kreises/ der Ellipse betrachtet (Parameter b)

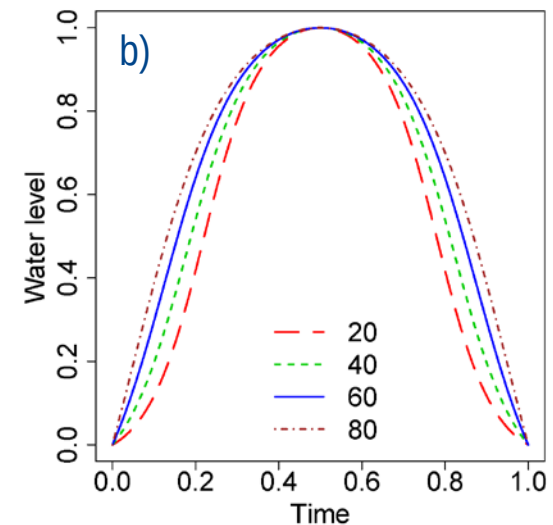
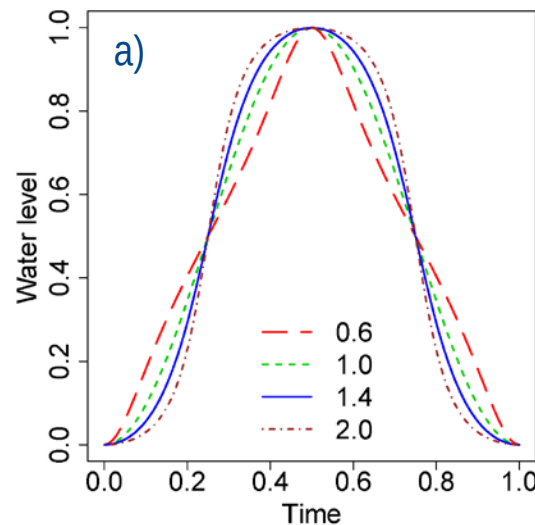
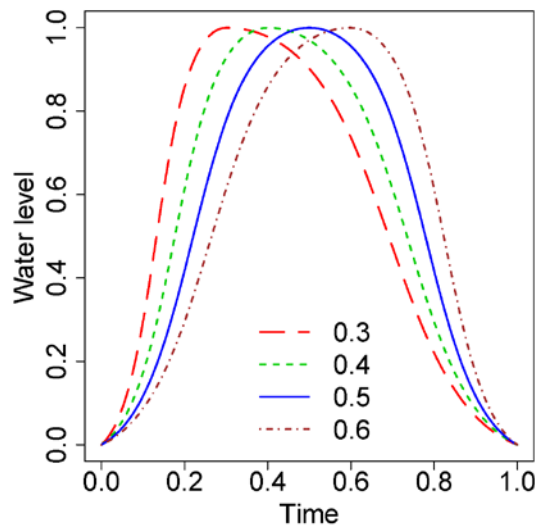


Formen von Sturmflutganglinien

- Um zufällige Formen zu erzeugen werden die Parameter a und b zufällig erzeugt
- Variation des Zeitpunktes des Scheitelwasserstandes wird anhand der gemessenen Sturmflutganglinien bestimmt
- **Annahme:** Die Form der Sturmflutganglinien ist zufällig. Ihr kann darum keine Wahrscheinlichkeit zugeordnet werden

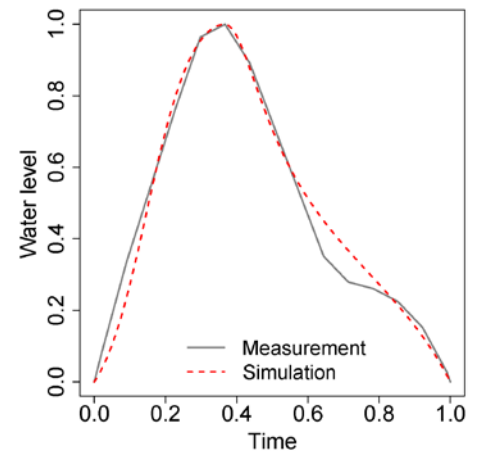
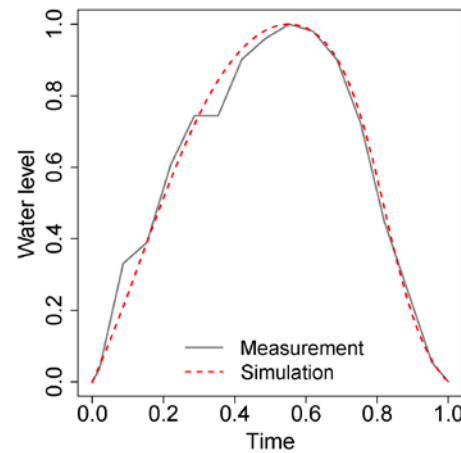
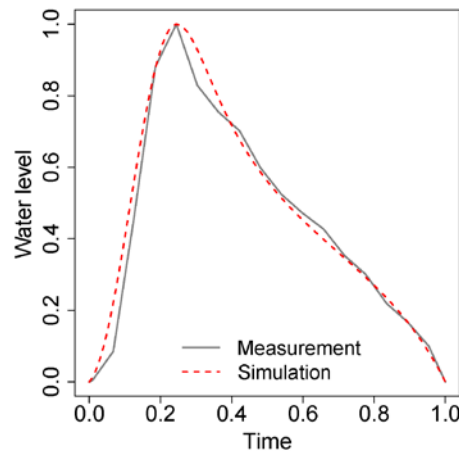
$$r(\theta) = \frac{a}{\sqrt{(\cos(\theta + b))^2 (a \sin(\theta + b))^2}}$$

$$r(\theta) = \frac{a}{\sqrt{(\cos(\theta - b))^2 (a \sin(\theta - b))^2}}$$

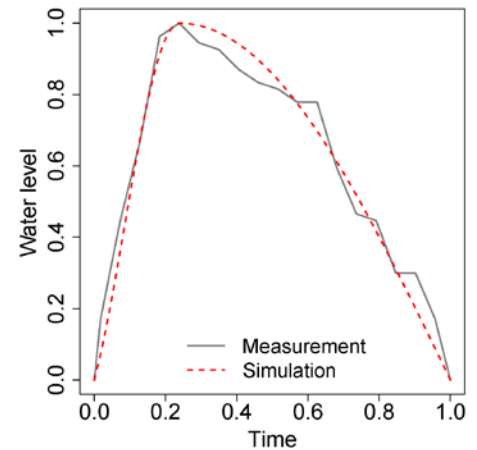
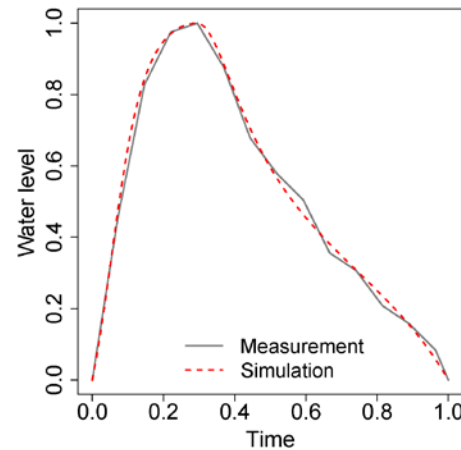
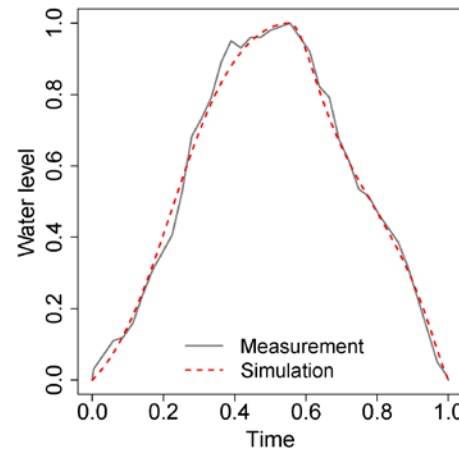


Vergleich gemessener und simulierter Ganglinienformen

Wismar

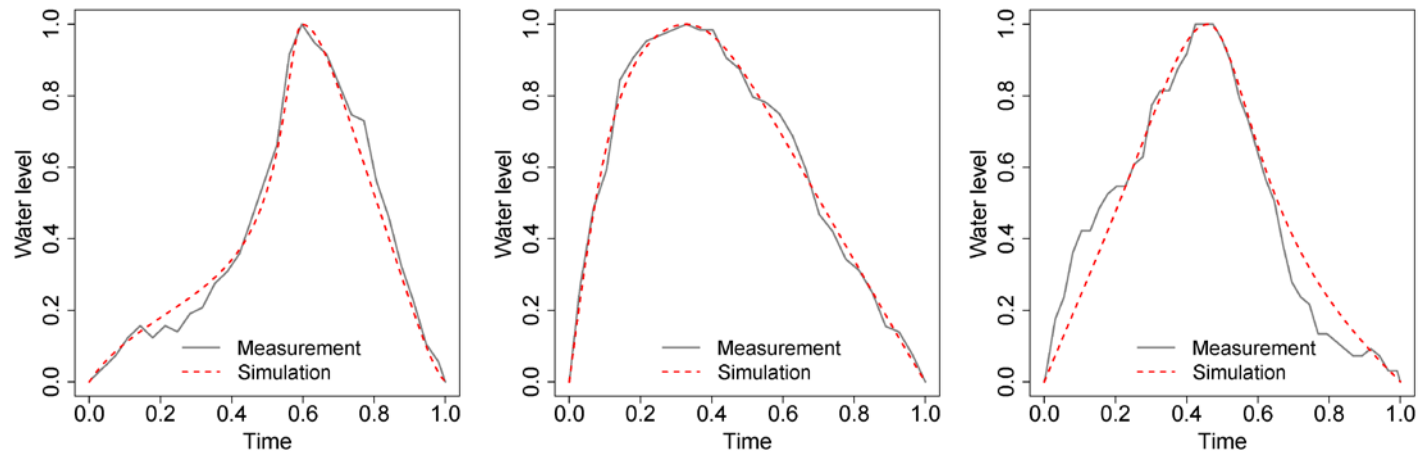


Rostock

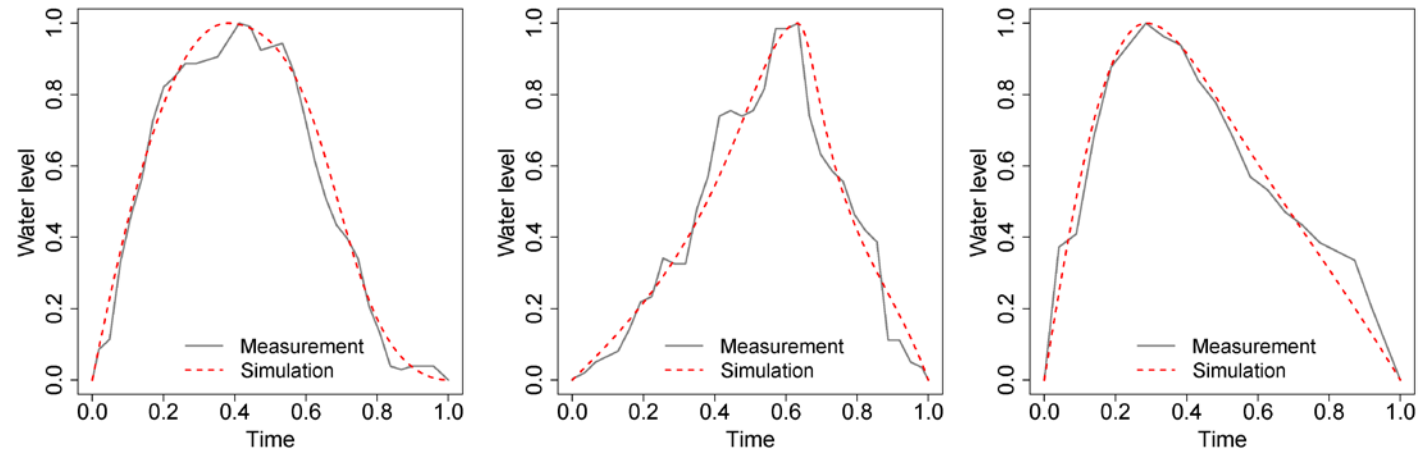


Vergleich gemessener und simulierter Ganglinienformen

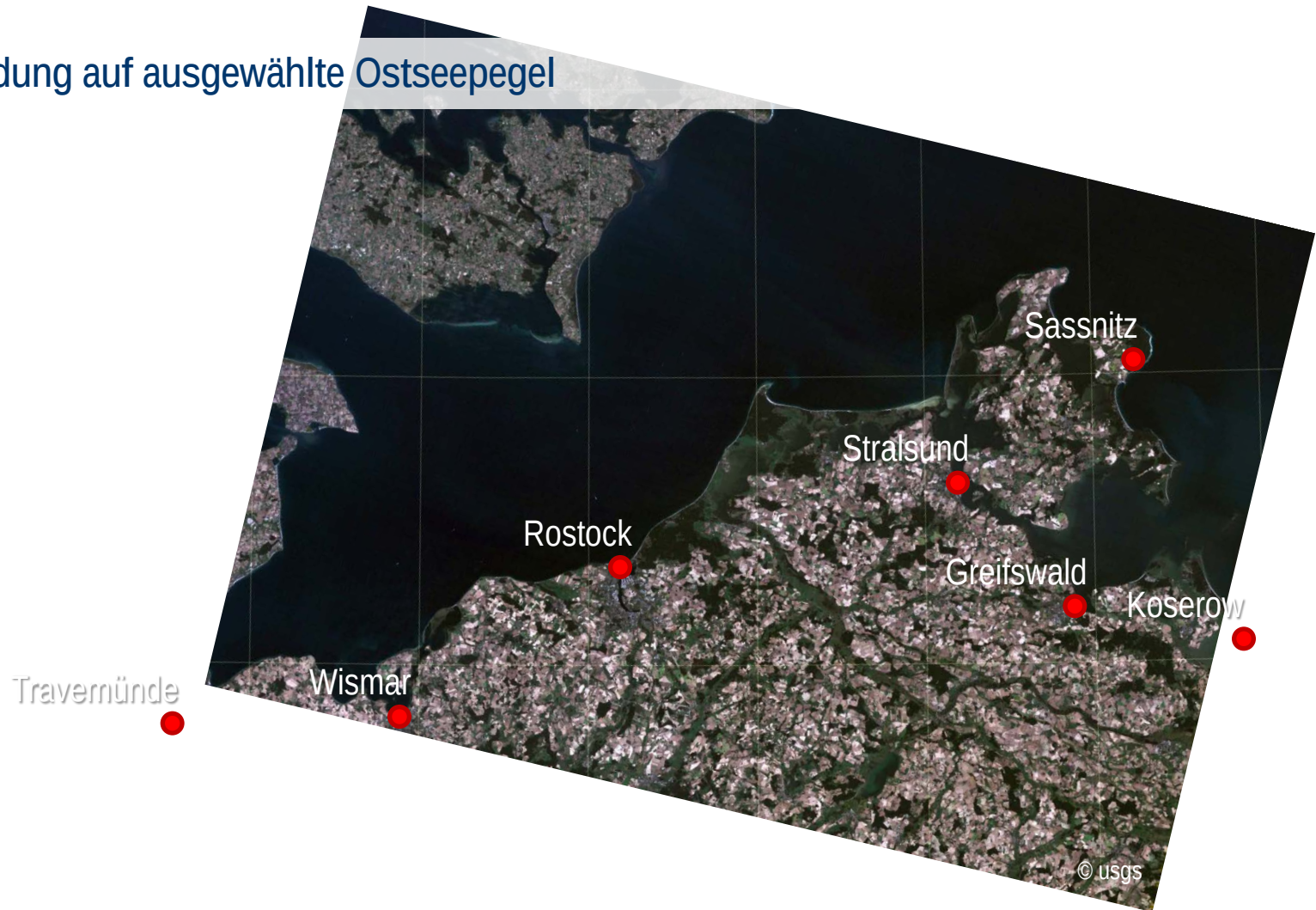
Sassnitz



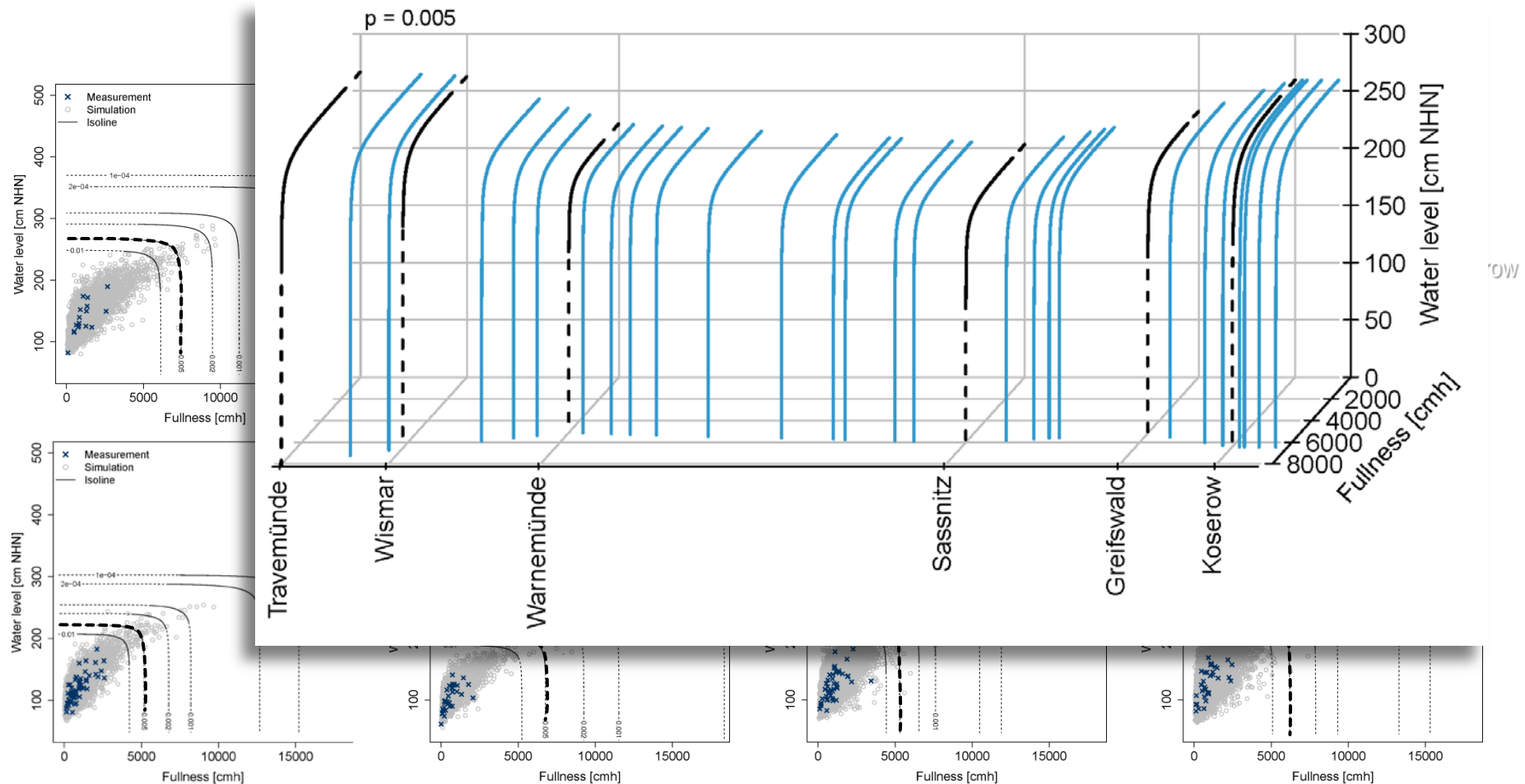
Greifswald



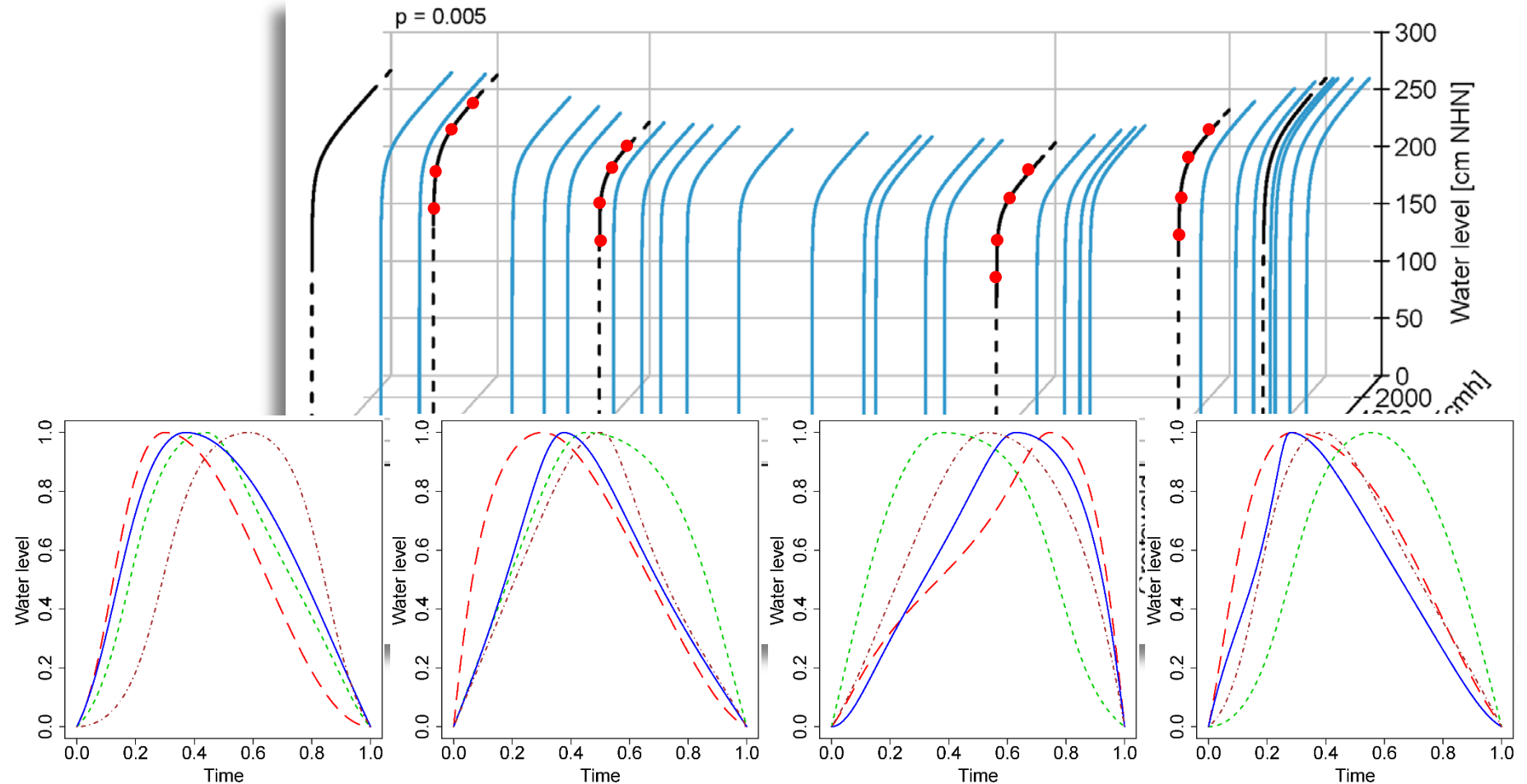
Anwendung auf ausgewählte Ostseepegel



Statistische Auswertung ausgewählter Ostseepiegel

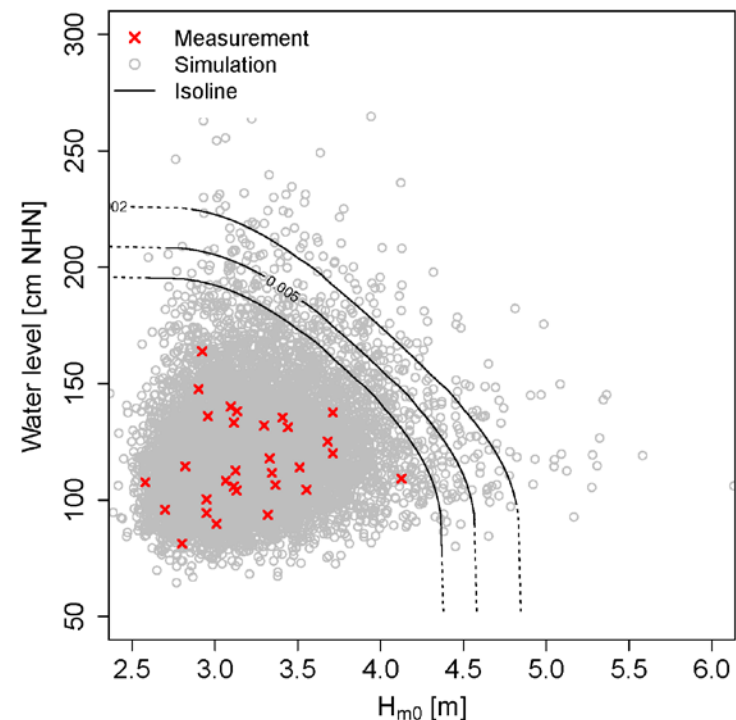


Statistische Auswertung verschiedener Ostseepegel

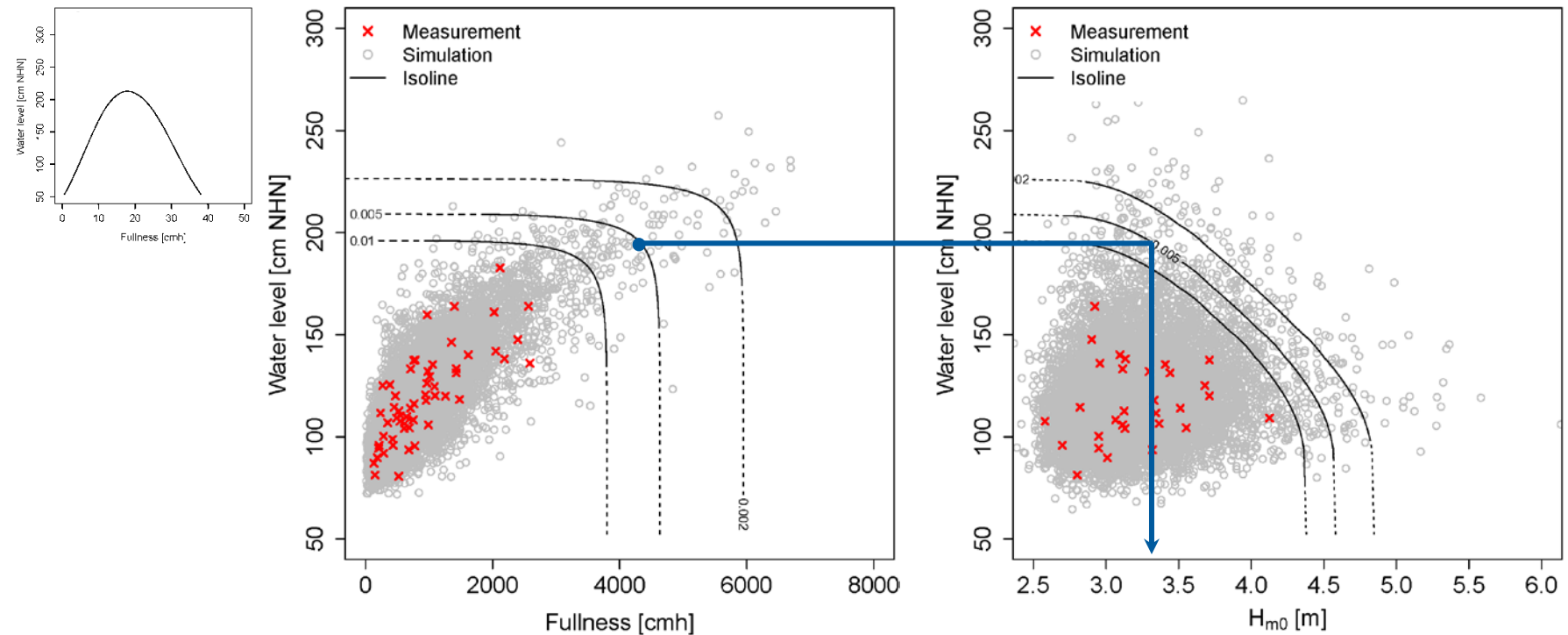


Bivariate statistische Untersuchungen

- Gemeinsame Eintrittswahrscheinlichkeit von maximalen Scheitelwasserständen und Wellenhöhen werden ermittelt (Seegang wird über die Sturmflut als konstant angenommen)
- Es wird eine Verteilungsfunktion gesucht mit der der Zusammenhang der bivariaten Stichprobe beschrieben werden kann
- Die Randverteilungen beschreiben die Wasserstände und Wellenhöhen, die Copula beschreibt den Zusammenhang zwischen Wasserständen und Wellenhöhen
- Jeder Wasserstand- Wellenhöhen-Kombination kann eine Wahrscheinlichkeit zugeordnet werden



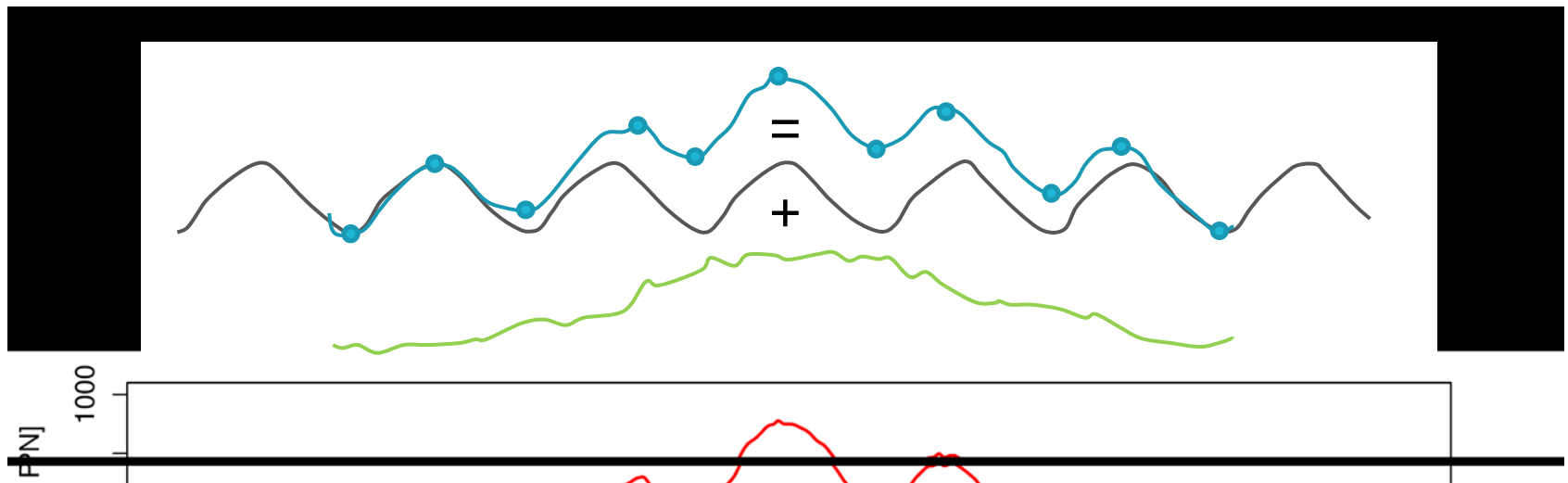
Bivariate statistische Untersuchungen



Eingangsdaten

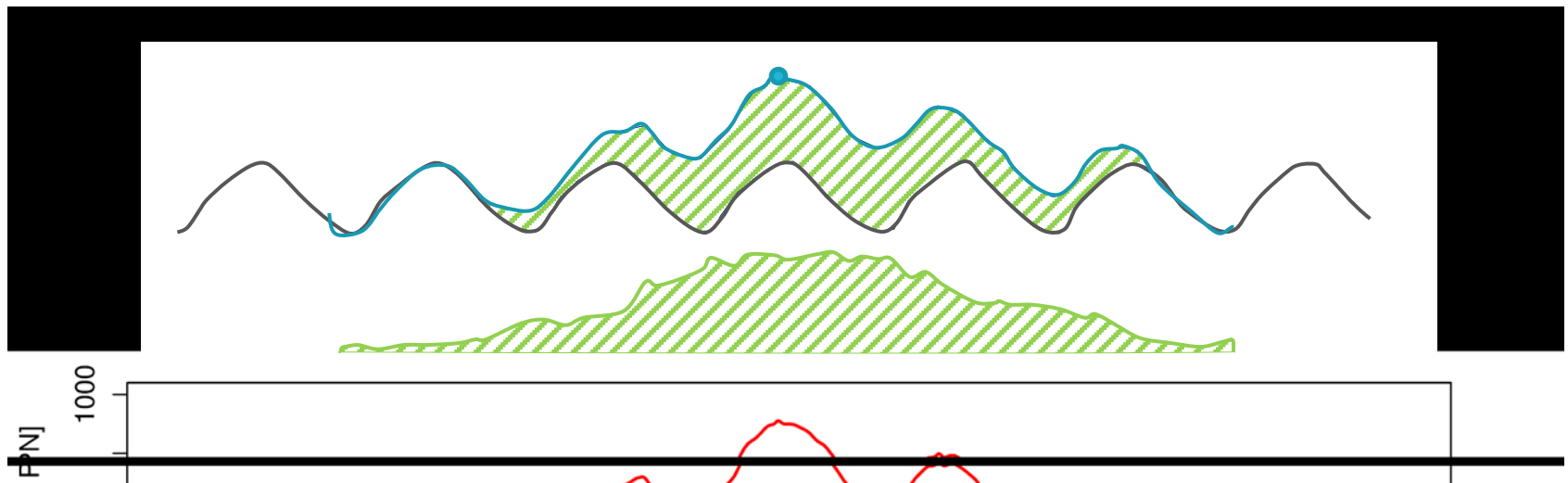
- Tidescheitelwerte
- Minütliche Daten des Wasserstandes

Annahme: Sturmflutganglinie ist die Summe aus der Tide (mittlere oder astronomische) und dem Windstau



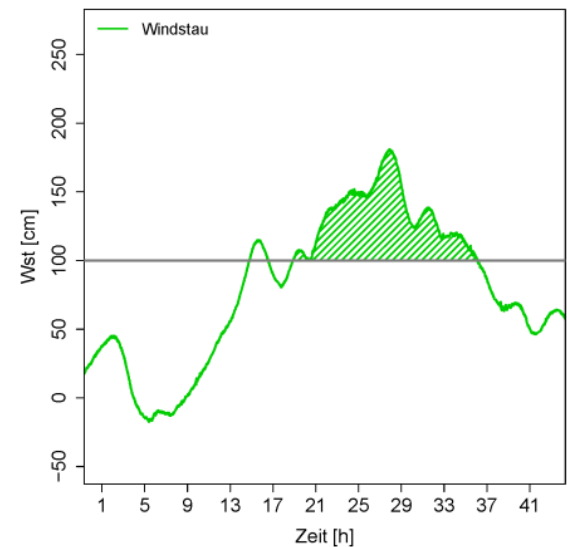
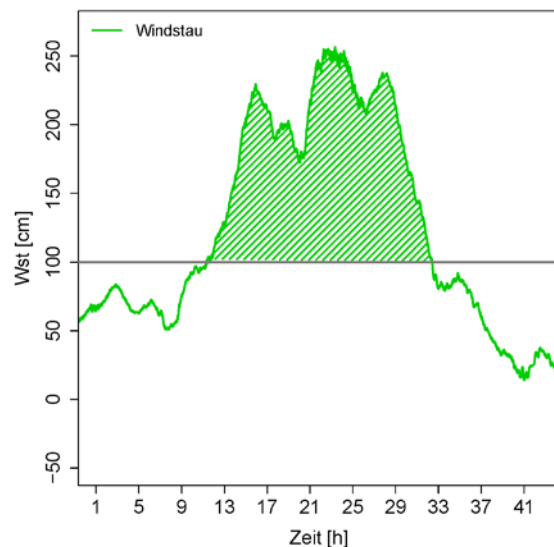
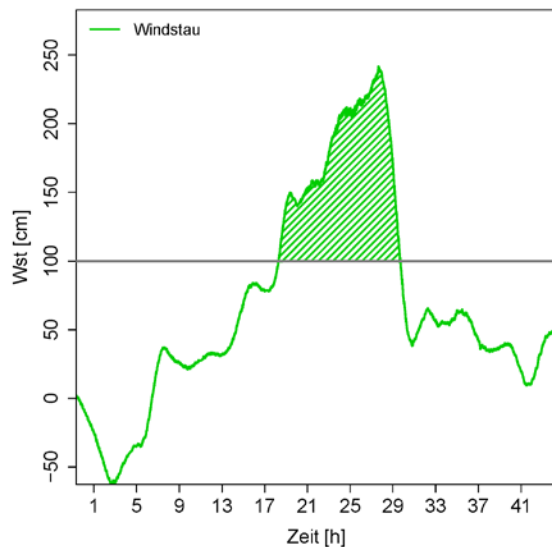
Eingangsdaten

- Jahresmaxima der Wasserstände sowie die zugehörigen Füllen der Windstaukurven werden ausgewählt und mit Hilfe von univariaten Verteilungsfunktionen statistisch bewertet
- Der Zusammenhang von hohen Wasserständen und den zugehörigen Füllen des Windstaus wird mit Copula Funktionen simuliert



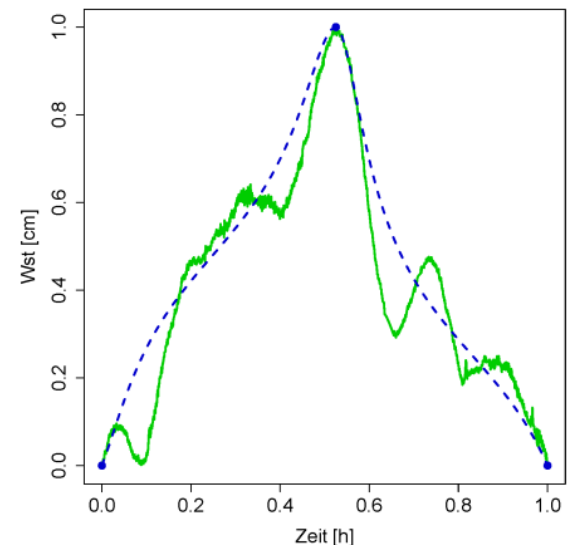
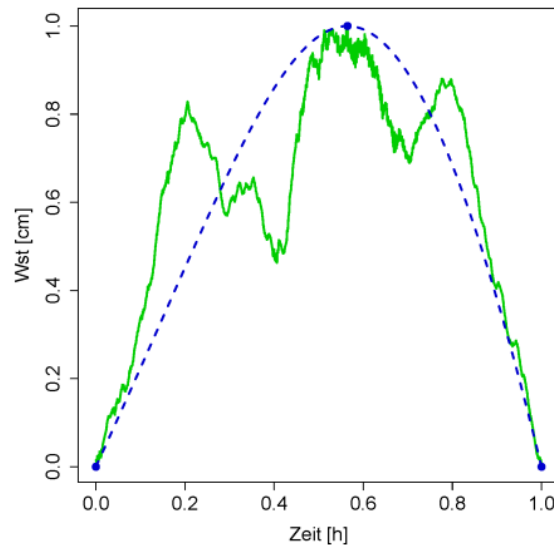
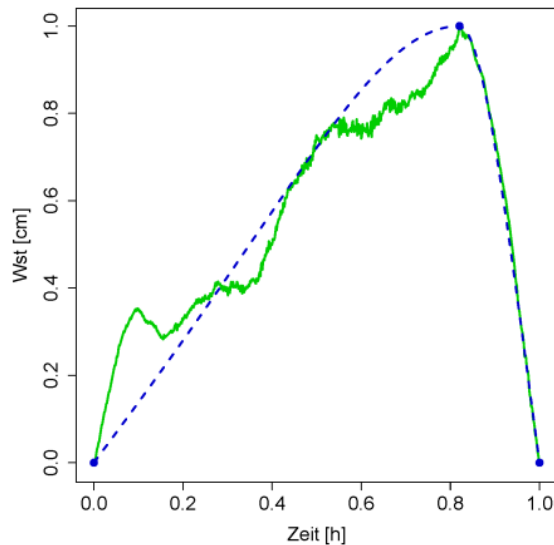
Parametrisierung von Windstaukurven

- Auswahl des Windstauverlaufs oberhalb von 100 cm
- Standardisierung des Windstauverlaufs und Generierung eines künstlichen Windstauverlaufes
- Skalierung des generierten Windstauverlaufes anhand des Scheitelwasserstandes und der Fülle



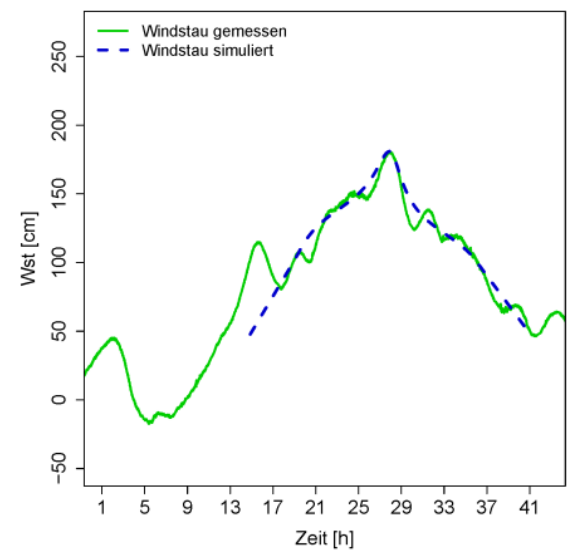
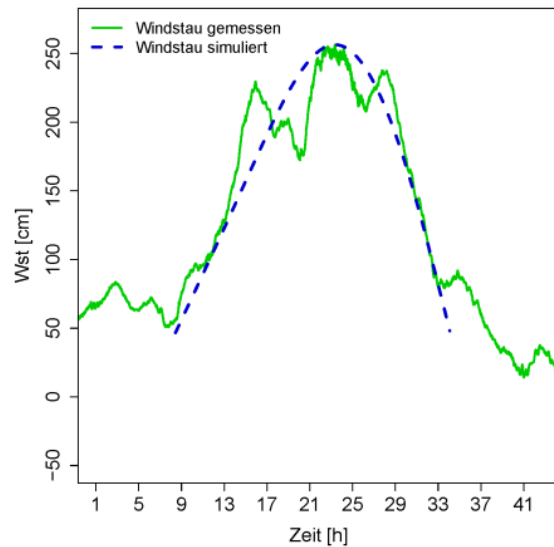
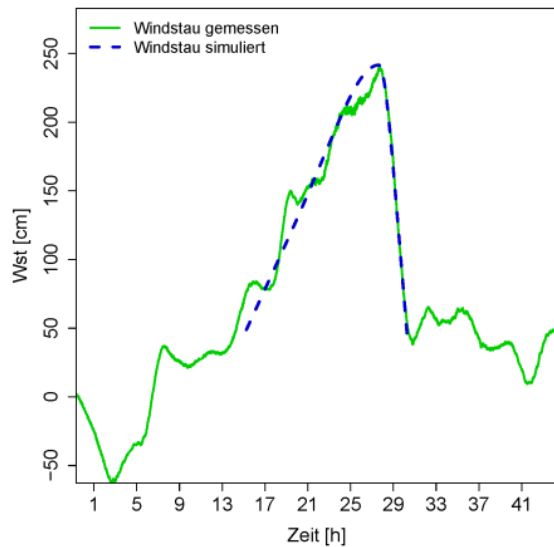
Parametrisierung von Windstaukurven

- Auswahl des Windstauverlaufs oberhalb von 100 cm
- Standardisierung des Windstauverlaufs und Generierung eines künstlichen Windstauverlaufes
- Skalierung des generierten Windstauverlaufes anhand des Scheitelwasserstandes und der Fülle



Parametrisierung von Windstaukurven

- Auswahl des Windstauverlaufs oberhalb von 100 cm
- Standardisierung des Windstauverlaufs und Generierung eines künstlichen Windstauverlaufes
- Skalierung des generierten Windstauverlaufes anhand des Scheitelwasserstandes und der Fülle



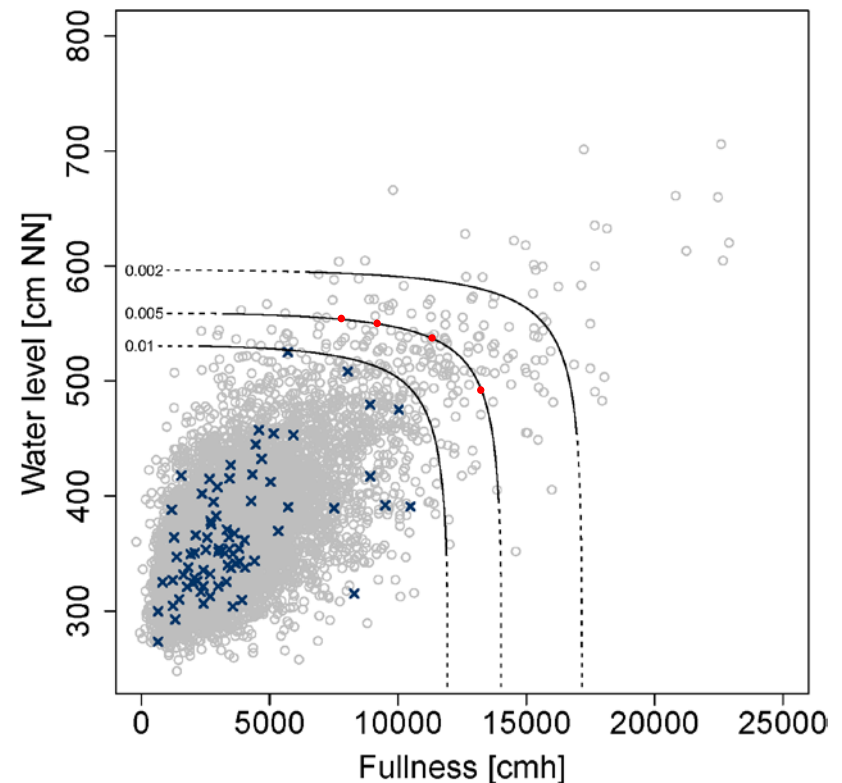
Skalierung von Windstaukurven

- Skalierung der simulierten Windstaukurven erfolgt mithilfe von Paaren aus maximalen Scheitelwasserständen und der zugehörigen Fülle der Windstaukurve mit einer gewünschten gemeinsamen Eintrittswahrscheinlichkeit

oder

- mithilfe einer Abfolge von Paaren aus maximalen Scheitelwasserständen und der zugehörigen Fülle der Windstaukurve für einen vorgegebenen Zeitraum

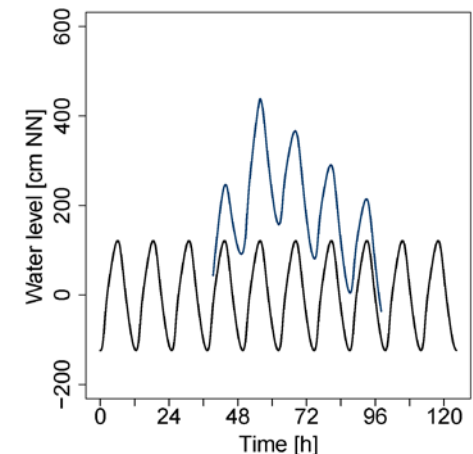
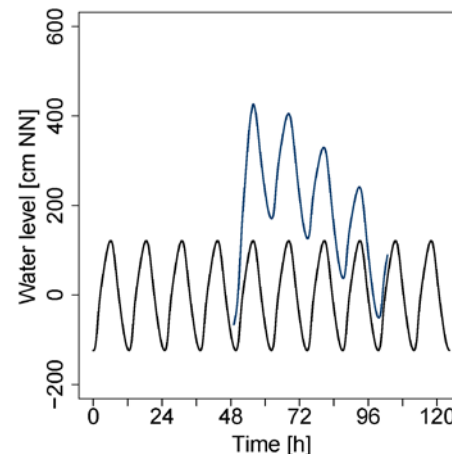
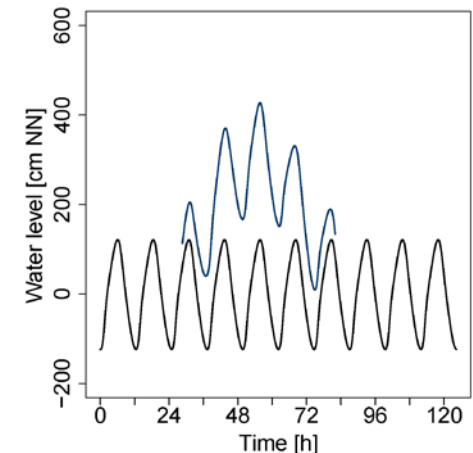
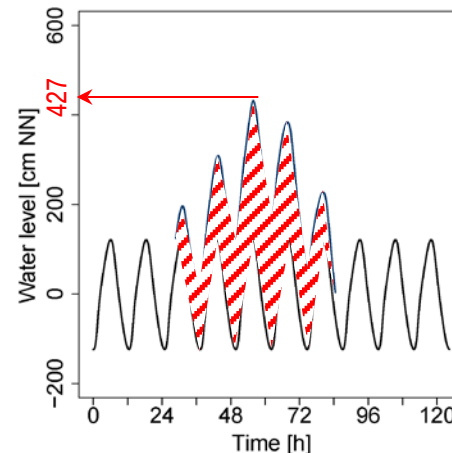
Fülle [cmh]	Wst [cm NN]
7735	557
9117	551
11264	538
13235	492



Skalierung von Windstaukurven

- Mehrere nachlaufende Tiden können erzeugt werden
- Durch verschiedene Polygonzüge ergeben sich automatisch verschiedene Flut- und Ebbedauern

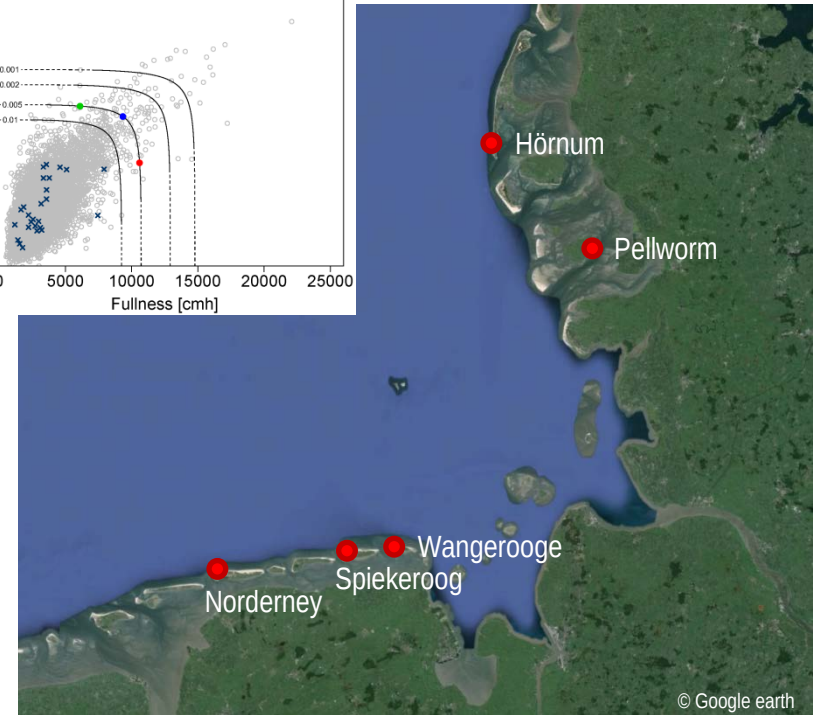
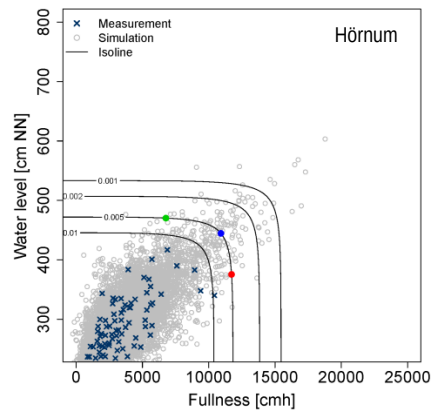
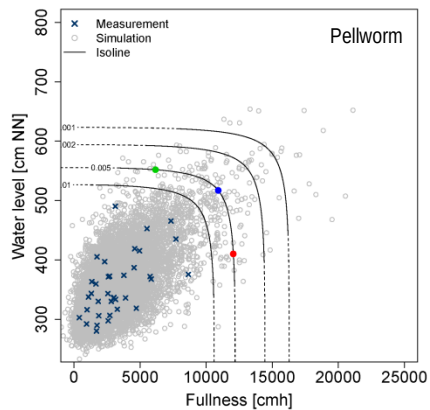
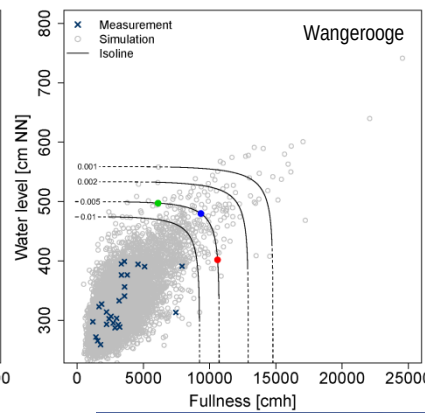
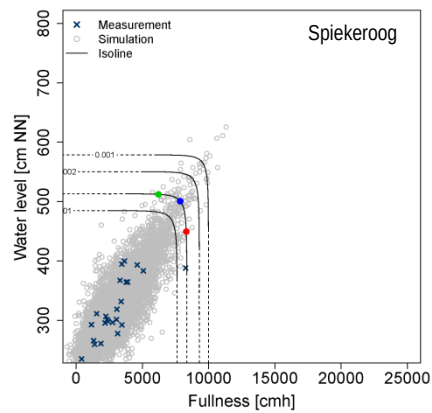
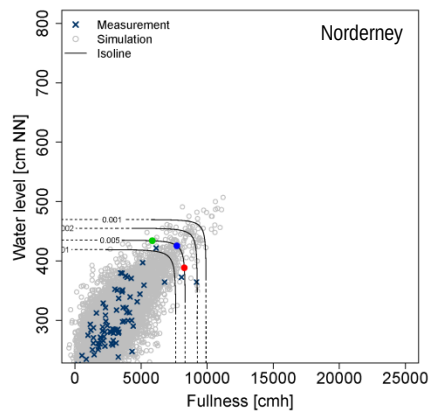
Fülle [cmh]	Wst [cm NN]
...	...
7144	427
...	...



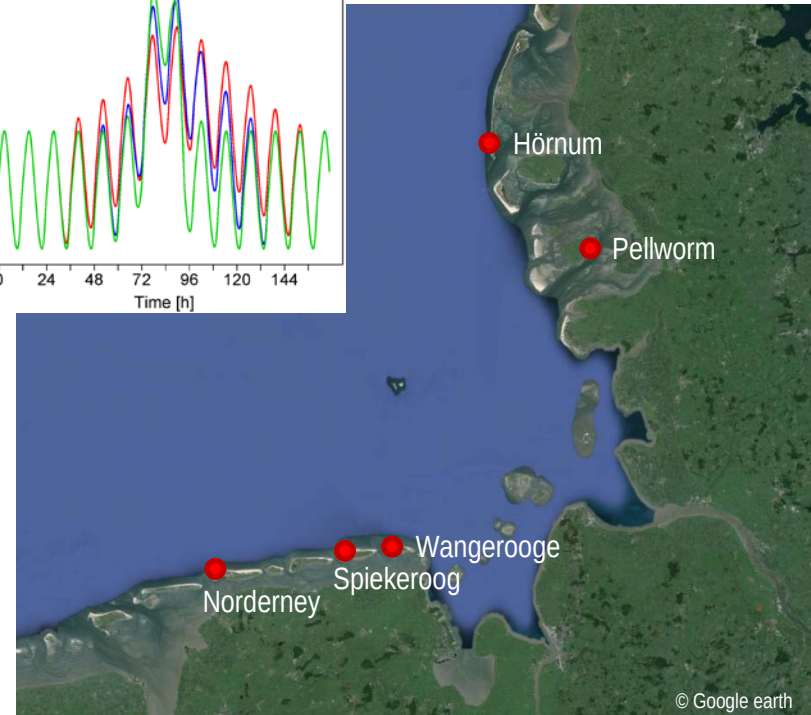
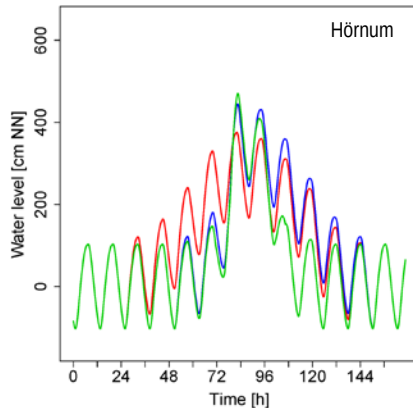
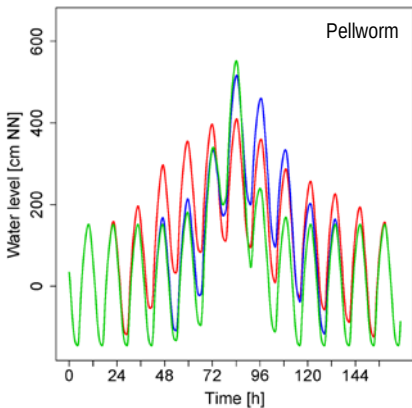
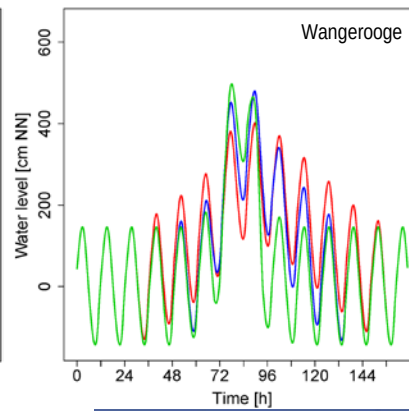
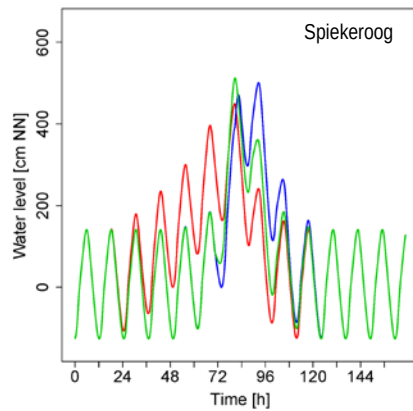
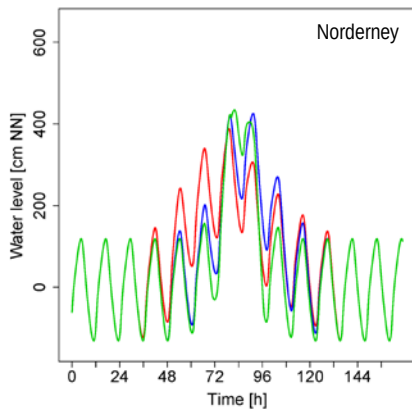
Anwendung der Methode auf ausgewählte Nordseepegel



Anwendung der Methode auf ausgewählte Nordseepegel

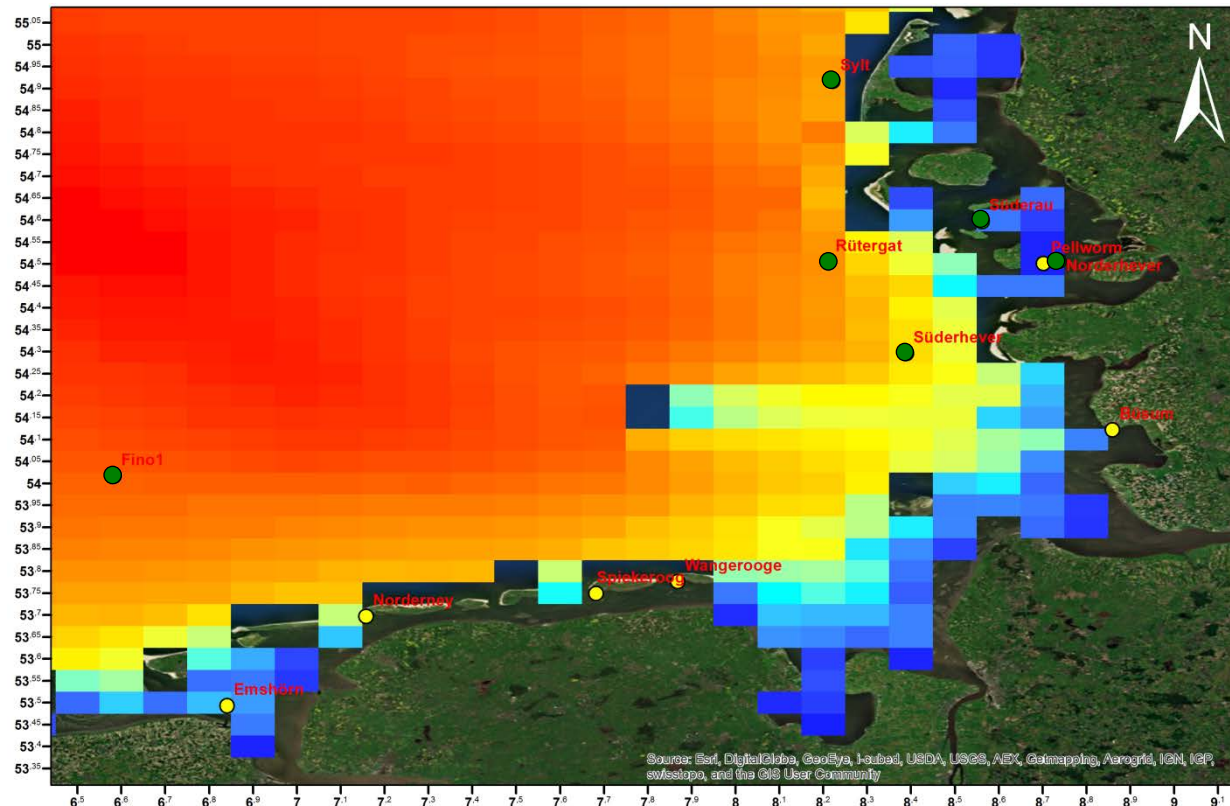


Anwendung der Methode auf ausgewählte Nordseepegel



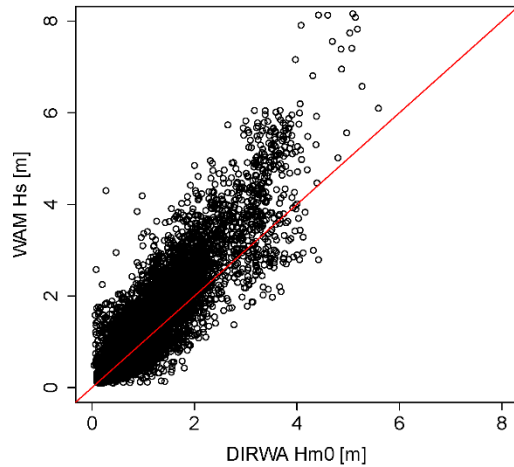
Datengrundlage

- Seegangsmessungen ●
- Modellrechnungen (WAM) des Helmholtz-Zentrum Geesthacht: 1958-2007

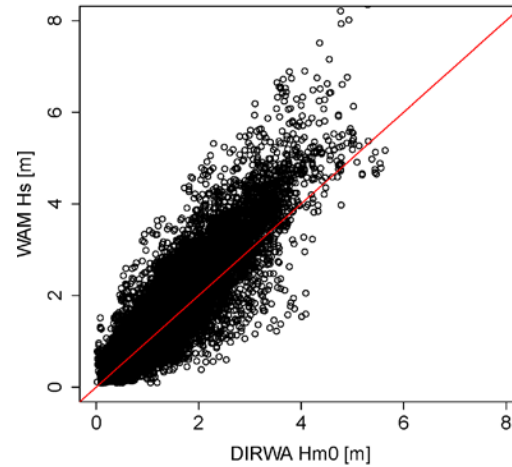


(<http://www.coastdat.de>)

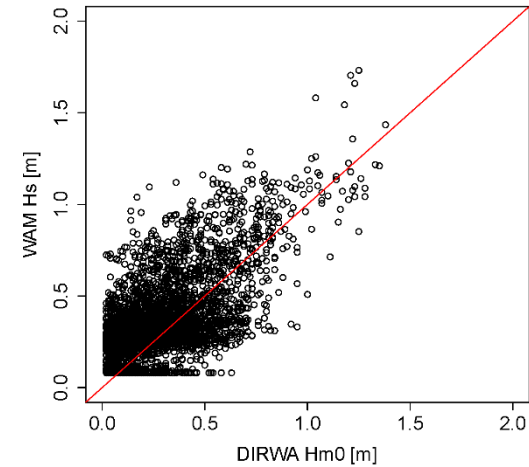
Sylt



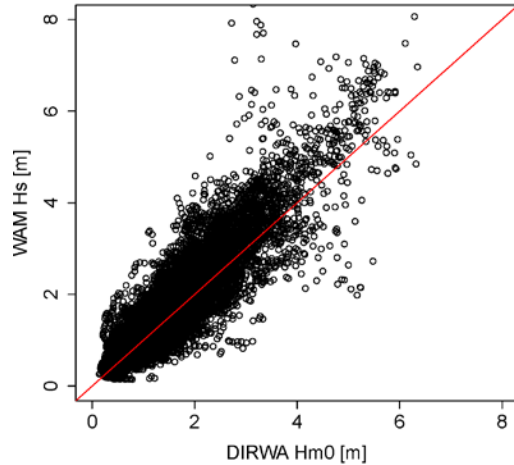
Rütergat



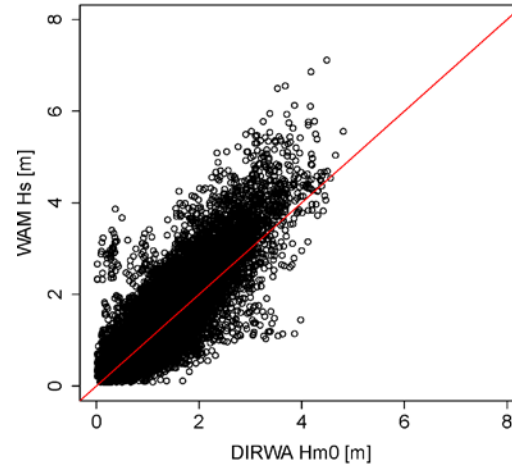
Süderau



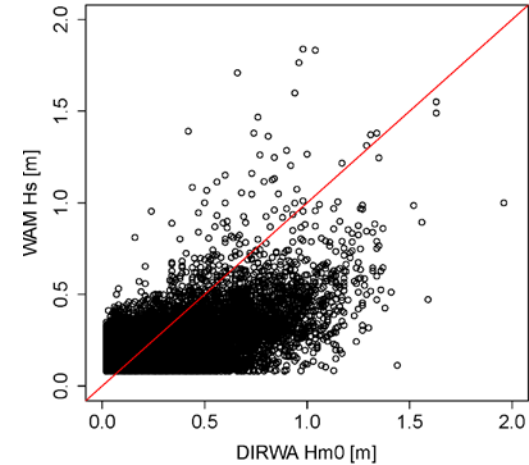
Fino I



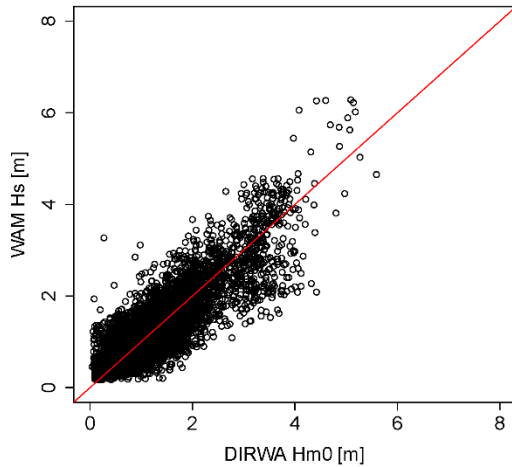
Süderhever



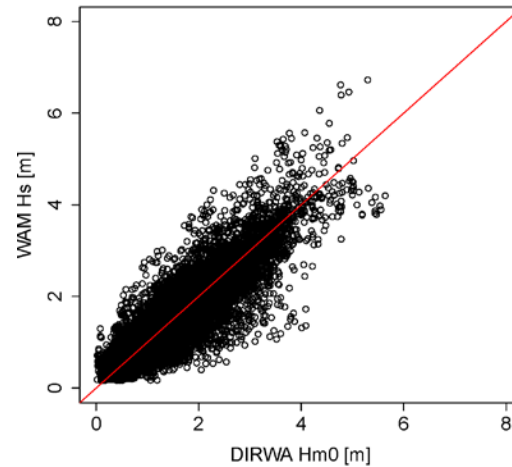
Norderhever



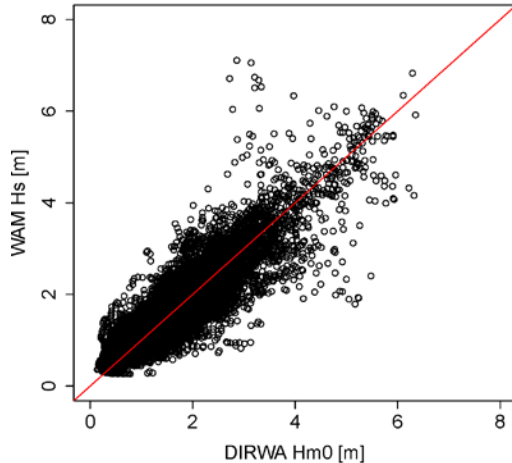
Sylt korrigiert



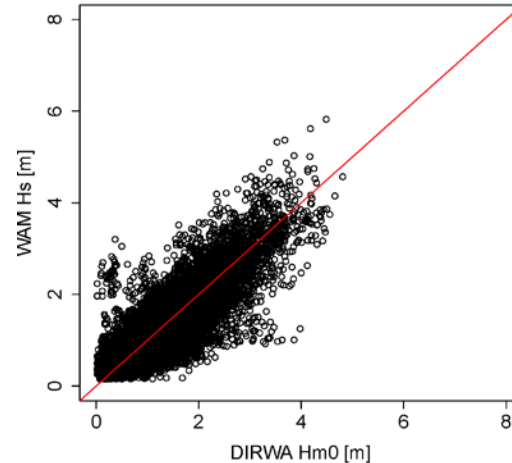
Rütergat korrigiert



Fino I korrigiert

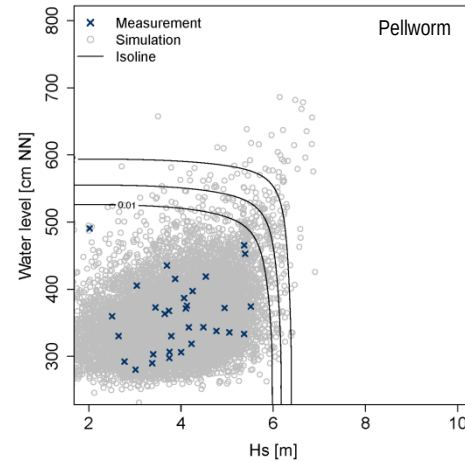
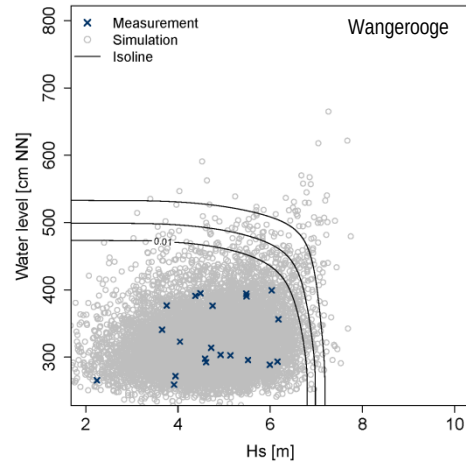
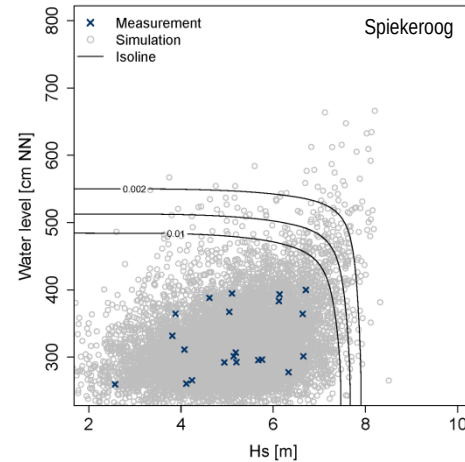
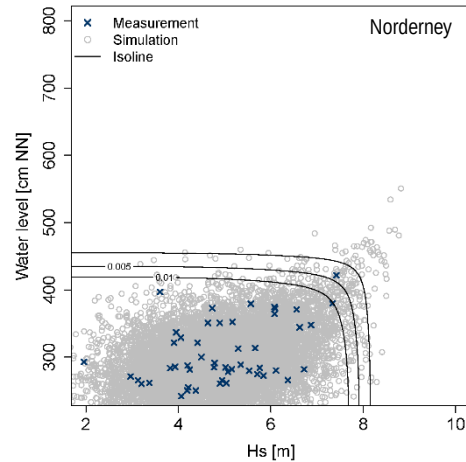


Süderhever korrigiert

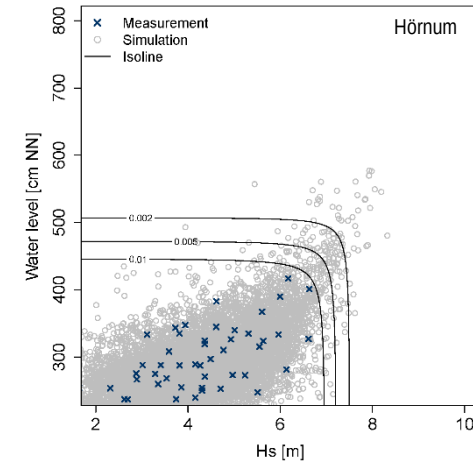


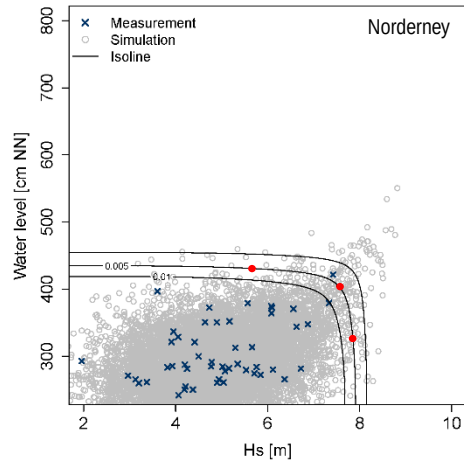
WAM Daten müssen korrigiert werden

$$H_{S,WAM_{kor}} = (H_{S,WAM} - (-0,134)) \cdot \frac{1}{1,285}$$



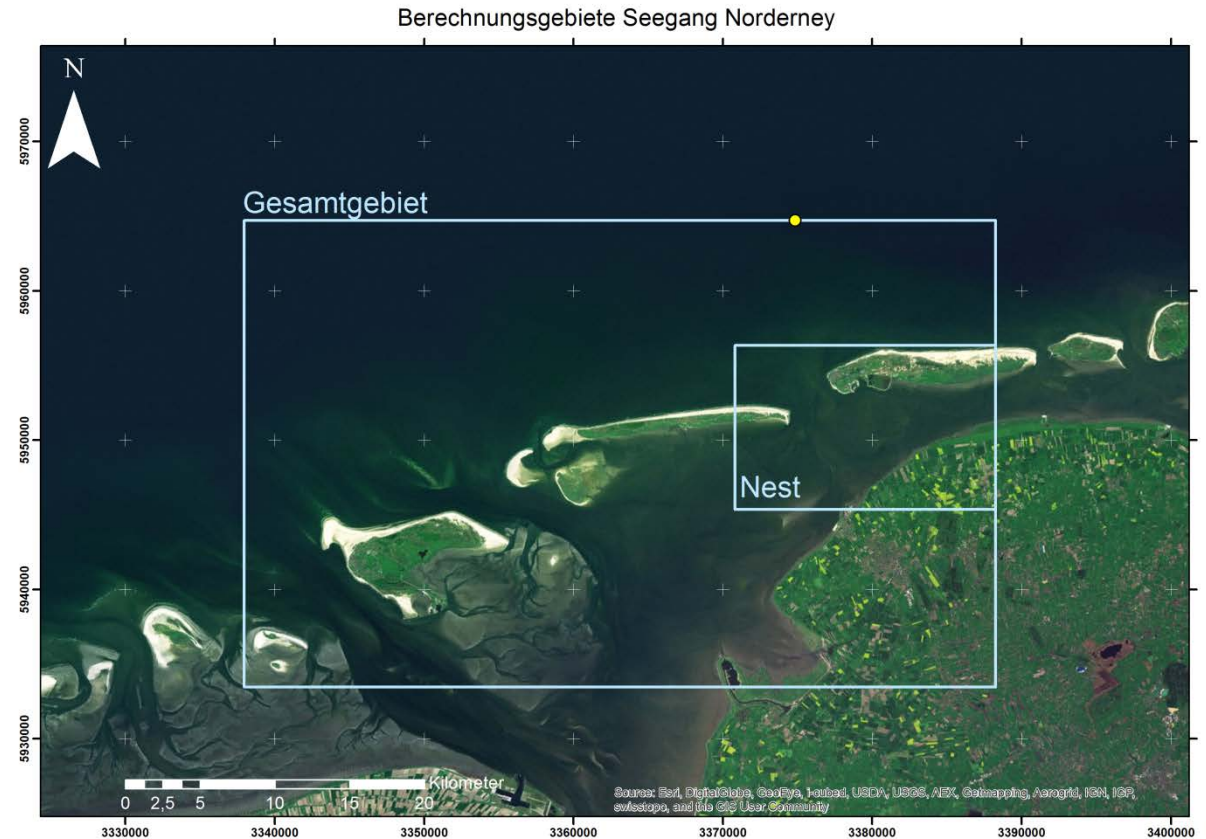
Gemeinsame Eintrittswahrscheinlichkeit
von Wasserständen und Wellenhöhen



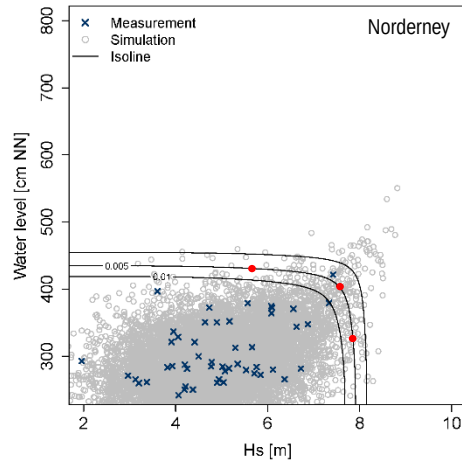


Fall	Hs	Tp	Wst
I	5.67	12.65	4.31
II	7.55	14.89	4.04
III	7.85	15.26	3.26

$$\theta = 0^\circ, 315^\circ$$

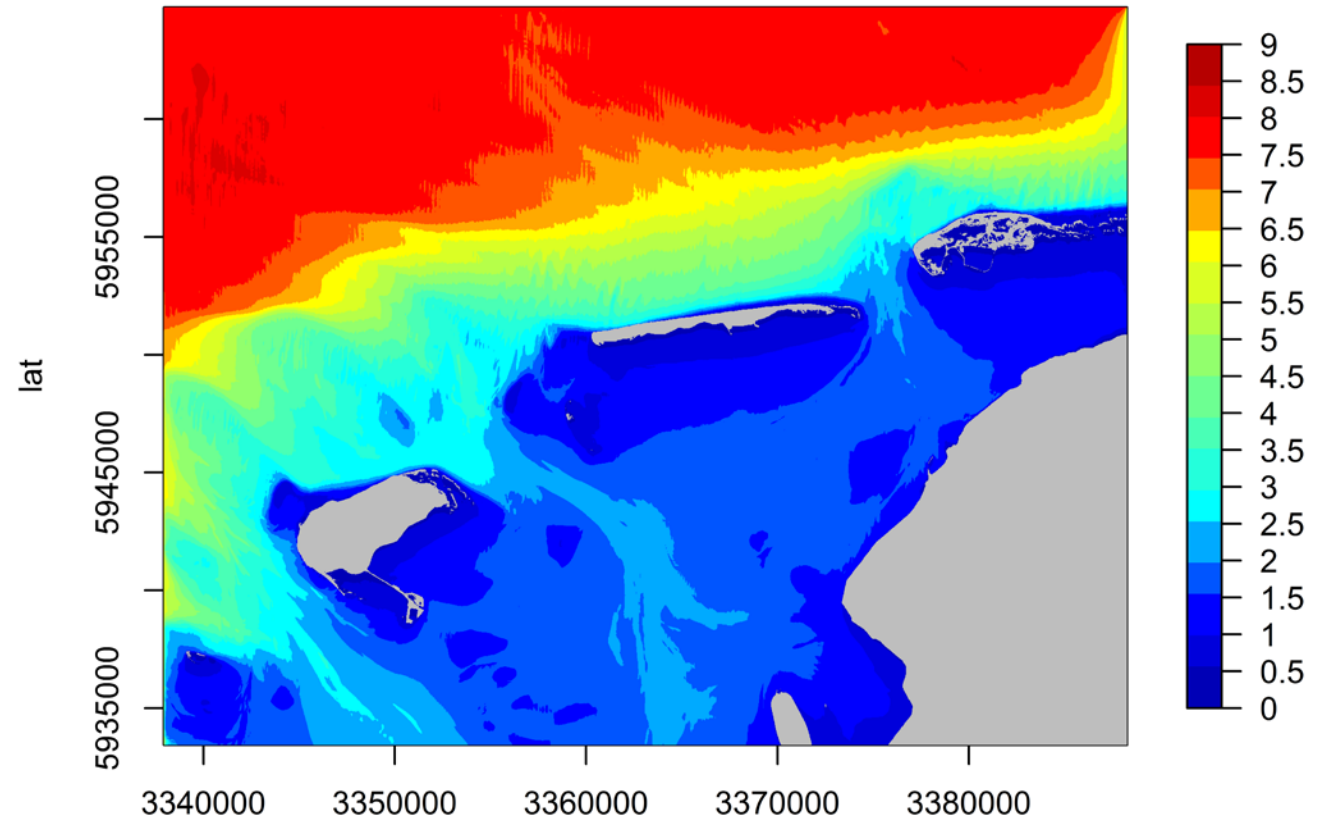


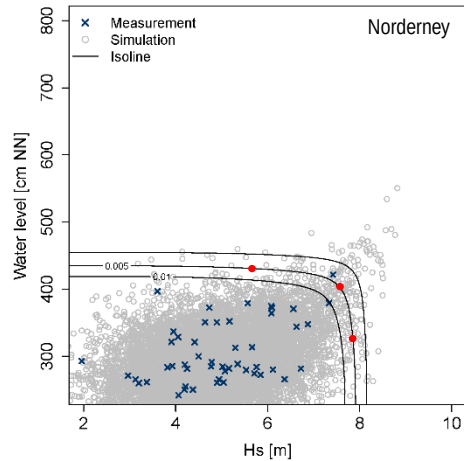
Wave Heights



Fall	Hs	Tp	Wst
I	5.67	12.65	4.31
II	7.55	14.89	4.04
III	7.85	15.26	3.26

$\theta = 0^\circ, 315^\circ$

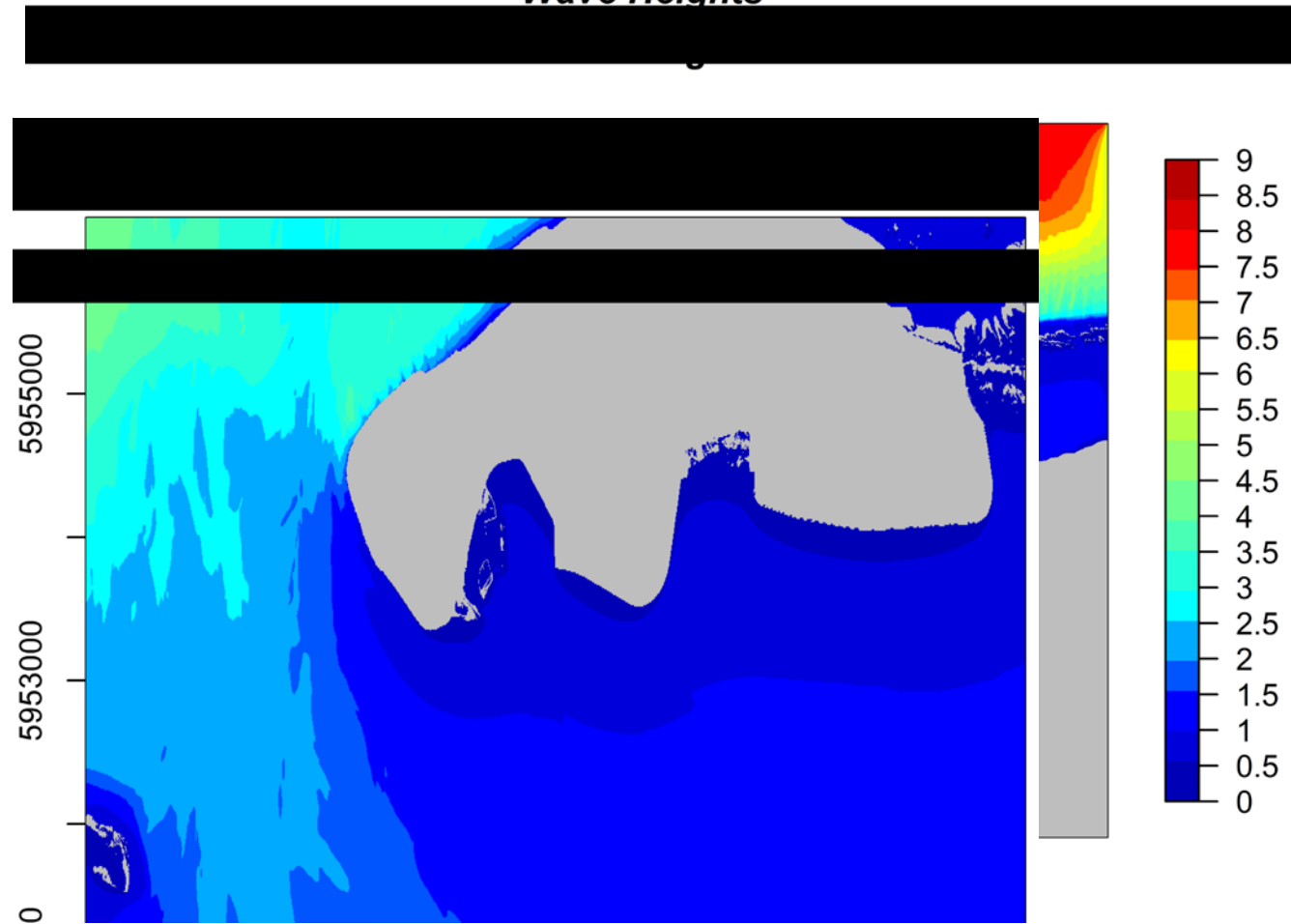




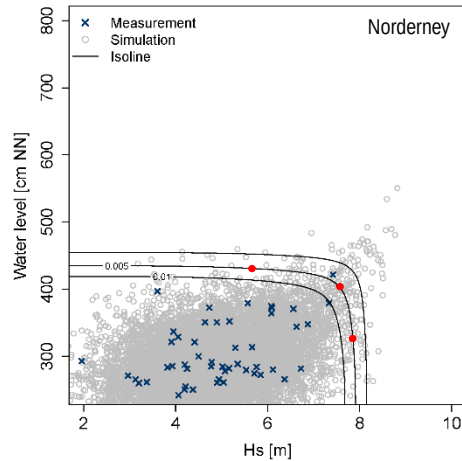
Fall	Hs	Tp	Wst
I	5.67	12.65	4.31
II	7.55	14.89	4.04
III	7.85	15.26	3.26

$\theta = 0^\circ, 315^\circ$

Wave Heights

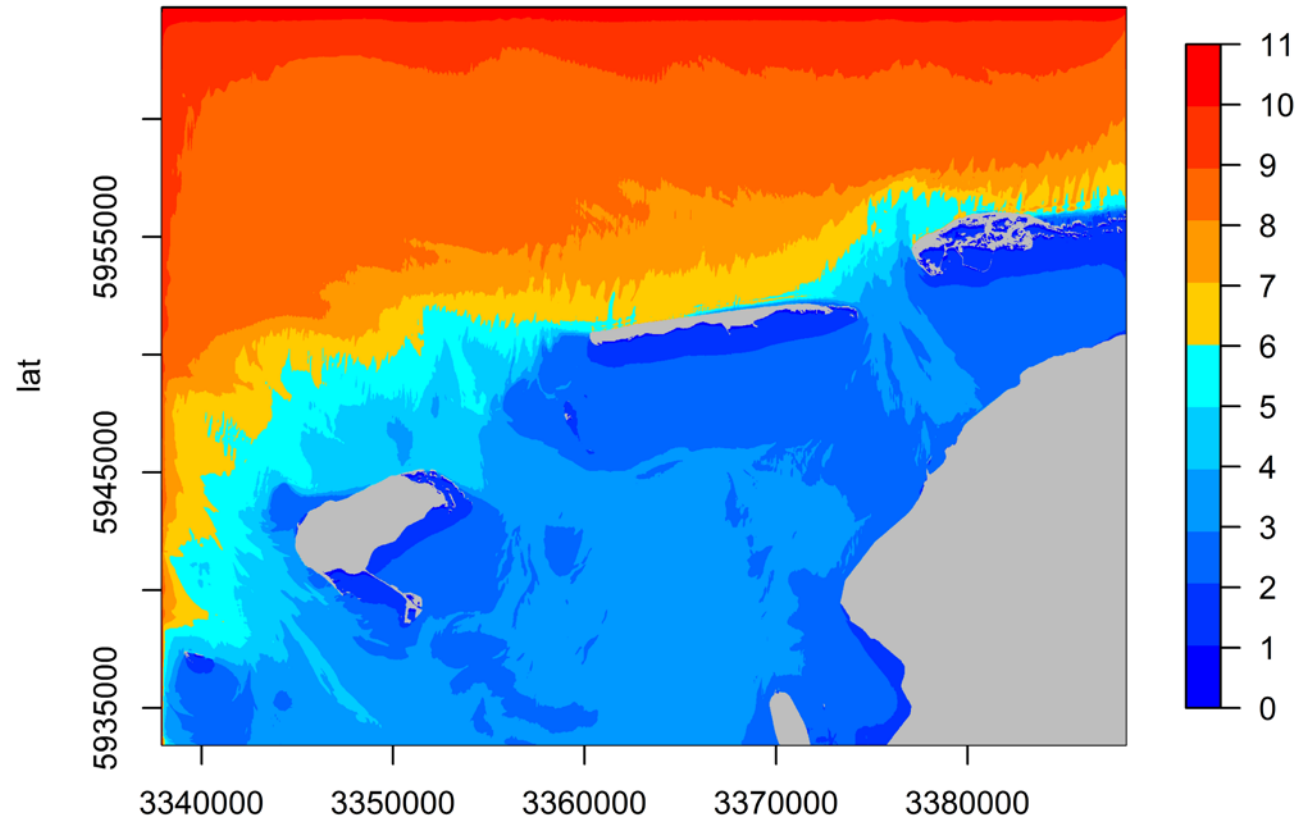


Mean Wave Periods



Fall	Hs	Tp	Wst
I	5.67	12.65	4.31
→ II	7.55	14.89	4.04
III	7.85	15.26	3.26

$\theta = 0^\circ, 315^\circ$

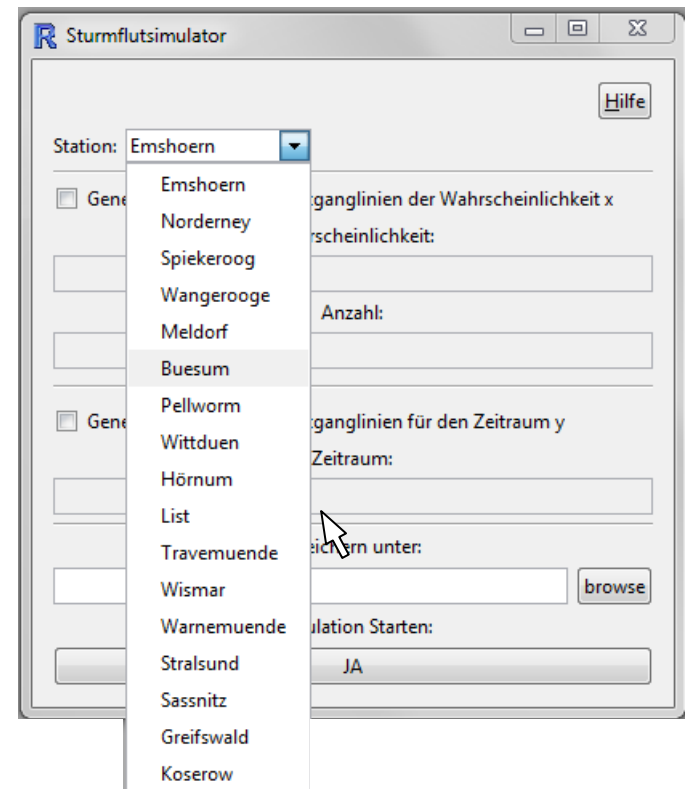


Umsetzung der Methoden im Sturmflutsimulator

Für verschiedene Nord- und Ostseepegel sind:

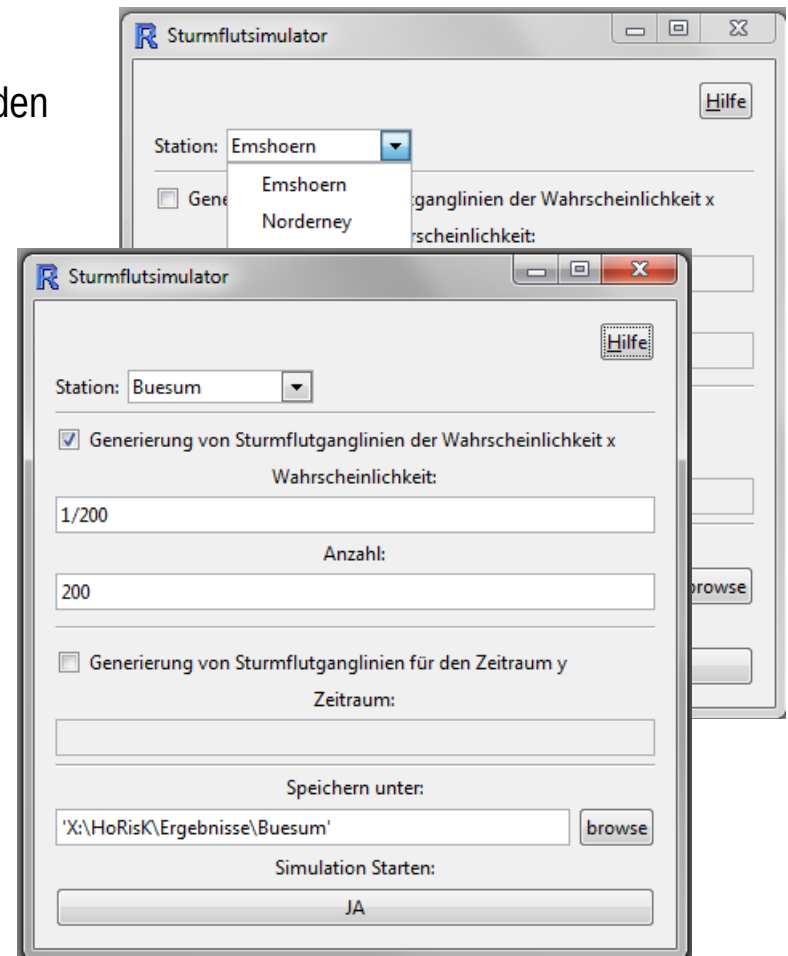
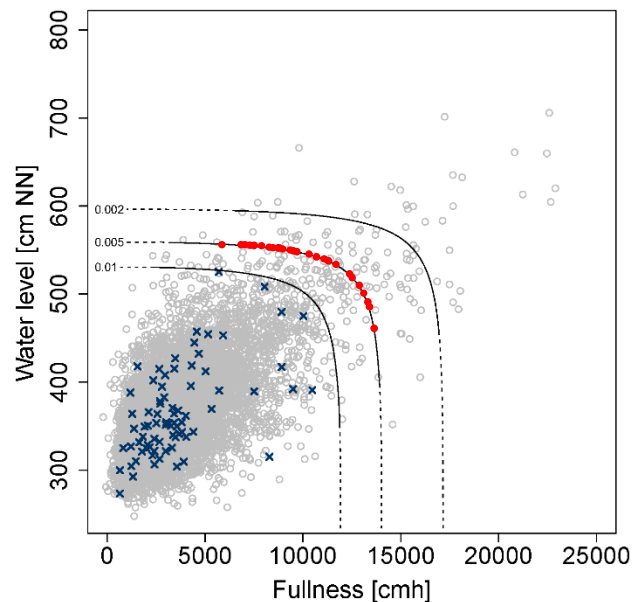
- Für Sturmflutwasserstände und die dazugehörigen Füllen die am Besten angepassten *Randverteilungen* sowie die entsprechenden *Anpassungsparameter*;
- *Anpassungsparameter* der *Copula* Funktion

ermittelt worden



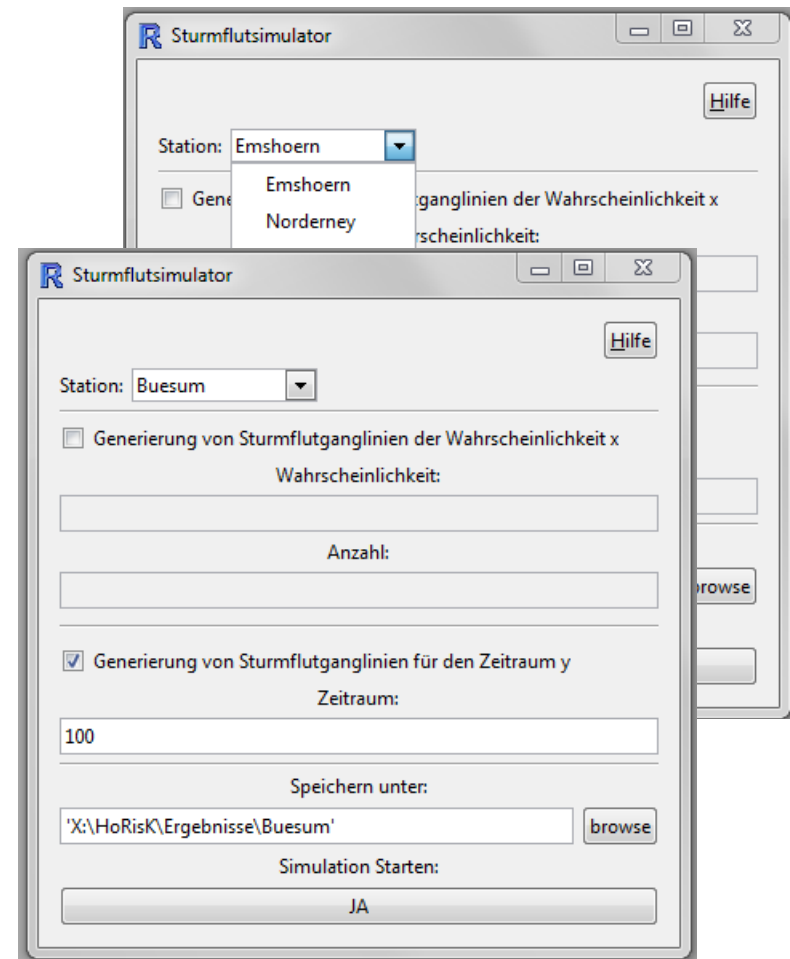
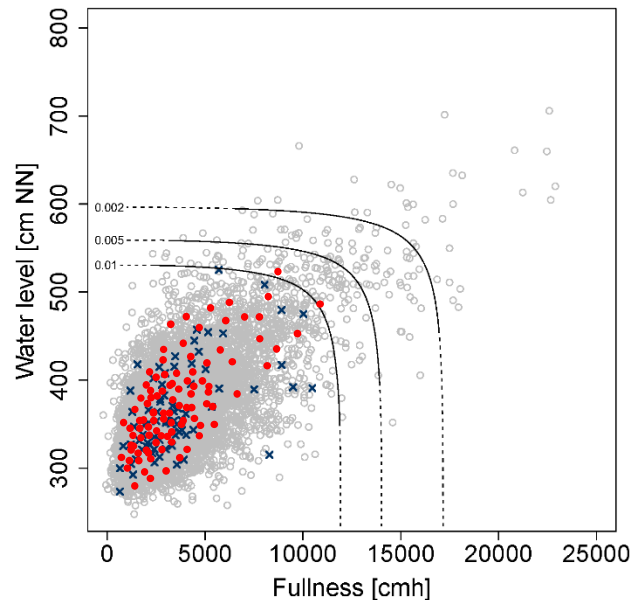
Umsetzung der Methoden im Sturmflutsimulator

- Es können beliebig viele *Sturmflutganglinien einer gewünschten Wahrscheinlichkeit* ausgegeben werden
- Ausgegeben werden Sturmflutganglinien mit einer zeitlichen Auflösung von einer Stunde sowie die Ergebnisse der univariaten und bivariaten statistischen Untersuchungen



Umsetzung der Methoden im Sturmflutsimulator

- Für beliebig lange Zeiträume können *Abfolgen von Sturmfluten* ausgegeben werden
- Ausgegeben werden Sturmflutganglinien mit einer zeitlichen Auflösung von einer Stunde sowie die Ergebnisse der univariaten und bivariaten statistischen Untersuchungen



- Einzelnen Belastungsgrößen (Wasserstände, Füllen von Sturmflutganglinien und Wellenhöhen) sowie Kombinationen von Belastungsgrößen (Wasserstände und Füllen bzw. Wasserstände und Wellenhöhen) können Eintrittswahrscheinlichkeiten zugeordnet werden
- Sturmflutganglinien mit beliebigen Eintrittswahrscheinlichkeiten können simuliert werden
- Für beliebig lange Zeiträume lassen sich Abfolgen von Sturmflutganglinien simulieren
- Verfahren ist auf die Ostseepegel: Travemünde, Wismar, Rostock, Stralsund, Sasiniz, Greifswald und Koserow sowie die Nordseepegel: List, Hörnum, Wittdün, Pellworm, Büsum, Meldorf, Wangerooge, Spiekeroog, Norderney und Emshörn angewendet worden
- Für Küstenabschnitte mit unzureichender Datengrundlage können Ganglinien durch Interpolation zwischen Isolinien bestimmt werden
- Relevante Seegangparameter werden über Wind-Wellen-Korrelationsrechnungen ermittelt oder anhand von Modellrechnungen des Helmholtz-Zentrum Geesthacht bestimmt
- Umsetzung der Methoden in einem Sturmflutsimulator

Danke



© A. Voelker