

Modellgestützte Untersuchungen zu extremen Sturmflutereignissen an der Deutschen Ostseeküste (MUSTOK)

Jürgen Jensen, Andreas Benkel, Ingrid Bork, Gerd Bruss, Peter Fröhle,
Anette Ganske, Roberto Mayerle, Christoph Mundersbach, Sylvin Müller-Navarra,
Gudrun Rosenhagen, Christian Schlamkow, Ralf Schmitz, Hans von Storch

BMBF-Fördernummer 03 KIS 52-54
KFKI-Fördernummer: KFKI 84-86



- Übersicht des Verbundprojektes und Ziele
- Rekonstruktion der Sturmflut vom 12./13. November 1872
- MUSE Ostsee: Meteorologie
- MUSE Ostsee: Wasserstandsmodellierung
- MUSE Ostsee: Extremwertstatistik
- SEBOK A/B: Meteorologie
- SEBOK A/B: Wasserstandsmodellierung
- Zusammenfassung und Ausblick
- Rückblick: Workshop Sturmflutgefährdung der Ostseeküste

- **Übersicht des Verbundprojektes und Ziele**
- Rekonstruktion der Sturmflut vom 12./13. November 1872
- MUSE Ostsee: Meteorologie
- MUSE Ostsee: Wasserstandsmodellierung
- MUSE Ostsee: Extremwertstatistik
- SEBOK A/B: Meteorologie
- SEBOK A/B: Wasserstandsmodellierung
- Zusammenfassung und Ausblick
- Rückblick: Workshop Sturmflutgefährdung der Ostseeküste

Modellgestützte Untersuchungen zu extremen Sturmflutereignissen an der Deutschen Ostseeküste (*MUSTOK*)

Koordinator:
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jürgen Jensen,
Forschungsinstitut Wasser und Umwelt (fwu) der Universität Siegen

**Modellgestützte
Untersuchungen zu Sturmfluten
mit sehr geringen
Eintrittswahrscheinlichkeiten an
der Deutschen Ostseeküste**
MUSE Ostsee

Koordinator:
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jürgen Jensen

DWD, GKSS, BSH, fwu

**Entwicklung von Methoden zur
Bestimmung maßgebender
hydrodynamischer
Bemessungsparameter
für Küstenschutzanlagen
an der Ostsee**
SEBOK A

Schwerpunkt:
Schleswig-Holstein

Koordinator:
Univ.-Prof. Dr. Roberto Mayerle

DWD, GKSS, FTZ

**Entwicklung von Methoden zur
Bestimmung maßgebender
hydrodynamischer
Bemessungsparameter
für Küstenschutzanlagen
an der Ostsee**
SEBOK B

Schwerpunkt:
Mecklenburg-Vorpommern

Koordinator:
Dr.-Ing. Peter Fröhle

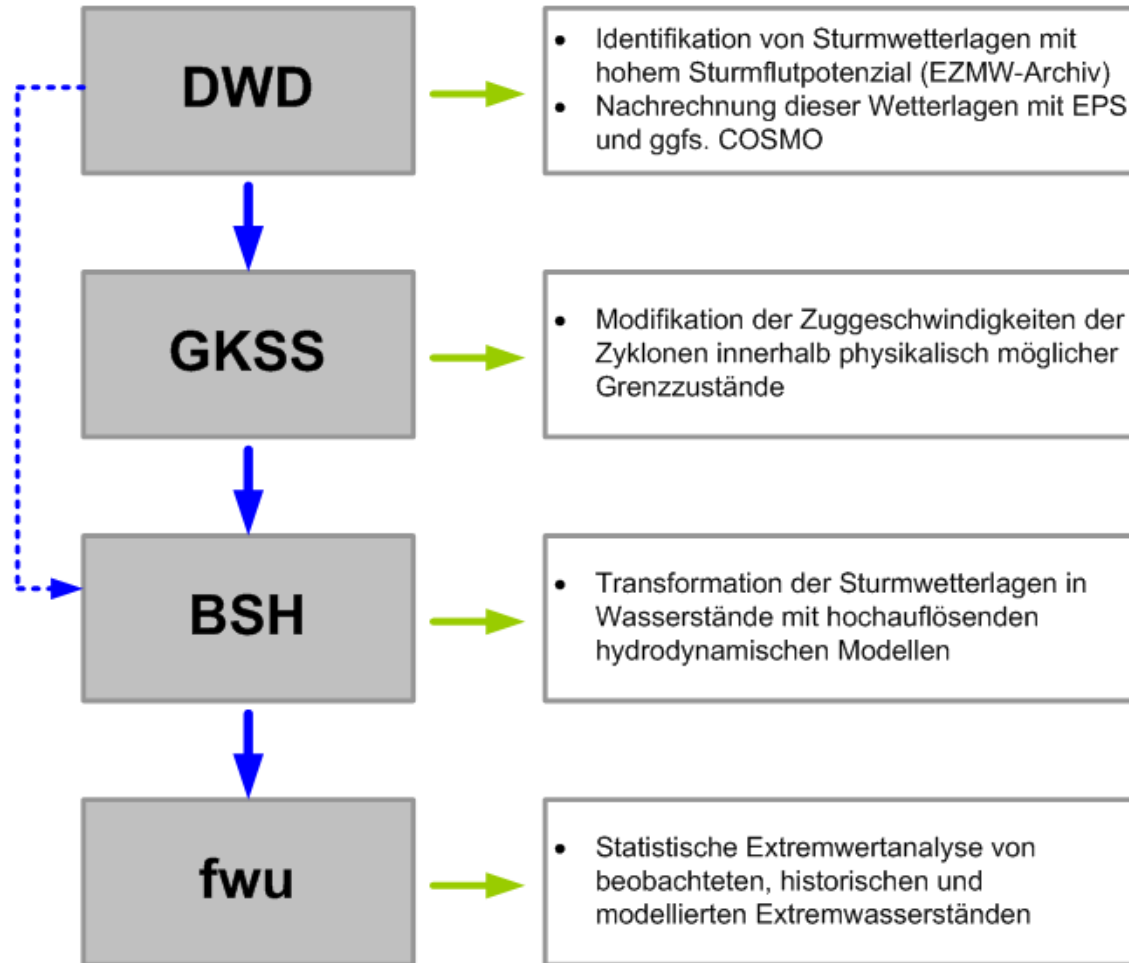
DWD, U Rostock

Modellgestützte Untersuchungen zu extremen Sturmflutereignissen an der Deutschen Ostseeküste (*MUSTOK*)

Koordinator:
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jürgen Jensen,
Forschungsinstitut Wasser und Umwelt (fwu) der Universität Siegen

Laufzeit: 01. Juli 2005 bis 31.12.2008

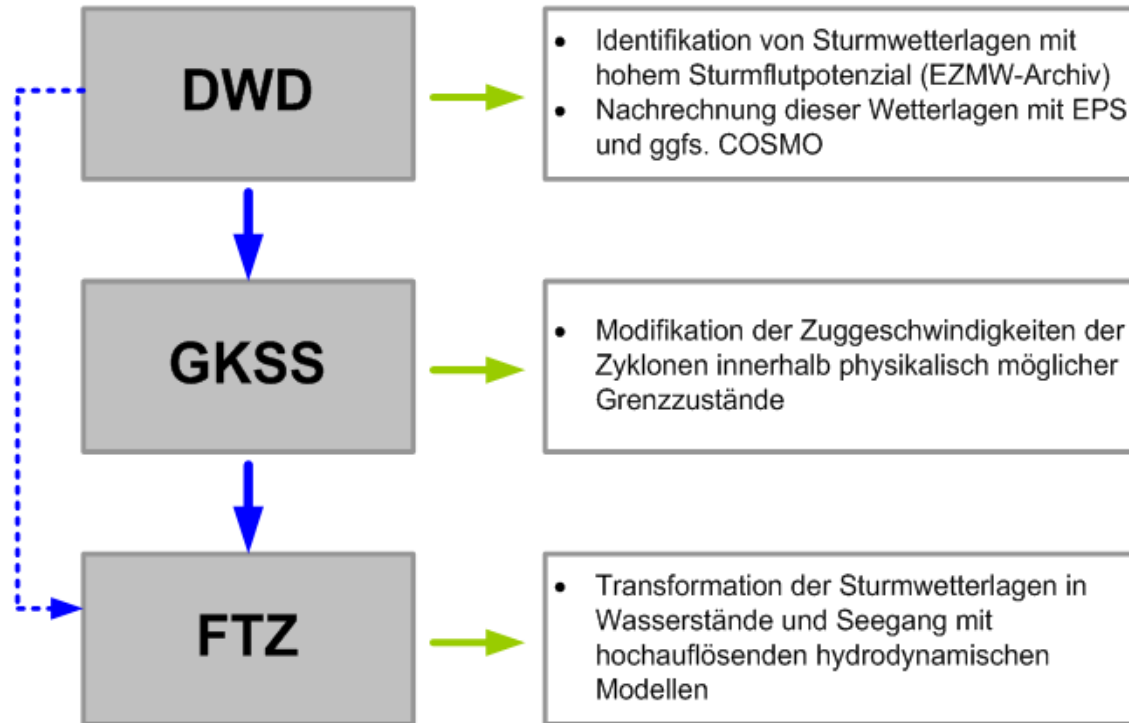
Modellkette MUSE Ostsee



Ziel:

Das Ziel von MUSE Ostsee ist die Ermittlung extremer Sturmflutwasserstände (physikalisch konsistent) und Zuordnung von Eintrittswahrscheinlichkeiten.

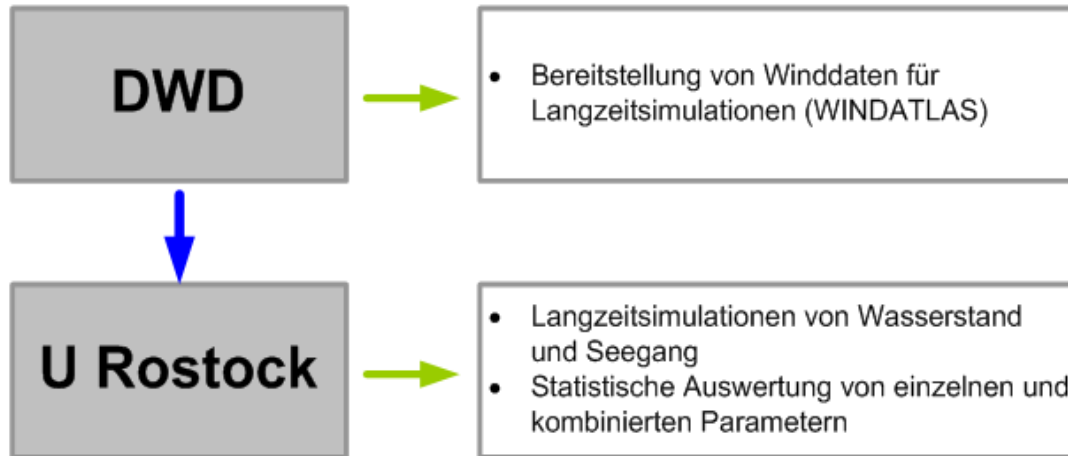
Modellkette SEBOK A



Ziel:

Das Ziel von SEBOK A ist die Ermittlung maßgebender Bemessungsparameter aus Wasserstand und Seegang über Szenarienrechnungen.

Modellkette SEBOK B

**Ziel:**

Das Ziel von SEBOK B ist die Ermittlung maßgebender Bemessungsparameter aus Wasserstand und Seegang über Langzeitsimulationen.

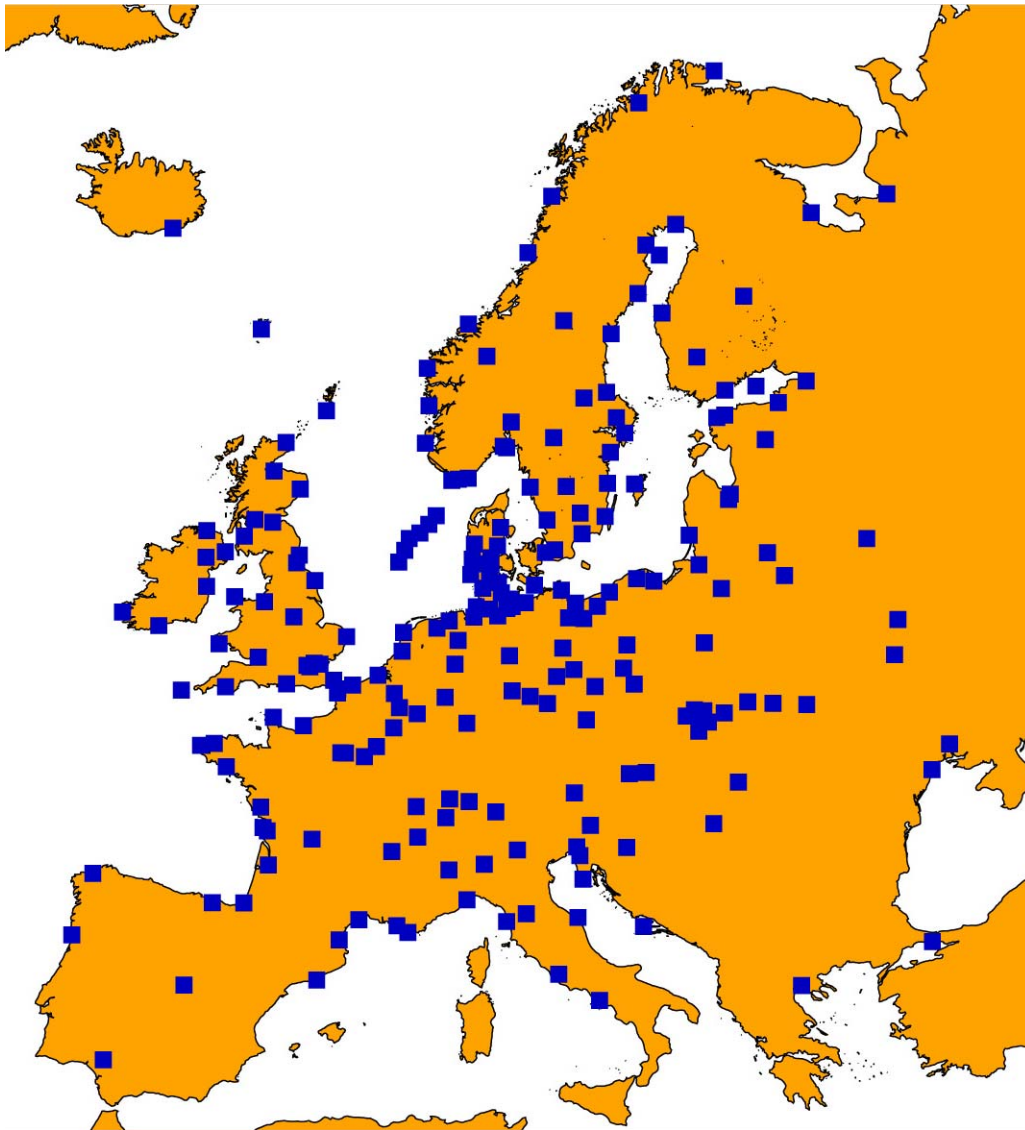
- Übersicht des Verbundprojektes und Ziele
- **Rekonstruktion der Sturmflut vom 12./13. November 1872**
- MUSE Ostsee: Meteorologie
- MUSE Ostsee: Wasserstandsmodellierung
- MUSE Ostsee: Extremwertstatistik
- SEBOK A/B: Meteorologie
- SEBOK A/B: Wasserstandsmodellierung
- Zusammenfassung und Ausblick
- Rückblick: Workshop Sturmflutgefährdung der Ostseeküste



- 271 Tote
- mehr als 15 Tausend obdachlos
- zehntausende Stück Vieh ertranken
- mehrere hundert Schiffe strandeten
- großflächige Landverluste

(Kiecksee, 1872,
Petersen u. Rohde, 1977)

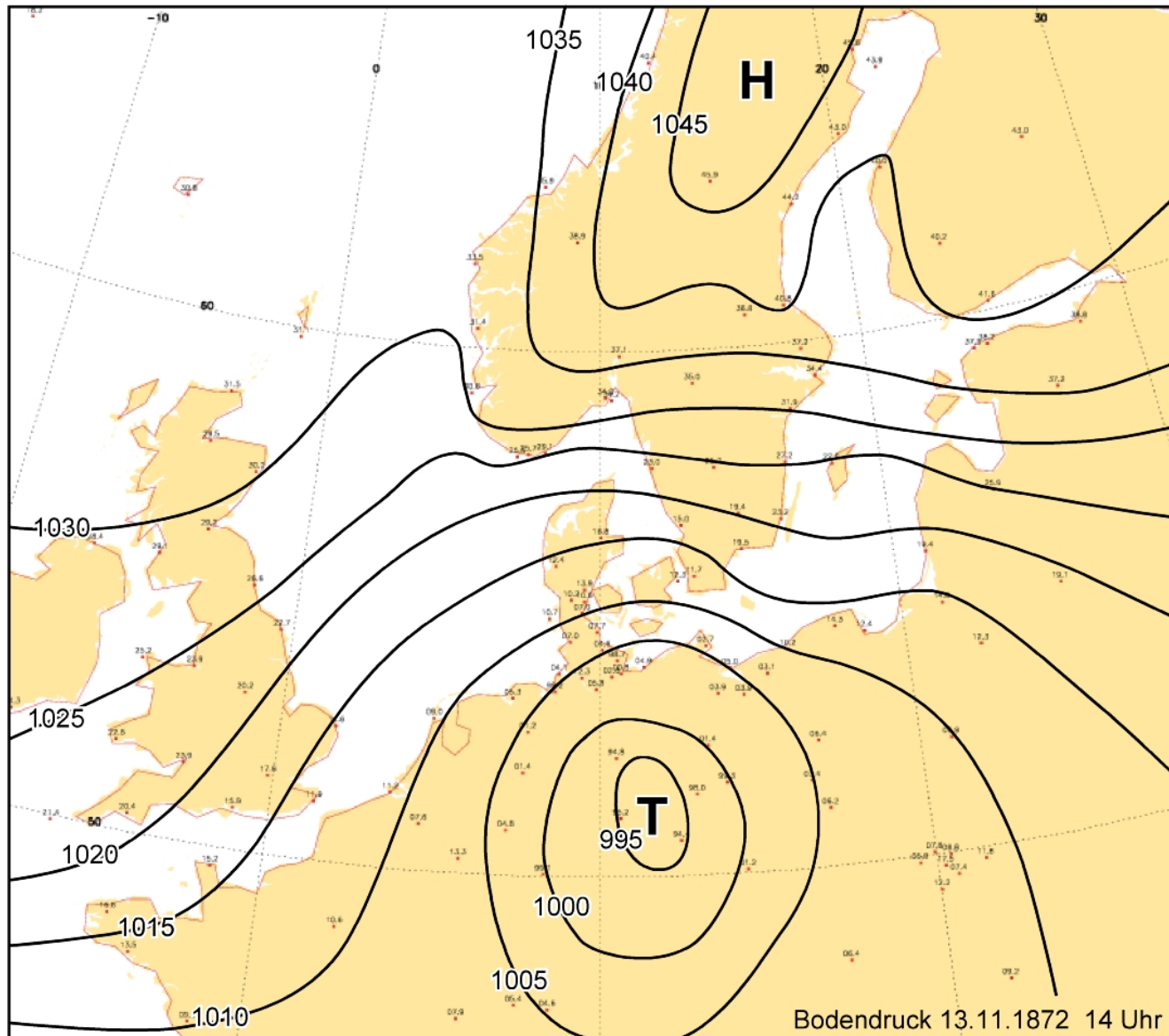
Rettungsszene in einer Straße
von Flensburg während der
Sturmflut am 13.11.1872,
Illustrierte Zeitung (1872)

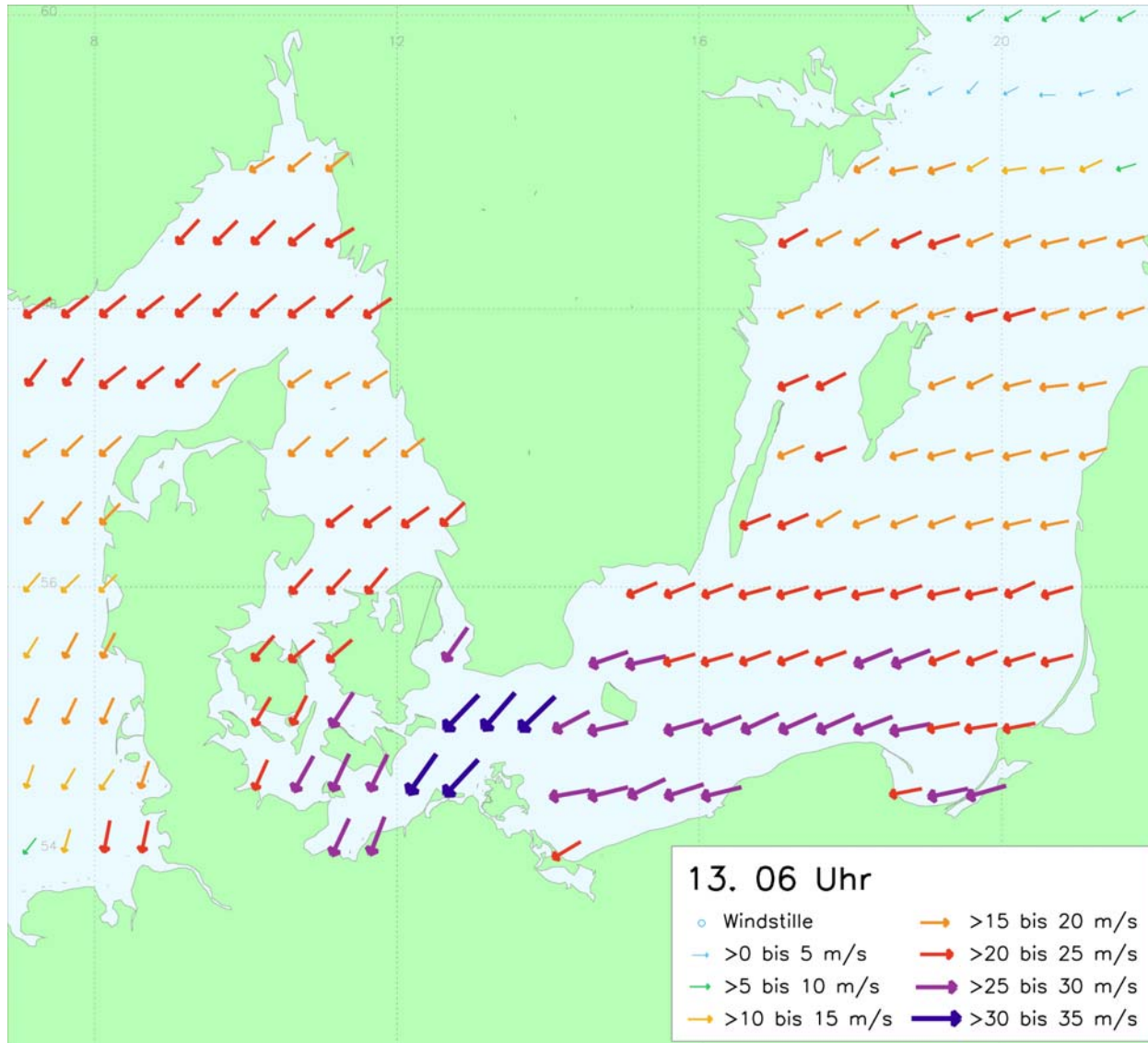


Ergebnis der Datensammlung im Zeitraum 01.-14.11.1872:

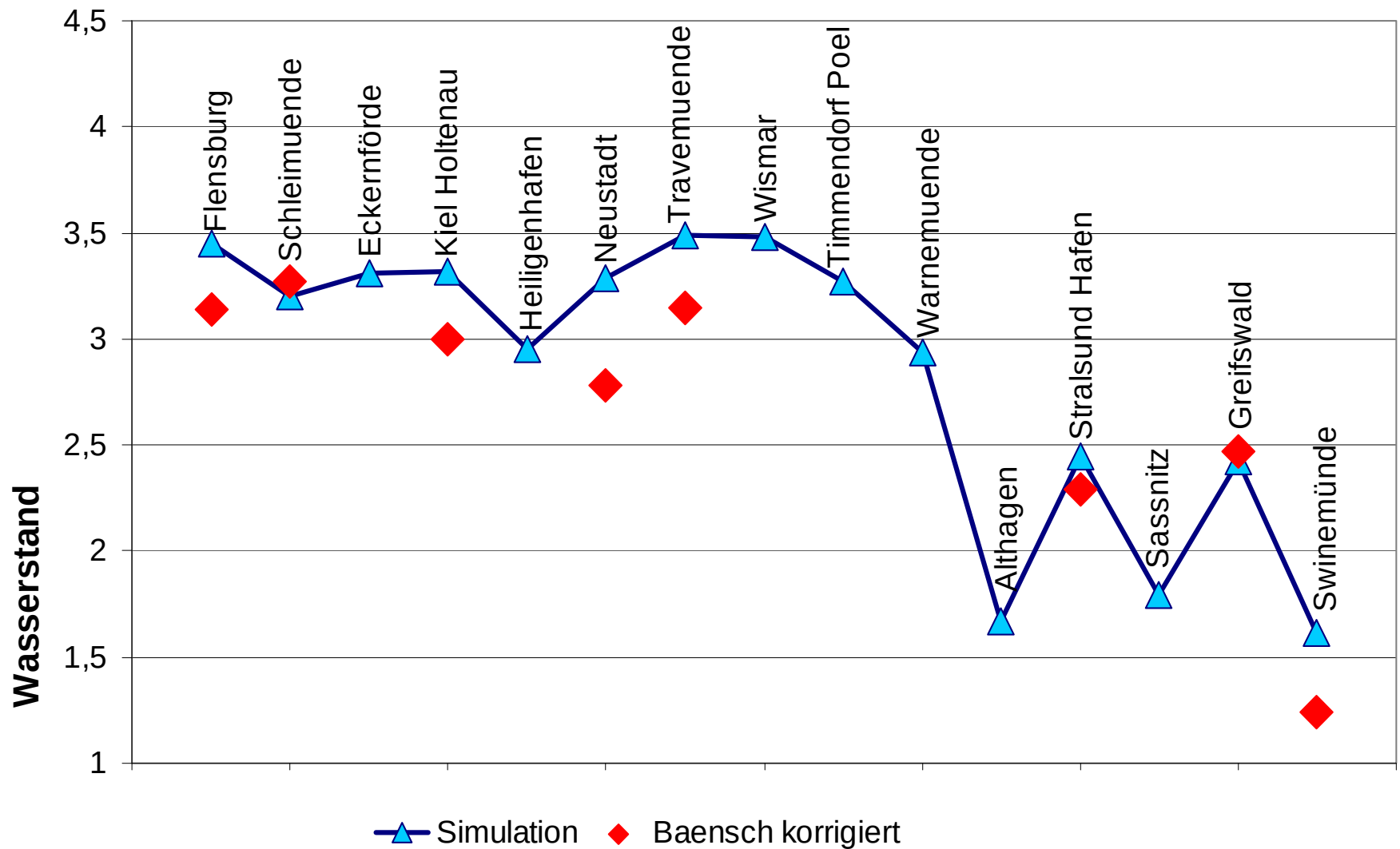
Luftdruck- und Temperatur-
daten von mehr als 230
Stationen, davon mehr als 175
mit mindestens 2 Meldungen
pro Tag!

Berechnung von Windfeldern aus Luftdruckdaten

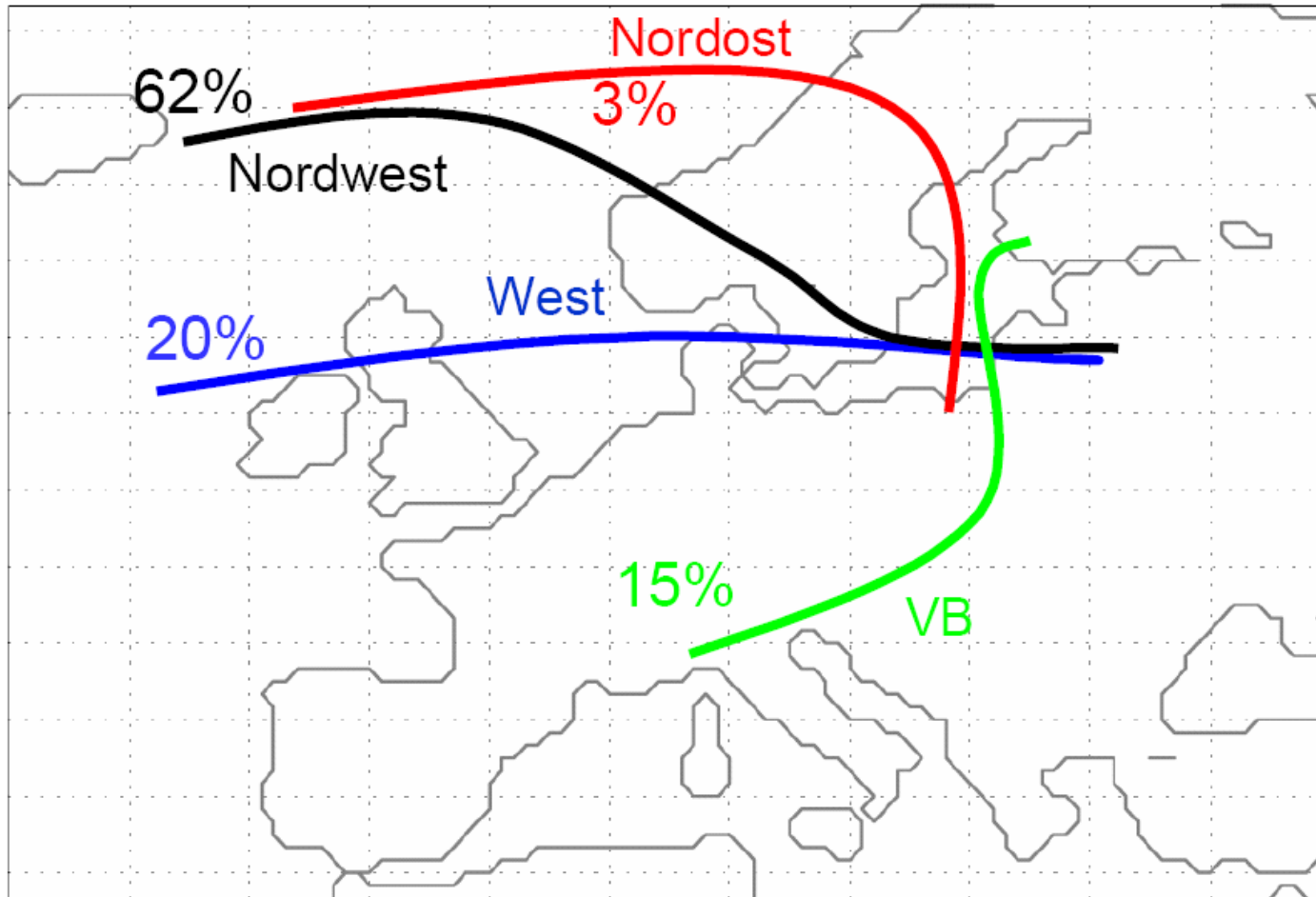




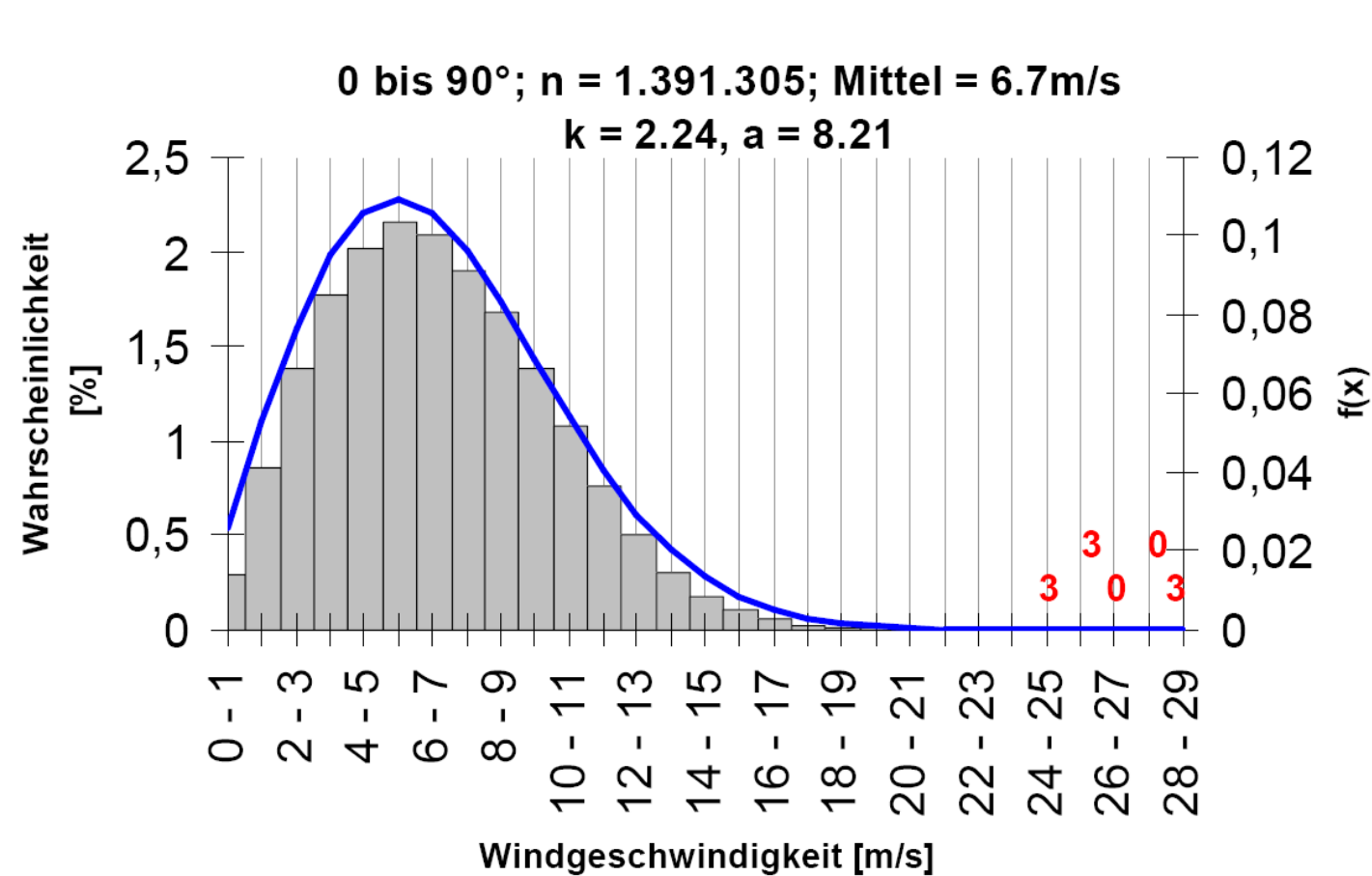
Windverhältnisse über der Ostsee am 13.11.1872 um 6 Uhr



- Übersicht des Verbundprojektes und Ziele
- Rekonstruktion der Sturmflut vom 12./13. November 1872
- **MUSE Ostsee: Meteorologie**
- MUSE Ostsee: Wasserstandsmodellierung
- MUSE Ostsee: Extremwertstatistik
- SEBOK A/B: Meteorologie
- SEBOK A/B: Wasserstandsmodellierung
- Zusammenfassung und Ausblick
- Rückblick: Workshop Sturmflutgefährdung der Ostseeküste

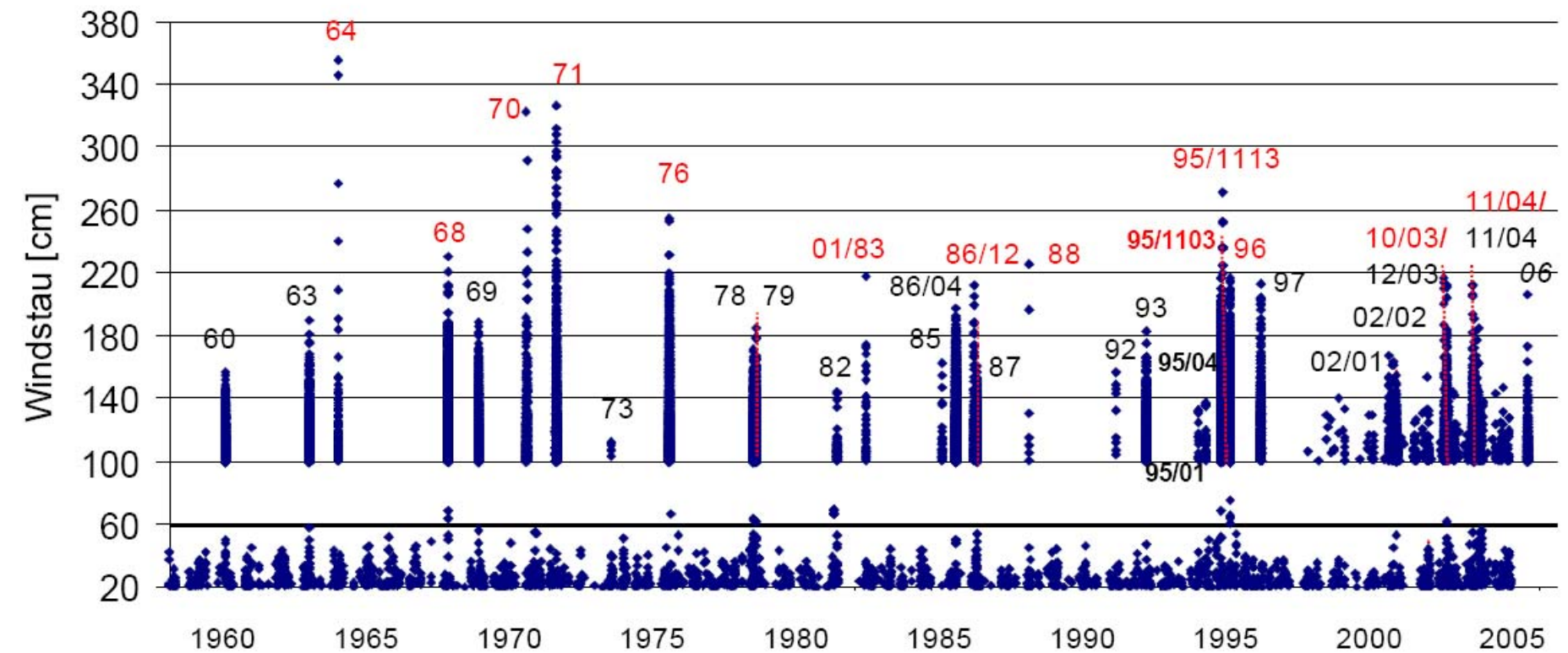


**Zugbahnen von
Tiefdruckge-
bieten über
der Ostsee**

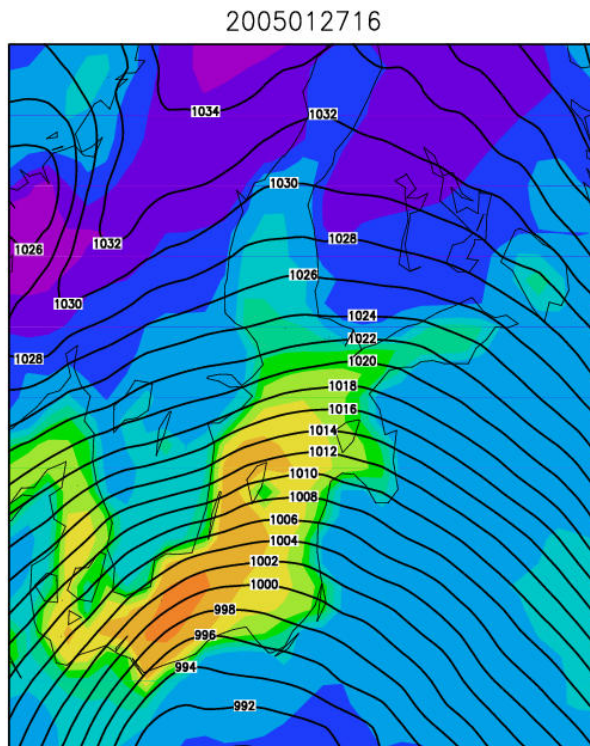


Verteilung der Windgeschwin- digkeiten

Abschätzung der Windstauwerte

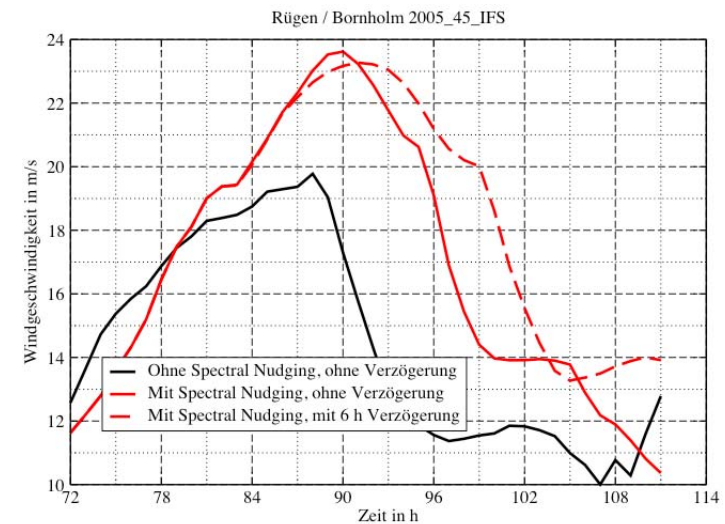
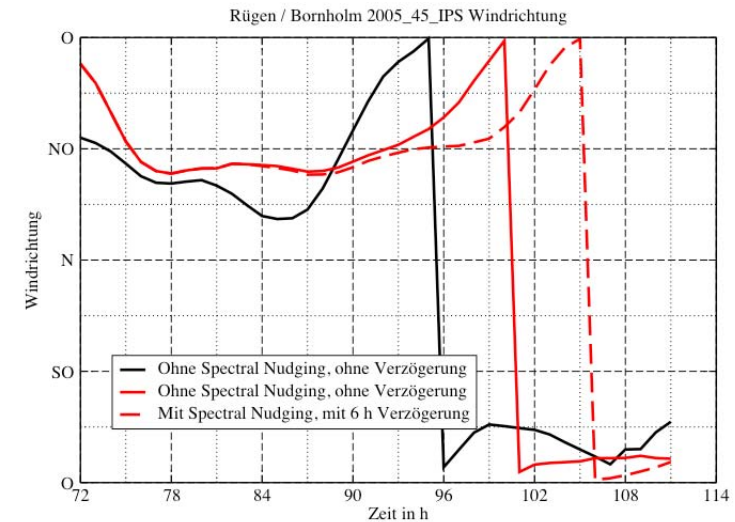


Effekte des Spectral Nudgings am Beispiel einer EPS-Sturmsituation Ergebnisse der CLM-Simulation

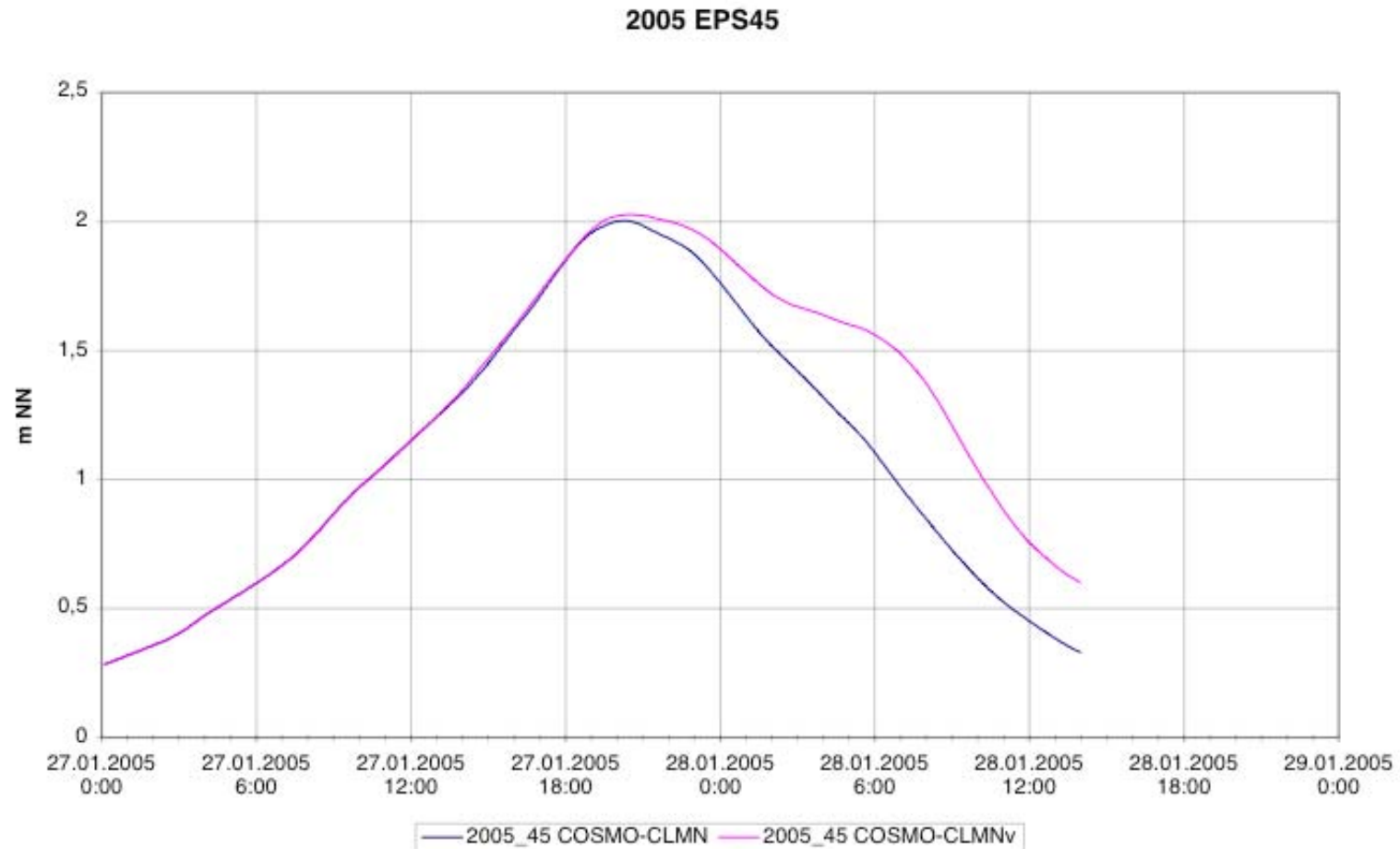


Höhepunkt des Sturm
über der Ostsee

Bodendruck und 10m-
Windgeschwindigkeit

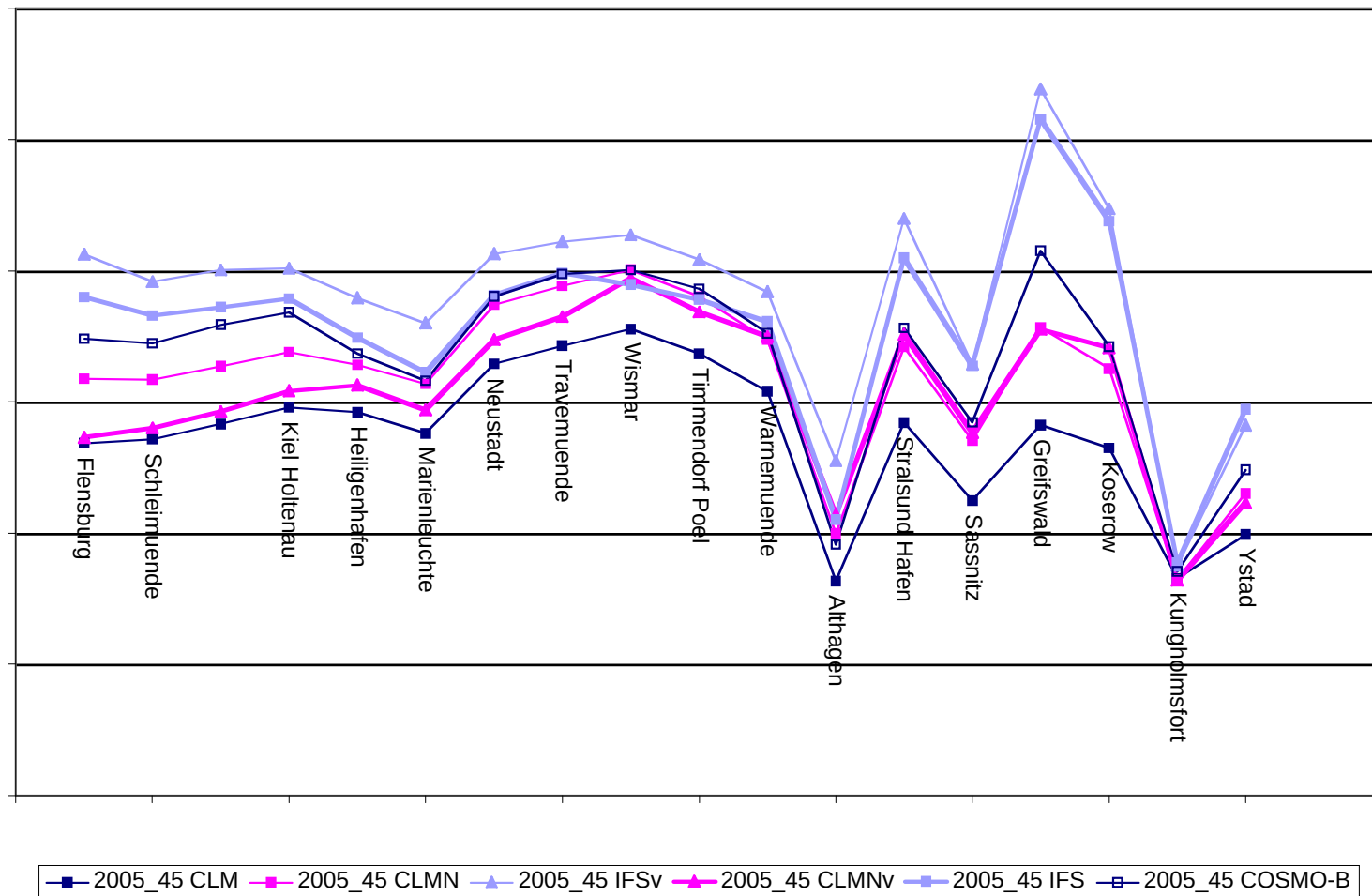


Zeitl. Verlauf Wasserstand Wismar (Auswirkung der verlängerten Wirkdauer)



Pers. Mitteilung, Bork (2008)

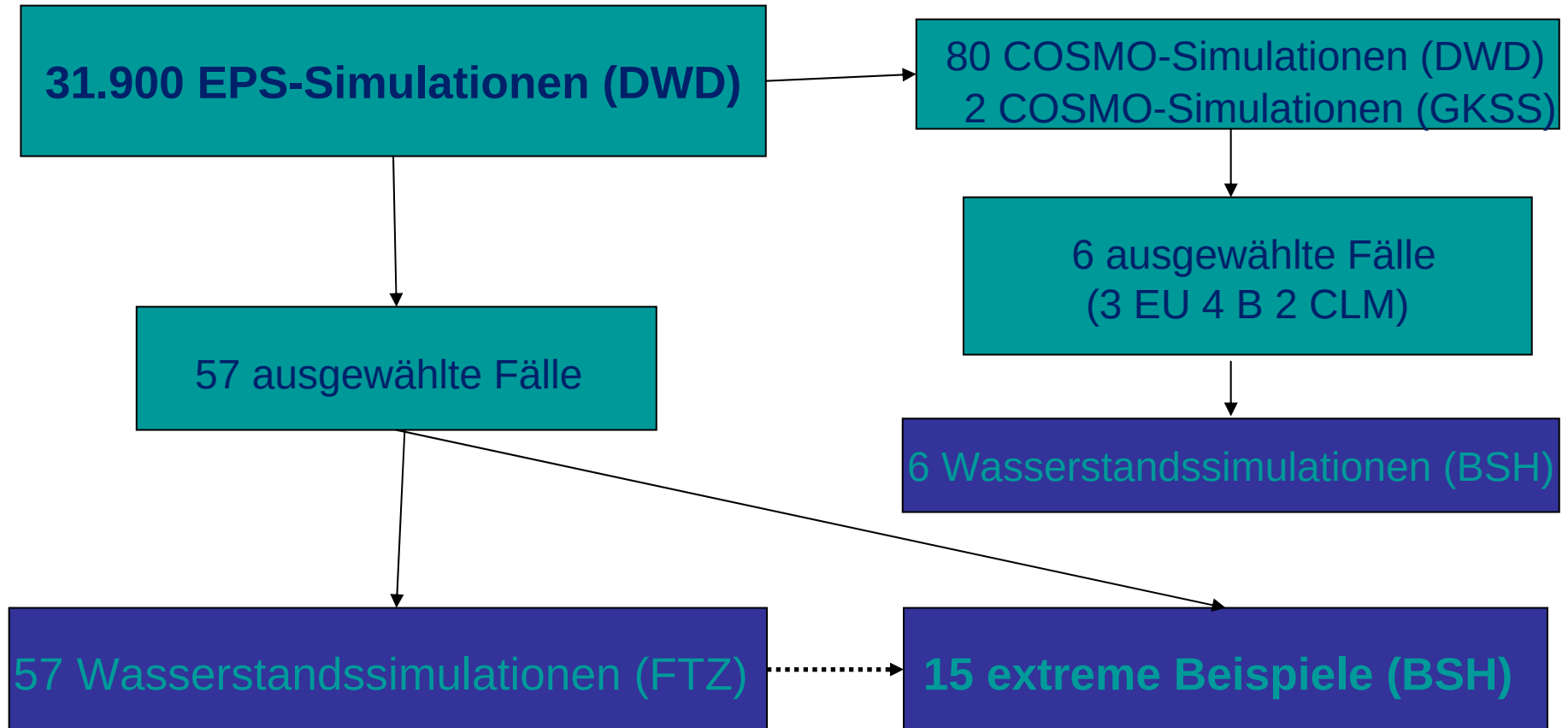
Max. Wasserstände aus EPS-Member 2005_45_IFS bei verschiedenen Antrieben



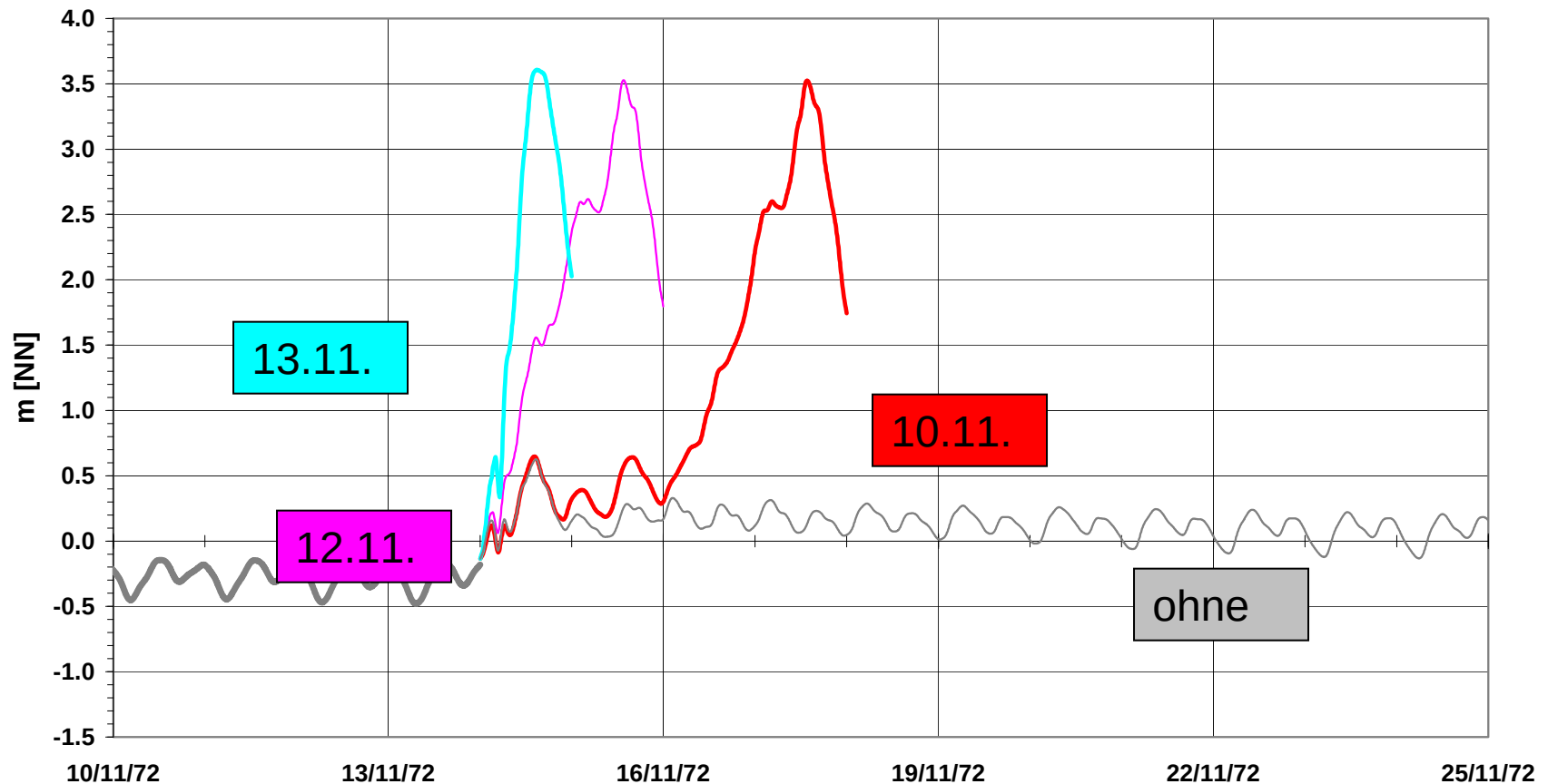
Pers. Mitteilung, Bork (2008)

- Übersicht des Verbundprojektes und Ziele
- Rekonstruktion der Sturmflut vom 12./13. November 1872
- MUSE Ostsee: Meteorologie
- **MUSE Ostsee: Wasserstandsmodellierung**
- MUSE Ostsee: Extremwertstatistik
- SEBOK A/B: Meteorologie
- SEBOK A/B: Wasserstandsmodellierung
- Zusammenfassung und Ausblick
- Rückblick: Workshop Sturmflutgefährdung der Ostseeküste

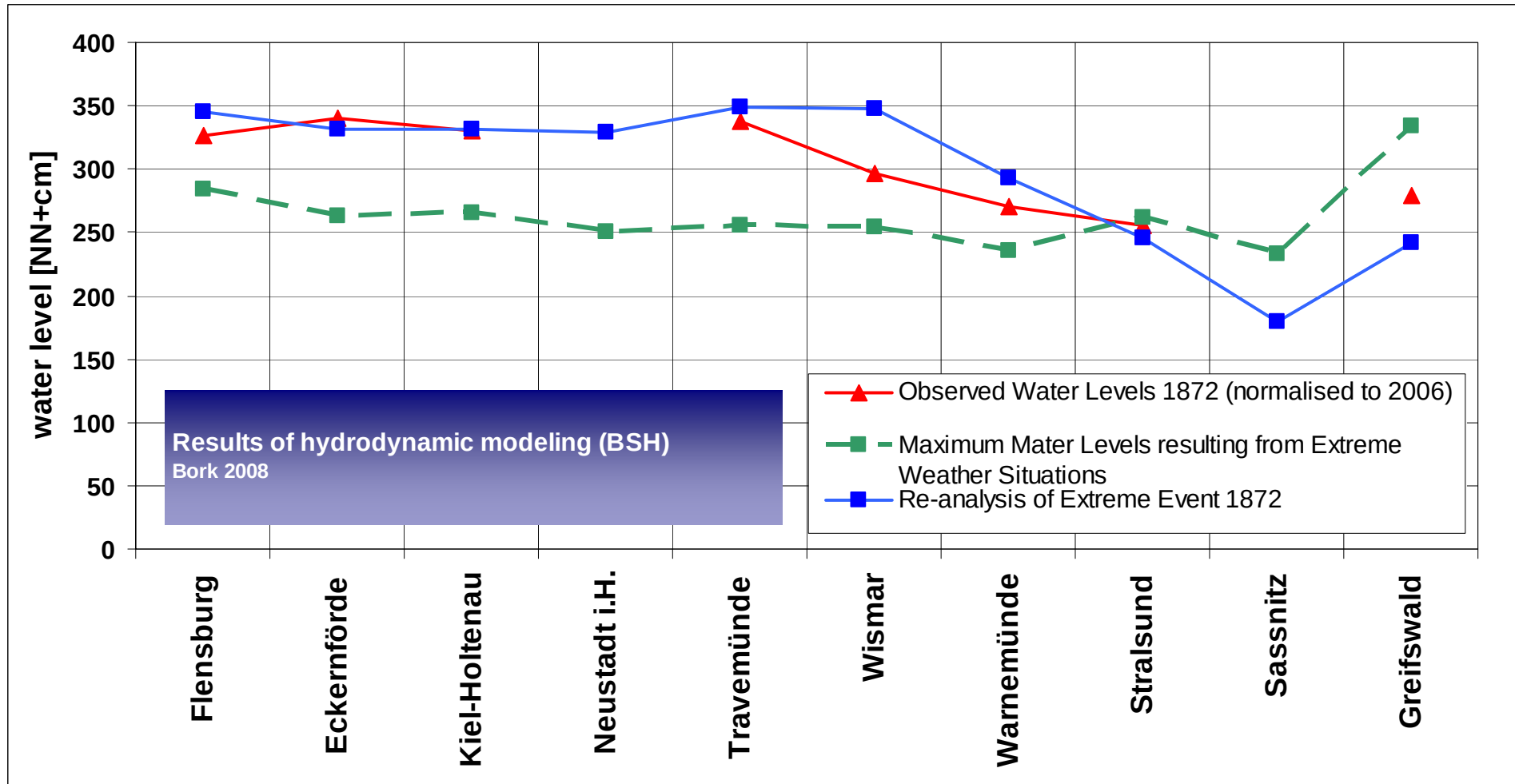
Übersicht der Simulationen



Sensitivitätsanalyse zum Einfluss von Vorfüllung und Seiches auf extreme Wasserstände

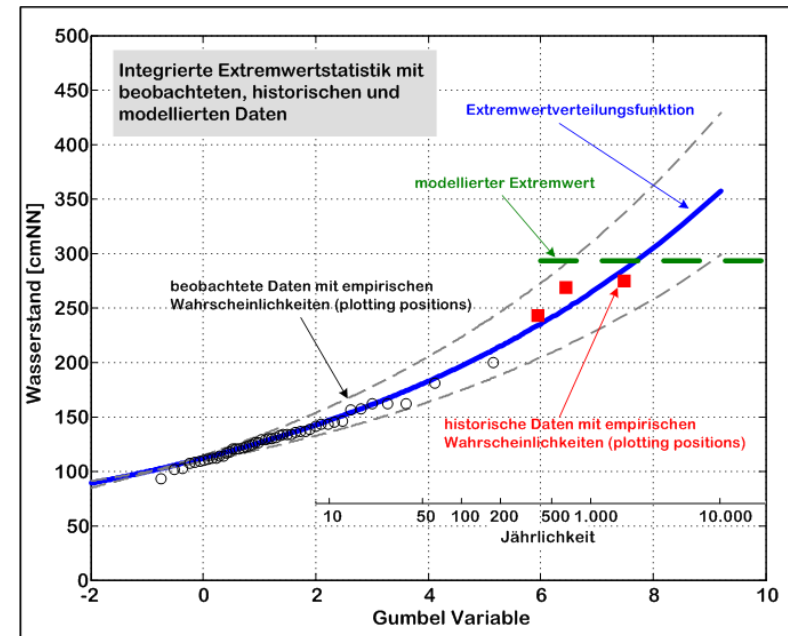


Fazit: Vorfüllung und Seiches haben auf extreme Wasserstände keinen signifikanten Einfluss > Windfeld ist maßgebend!

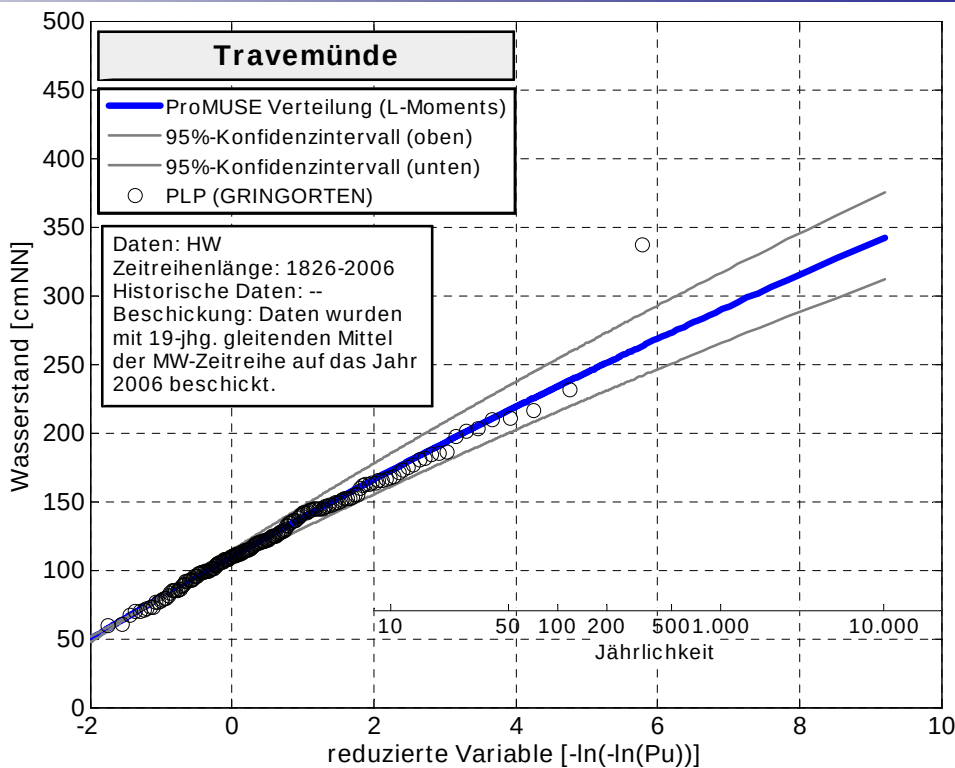


- Übersicht des Verbundprojektes und Ziele
- Rekonstruktion der Sturmflut vom 12./13. November 1872
- MUSE Ostsee: Meteorologie
- MUSE Ostsee: Wasserstandsmodellierung
- **MUSE Ostsee: Extremwertstatistik**
- SEBOK A/B: Meteorologie
- SEBOK A/B: Wasserstandsmodellierung
- Zusammenfassung und Ausblick
- Rückblick: Workshop Sturmflutgefährdung der Ostseeküste

- Analyse der beobachteten Daten
- Analyse der beobachteten und historischen Daten
- Analyse der beobachteten, historischen und modellierten Daten
- Modellierter Extremwert erhält Schätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit aus der Gesamtzahl aller „Vorhersagestunden“:
12 Mio. Stunden $\rightarrow$ 1.370 Jahre
 $\rightarrow P_U = 7,3 \cdot 10^{-4}/a$



Analyse beobachteter Daten

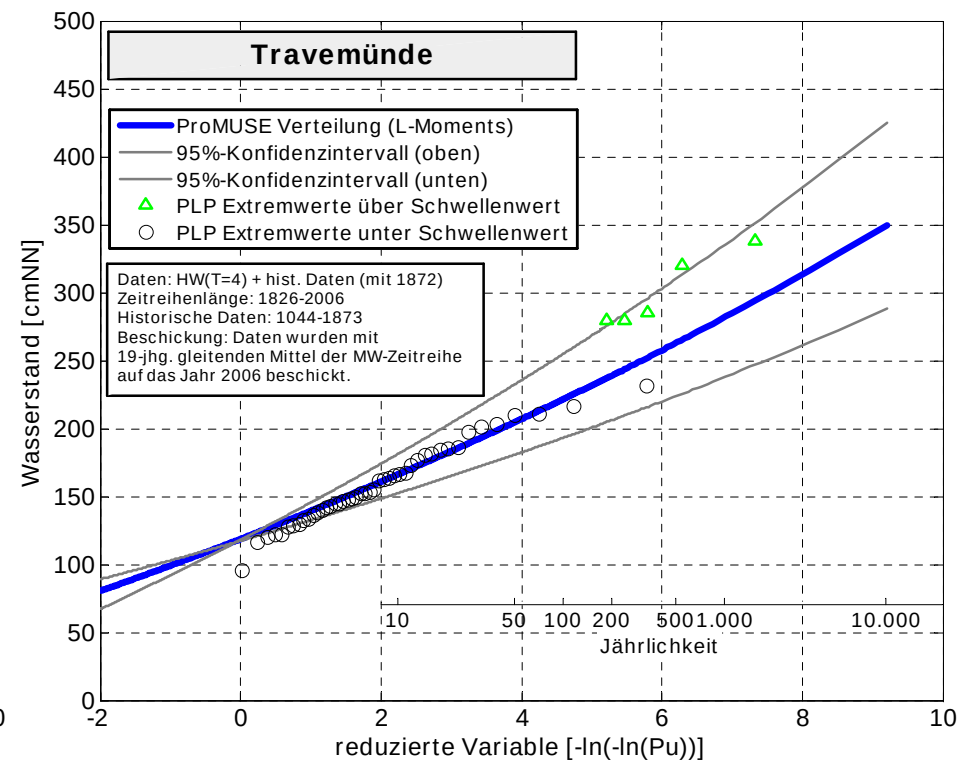


$$HW_{100} = 234 \text{ cmNN}$$

$$HW_{1.000} = 290 \text{ cmNN}$$

$$HW_{10.000} = 342 \text{ cmNN}$$

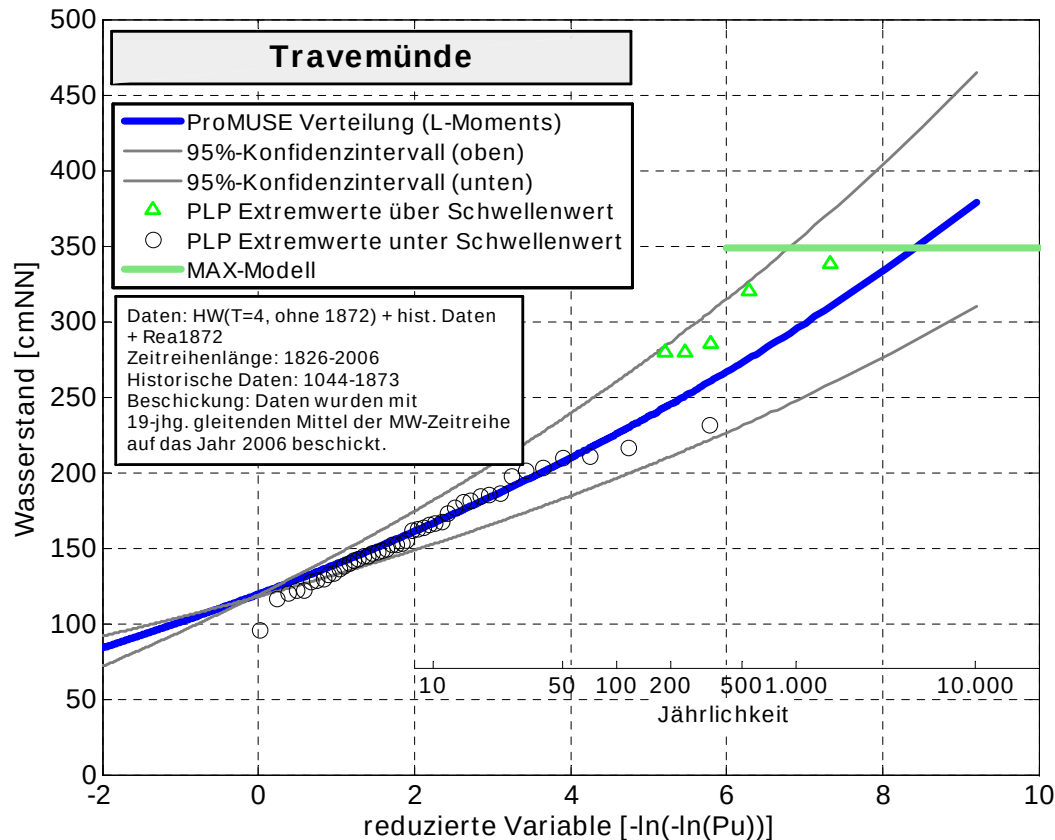
Analyse beob. & histor. Daten



$$HW_{100} = 222 \text{ cmNN}$$

$$HW_{1.000} = 282 \text{ cmNN}$$

$$HW_{10.000} = 350 \text{ cmNN}$$



Analyse beob. & histor. Daten und modellierter Extremwerte

In den Fällen, in denen der modellierte Extremwert deutlich unter dem Ereignis von 1872 liegt, wird Reanalysewert von 1872 in der Statistik verwendet.

$$HW_{100} = 226 \text{ cmNN}$$

$$HW_{1.000} = 295 \text{ cmNN}$$

$$HW_{10.000} = 379 \text{ cmNN}$$

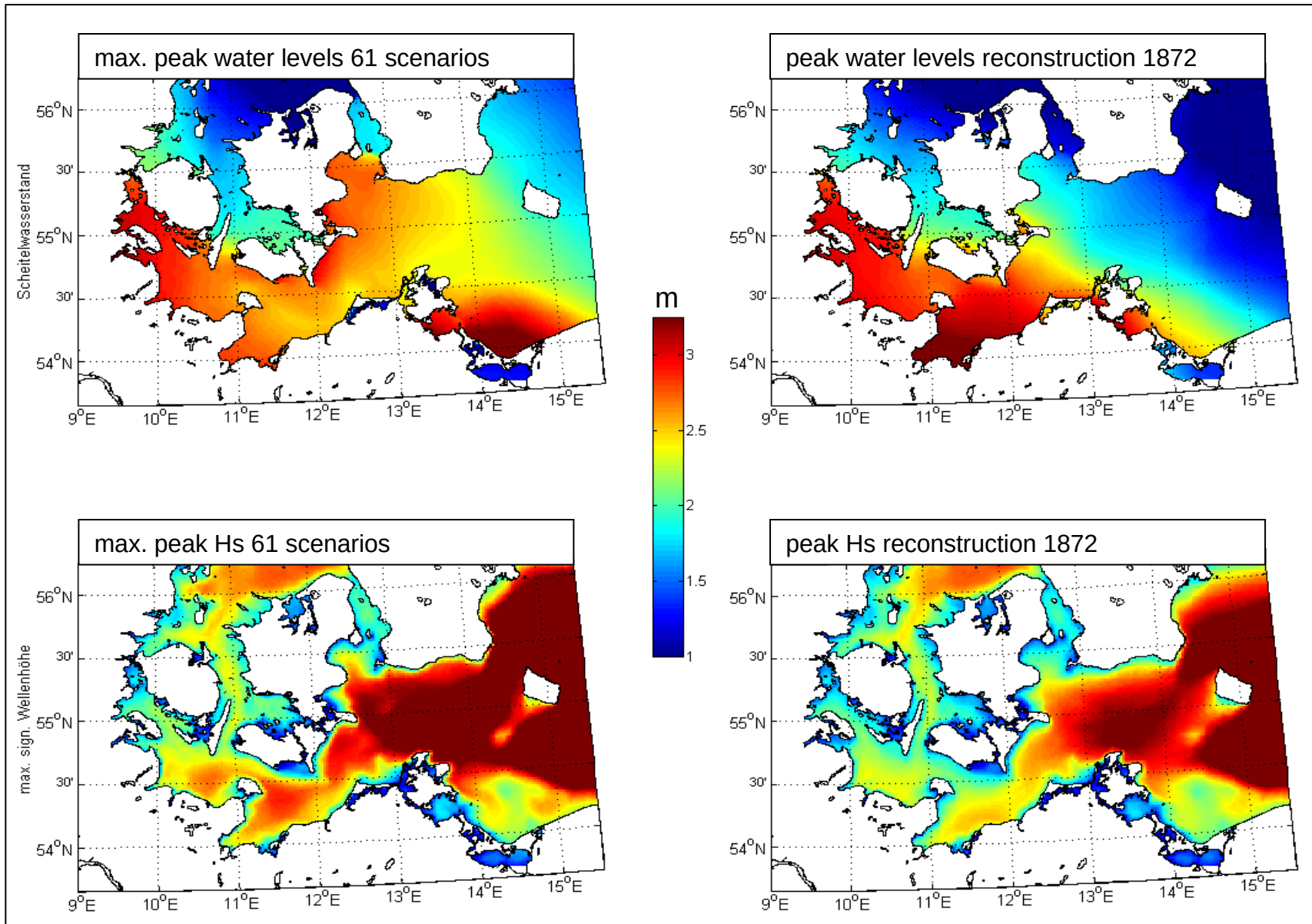
Wiederkehrintervalle für Sturmflut von 1872 für Pegel Travemünde

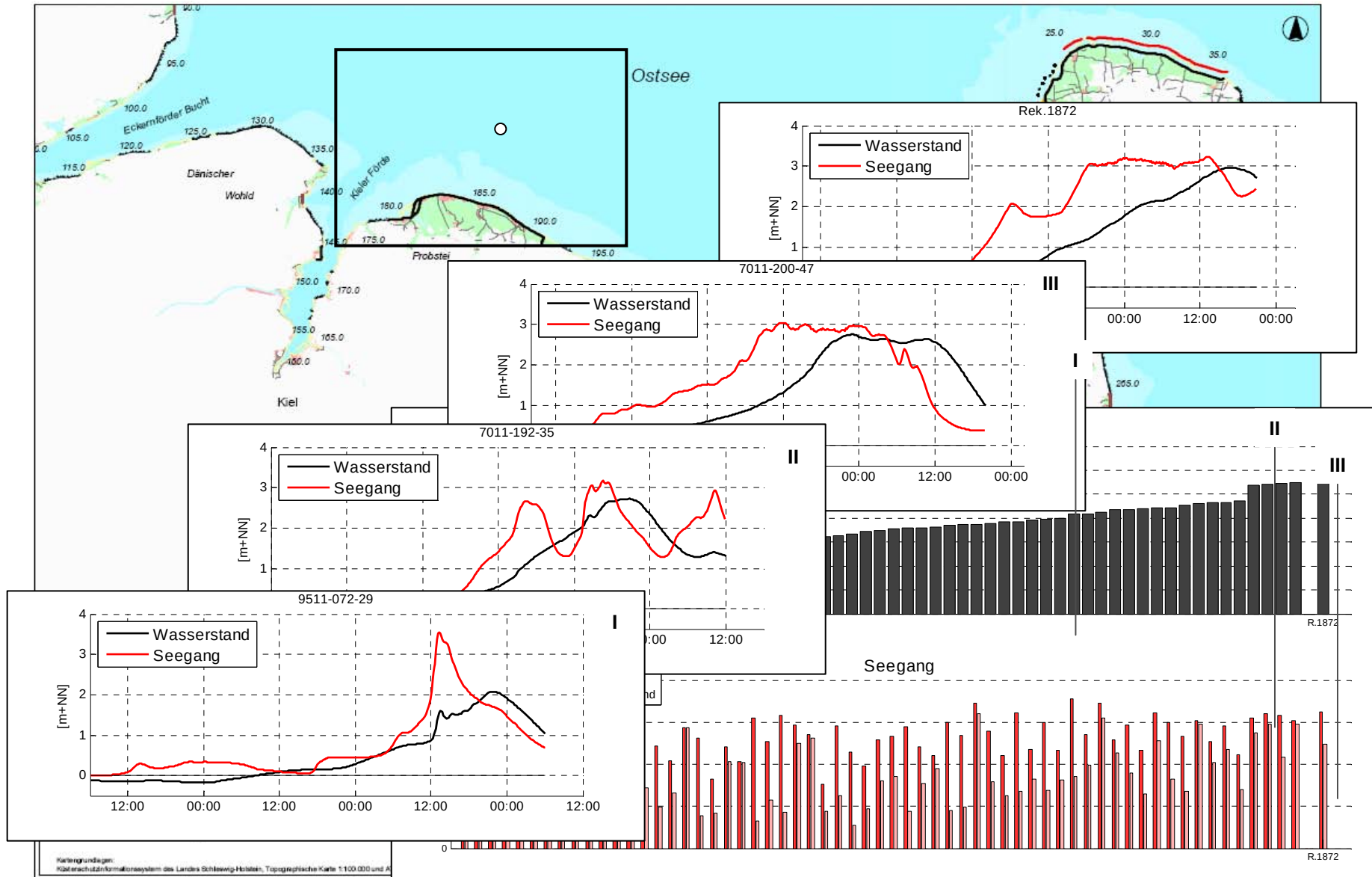
	Return period of Extreme Event 1872		
<i>Water Level of Extreme Event November 1872 (Gauge Travemünde)</i>	<i>Extreme Value Analysis using observational records</i>	<i>Extreme Value Analysis using observational records and historical data</i>	<i>Extreme Value Analysis using observational records, historical and modeled data</i>
338 cm NN	8300 yr	6900 yr	3400 yr

- Übersicht des Verbundprojektes und Ziele
- Rekonstruktion der Sturmflut vom 12./13. November 1872
- MUSE Ostsee: Meteorologie
- MUSE Ostsee: Wasserstandsmodellierung
- MUSE Ostsee: Extremwertstatistik
- **SEBOK A/B: Meteorologie**
- SEBOK A/B: Wasserstandsmodellierung
- Zusammenfassung und Ausblick
- Rückblick: Workshop Sturmflutgefährdung der Ostseeküste

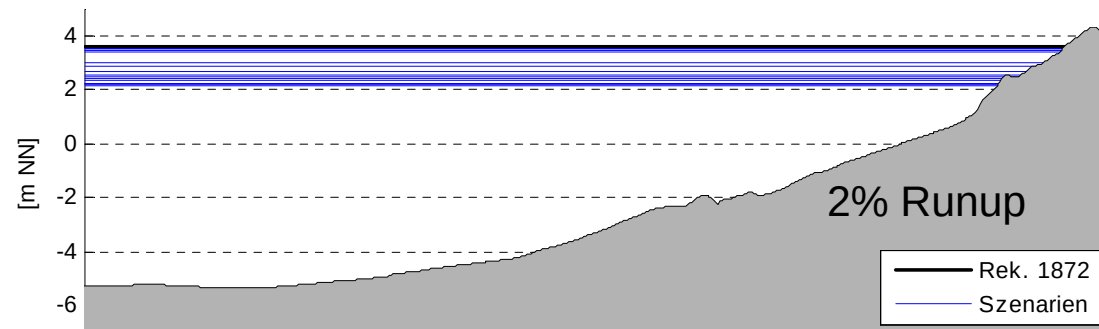
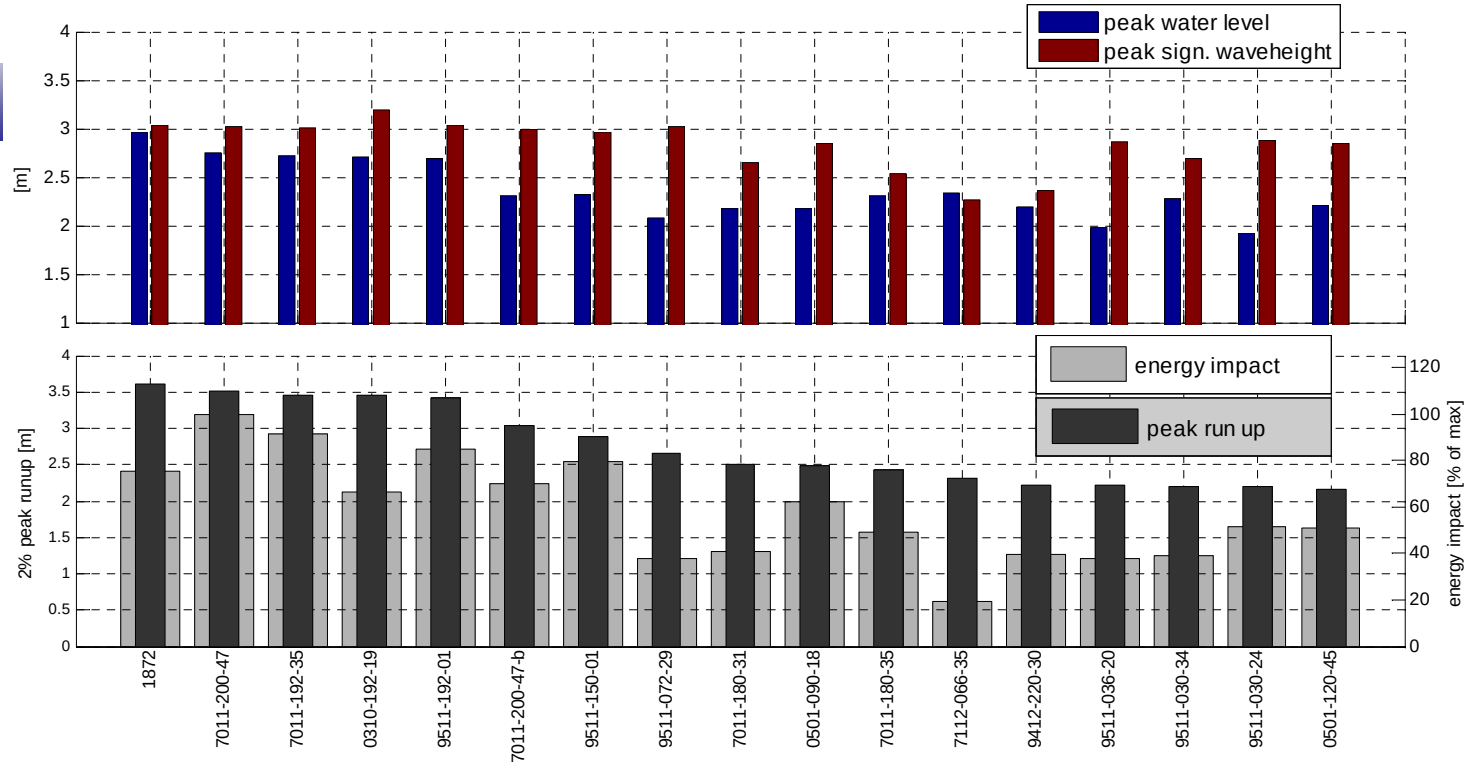
- SEBOK A: Meteorologie wie MUSE Ostsee
 - SEBOK B: Entwicklung eines Windatlasses für die Deutsche Ostsee
- ➔ Möglichkeit für Langzeitsimulationen von Wasserstand und Seegang

- Übersicht des Verbundprojektes und Ziele
- Rekonstruktion der Sturmflut vom 12./13. November 1872
- MUSE Ostsee: Meteorologie
- MUSE Ostsee: Wasserstandsmodellierung
- MUSE Ostsee: Extremwertstatistik
- SEBOK A/B: Meteorologie
- **SEBOK A/B: Wasserstandsmodellierung**
- Zusammenfassung und Ausblick
- Rückblick: Workshop Sturmflutgefährdung der Ostseeküste

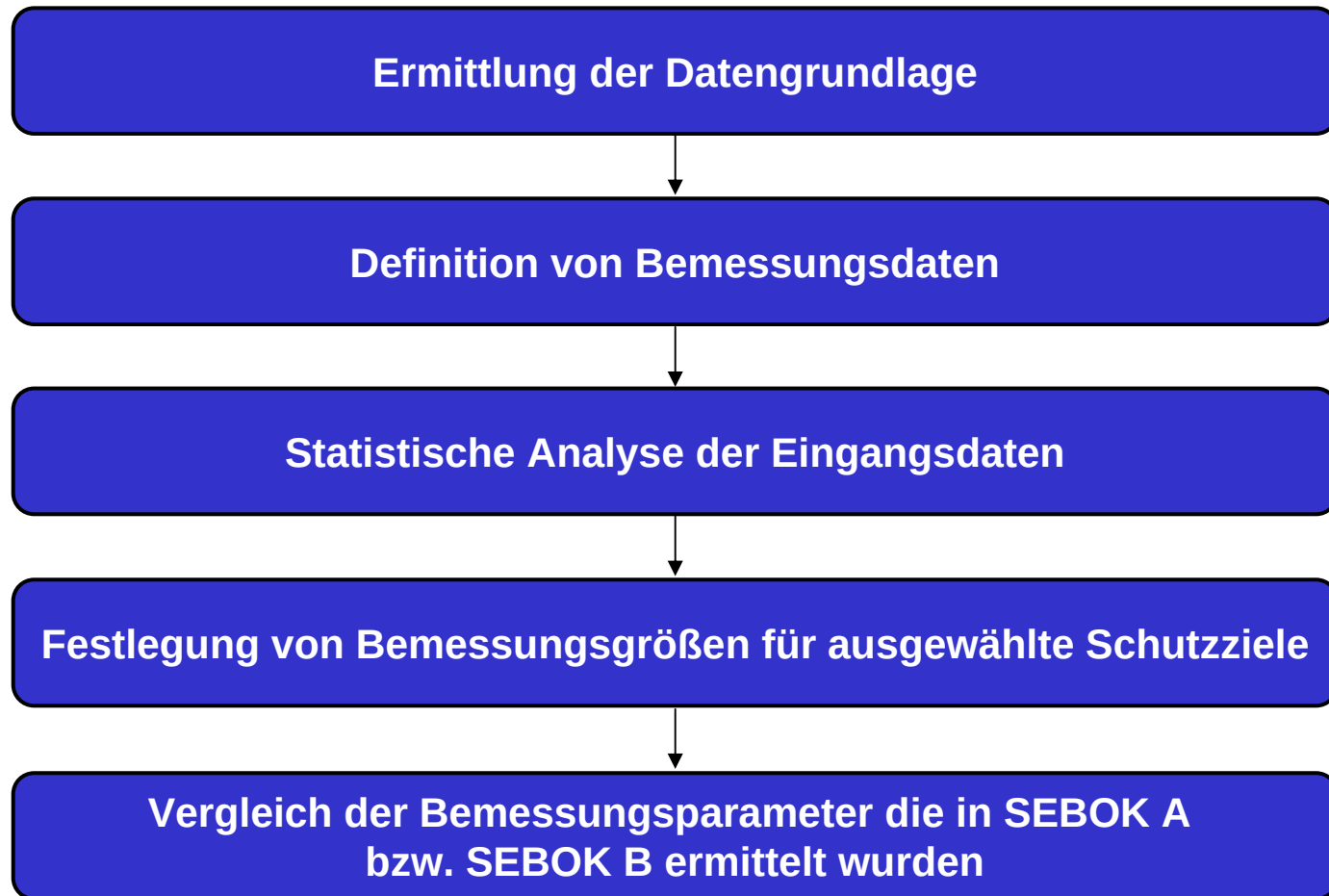




Profil Probstei



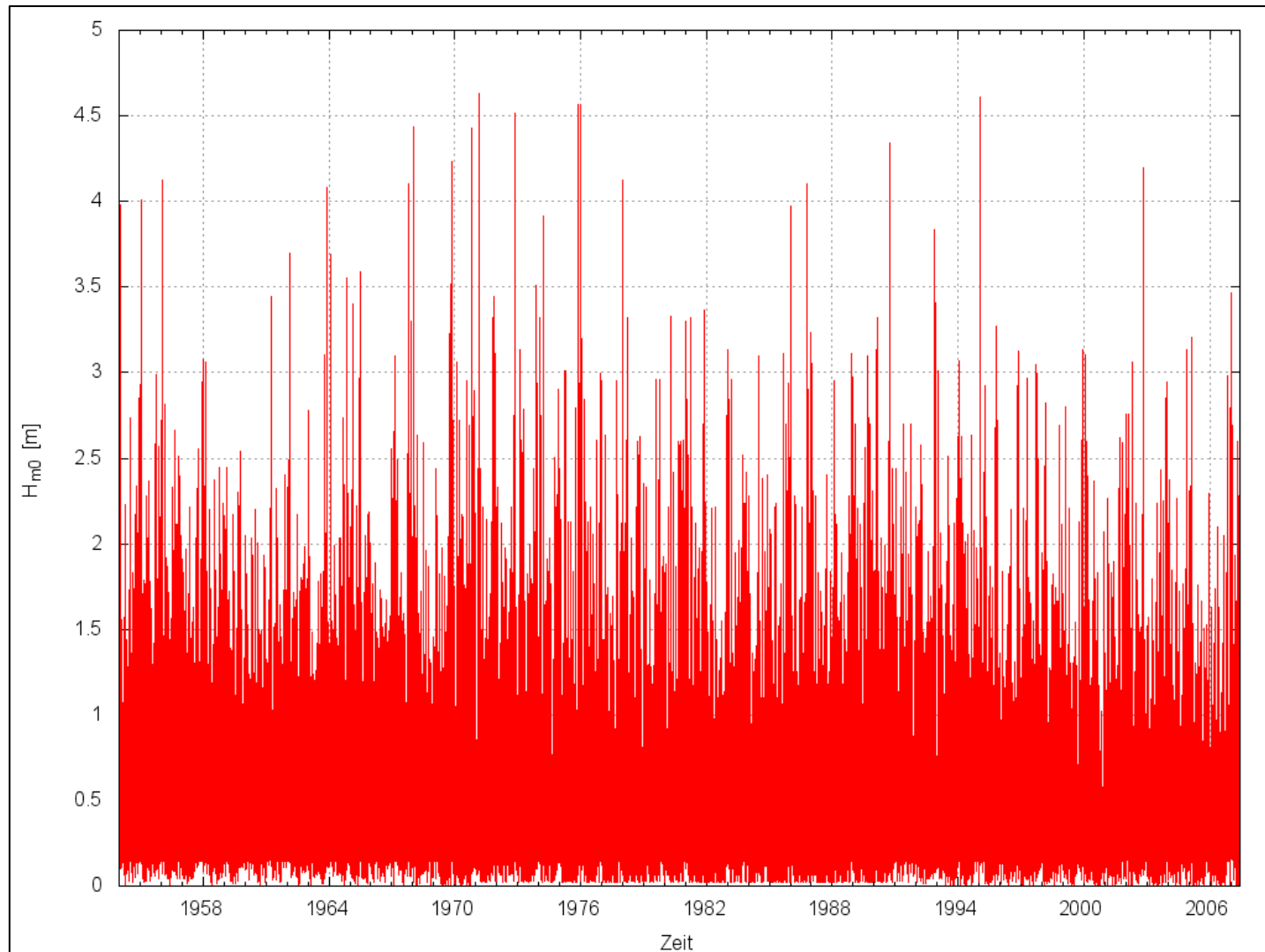
Arbeitsschritte



Datengrundlagen

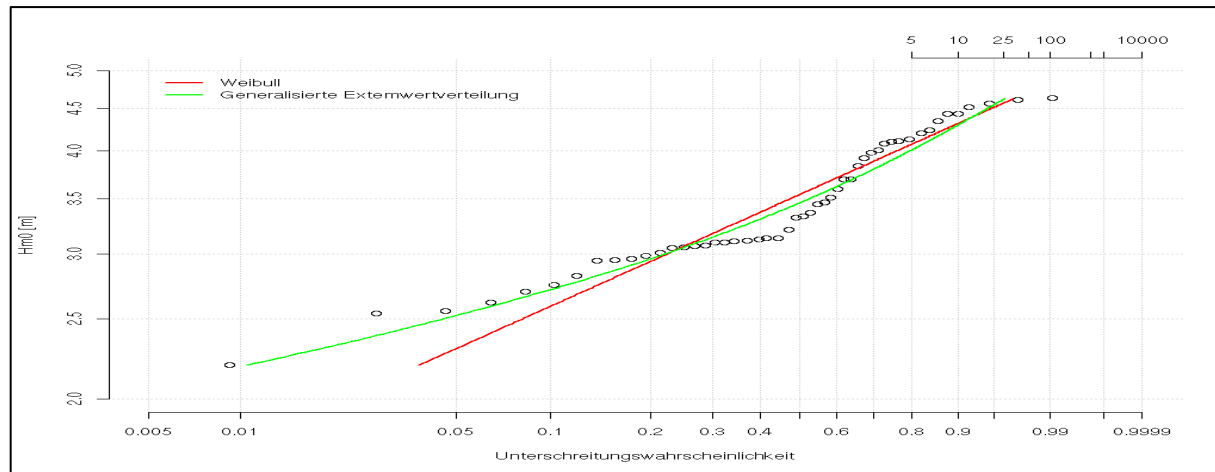
- Messdaten (Wasserstände, Wind)
- Seegangdaten, die mittels Wind-Wellen-Korrelationsrechnungen für mehrere Lokationen ermittelt wurden (Zeitreihen über bis zu 52 Jahre)
- Langzeit-Seegangssimulationen mit SWAN
 - WODLM-Modell („westliche Ostsee, angetrieben durch Wind aus dem Lokalmmodell des DWD“): 8 Jahre Simulationszeitraum
 - SOHIP-Modell („südliche Ostsee, angetrieben durch Wind aus dem HIPOCAS-Projekt der GKSS“): 55 Jahre Simulationszeitraum

Seegang Warnemünde 1954 bis 2007

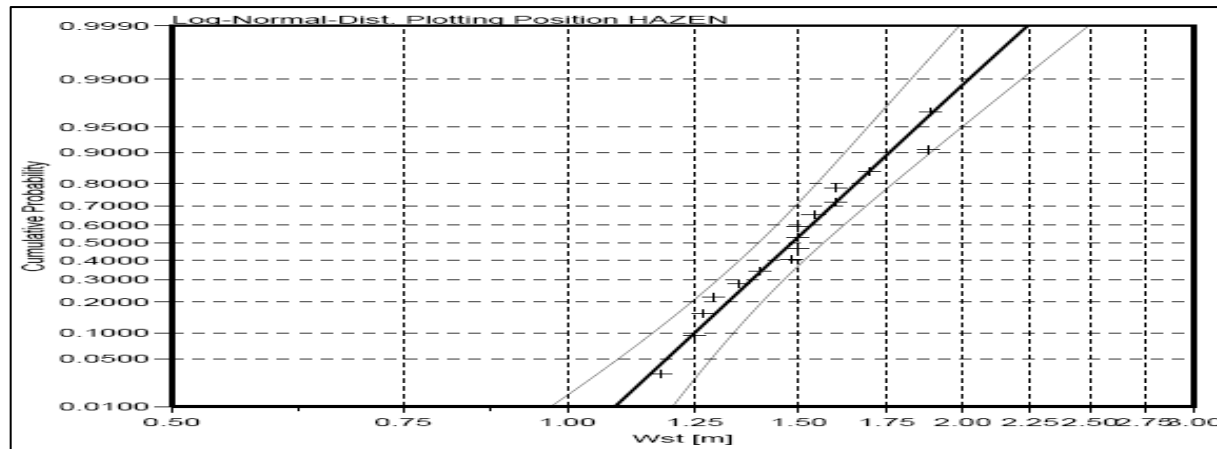


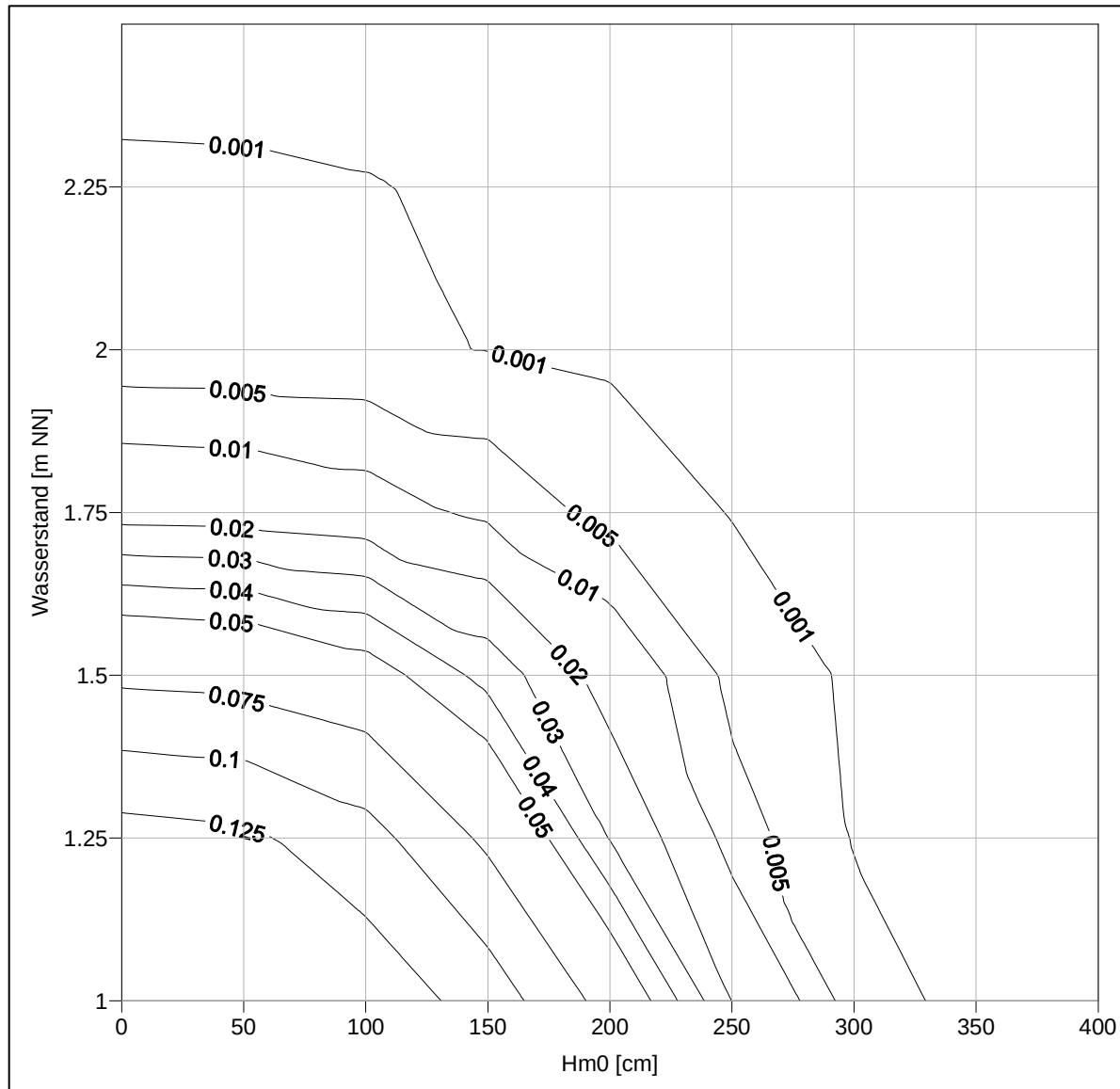
Extremwertstatistiken Warnemünde

Seegang



Wasserstand





Kombinierte Eintrittswahrscheinlichkeit von Wasserstand und See-gang für Warnemünde

- Übersicht des Verbundprojektes und Ziele
- Rekonstruktion der Sturmflut vom 12./13. November 1872
- MUSE Ostsee: Meteorologie
- MUSE Ostsee: Wasserstandsmodellierung
- MUSE Ostsee: Extremwertstatistik
- SEBOK A/B: Meteorologie
- SEBOK A/B: Wasserstandsmodellierung
- **Zusammenfassung und Ausblick**
- Rückblick: Workshop Sturmflutgefährdung der Ostseeküste

- erstmalige Rekonstruktion der Sturmflut vom 12./13. November 1872
- längere Windwirkdauern führen nicht unbedingt zu höheren Scheitelwasserständen
- Vorfüllung und Seiches haben keinen signifikanten Einfluss auf extreme Wasserstände
- im östlichen Teil des Untersuchungsgebietes sind Wasserstände über dem Ereignis von 1872 eher möglich, als im westlichen Teil
- durch Einbeziehung historischer Sturmflutinformationen ist das Ereignis von 1872 nicht mehr „das singuläre Ereignis“
- Eintrittswahrscheinlichkeiten lassen sich auf Basis von drei Säulen bestimmen: beobachtete Daten, historische Daten und modellierte Daten

- höchster Wasserstand und höchster Seegang treten häufig nicht gleichzeitig auf
- als maßgebender Bemessungsparameter für viele Aufgaben (z.B. Erosionsprozesse) kann der maximale Energieeintrag herangezogen werden, der sich nicht zwangsläufig aus dem höchsten Scheitelwasserstand ergibt
- über Langzeitsimulationen von Wasserstand und Seegang lassen sich zweidimensionale Wahrscheinlichkeitsverteilungen erstellen, aus denen sich kombinierte Bemessungsereignisse ableiten lassen

Forschungsbedarf:

- Entwicklung der Windschubspannung auf der Wasseroberfläche bei extremen Windgeschwindigkeiten
- Einfluss und Wirkung von Vb-Wetterlagen
- Wurden für alle Küstenabschnitte die extremsten Fälle gefunden?
- Eintrittswahrscheinlichkeiten von Belastungsszenarien
- verbesserte Verfahren zur Einbeziehung historischer Extremereignisse in Statistik

► Herbst 2009: DIE KÜSTE – Sonderheft MUSTOK

- Übersicht des Verbundprojektes und Ziele
- Rekonstruktion der Sturmflut vom 12./13. November 1872
- MUSE Ostsee: Meteorologie
- MUSE Ostsee: Wasserstandsmodellierung
- MUSE Ostsee: Extremwertstatistik
- SEBOK A/B: Meteorologie
- SEBOK A/B: Wasserstandsmodellierung
- Zusammenfassung und Ausblick
- **Rückblick: Workshop Sturmflutgefährdung der Ostseeküste**

Workshop *Sturmflutgefährdung der Ostseeküste* am 04. und 05. März 2008 an der Universität Rostock

► über 100 Teilnehmerinnen und Teilnehmer



Ein besonderer Dank geht an die begleitende KFKI-Projektgruppe:

- Dr. Annette Ernst
- Dr. Gabriele Gönnert
- Michael Heinrichs
- Dr. Jacobus Hofstede (Obmann)
- Ralf Kaiser
- Jens Riemer
- Dr. Elisabeth Rudolph
- Knut Sommermeier
- Frank Thorenz



Das Verbundprojekt MUSTOK wurde gefördert von:



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Jensen
Forschungsinstitut Wasser und Umwelt (fwu)
Universität Siegen
Fon +49(271) 740 2172
E-Mail: juergen.jensen@uni-siegen.de
<http://www.fwu.uni-siegen.de/wb>