Universität Rostock

Traditio et Innovatio

M. Sc. Christian Kaehler
Lehrstuhl für Geotechnik und Küstenwasserbau
Agrar– und Umweltwissenschaftliche Fakultät
Universität Rostock

AgrosNet
8. Doktorandentag
HUMBOLDT-UNIVERSITÄT ZU BERLIN

Thema

Validierung und Regionalisierung von Bemessungshochwasserständen an der deutschen Ostseeküste

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Fokke Saathoff

Hochwasser

Definition

- Ein deutlicher Anstieg des Wasserstandes über den mittleren Pegelstand
- In der Regel natürliche Ereignisse
- Gehören zu den Hauptbelastungen von Hafen-, Küsten- und Seebauwerken
- Wird zur Katastrophe, falls menschliche Werte betroffen sind

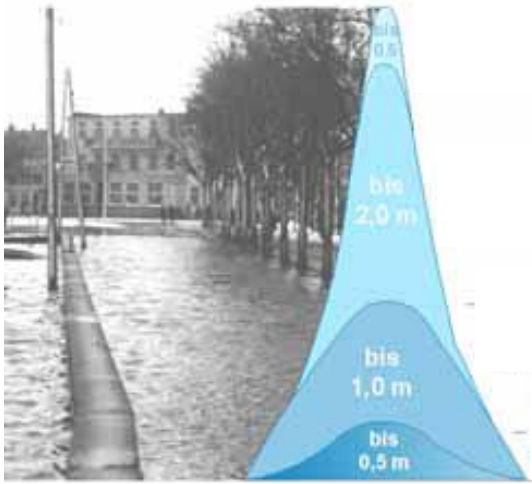
Entstehung

Zufällige, nicht lineare Überlagerungen von

- Windstau
- Schwingungsstau
- Füllungsgrad
- Buchtenstau

} Primäre Einflussfaktoren für Hochwasserentstehung in der Südwestlichen Ostsee

- Fernwellen
- Oberwasserabfluss
- Tiden (Gezeiten)
- Säkularer Meeresspiegelanstieg



Regelwerk Küstenschutz MV

Buchtenstau	bis 0,5 m
Windstau	bis 2,0 m
Schwingungs-stau	bis 1,0 m
Füllungsgrad	bis 0,5 m

Hochwasser

Überschwemmung und Feuersbrunst im Hafen von Stralsund, November 1872. Regelwerk Küstenschutz MV

- Der höchste gemessene Scheitelwasserstand liegt bei etwa **3,3 m** über Normalnull (NN).
- Statistisch ist das Hochwasser als ein **Jahrtausendereignis** einzuordnen.
- Durch das Sturmhochwasser verloren **271** Menschen ihr Leben, 2850 Häuser wurden zerstört und 15160 Menschen wurden obdachlos

Hochwasser

Starker Seegang kombiniert mit einem Hochwasser. Heiligendamm 2008. Regelwerk Küstenschutz MV

Hochwasser

Hochwasserereignis in Rostock-Warnemünde, Januar 2012
Der Wasserstand lag bei 1,21m über dem mittleren Wasserstand.

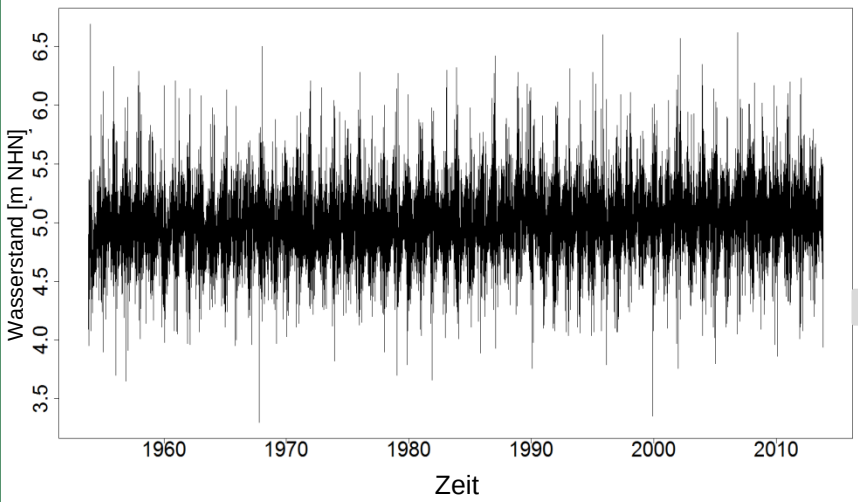
Bemessungshochwasser (BHW)

Definition

- Wichtige Grundlage für Bemessung von Hochwasser / Küstenschutzanlagen an der deutschen Ostseeküste und Binnengewässern
- Basis der Bestimmung sind derzeit u.a. mit statistischen Verfahren berechnete Hochwasserstände mit einer definierten Eintrittswahrscheinlichkeit
- Datengrundlage sind vergleichsweise lange, plausibilisierte Pegelmessreihen

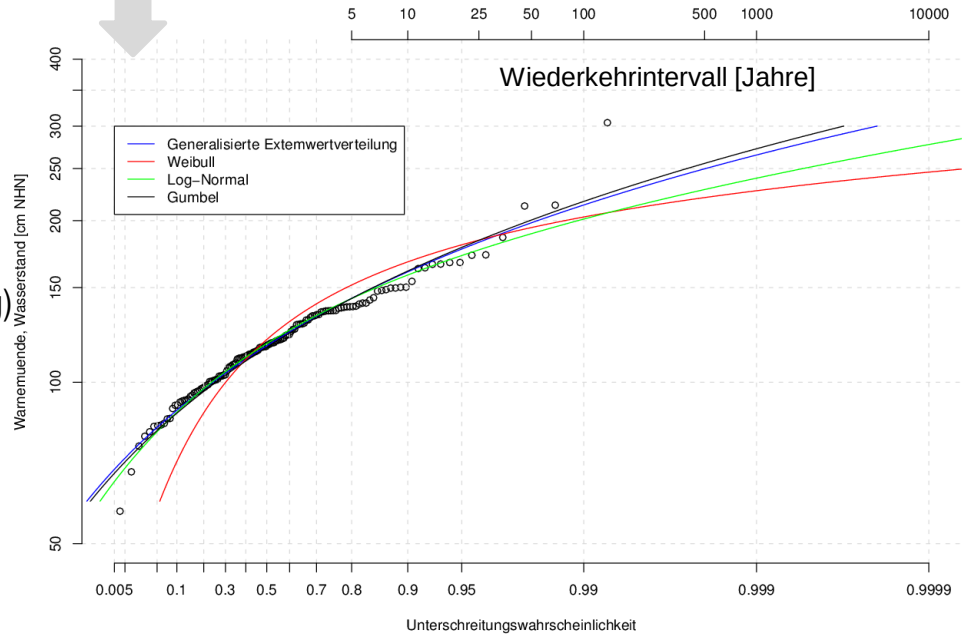
http://www.hochwasser.de

Bemessungshochwasser (BHW)



Typische Wahrscheinlichkeiten P und das zugehörige Wiederkehrsintervall T

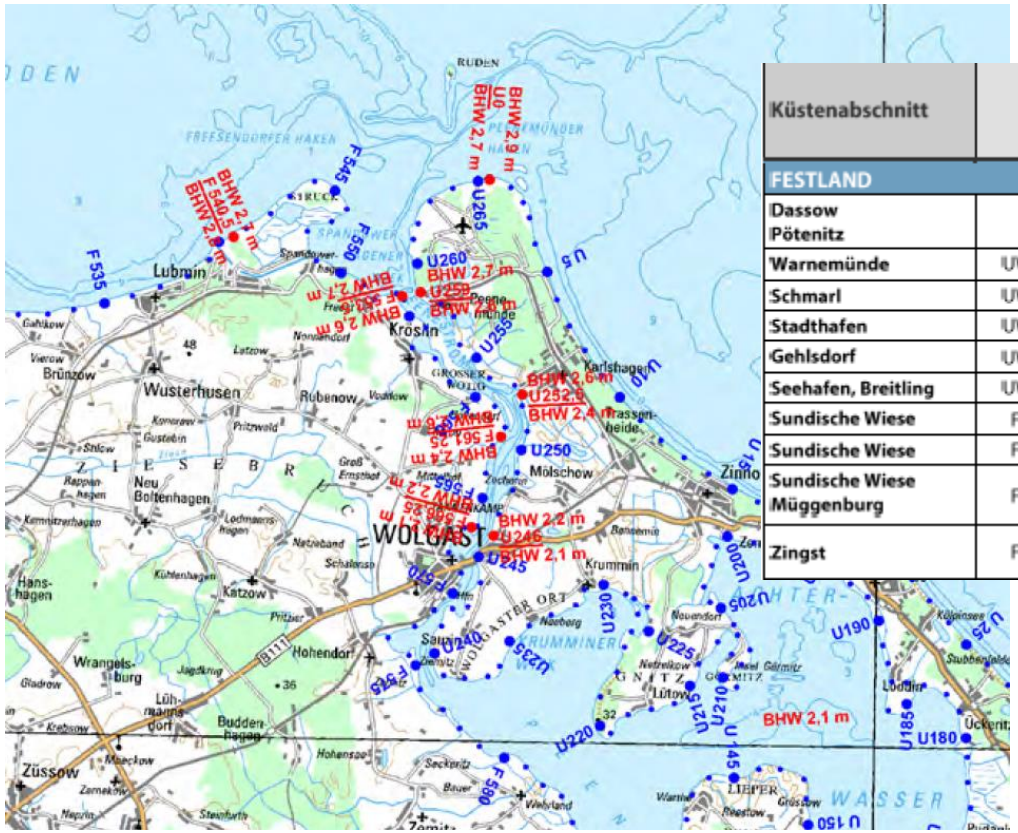
P = 0,98 → T= 50 a
P = 0,99 → T = 100 a
P = 0,995 → T = 200 a
P = 0,999 → T = 1000 a



- Ableitung von extremen Hochwasserereignissen mit einer definierten Eintrittswahrscheinlichkeit aus einer (möglichst langen) Zeitreihe aus gemessenen Wasserständen
- Berücksichtigung aller möglichen Einflüsse (z.B. Klimazuschlag)
- Festlegung des BHW für einen definierten Küstenabschnitt / Bereich

Problem: Für Bodden und Haffe liegen kaum verwertbare Messdaten vor

Bemessungshochwasser (BHW)



Küstenabschnitt	KKM von ...	KKM bis ...	Gewässer	RHW 2011-2020 [m über NHN]	BHW 2011-2020 [m über NHN]
FESTLAND					
Dassow Pötenitz	-	-	Dassower See Pötenitzer Wiek	2,70	3,20
Warnemünde	UW 000.000	UW 006.750	Unterwarnow	2,30	2,80
Schmarl	UW 006.750	UW 013.000	Unterwarnow	2,40	2,90
Stadthafen	UW 013.000	UW 020.000	Unterwarnow	2,50	3,00
Gehlsdorf	UW 020.000	UW 027.500	Unterwarnow	2,40	2,90
Seehafen, Breitling	UW 027.500	UW 040.000	Unterwarnow	2,30	2,80
Sundische Wiese	F 225.000	F 228.000	Aue	2,10	2,60
Sundische Wiese	F 228.000	F 232.500	Aue	1,90	2,40
Sundische Wiese Müggenburg	F 232.500	F 243.750	Grabow	1,70	2,20
Zingst	F 243.750	F 253.750	Barther Bodden Zingster Strom	1,60	2,10

BHW für den Bereich Nordusedom (MV)

Regelwerk Küstenschutz MV

Grenzen und Unsicherheiten bei der statistischen Festlegung der BHW

Datengrundlagen

- Lückenhaftes Pegelnetz (fehlende Messdaten im Untersuchungsgebiet)
- Länge der Zeitreihen (fehlende extreme Ereignisse häufig messtechnisch nicht erfasst)
- Güte der Zeitreihen (unbekannte Pegelversetzungen, Veränderungen im Bezugssystem)

	Pegel	von	bis	Jahre
Bodden	Zingst	1998	2015	17
	Ahrenshoop	1998	2010	12
	Dierhagen	1998	2003	5
	Kaminke	1976	1990	14
Ostsee	Warnemünde	1953	2013	60
	Boltenhagen	1961	2013	52
	Barhöft	1954	2013	59
	Sassnitz	1975	2013	38

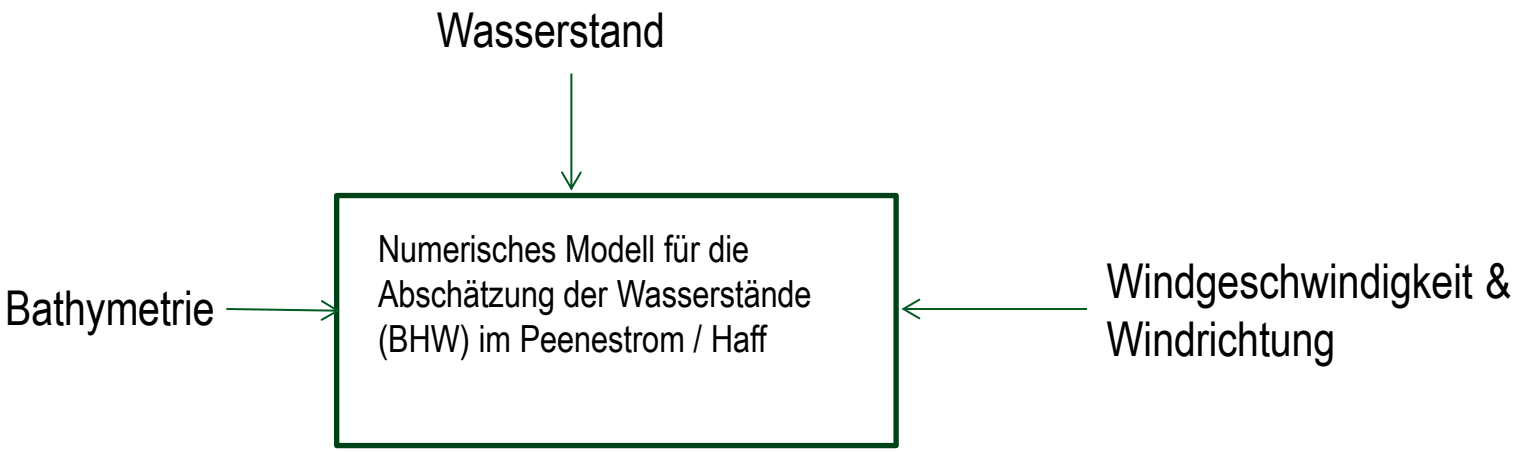
Statistik

- Extrapolation von Extremwertereignissen auf Grundlage mathematischer Modelle
- Keine direkte Berücksichtigung der Ganglinie des Hochwassers möglich (jedoch erforderlich für die Bemessung von Hochwasserschutzdünen)
- Keine Berücksichtigung von Topografien / Bathymetrien

Ziel der Forschung

- Verbesserung des Ansatzes zur Bestimmung von BHW in Boddenbereichen
- (Validierung des vorhanden Ansatzes)
- Regionalisierung von Extremwasserständen (in Gebieten ohne Pegel)
- Entwicklung realistischer Eingangsszenarien und deren Bewertung
- Validierung von Strömungsmodelllen

Benötigte Randwerte für das Überströmungsmodell MIKE21



Weitere Eingangsgrößen sind u.a.

- die Rauheit der Gewässsersohlen und Landoberflächen,
- die Wirbelviskosität und
- die Reibung des Windes.

Untersuchter Ansatz

→ Ableitung einer synthetischen Zeitreihe, die dem typischen Verlauf der Windgeschwindigkeiten während eines Sturmhochwassers nachempfunden ist

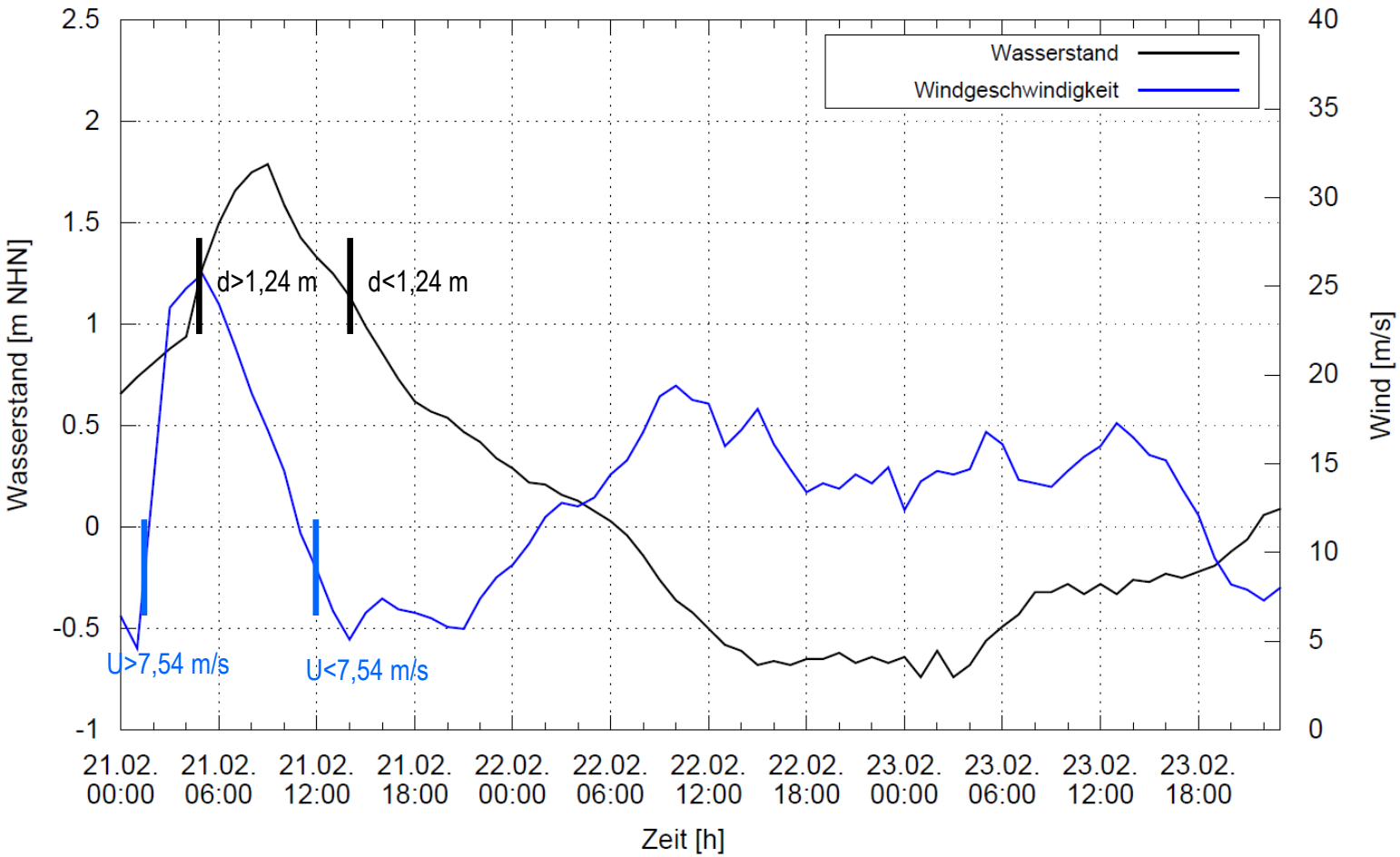
- Untersuchung mehrerer Hochwasserereignisse (d ≥ 1,24 m) am Pegel Greifswald

Nr.	d_{max} [m NHN]	Zeitpunkt des Maximums
1	1,48	04.01.1976, 02:00 Uhr
2	1,45	12.01.1987, 19:00 Uhr
3	1,51	21.02.1993, 15:00 Uhr
4	1,82	03.11.1995, 23:00 Uhr
5	1,79	21.02.2002, 09:00 Uhr
6	1,36	25.01.2007, 03:00 Uhr
7	1,32	14.10.2009 23:00 Uhr
8	1,41	12.02.2011 02:00 Uhr

- Extraktion der zugehörigen Windgeschwindigkeiten als Zeitreihe

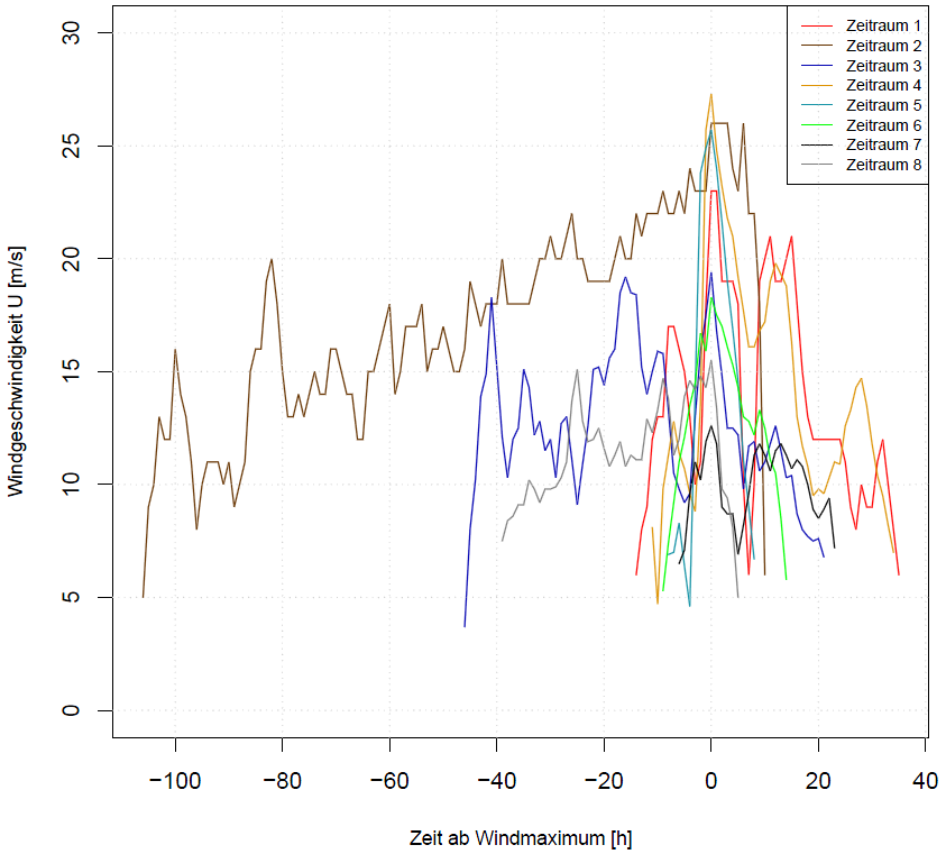
Nr.	Datenumfang [h]	U_{max} [m/s]
1	50	23,00
2	117	26,00
3	68	19,40
4	46	27,30
5	17	25,70
6	24	18,30
7	30	12,60
8	45	15,50

Untersuchter Ansatz



Untersuchter Ansatz

Verschiebung der Zeitreihen bis ihre Maxima (zum Zeitpunkt 0) synchron sind



Untersuchter Ansatz

- **Skalierung der Zeitreihen** in „Höhe“ und „Breite“

  →Skalierung der Zeitreihen, so dass die jeweiligen Windmaxima den Wert „1“ ergeben

  →Skalierung der Zeitreihen, so dass der Gesamtzeitraum von -1 bis +1 reicht

$$U_{skaliert}(t) = \frac{U(t)}{U_{max}}$$

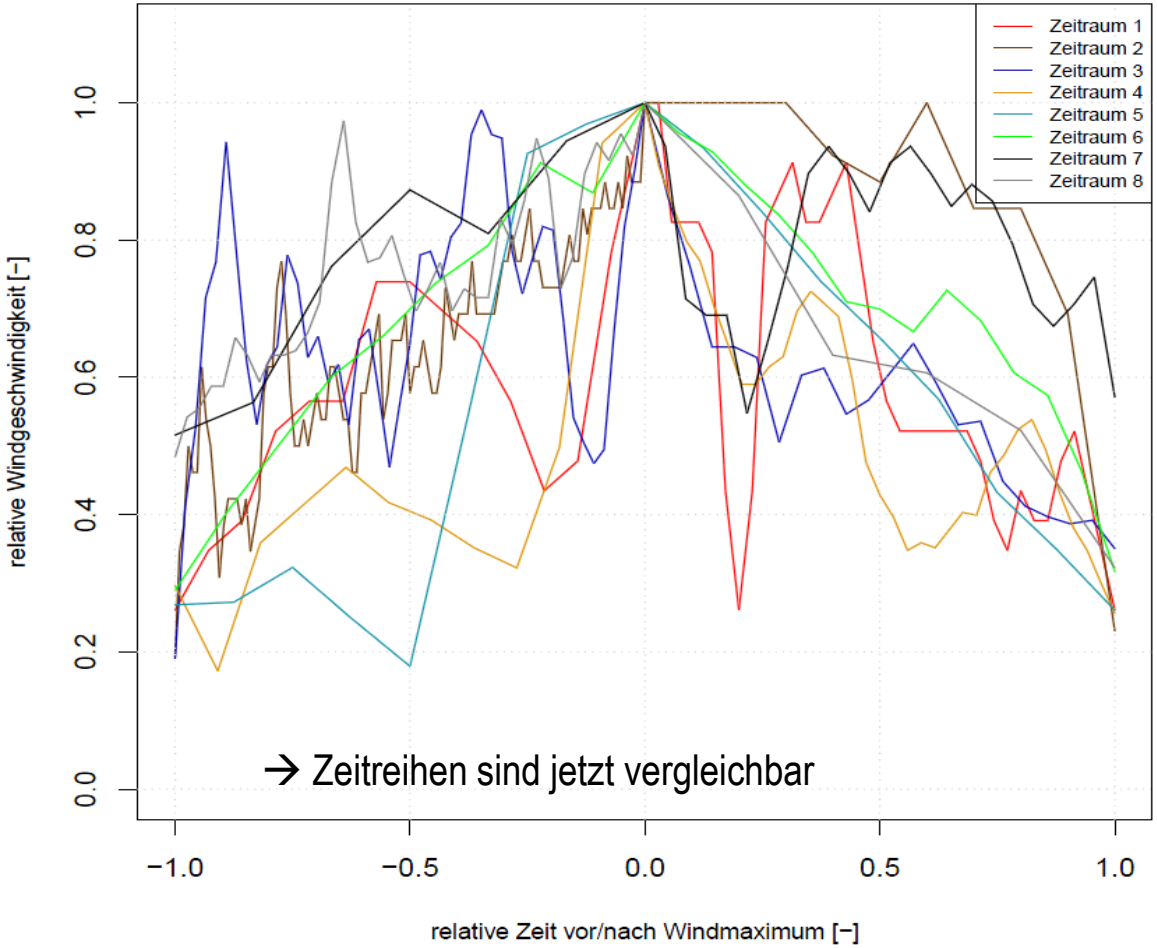
- Ableitung des **arithmetischen Mittels** $\overline{\mathrm{U}}(\mathrm{t})$ aus allen Windgeschwindigkeiten zum Zeitpunkt t

$$\overline{U}(t) = \frac{\sum_{n=1}^{8} U_n(t)}{8}$$

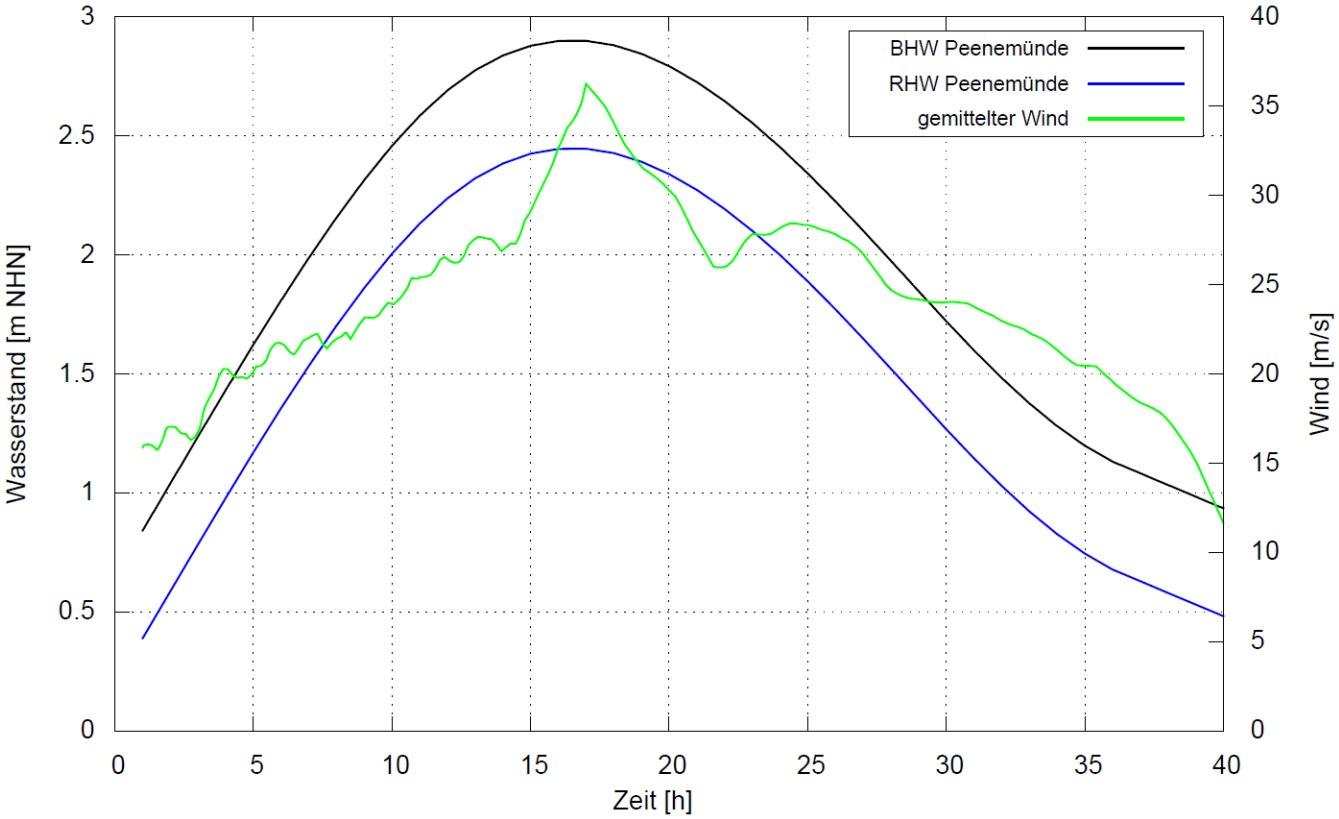
- Rückskalierung der gemittelten Zeitreihe
- **Rückskalierung** der Zeit, so dass $\mathrm{t}(\mathrm{U}_{\mathrm{max}}) = \mathrm{t}(\mathrm{BHW}_{\mathrm{max}})$ bzw. $\mathrm{t}(\mathrm{U}_{\mathrm{max}}) = \mathrm{t}(\mathrm{RHW}_{\mathrm{max}})$

$$U(t) = \overline{U}(t) \cdot U_{max}$$

Untersuchter Ansatz



Untersuchter Ansatz



Erste Ergebnisse

Untersuchung der lokalen Entwicklung des BHW auf der Insel Usedom im Rahmen eines Forschungsprojektes

AG: Staatliche Amt für Landwirtschaft und Umwelt Mittleres Mecklenburg (StALU MM)

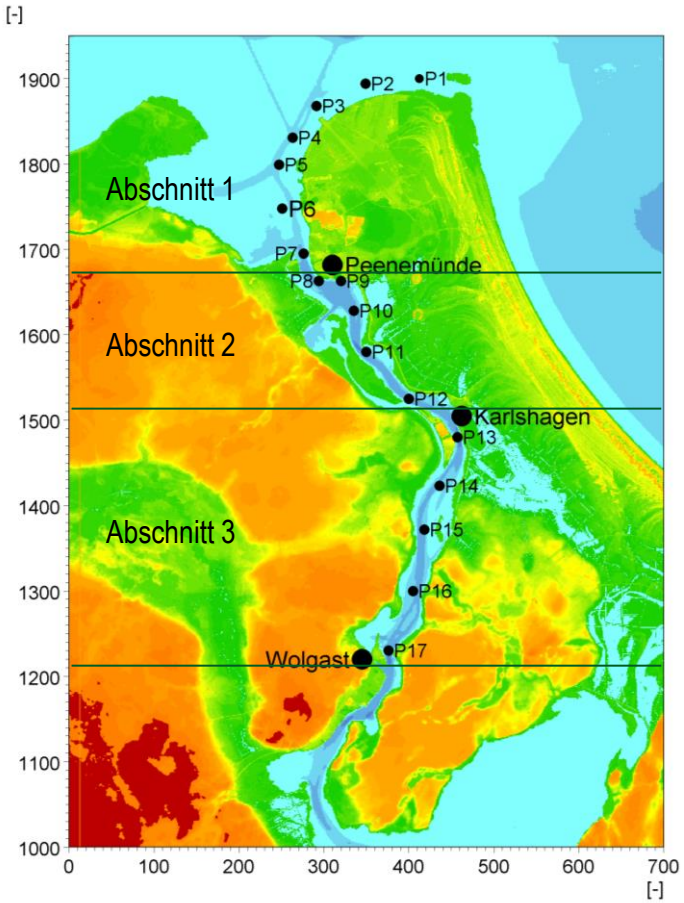
AN: Lehrstuhl für Geotechnik und Küstenwasserbau, Universität Rostock

- Bestimmung des Untersuchungsgebietes
- Bestimmung und Festlegung der Randbedingungen und Modellgrenzen
- Erstellung und Kalibrierung des Modells anhand von ausgewählten Pegelzeitreihen
- Entwicklung mehrerer Hochwasserszenarien
- Modellierung der Szenarien
- Auswertung und Darstellung der Ergebnisse

Erste Ergebnisse

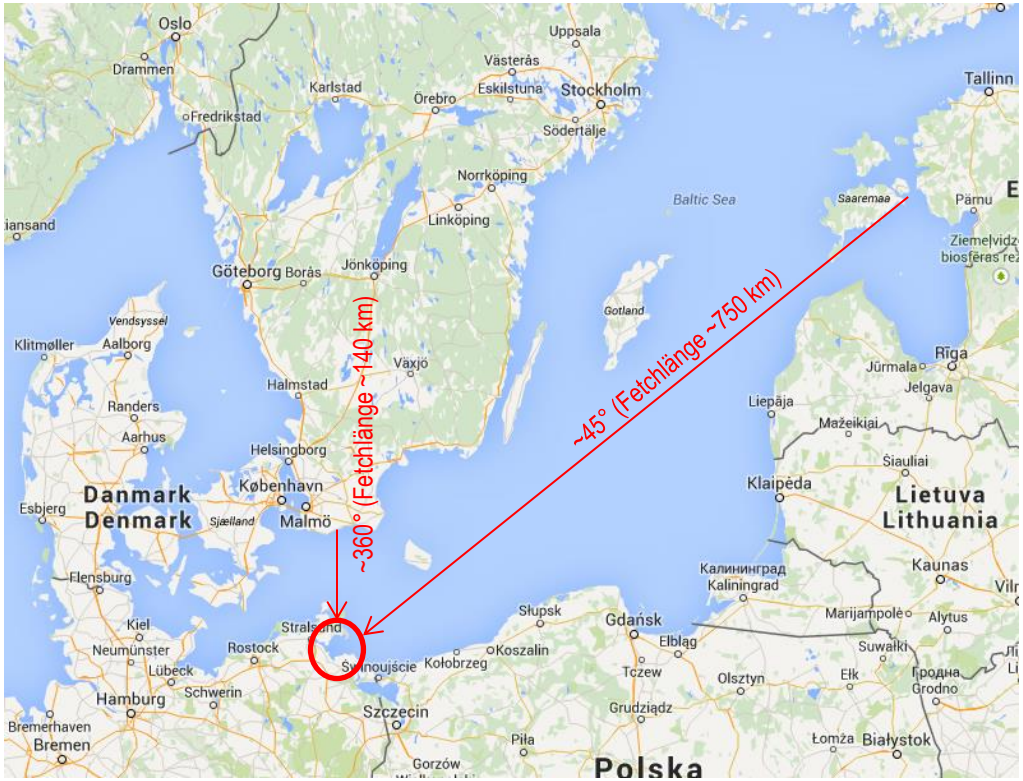
Derzeitig festgelegte BHW an ausgewählten Lokationen:

Peenemünde: 2,90 m
Karlshagen: 2,50 m
Wolgast 2,10 m



Erste Ergebnisse

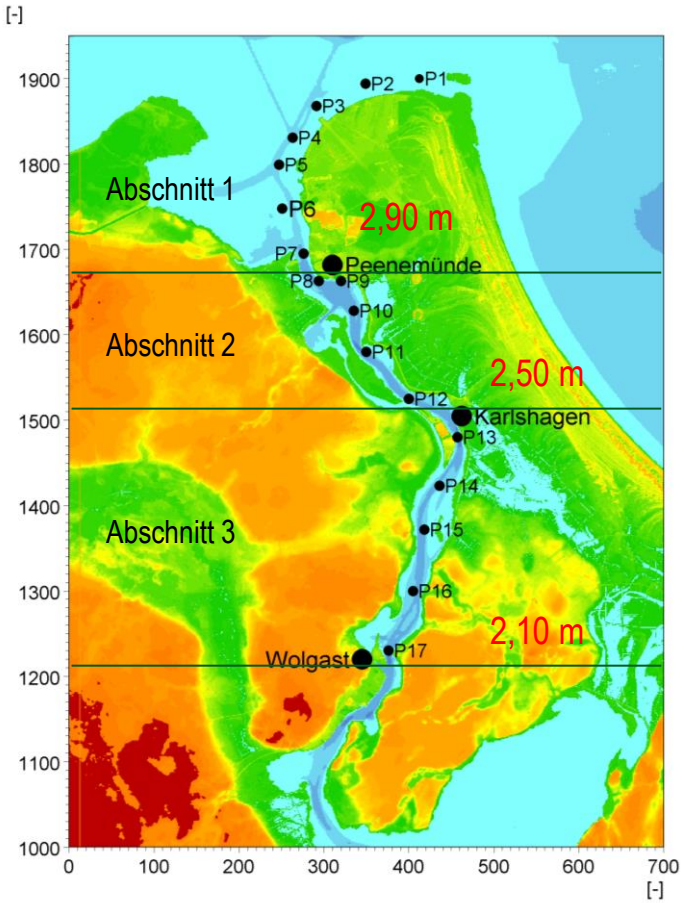
Szenario	Fall	Richtung Θ_W	Zeit t	Beschreibung
BHW (2,9 m)	1	360°	$t_{wst_{max}} = t_{U_{max}}$	Hochwasserscheitel und U_{max} treten synchron auf
	2	360°	$t_{wst_{max}} > t_{U_{max}}$	U_{max} liegt 3h vor dem Hochwasserscheitel
	3	45°	$t_{wst_{max}} = t_{U_{max}}$	Hochwasserscheitel und U_{max} treten synchron auf
	4	45°	$t_{wst_{max}} > t_{U_{max}}$	U_{max} liegt 3h vor dem Hochwasserscheitel



Erste Ergebnisse

Szenario	Fall	Richtung Θ_W	Zeit t	Beschreibung
BHW (2,9 m)	1	360°	$t_{wst_{max}}=t_{U_{max}}$	Hochwasserscheitel und U_{max} treten synchron auf
	2	360°	$t_{wst_{max}}>t_{U_{max}}$	U_{max} liegt 3h vor dem Hochwasserscheitel
	3	45°	$t_{wst_{max}}=t_{U_{max}}$	Hochwasserscheitel und U_{max} treten synchron auf
	4	45°	$t_{wst_{max}}>t_{U_{max}}$	U_{max} liegt 3h vor dem Hochwasserscheitel

Szenario BHW					
	Punkt	Wst_{max} Fall 1 [m]	Wst_{max} Fall 2 [m]	Wst_{max} Fall 3 [m]	Wst_{max} Fall 4 [m]
	Θ_W	360°	360°	45°	45°
	t	$t_{wst_{max}}=t_{U_{max}}$	$t_{wst_{max}}>t_{U_{max}}$	$t_{wst_{max}}=t_{U_{max}}$	$t_{wst_{max}}>t_{U_{max}}$
Abschnitt 1	1	2,89	2,89	**2,94**	**2,94**
	2	2,96	2,96	2,80	2,80
	3	2,99	2,99	2,74	2,74
	4	3,06	3,07	2,80	2,80
	5	3,12	3,12	2,85	2,84
	6	**3,20**	**3,20**	2,89	2,88
	7	3,13	3,10	2,82	2,80
Abschnitt 2	8	3,05	3,00	2,76	2,73
	9	3,06	3,01	2,72	2,70
	10	3,09	3,03	2,72	2,70
	11	2,93	2,85	2,59	2,56
	12	2,77	2,70	2,43	2,40
Abschnitt 3	13	2,51	2,46	2,20	2,17
	14	2,51	2,45	2,25	2,21
	15	2,47	2,40	2,27	2,22
	16	2,42	2,35	2,27	2,21
	17	2,28	2,21	2,24	2,18



Ausblick

- Vergleich verschiedener numerischer Überströmungsmodelle
- Datenbeschaffung (Bathymetrien, Pegelzeitreihen)
- Sinnvolle Einteilung der Küste in Untersuchungsabschnitte
- Entwicklungen verschiedener Hochwasserszenarien für den ausgewählten Abschnitt
- Bewertung der Hochwasserszenarien

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit

Durch „Xaver“ erzeugter Seegang (Fr, 6.12.2013 Mole Warnemünde)

Hochwasser

Zufällige, nicht lineare Überlagerungen von

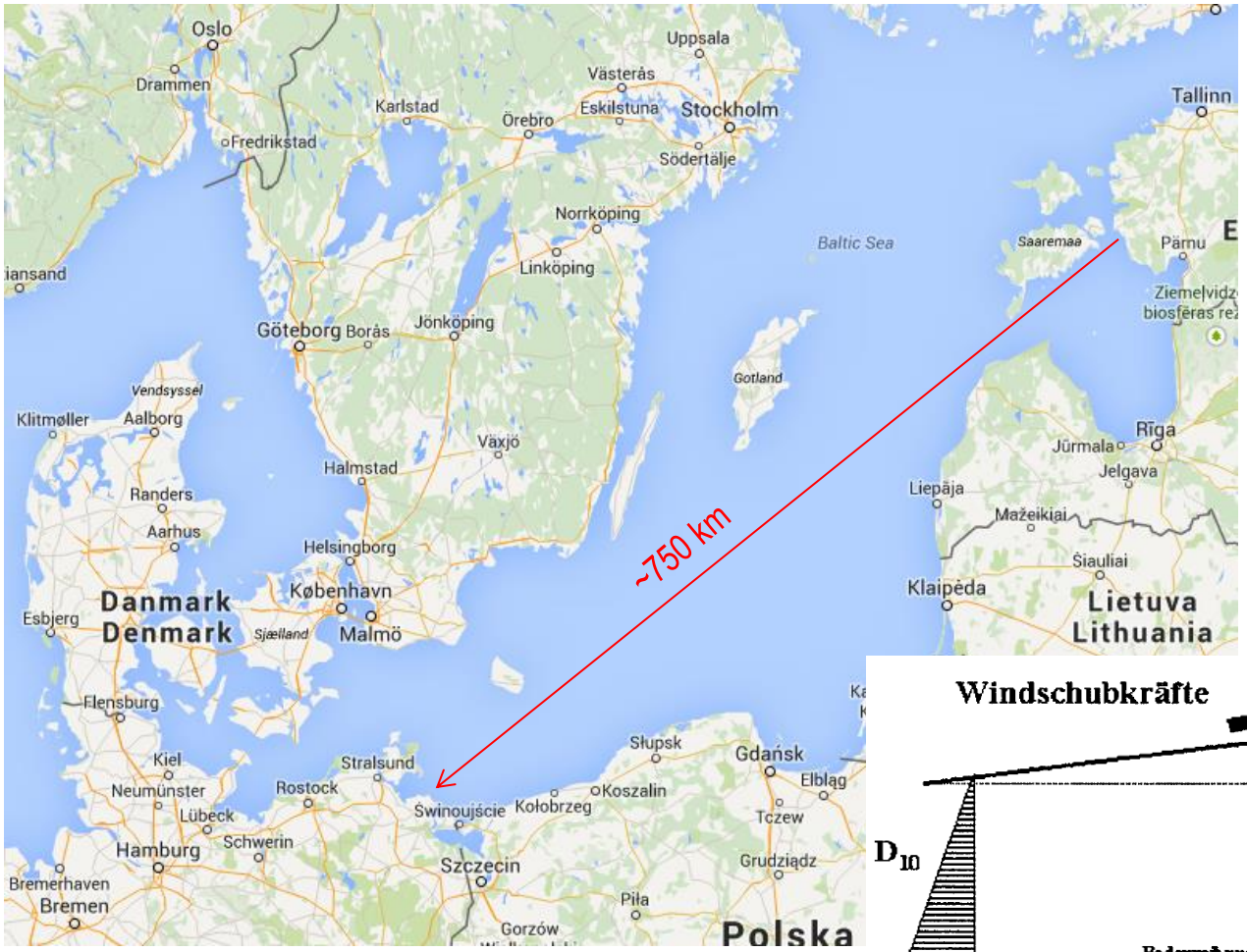
- **Windstau**
- Schwingungsstau
- Füllungsgrad
- Buchtenstau

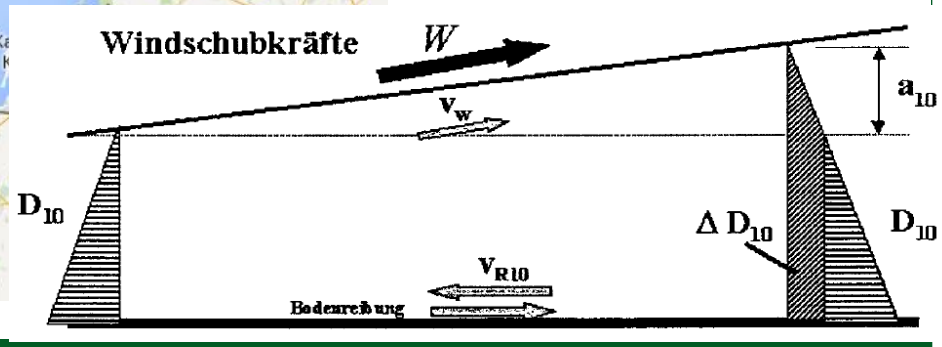
Windstau

- Erhöhung des Wasserspiegels durch den Energieeintrag durch Wind
- Abhängig von der Fetchlänge (Wirkungslänge), Wirkungsdauer und Windenenergie
- Für die südwestliche Ostsee haben Stürme aus Nord bis Nordost höchste Staukraft
- Potential von 1,5 m bis 2 m

→ Hauptfaktor der Hochwasserentstehung

Hochwasser


Oslo
Drammen
Fredrikstad
Karlstad
Uppsala
Västerås
Eskilstuna
Stockholm
Örebro
Södertälje
Norrköping
Linköping
Baltic Sea
Saaremaa
Pärnu
Tallinn
Göteborg
Borås
Jönköping
Gotland
Vendsyssel
Klitmøller
Aalborg
Växjö
Halmstad
Randers
Aarhus
Helsingborg
Danmark
Denmark
Sjælland
København
Malmö
Esbjerg
Flensburg
Kiel
Neumünster
Lübeck
Rostock
Stralsund
Hamburg
Schwerin
Bremerhaven
Bremen
Świnoujście
Kołobrzeg
Koszalin
Słupsk
Gdańsk
Elbląg
Tczew
Szczecin
Grudziądz
Piła
Gorzów
Polska
Rīga
Jūrmala
Jelgava
Liepāja
Mažeikiai
Šiauliai
Klaipėda
Lietuva
Lithuania
~750 km


Windschubkräfte
W
v_w
a_{10}
D_{10}
ΔD_{10}
D_{10}
v_{R10}
Bodenreibung

Hochwasser

Zufällige, nicht lineare Überlagerungen von

- Windstau
- **Schwingungsstau**
- Füllungsgrad
- Buchtenstau

Schwingungsstau

- Nach nachlassenden starken Winden kommt es im langgestreckten Ostseebecken zu einer Rückschwingung der Wassermassen (Beckenschwingung)
- Potential bis zu 1 m in der südwestlichen Ostsee

Hochwasser

Zufällige, nicht lineare Überlagerungen von

- Windstau
- Schwingungsstau
- **Füllungsgrad**
- Buchtenstau

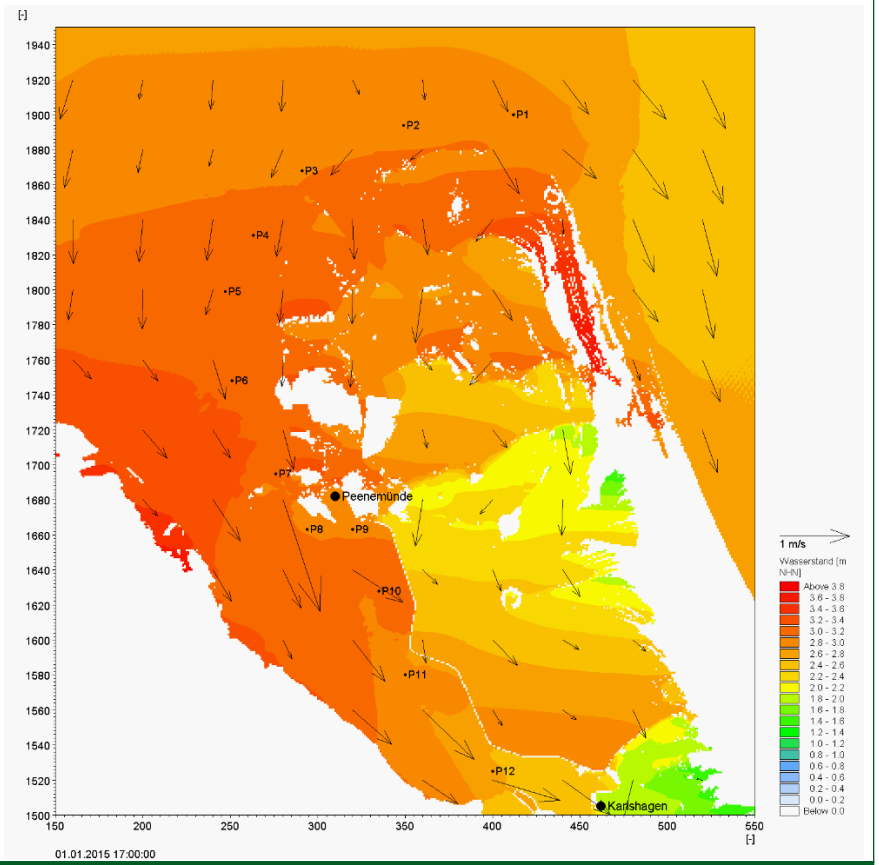
Füllungsgrad

- Bei lang andauernde Südwest – Westwinden strömt entsprechend mehr Wasser aus der Nordsee in die Ostsee
- Potential von 0,3 m bis 0,5 m

Hochwasser

Zufällige, nicht lineare Überlagerungen von

- Windstau
- Schwingungsstau
- Füllungsgrad
- **Buchtenstau**

Buchtenstau

- Wassermassen treffen auf eine Küstenbucht
- Durch abnehmende Wassertiefe und die Buchtenenge kommt es zum Anstieg des Wasserstandes
- Potential bis zu 0,5 m