



BUNDESAMT FÜR  
SEESCHIFFFAHRT  
UND  
HYDROGRAPHIE

# Wasserstandsvorhersagen an der deutschen Nordseeküste



Karina Stockmann

- **Grundlagen Wasserstandsvorhersagen**
  - Nutzerkreis
  - Was beeinflusst den Wasserstand?
  - Daten und Modelle
- **Vorhersage mit FEWS-BSH**
  - Ablauf einer Vorhersage mit FEWS-BSH
  - Neue Funktionen

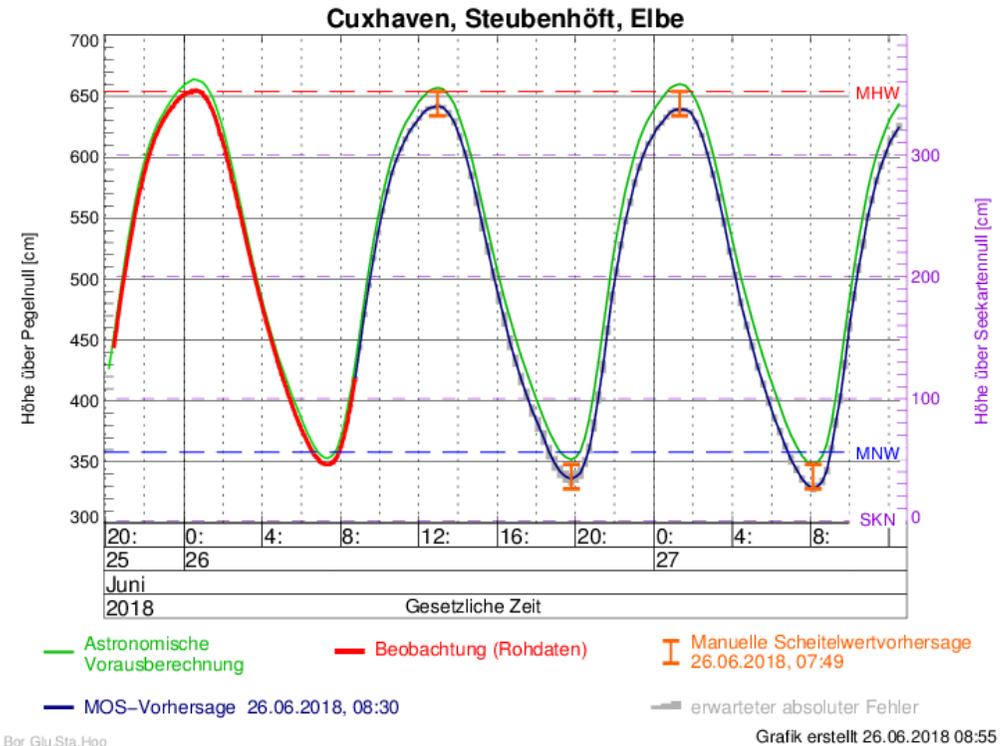
# Wasserstandsvorhersagen



- Vorhersagegebiete: Deutsche Bucht, Elbe, Weser, Ems
- 16 Hauptpegel
- Automatische Kurvenvorhersage für ca. 40 Pegel mit dem MOS-Verfahren (Model Output Statistics)
- Täglich vier Vorhersagen der nächsten vier Ereignisse (seit Mai 2017 mit FEWS)
- [www.bsh.de](http://www.bsh.de), Fax, ftp-Transfer, direkt
- Spezialfall: **Sturmflutwarnung**
  - Ab Abweichungen vom mittleren Hochwasser + 150 cm
  - Rund um die Uhr besetzt
  - Individuelle Warnungen für 5 Gebiete: Nord- und Ostfriesland, Weser, Elbe and Hamburg

# Ergebnisse

- Jährlich: astronomische Eintrittszeiten und -höhen der HW und NW für ca. 150 Pegel
- Viermal täglich: Wasserstände der nächsten vier HWNW-Ereignisse



- Automatische Kurvenvorhersagen
- Sturmflutvorhersagen und Warnungen
- Langfristvorhersagen bis zu 10 Tagen im Voraus

# Anwendung

- Schifffahrt und Hafenbetrieb
  - Eintrittszeiten und -höhen der HW und NW
  - Tiefgänger
  - Brückendurchfahrten
- Entwässerung des Deichhinterlandes (NW)
- Informationen für Anwohner und Touristen
  - Baden in der Nordsee
  - Planung von Wattwanderungen
- Hamburger Stadtgebiet
  - Stadtentwässerung
  - U-Bahn
  - Fluttore
  - Tiefliegende Gebiete, z.B. Parkplatz Övelgönne, geschlossen ab + 0,75 m



# Sturmflutwarndienst

- Weitergabe von Vorhersagen und Warnungen an Medien, Polizei, Feuerwehr, Hafen...
- Folgen:
  - Schließung von Flutschutztoren
  - Durchsagen/Böller/...
  - Einrichtung von Bereitschaftsdiensten
  - Evakuierung



Sturmflut-  
warndienst  
ist rund um die  
Uhr telefonisch  
erreichbar:

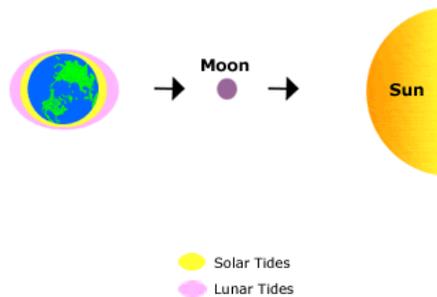
040/ 3190 3190



# Was beeinflusst den Wasserstand?

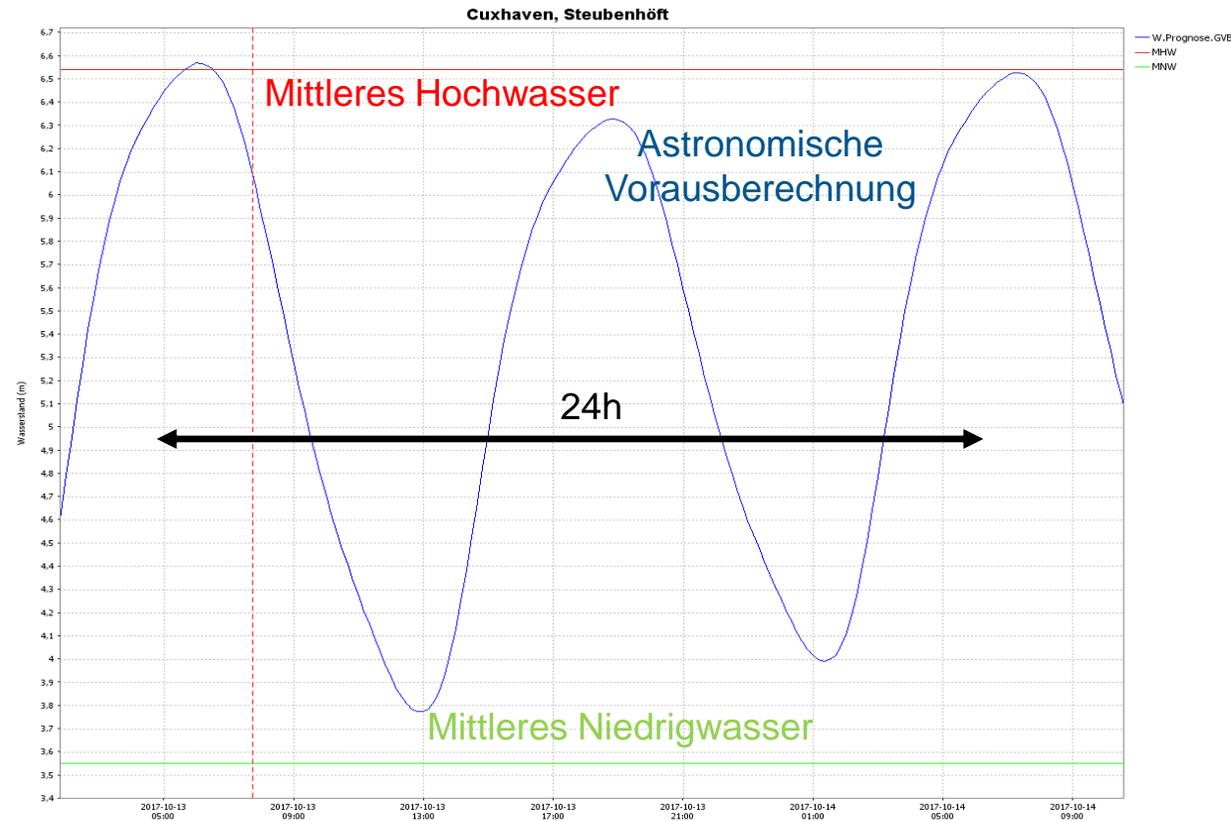
## Astronomische Gezeiten

### Spring Tides



- Halbtägige Gezeiten – im Mittel zwei Hoch- und Niedrigwasser pro Tag
- Jährliche Vorausberechnungen für 150 Pegelstandorte
  - Methode: Gezeitenvorausberechnungen mit der Harmonischen Darstellung der Ungleichheiten (Berichte des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie Nr. 50/2013)

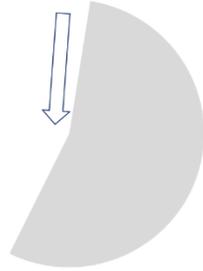
### Astronomische Gezeiten in Cuxhaven



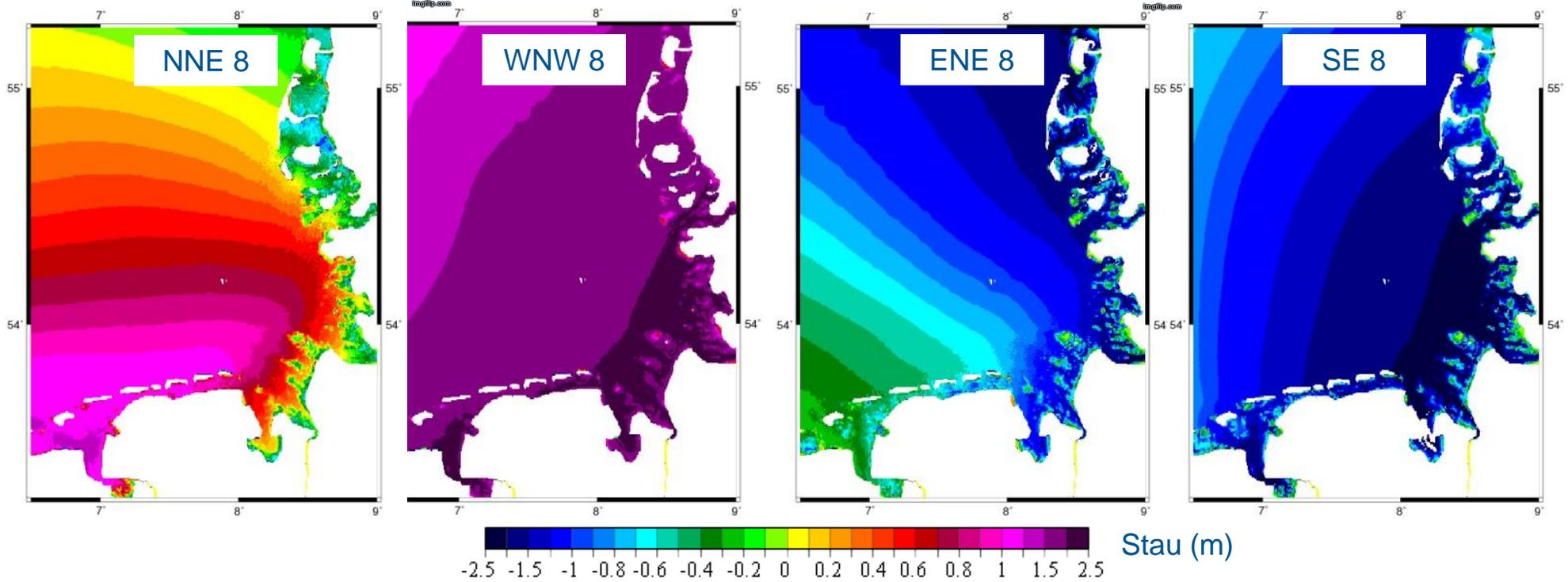
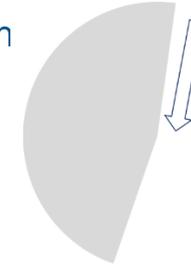
# Was beeinflusst den Wasserstand?

## Windstau

Staumuster bei auflandigen  
Windrichtungen –  
200° bis 360° und  
0° bis 20°

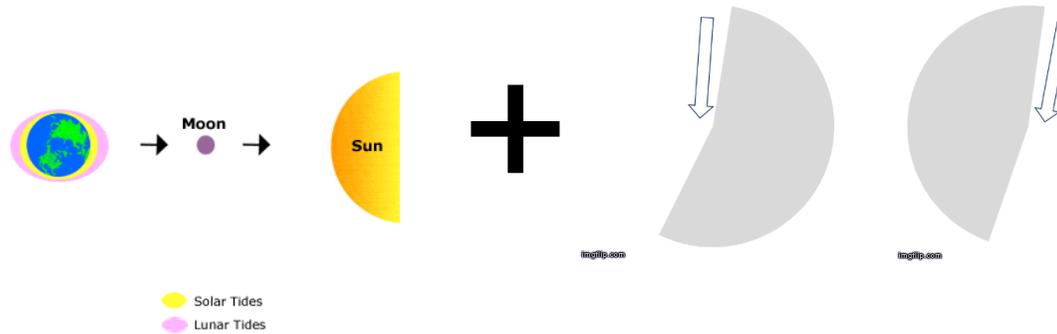


Staumuster bei ablandigen  
Windrichtungen –  
20° bis 200°



# Was beeinflusst den Wasserstand?

## Spring Tides

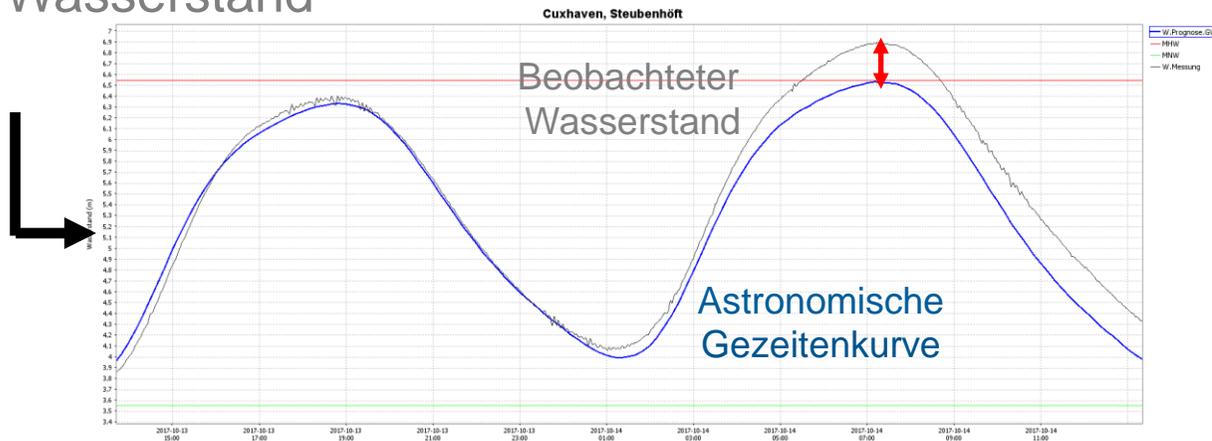


Astronomische Gezeiten

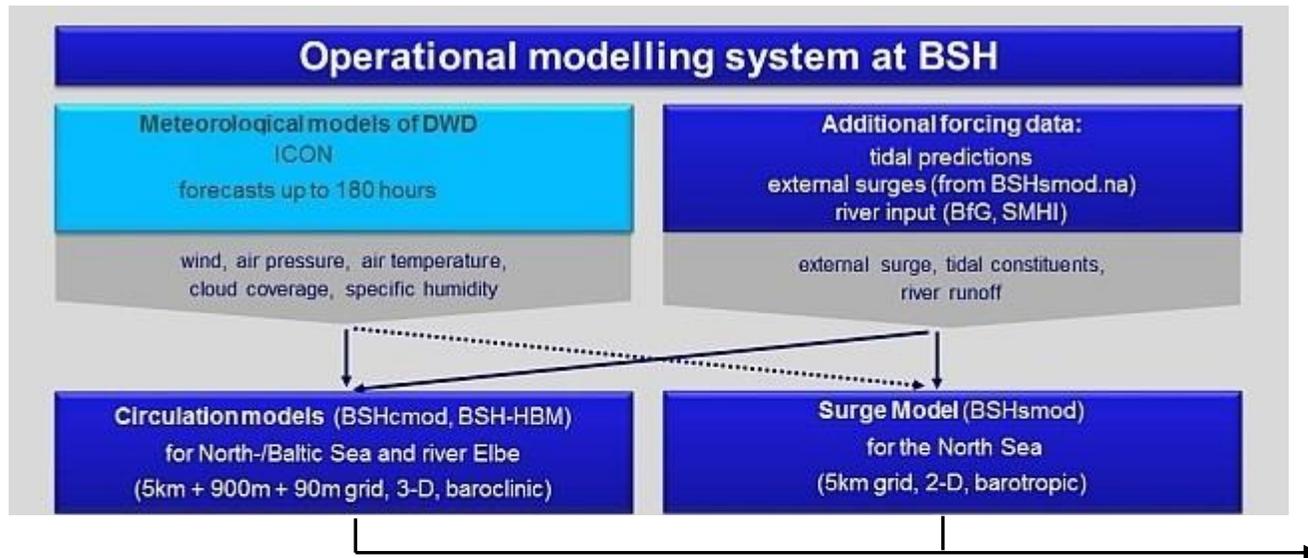
Windstau



## Wasserstand



# Daten und Modelle



Pegelmessungen, GFS-  
Modell, Abflussdaten...

Model output  
statistics - MOS

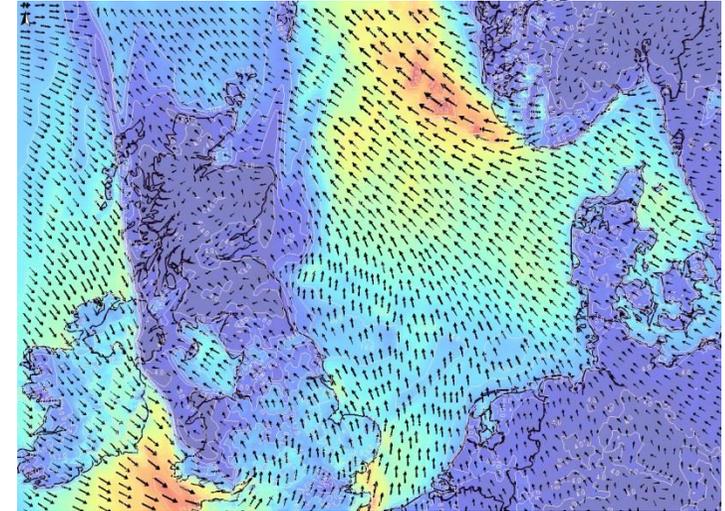
- 2x täglich
- 3D
- Zusätzliche Parameter, wie Salinität, Temperatur, Wellenhöhe
- 3 Tage voraus

- 4x täglich
- 2D
- Parameter Stau
- 7 Tage voraus

- Alle 15 min
- Ca. 40 Pegel
- Beste Ergebnisse für die nächsten 24 h
- Schwächen bei Sturmsituationen

# Vorhersage mit FEWS-BSH Wettersituation

- Persönliche Wetterberatung beim DWD
- Unterschiedliche Modellergebnisse
- Ensembles
- Abschätzung der realen Wettersituation
- Unsicherheiten
- Kurze Windübersicht wird manuell ins System übertragen

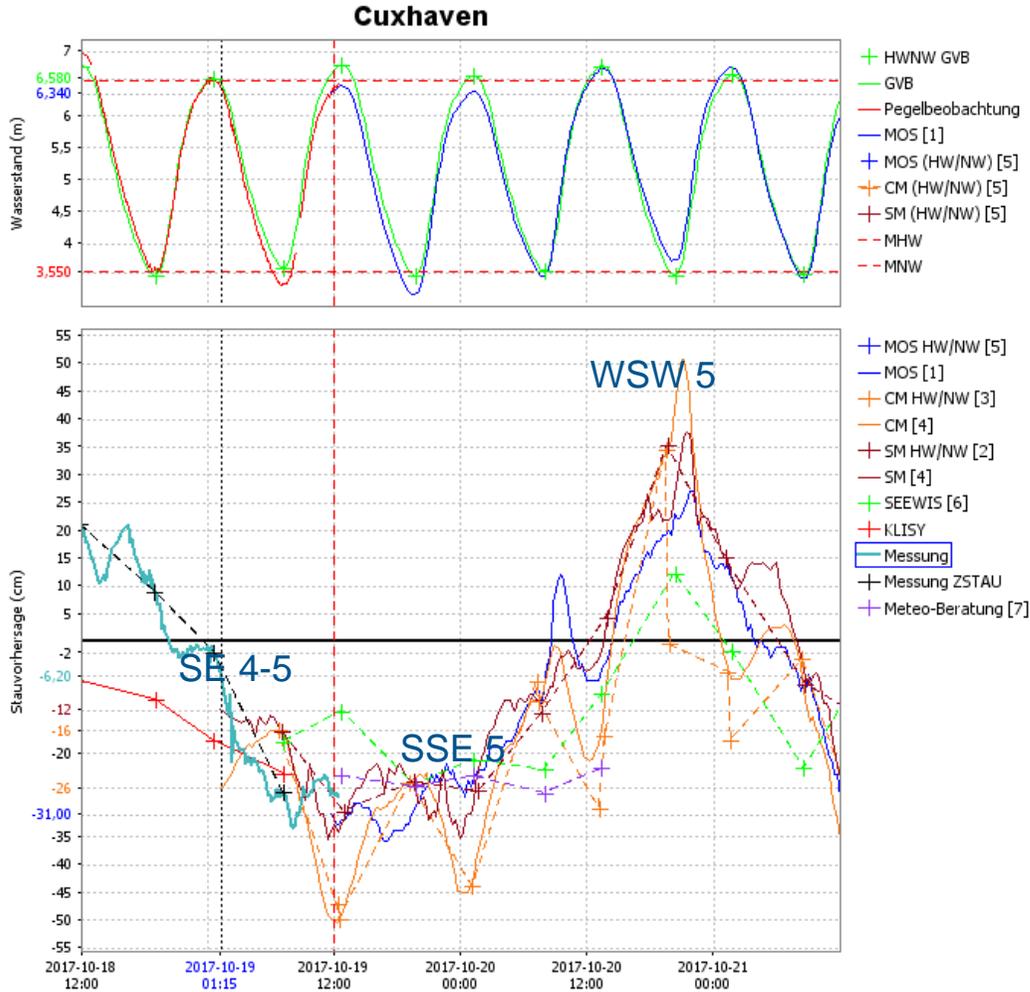


Datum	Zeit	HW/NW	Zeitraum	DWD-Prognose (mdl.)
19.10.2017	07:14	NW	04 - 08	SE 4
19.10.2017	12:43	HW	09 - 13	SE 4-5
19.10.2017	19:41	NW	16 - 20	—  —
20.10.2017	01:10	HW	22 - 02	—  —
20.10.2017	07:56	NW	04 - 08	SSE 5

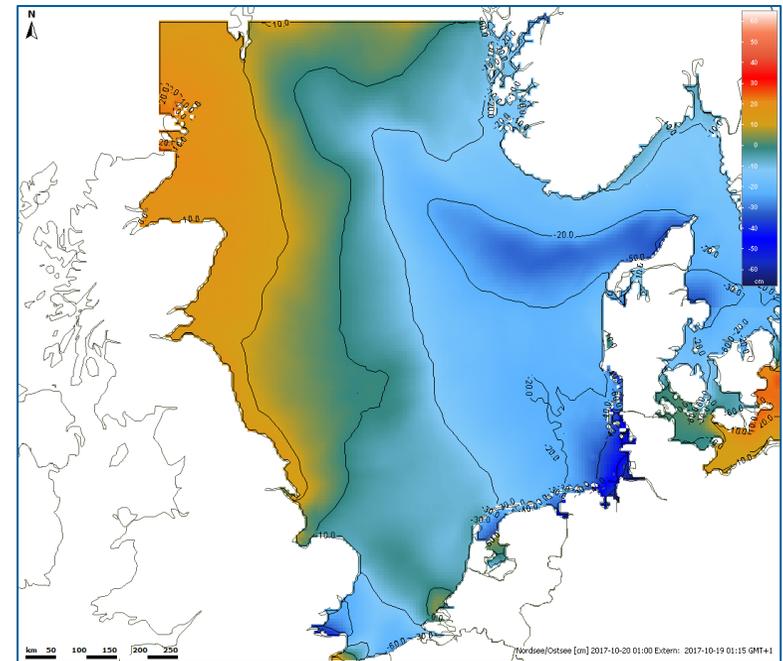
Gfs. Bewertung von ICON-BJ: 0 UTC-Lauf ok

Bemerkung zu COSMO-DE-ERS: unauffällig

# Vorhersage mit FEWS-BSH Datendarstellung



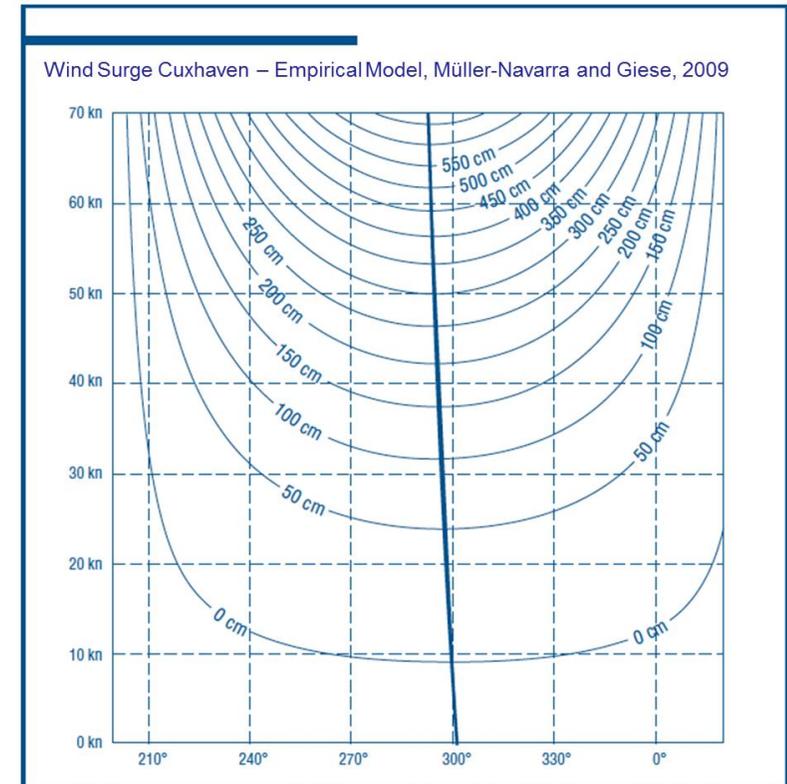
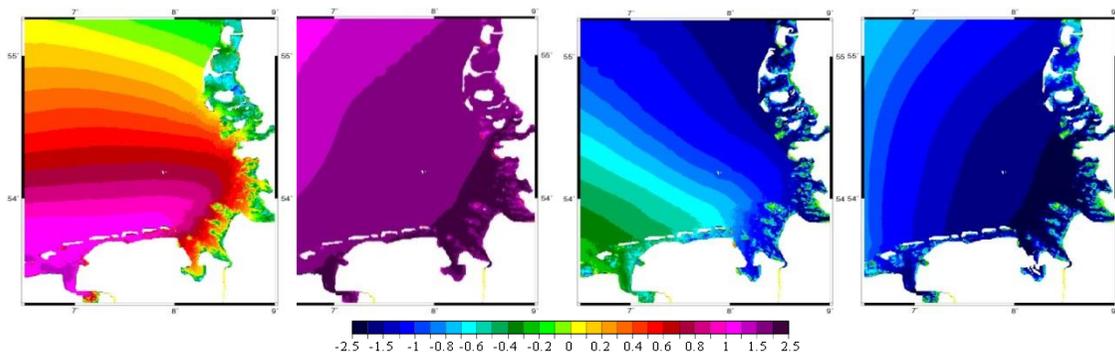
## Überblick über alle Methoden und Modelle



# Vorhersage mit FEWS-BSH

## Orientierungspunkt Cuxhaven

- Maximaler positiver Windstau bei 295 °
- Pegelbeobachtung bei Cuxhaven – digitalisiert seit 01.01.1843 → Statistik über die Staudifferenzen zu anderen Orten
- Charakteristische Staumuster bei unterschiedlichen Windrichtungen



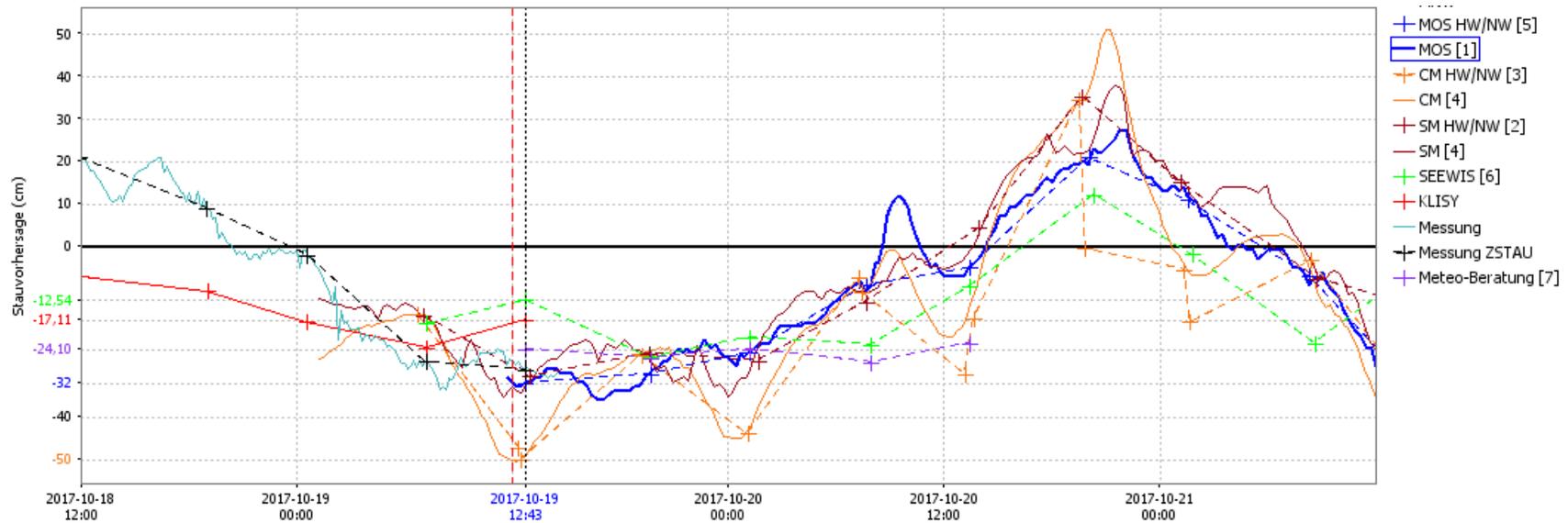
# Vorhersage mit FEWS-BSH Cuxhaven Offsetkorrektur



BUNDESAMT FÜR  
SEESCHIFFFAHRT  
UND  
HYDROGRAPHIE

- Darstellung der wichtigsten Modellergebnisse für Cuxhaven – MOS, Staumodell (2D), Zirkulationsmodell (3D)
- Offsetkorrektur aller Modellergebnisse auf das Niveau von Cuxhaven

Cuxhaven, Steubenhöft	HW 23924.3				NW 23924.4				HW 23925.1				NW 23925.2			
	Prognose	MOS	CM	SM												
	<input type="checkbox"/>															
	19-10-2017 12:43	19-10-2017 12:43	19-10-2017 12:20	19-10-2017 12:55	19-10-2017 19:41	19-10-2017 19:41	19-10-2017 19:10	19-10-2017 19:35	20-10-2017 01:10	20-10-2017 01:10	20-10-2017 01:05	20-10-2017 01:40	20-10-2017 07:56	20-10-2017 07:39	20-10-2017 07:15	20-10-2017 07:40
	-32	-32	-47	-31	-30	-30	-25	-25	-25	-25	-44	-27	-9	-9	-7	-13



# Vorhersage mit FEWS-BSH Staumatrix der 16 Hauptpegel



BUNDESAMT FÜR  
SEESCHIFFFAHRT

Arbeitsansicht | Parameter | Name | Zusammenfassung | Stationen | Anfang | Ende | Gültigkeitsdauer | Anwender | Erstellungszeitpunkt | Aktiviert | Löschen | Kopieren

Modifizieren | Import | Export | Anwenden

Modifizier-Eigenschaften: Staumatrix\_all  
 Name: Stau.Prognose.Staumatrix\_Helgoland, Binnenhafen\_Borkum, Fischer  
 Anfangszeitpunkt: 2017-10-18 12:00 | Endzeitpunkt: 2017-10-29 12:00 | Gültigkeitsdauer: 2017-10-19 12:00

z	NW 23924.4					HW 23925.1					NW 23925.2							
	Prognose	MOS	CM	SM	Messung	Persistenz	Prognose	MOS	CM	SM	Messung	Persistenz	Prognose	MOS	CM	SM	Messung	Persistenz
Helgoland, Binnenhafen	-33	-33	-27	-30		-34	-20	-20	-12	-18			-16	-16	-9	-8		-17
Borkum, Fischerbälje	-31	-31	-28	-30		-26	-16	-16	-15	-18		-20	-12	-12	-14	-12		-9
Emden, Große Seeschleuse	-30	-30	-28			-36	-16	-16	-27	-17		-23	-14	-14	-13	-13		-19
Norderney, Riffgat	-38	-38	-26	-33		-35	-20	-20	-14	-16		-27	-17	-17	-13	-12		-18
Wilhelmshaven, Alter Vorhafen	-29	-29	-24	-31		-35	-16	-16	-28	-23		-17	-8	-8	-13	-18		-18
Alte Weser, Leuchtturm	-32	-32	-27	-31		-31	-17	-17	-18	-20			-12	-12	-11	-10		-14
Bremerhaven, Alter Leuchtturm	-27	-27	-25			-34	-16	-16	-25	-18		-17	-17	-17	-10	-12		-17
Bremen, Oslebshausen	-18	-18				-17	-22	-22				-20	-1	-1				0
Cuxhaven, Steubenhöft	-30	-30	-30	-30		-30	-25	-25	-25	-25		-25	-13	-13	-13	-13		-13
Hamburg, St. Pauli	-54	-54				-46	-26	-26				-25	-28	-28				-29

Rechenlaufoptionen bearbeiten | Karte (Map) | Zeitreihen | Karten | Modifizier | Berichtsexporte

6: Protokoll (Logs) | 7: Benachrichtigungen

Karina Stockmann | Prognosezeitpunkt T0:2017-10-19 12:00 (GMT+1) | 2017-10-19 15:21 MESZ | Letzte Aktualisierung:2017-10-19 14:21 (GMT+1) | DEBSHPM00 | 11,850, 53,764 | 0,1 MB/s | 317 MB

Zeitreihen Überblick

# Vorhersage mit FEWS-BSH Ergebnisse



BUNDESAMT FÜR  
SEESCHIFFFAHRT  
UND  
HYDROGRAPHIE

Wind				Cuxhaven					Hamburg				
HW/NW	Richtung Grad	Geschw kn	MStau <sup>1</sup> cm	Datum	Zeit (GZ)	Astro. <sup>2</sup> cm	Stau <sup>3</sup> cm	ABW <sup>4</sup> cm	Datum	Zeit (GZ)	Astro. <sup>2</sup> cm	Stau <sup>3</sup> cm	ABW <sup>4</sup> cm
NW	175	16	-16	20.10.2017	08:56	1	-8	-7	20.10.2017	12:50	7	-9	-2
HW	163	20	-20	20.10.2017	14:24	23	-2	21	20.10.2017	17:57	16	5	21
NW	207	21	-5	20.10.2017	21:21	-5	26	21	21.10.2017	01:16	3	11	14
HW	221	18	-1	21.10.2017	02:48	9	10	19	21.10.2017	06:22	1	5	6
NW	180	17	-16	21.10.2017	09:36	-3	-11	-14	21.10.2017	13:30	4	-24	-20
HW	176	19	-15	21.10.2017	15:04	19	-17	2	21.10.2017	18:37	11	-18	-7
NW	183	21	-19	21.10.2017	21:57	-6	16	10	22.10.2017	01:51	3	2	5
HW	186	27	-18	22.10.2017	03:23	10	14	24	22.10.2017	06:56	1	12	13
NW	214	27	10	22.10.2017	10:12	-6	35	29	22.10.2017	14:06	2	27	29
HW	249	25	35	22.10.2017	15:38	13	31	44	22.10.2017	19:12	4	34	38
NW	241	27	44	22.10.2017	22:28	-5	53	48	23.10.2017	02:22	3	37	40
HW	245	26	34	23.10.2017	03:55	8	38	4					
NW	229	27	28	23.10.2017	10:42	-5	36	3					
HW	214	28	2	23.10.2017	16:10	5	27	3					
NW	238	24	27	23.10.2017	22:55	-2	25	2					
HW	245	22	21	24.10.2017	04:24	5	19	2					
NW	256	20	21	24.10.2017	11:10	-3	30	2					
HW	262	17	16	24.10.2017	16:40	-5	27	2					
NW	244	11	-2	24.10.2017	23:20	2							
HW				25.10.2017	04:53	0							
Mittleres Hochwasser:							654 cm (PN)						
Mittleres Niedrigwasser:							355 cm (PN)						

## Wasserstandsvorhersage des BSH

Erstellt am 19.10.2017 um 15:22 Uhr (gesetzliche Zeit)

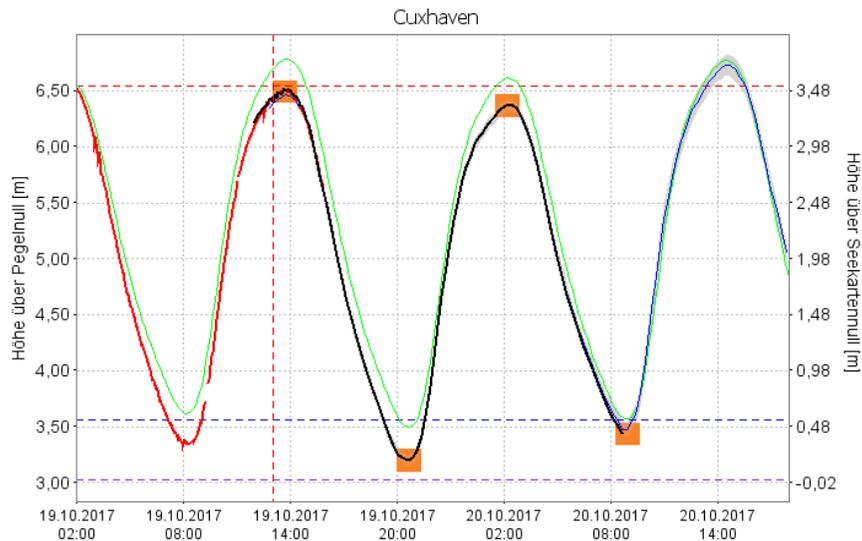
Die hier aufgelisteten Werte sind Abweichungen vom örtlichen MNW und MHW.

Pegel und Pegelstammdaten		HW 19.10.2017	NW 19.10.2017 /20.10.2017	HW 20.10.2017	NW 20.10.2017
Helgoland, Binnenhafen		12:28	19:17	00:52	07:34
PNP -5 m	MHW 6,16 m	+/- 0	-4 dm	-1 dm	-1 dm
SKN 3,2 m	MNW 3,75 m				
Borkum, Fischerbalje		11:32	18:08	00:06	06:24
PNP -5,03 m	MHW 6,18 m	+/- 0	-4 dm	-1 dm	-1 dm
SKN 3,22 m	MNW 3,75 m				
Emden, Große Seeschleuse		13:00	19:30	01:34	07:42
PNP -5 m	MHW 6,47 m	+/- 0	-3 dm	-1 dm	-1 dm
SKN 2,62 m	MNW 3,15 m				
Norderney, Riffgat		11:57	18:31	00:29	06:47
PNP -4,99 m	MHW 6,21 m	+/- 0	-4 dm	-1 dm	-1 dm
SKN 3,16 m	MNW 3,7 m				
Wilhelmshaven, Alter Vorhafen		13:30	19:46	01:59	08:05
PNP -5,03 m	MHW 6,85 m	+/- 0	-4 dm	-1 dm	-1 dm
SKN 2,32 m	MNW 3,03 m				
Alte Weser, Leuchtturm		12:40	19:20	01:07	07:36

Automatische Erstellung der  
Ergebnisberichte

# Vorhersage mit FEWS-BSH Ergebnisse

## Automatische Erstellung von Vorhersagekurven für die 16 Hauptpegel basierend auf den Vorhersagewerten aus der Staumatrix und MOS



## Warn-Checkliste

### Cuxhaven HW (05.10.2017 13:39): STURMFLUT

Emden-HW erhöht um bis zu 1,99 m: Warnung an das Leda-Sperrwerk (Roter Ordner, Punkt 4)

Hamburg-HW erhöht um bis zu 1,51 m: WADI-Sprachbox besprechen (Roter Ordner, Punkt 6)

Ostfriesische Küste, HW erhöht um bis zu 1,99 m: Fact24 - automatischen Warnverteiler starten (Roter Ordner, Punkt 5)

Wesergebiet, HW erhöht um bis zu 1,35 m: Fact24 - automatischen Warnverteiler starten (Roter Ordner, Punkt 5)

Elbegebiet, HW erhöht um bis zu 1,41 m: Fact24 - automatischen Warnverteiler starten (Roter Ordner, Punkt 5)

Hamburger Elbegebiet, HW erhöht um bis zu 1,51 m: Fact24 - automatischen Warnverteiler starten (Roter Ordner, Punkt 5)

Nordfriesische Küste, HW erhöht um bis zu 1,19 m: Fact24 - automatischen Warnverteiler starten (Roter Ordner, Punkt 5)

### Cuxhaven NW (05.10.2017 20:37): Wasserstandsvorhersage

### Cuxhaven HW (06.10.2017 02:11): Warnung vor erhöhtem Hochwasser

Emden-HW erhöht um bis zu 1,15 m: Warnung an das Leda-Sperrwerk (Roter Ordner, Punkt 4)

Ostfriesische Küste, HW erhöht um bis zu 1,2 m: Fact24 - automatischen Warnverteiler starten (Roter Ordner, Punkt 5)

Wesergebiet, HW erhöht um bis zu 1,38 m: Fact24 - automatischen Warnverteiler starten (Roter Ordner, Punkt 5)

Elbegebiet, HW erhöht um bis zu 1,25 m: Fact24 - automatischen Warnverteiler starten (Roter Ordner, Punkt 5)

Hamburger Elbegebiet, HW erhöht um bis zu 1,27 m: Fact24 - automatischen Warnverteiler starten (Roter Ordner, Punkt 5)

Nordfriesische Küste, HW erhöht um bis zu 1,29 m: Fact24 - automatischen Warnverteiler starten (Roter Ordner, Punkt 5)

### Cuxhaven NW (06.10.2017 08:56): Warnung vor erhöhtem Niedrigwasser

Emden-NW erhöht um bis zu 1,07 m: Warnung an das Leda-Sperrwerk (Roter Ordner, Punkt 4)

# Vorhersage mit FEWS-BSH

## Zusätzliche Funktionen – Warntexte

### Generierung von Warntexten aus einzelnen Textbausteinen

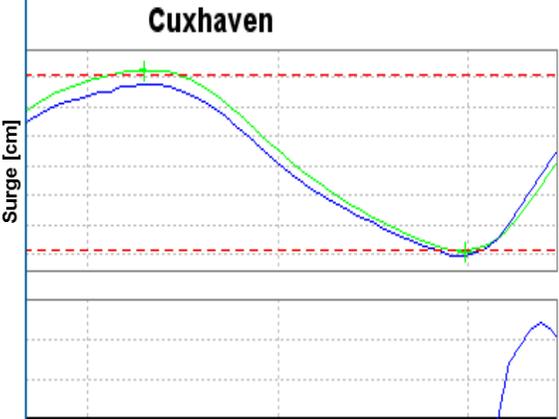
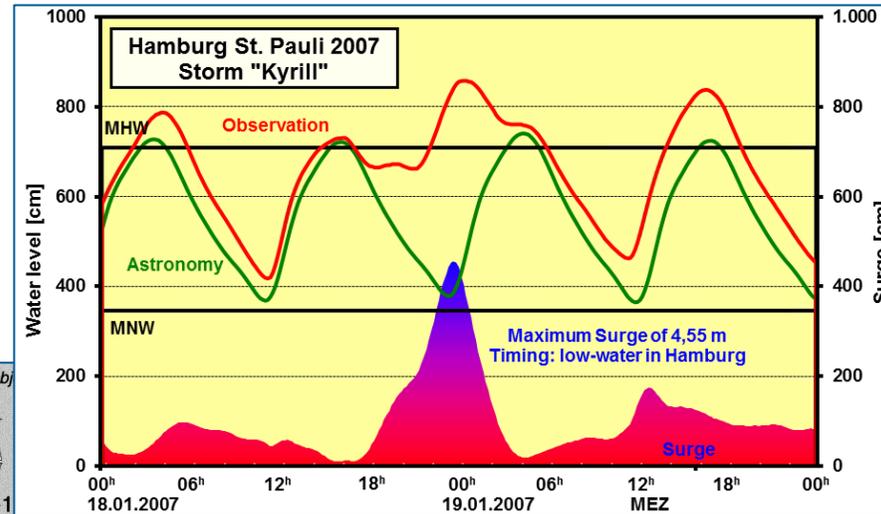
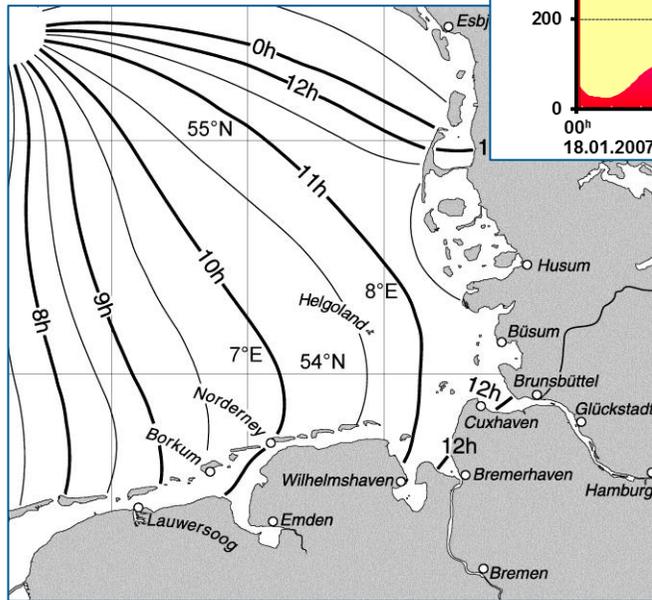
In der Nacht von Dienstag zu Mittwoch wird das Hochwasser an der deutschen Nordseeküste, in Emden, Bremen und Hamburg etwa 1,5 bis 2 m höher als das mittlere Hochwasser eintreten.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K		F	
GMT+1	HWNW (-)	Prae1 (-)	Wochentag (-)	Tageszeit1 (-)	Tageszeit2 (-)	Ort2 (-)	Abweichungen (-)	Attribut2 (-)	Ort1 (-)	Abweichungen (-)	Attribut1 (-)		Abweichungen (-)	Attribut1 (-)
	Cuxhaven, Stei 506P	Cuxhaven, Steubenhöft	Cuxhaven, Stei 506P		Cuxhaven, Stei 506P	Cuxhaven, Stei 506P								
	Process_Report	Process_Report	Process_Report	Process_Report	Process_Report	Process_Report_Vorhersagetext_Erzeugen_2	Process_Report	Process_Report	Process_Report	Process_Report	Process_Report		Process_Report	Process_Report
	[1]	[1]	[1]	[1]	[1]	[1]	[1]	[1]	[1]	[1]	[1]		[1]	[1]
2017-10-11 16:50	HW	Am	Mittwoch	Nachmittag-...	Abend-Hoch...	<select>	3 - 5 dm	hoeher als d...	<select>	3 - 5 dm	hoeher als d...		3 - 5 dm	hoeher als d...
2017-10-11 23:35	NW	In der Nacht ...	Mittwoch zu ...	Hochwasser	Leer	<select>	etwa 1/2 m	hoeher als d...	<select>	etwa 1/2 m	hoeher als d...		etwa 1/2 m	hoeher als d...
2017-10-12 05:09	HW	Am	Donnerstag	Morgen-Hoc...	Vormittag-H...	<select>	etwa 3/4 m	hoeher als d...	<select>	etwa 3/4 m	hoeher als d...		etwa 3/4 m	hoeher als d...
2017-10-12 11:59	NW	Am	Donnerstag	Mittag-Hoch...	Nachmittag-...	<select>	etwa 1 m	hoeher als d...	<select>	etwa 1 m	hoeher als d...		etwa 1 m	hoeher als d...
2017-10-12 17:41	HW					an der deutschen Nordseekueste, in Emden, Bremen und H...							etwa 1/2 m	
2017-10-12 23:23						an der deutschen Nordseekueste und in Emden							1/2 - 3/4 m	
						an der deutschen Nordseekueste							etwa 3/4 m	
						an der ostfriesischen Kueste							3/4 - 1 m	
						an der ostfriesischen Kueste und im Wesergebiet							etwa 1 m	
						an der ostfriesischen Kueste, im Weser- und Elbegebiet							1 - 1,5 m	
						in Weser- und Elbegebiet							etwa 1,5 m	
													1,5 - 2 m	

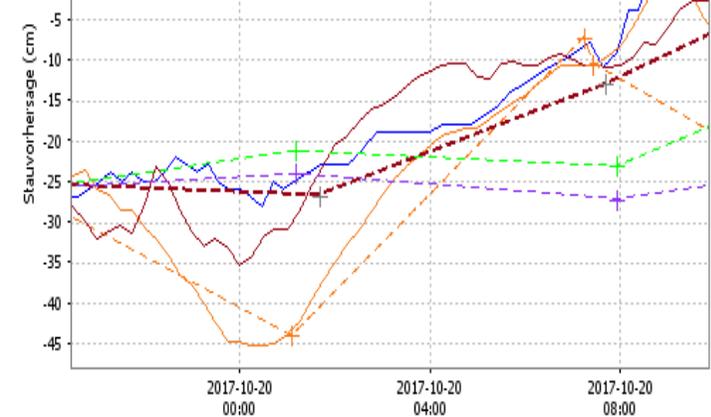
- Die erste Textversion wird automatisch generiert → Vorhersagewert bei Cuxhaven

# Vorhersage mit FEWS-BSH

## Zusätzliche Funktionen – Mondtransitzahlen



Ermöglichen eindeutige Zuordnung der HW/NW-Ereignisse an unterschiedlichen Stationen zu einem zusammengehörigen Event (Diff 5-7h)



# Vorhersage mit FEWS-BSH

## Zusätzliche Funktionen



- Automatischer Datenimport
- Eingabe der Ergebnisse der Wetterberatung
- Scheitelwertkorrektur
- Datendarstellung
- Datenverfügbarkeit und -qualität
- Shortcuts
- “Staumatrix” – Matrix, die die wichtigsten Modellergebnisse der 16 Hauptpegel darstellt
- Mondtransitzahlen – eindeutige Zuordnung der HW/NW-Ereignisse an unterschiedlichen Stationen zu einem zusammengehörigen Event
- Automatische Erstellung der Berichte
- Vorhersagekurven für 16 Hauptpegel
- Automatische oder manuelle Generierung von Warntexten
- Warncheckliste, abhängig von den vorhergesagten Höhen

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



BUNDESAMT FÜR  
SEESCHIFFFAHRT  
UND  
HYDROGRAPHIE



- Müller Navarra, S.H. and Giese, H. (1999). Improvements of an Empirical Model to Forecast Wind Surge in the German Bight., Dt. hydrogr. Z. 51, 385-405
- Sylvin H. Müller-Navarra (2013): Gezeitenvorausberechnungen mit der Harmonischen Darstellung der Ungleichheiten. Berichte des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie Nr. 50/2013, Hamburg und Rostock