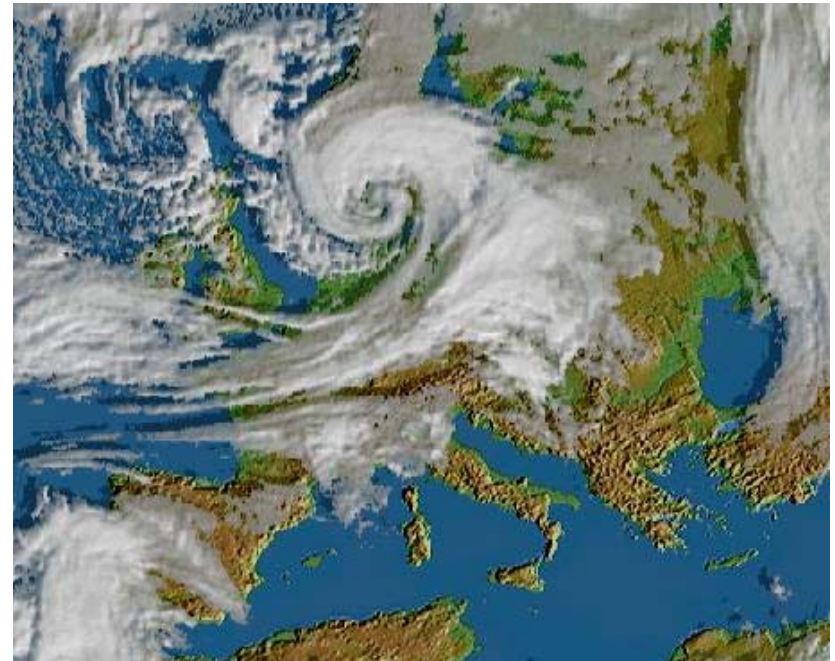


Modellgestützte **U**ntersuchungen zu **S**turmfluten mit sehr geringer **E**intrittswahrscheinlichkeit

Statistik: Jensen, Mudersbach

Meteorologie: Renner, Koziar

Ozeanographie: Müller-Navarra, Bork



- Modellsysteme
- Methodik am Beispiel der Sturmflut 3./4. Januar 1976
- Regionalisierung (Fallstudien 1976, 1962, 1999)
- Zusammenfassung

Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie:

- Nordostatlantikmodell (NOAMOD) 40 km
- Zirkulationsmodell (BSHcmod)
Nord - und Ostseemodell 10 km
Küstenmodell 2 km
- Staumodell (Staumod) 10 km

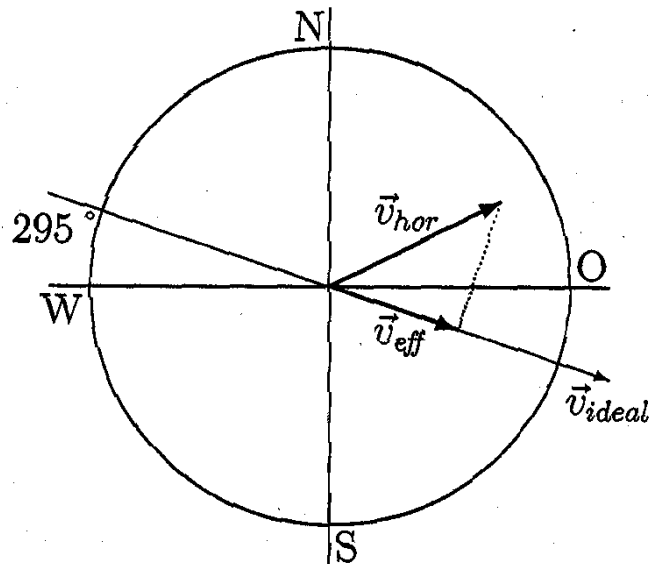
Deutscher Wetterdienst (DWD):

- Globales Modell Europa (GME) 40 km
- **Lokales Modell (LM)** 7 km

Europäisches Zentrum für mittelfristige Wettervorhersage (ECMWF):

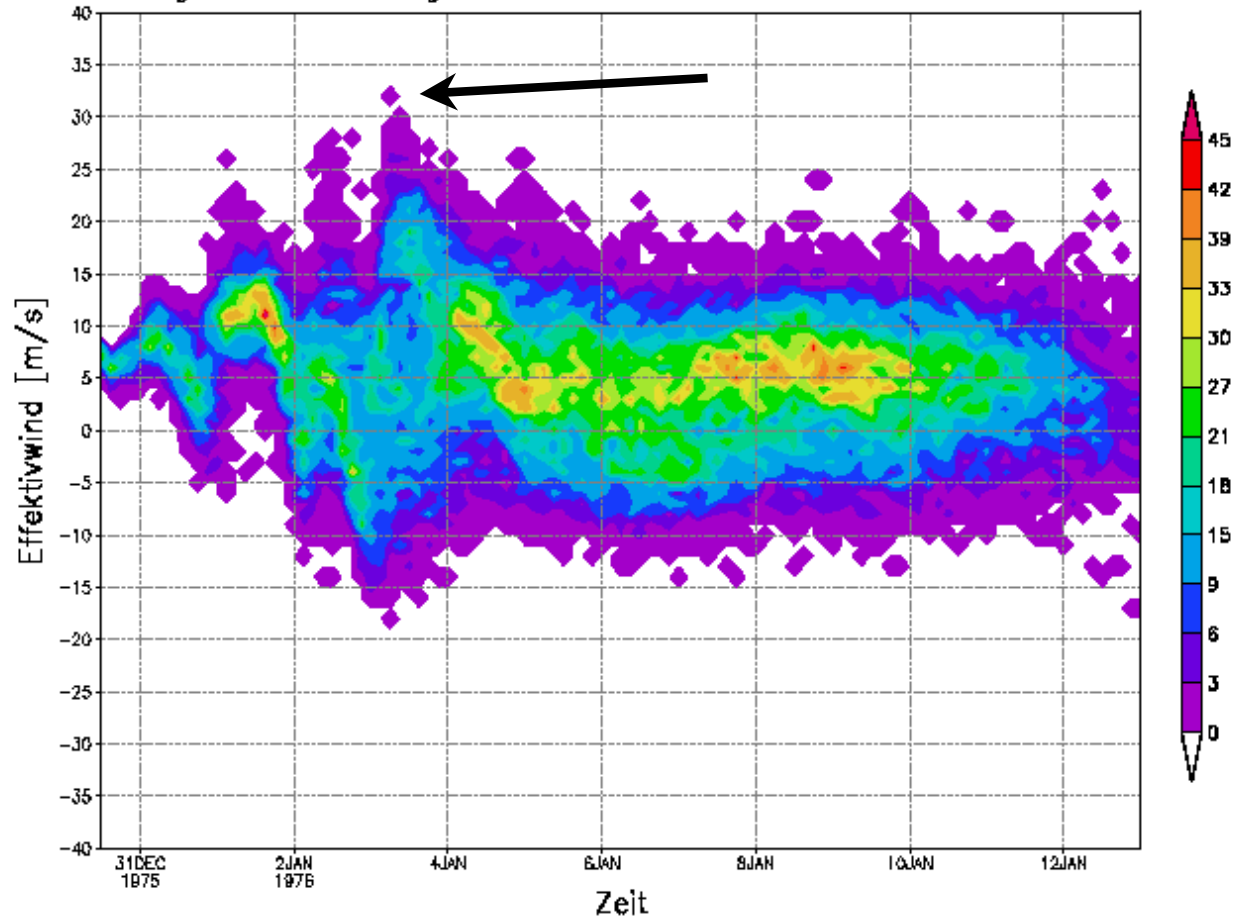
- Integrated Forecast System (IFS) 78 km
- **Ensemble Prediction System (EPS)** 78 km

Beispiel Sturmflut 3./4. Januar 1976 - Auswahl



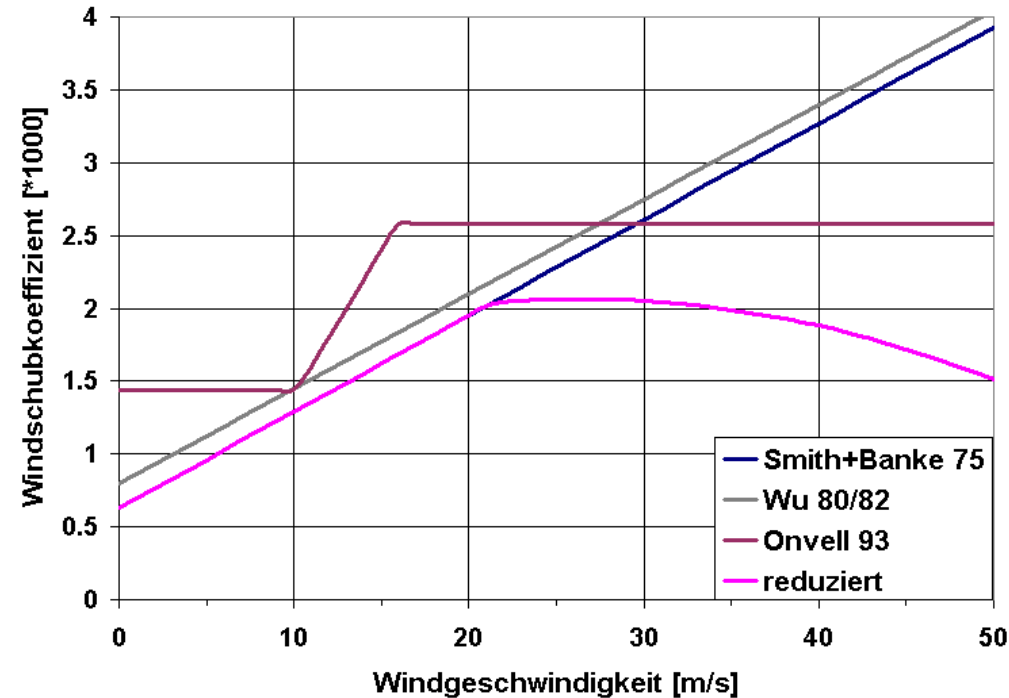
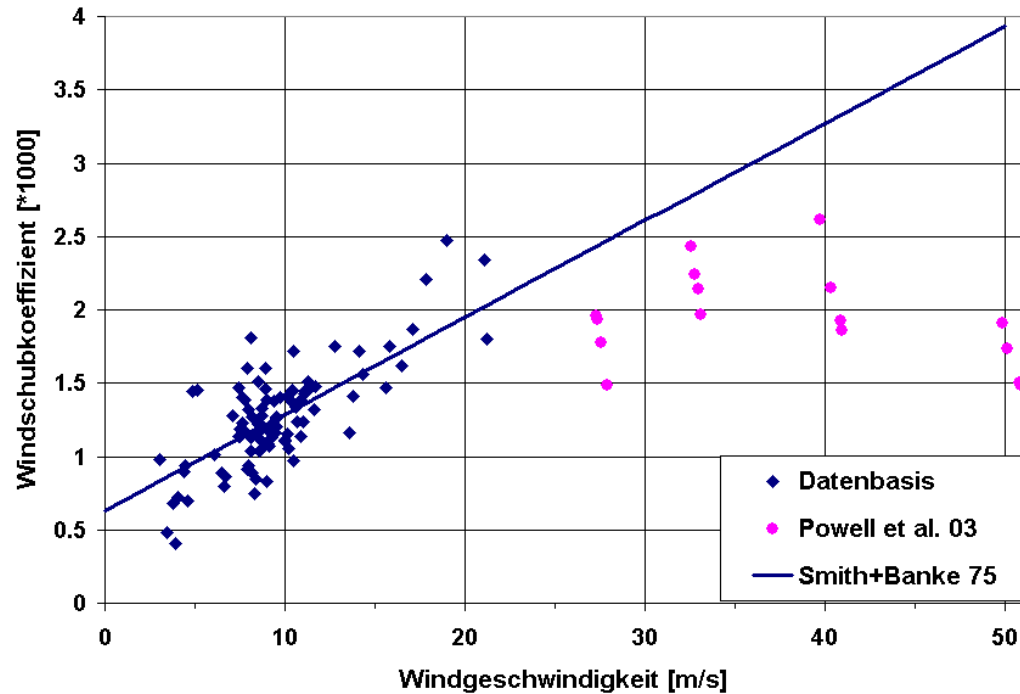
Definition Effektivwind

Häufigkeitsverteilung des EPS-Effektivwindes, 76er Sturmflut



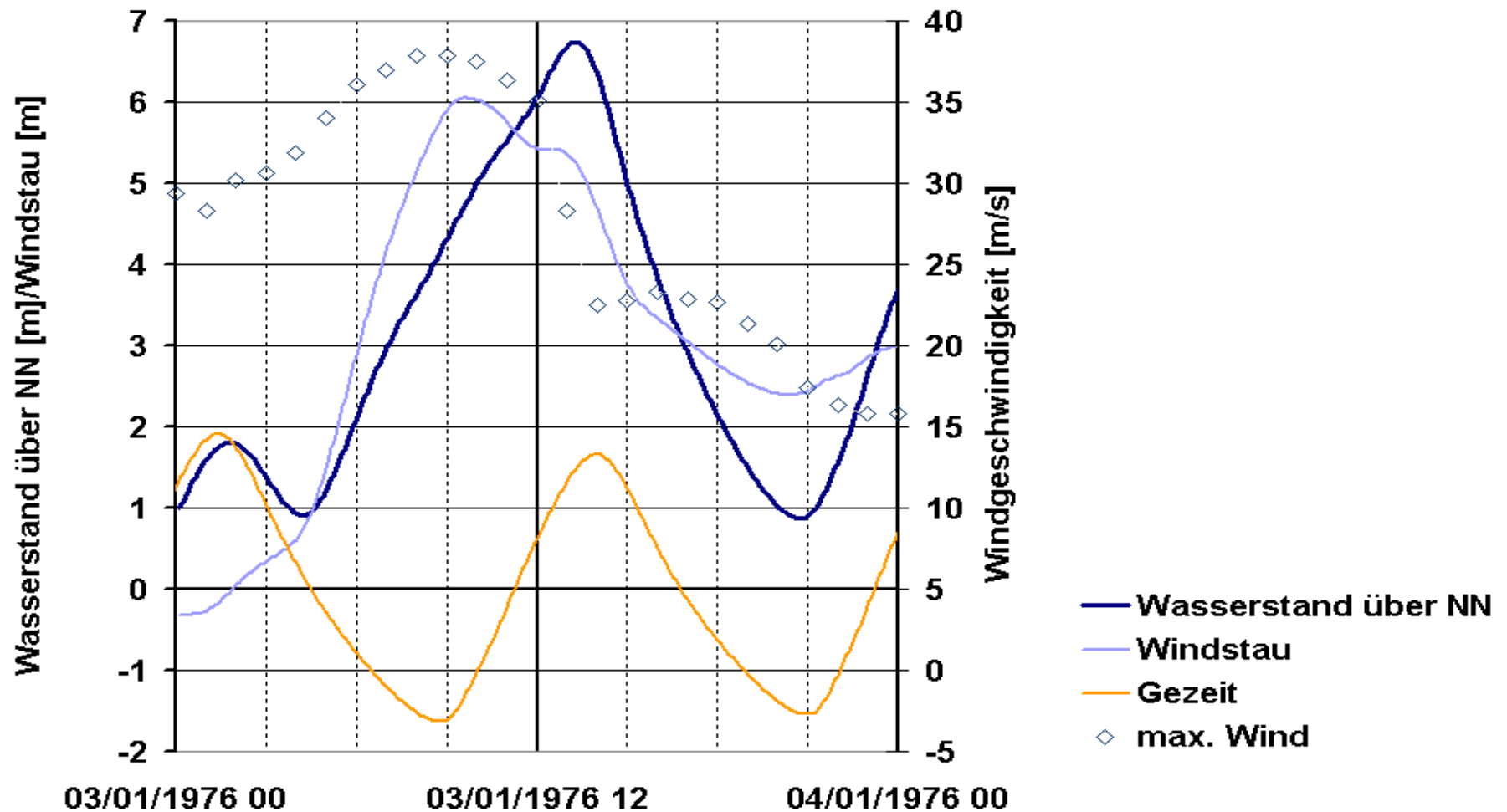
Windschubspannungskoeffizient

Datenbasis und typische Ansätze



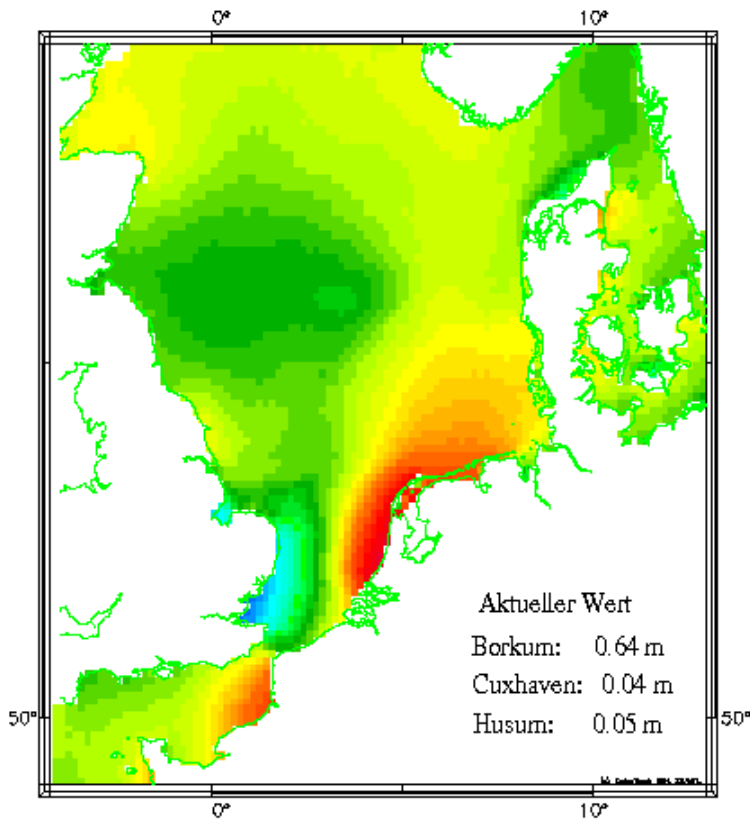
Standard: Ansatz Smith und Banke 75

Beispiel Sturmflut 3./4. Januar 1976 - EPS 09



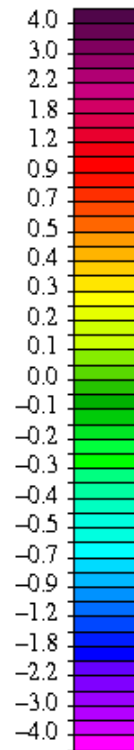
Beispiel Sturmflut 3./4. Januar 1976

Windstau und Wind

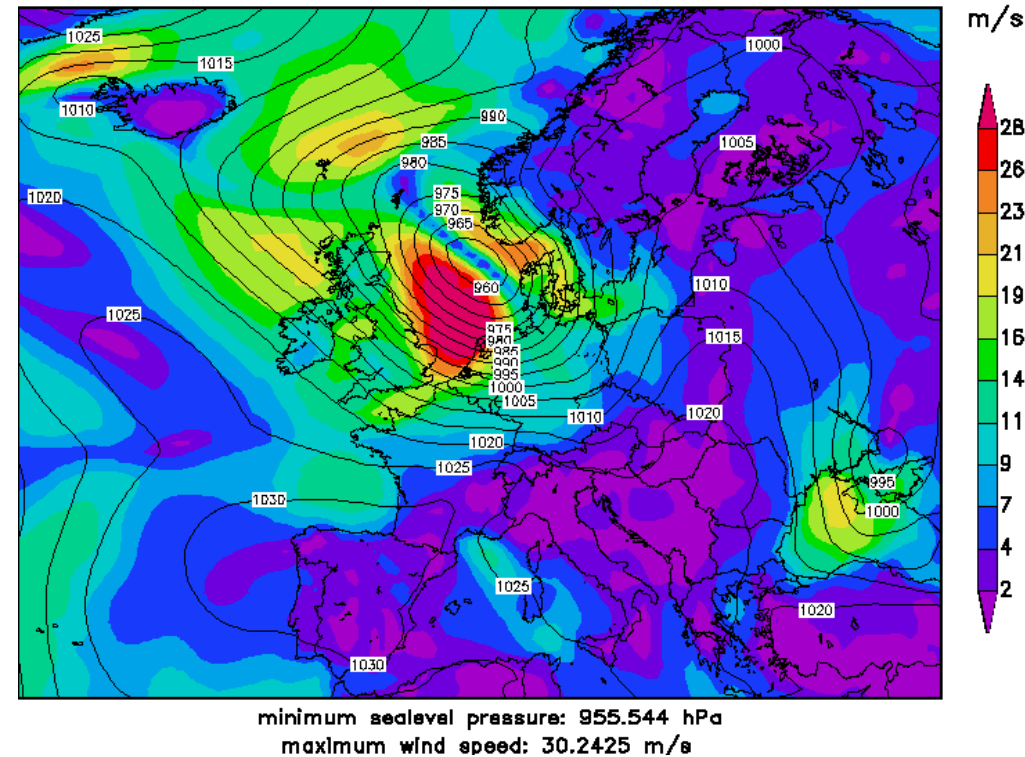


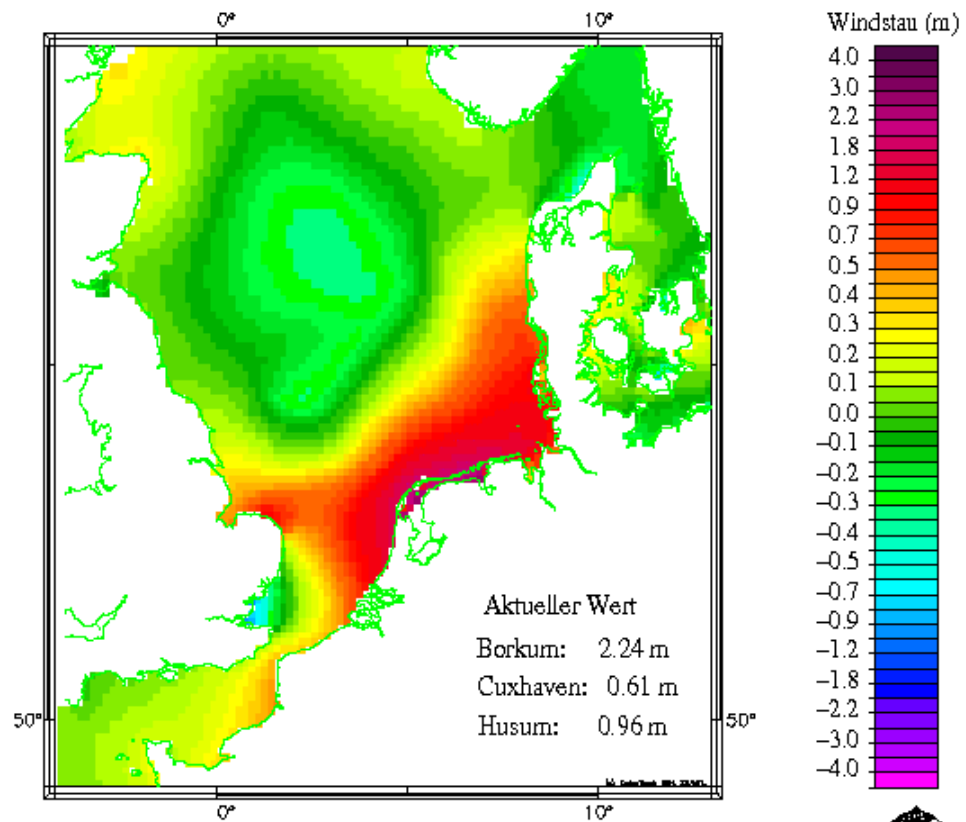
Windstau am 3. 1.1976 02:00 Uhr (UTC)

Windstau (m)



IFS, Member Nr. 9 – 03.01.1976, 02:00 UTC

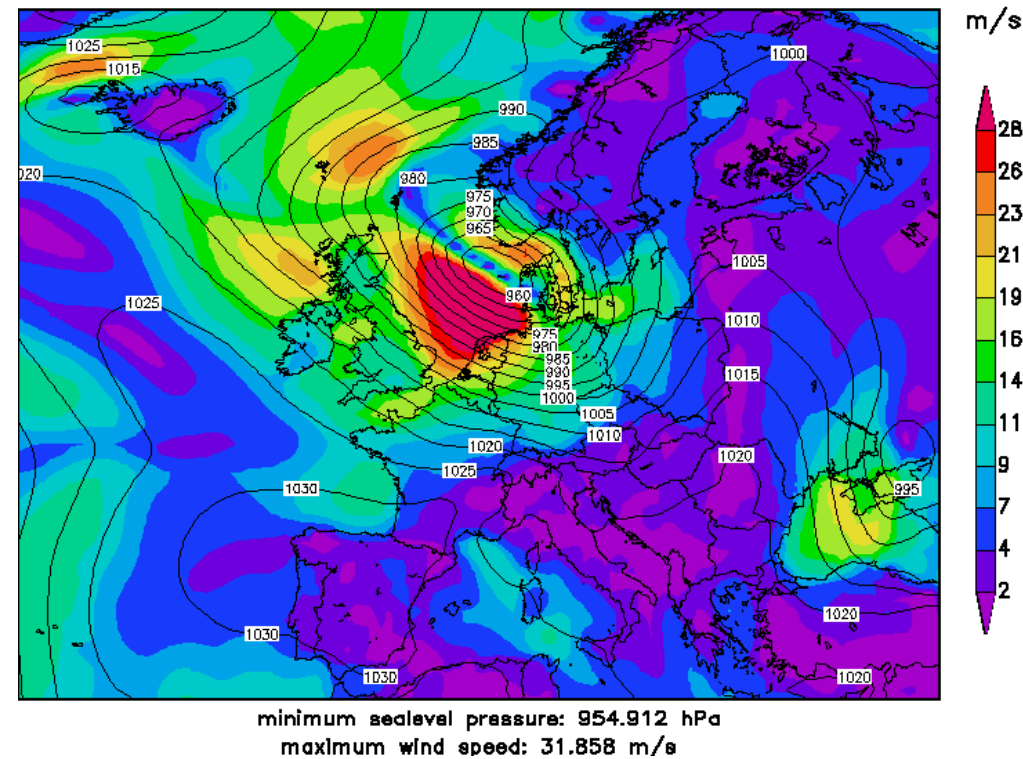




Windstau am 3. 1.1976 04:00 Uhr (UTC)

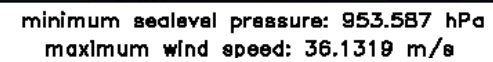


IFS, Member Nr. 9 – 03.01.1976, 04:00 UTC



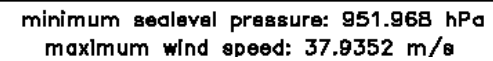


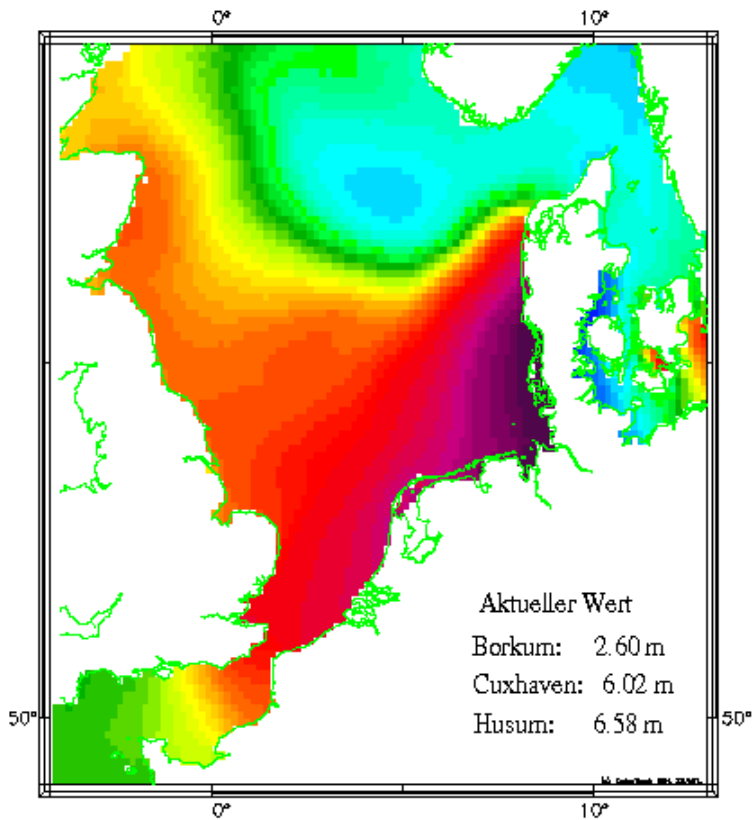
Aktueller Wert
Borkum: 3.31 m
Cuxhaven: 2.87 m
Husum: 2.81 m





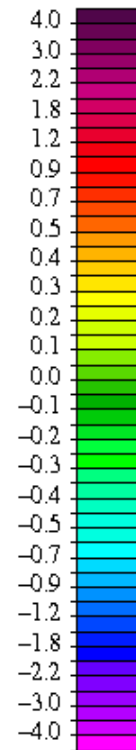
Aktueller Wert
Borkum: 2.92 m
Cuxhaven: 5.15 m
Husum: 4.50 m



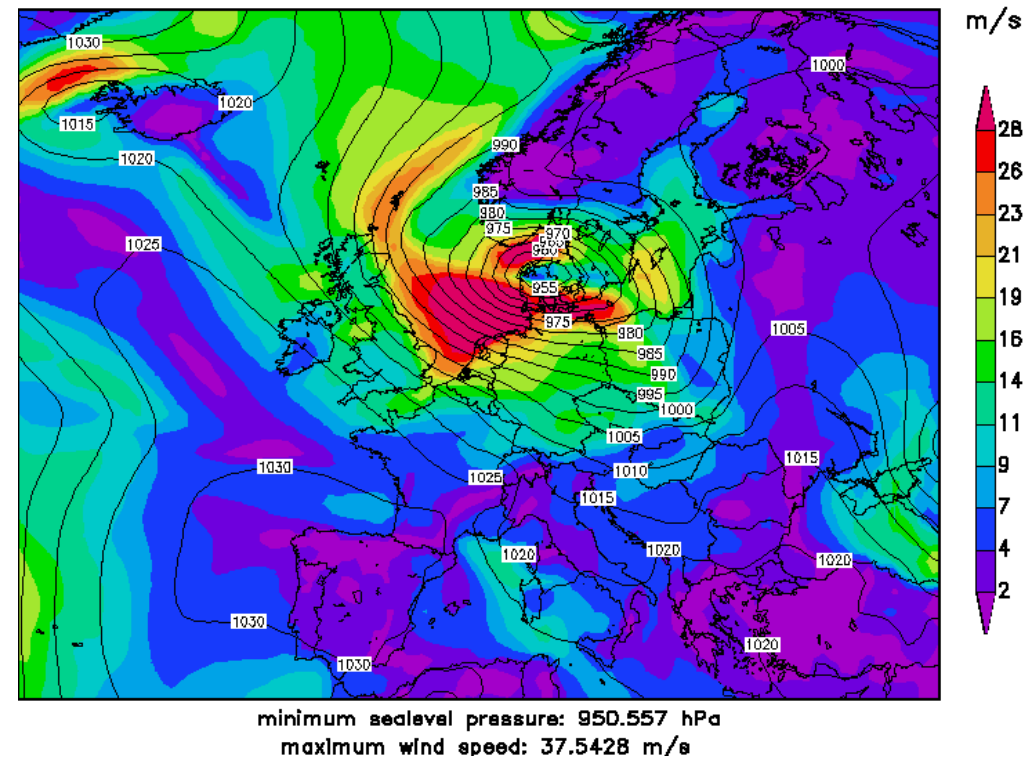


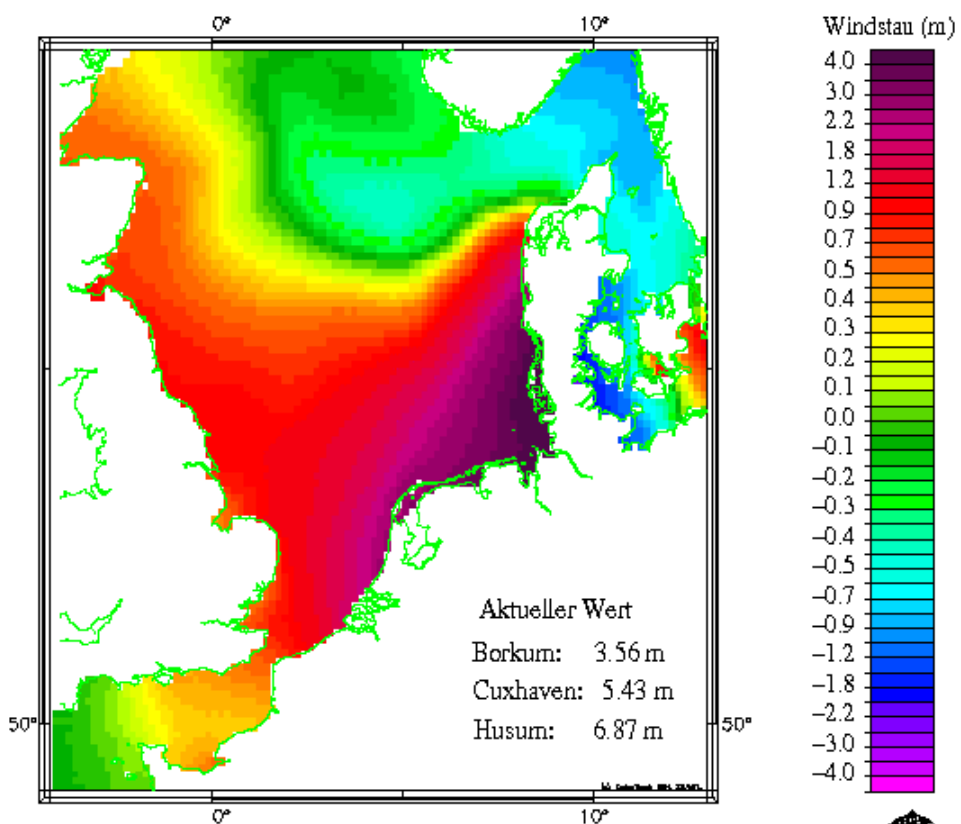
Windstau am 3. 1.1976 10:00 Uhr (UTC)

Windstau (m)



IFS, Member Nr. 9 – 03.01.1976, 10:00 UTC

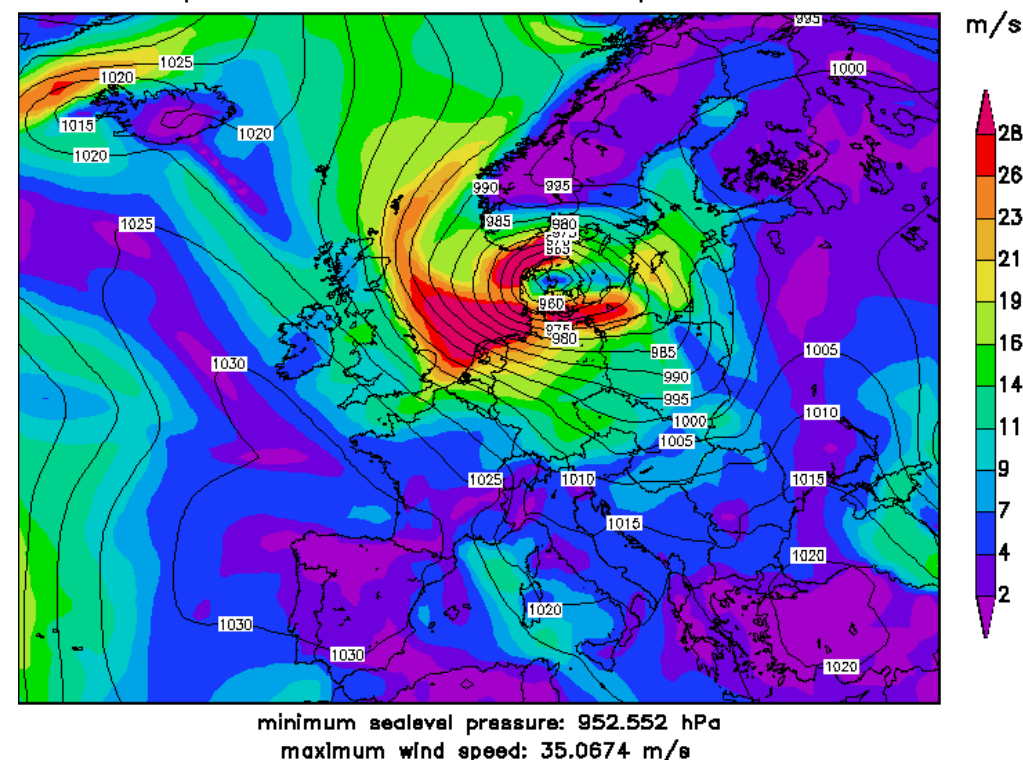


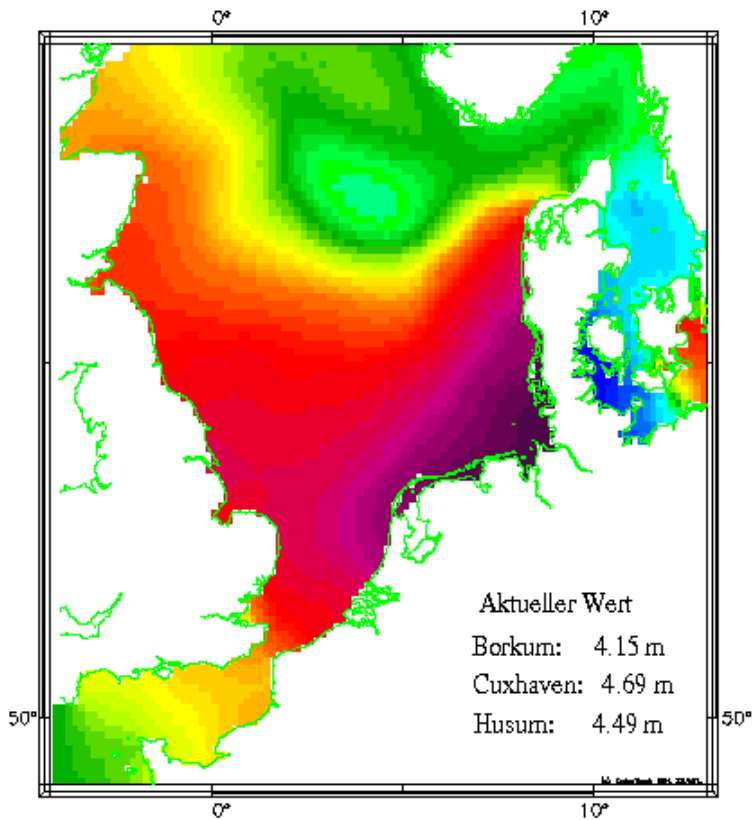


Windstau am 3. 1.1976 12:00 Uhr (UTC)



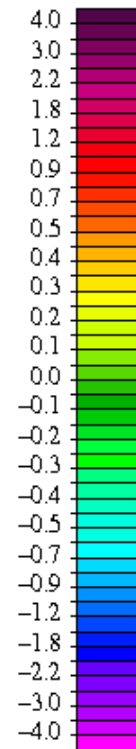
IFS, Member Nr. 9 – 03.01.1976, 12:00 UTC



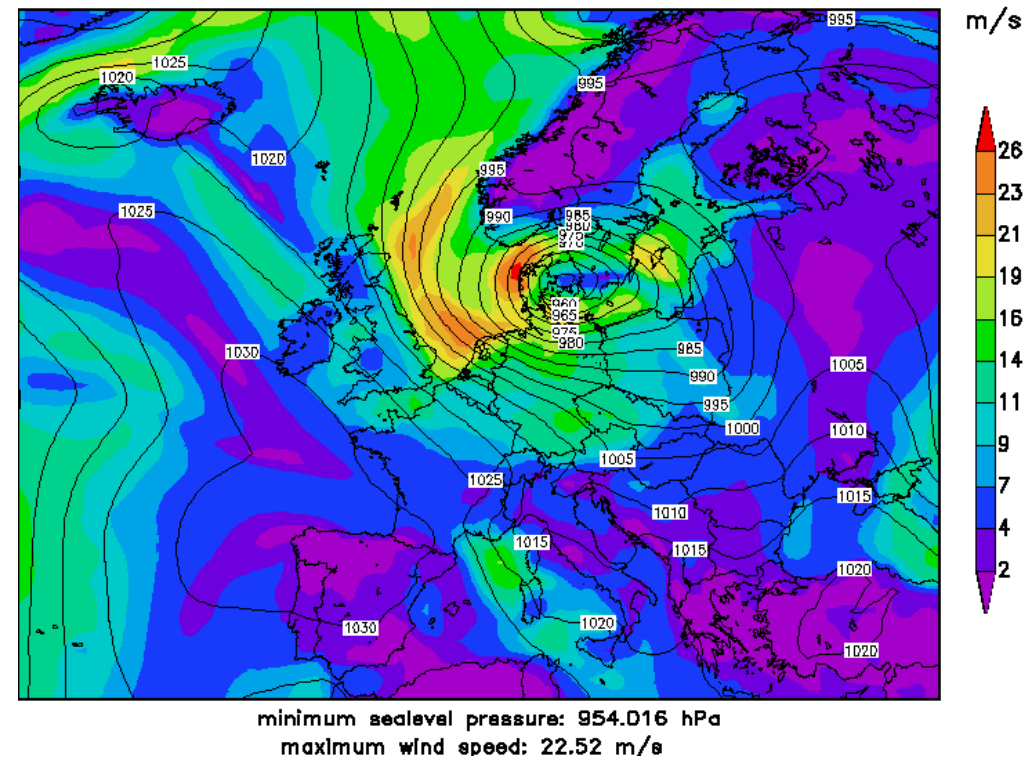


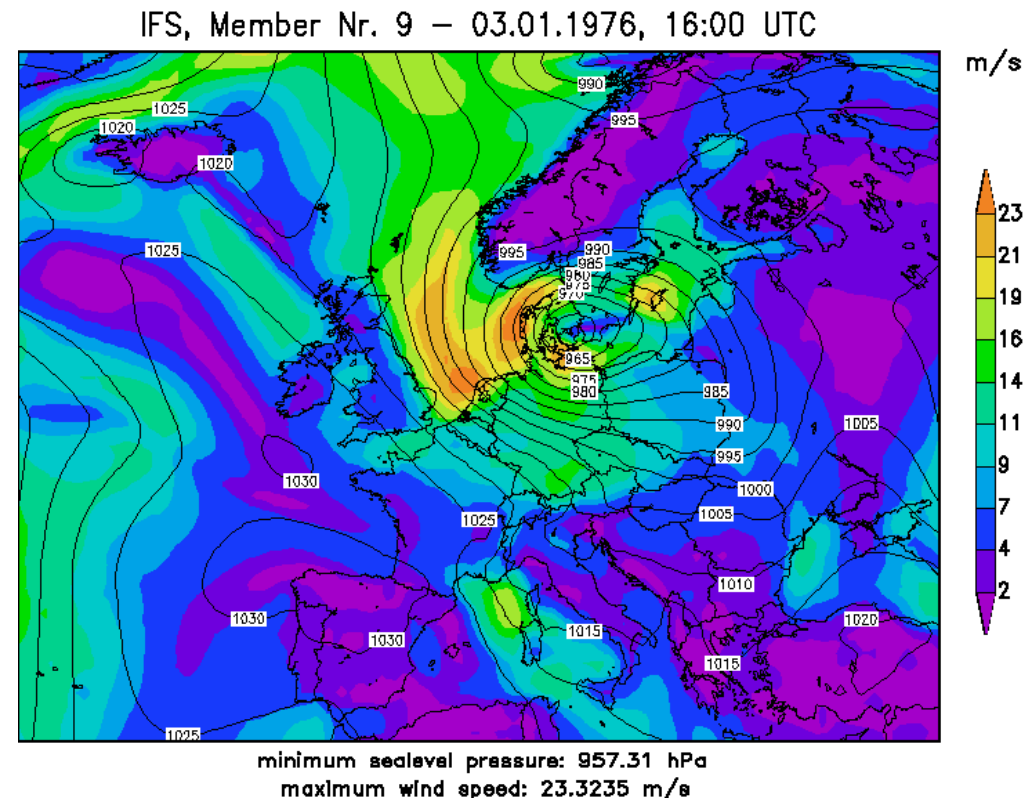
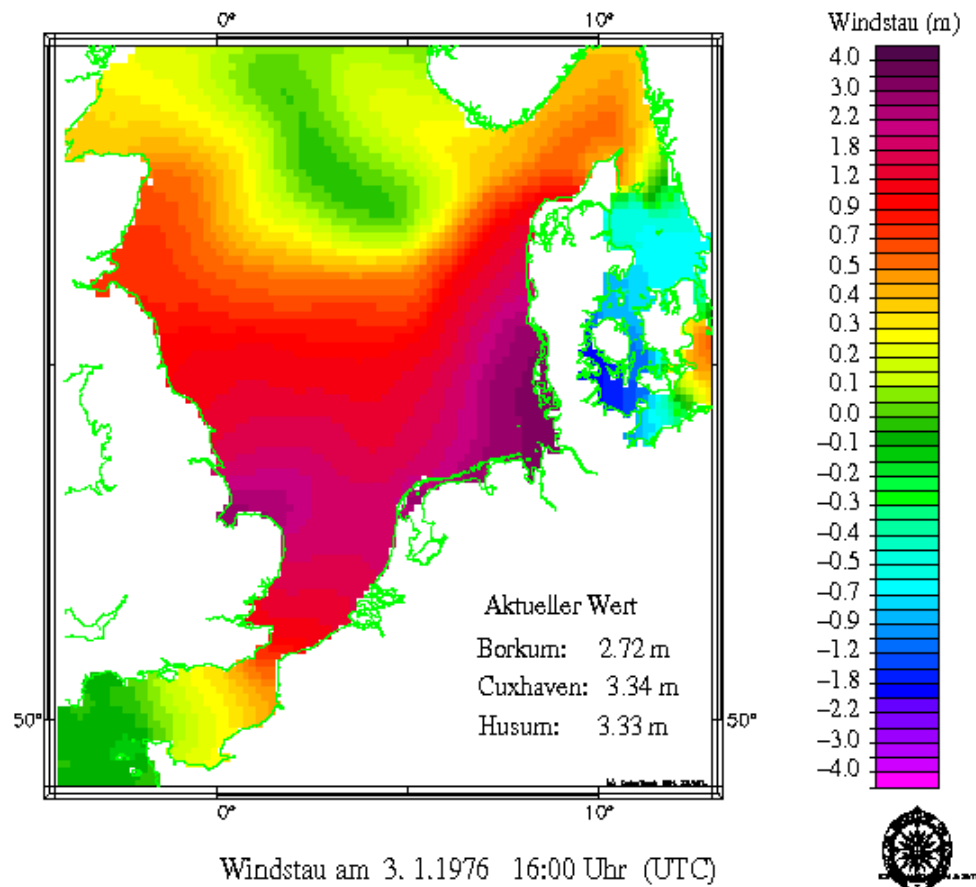
Windstau am 3. 1.1976 14:00 Uhr (UTC)

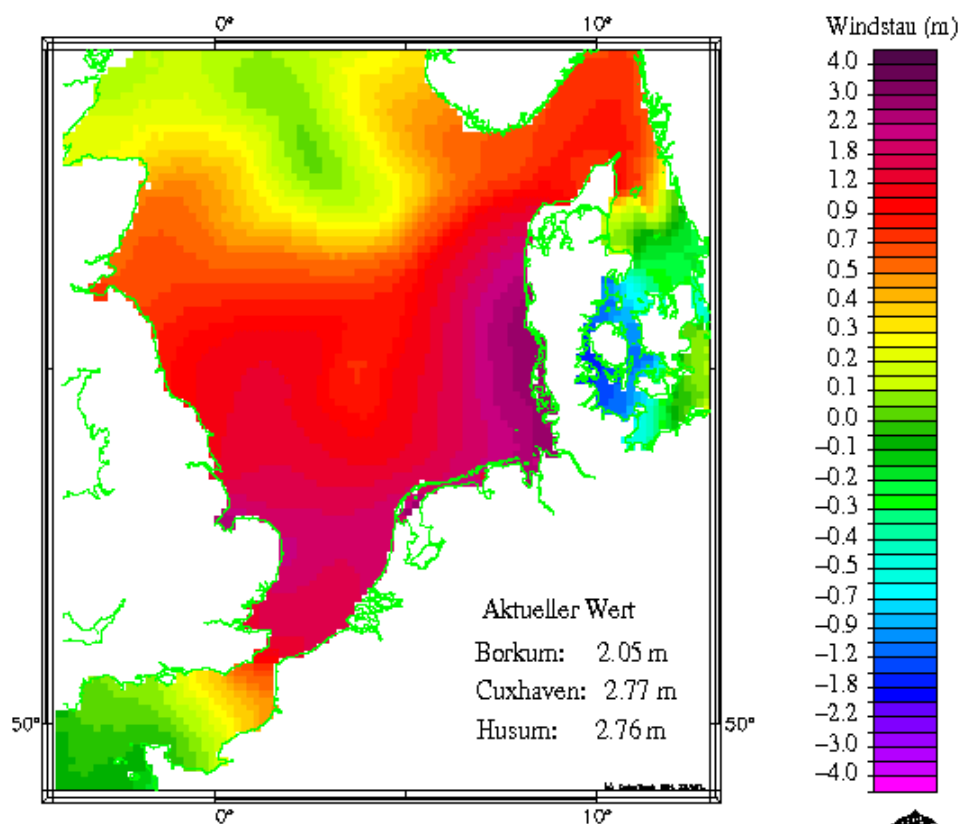
Windstau (m)



IFS, Member Nr. 9 – 03.01.1976, 14:00 UTC



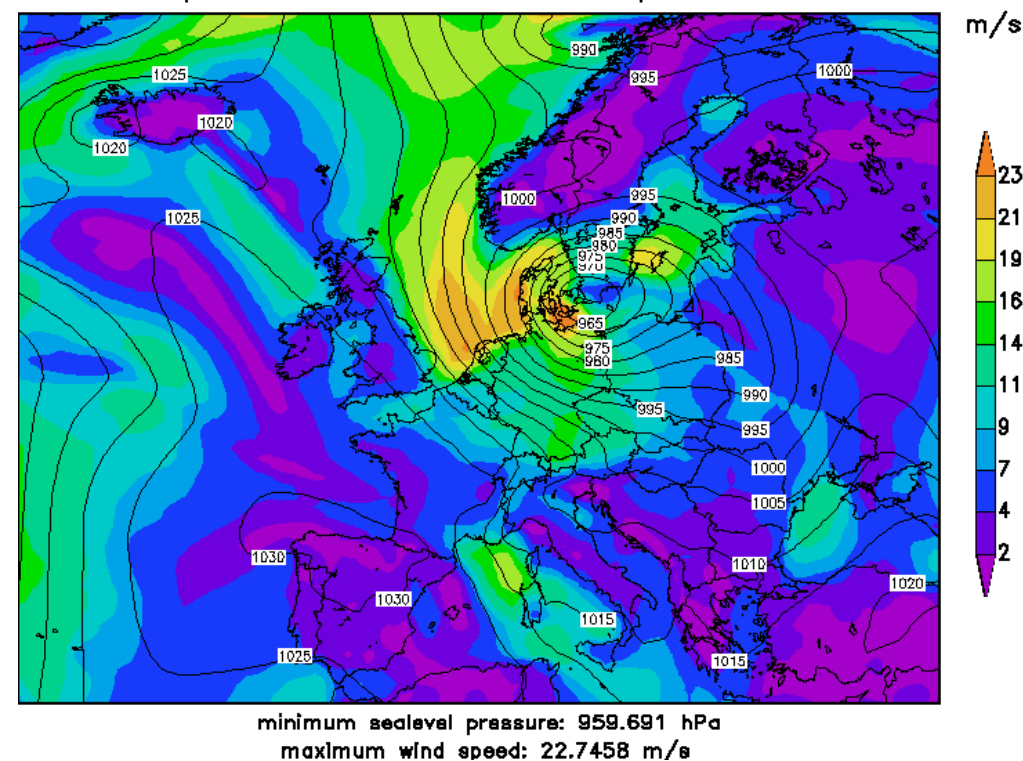


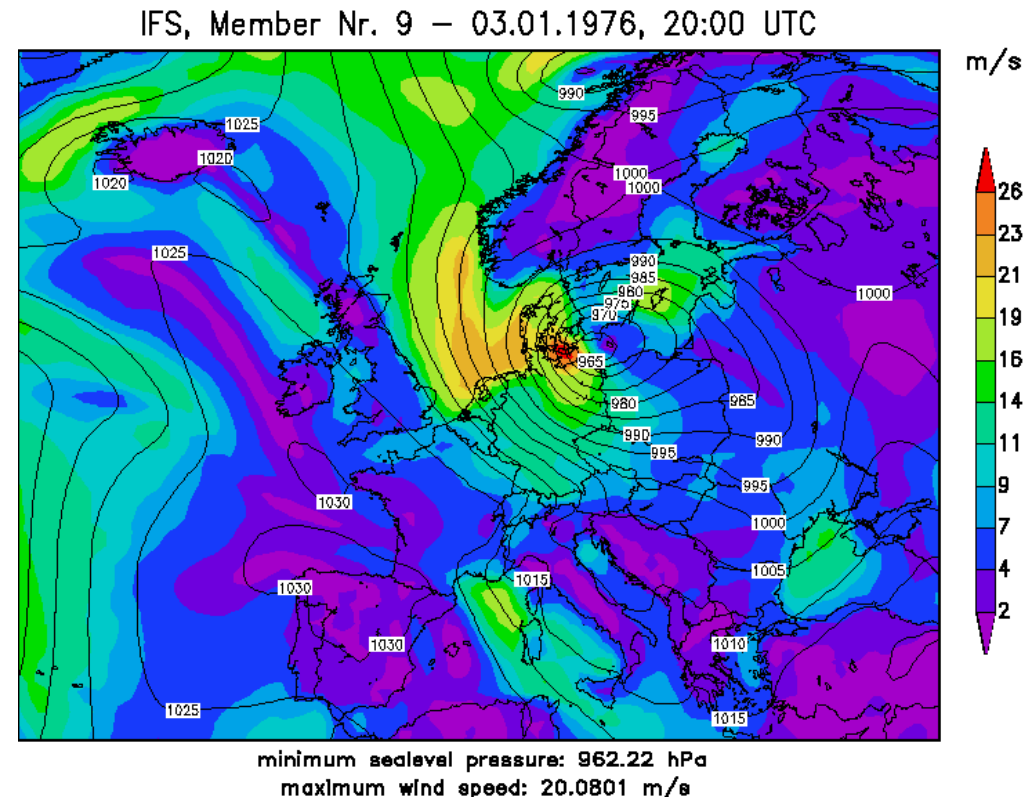
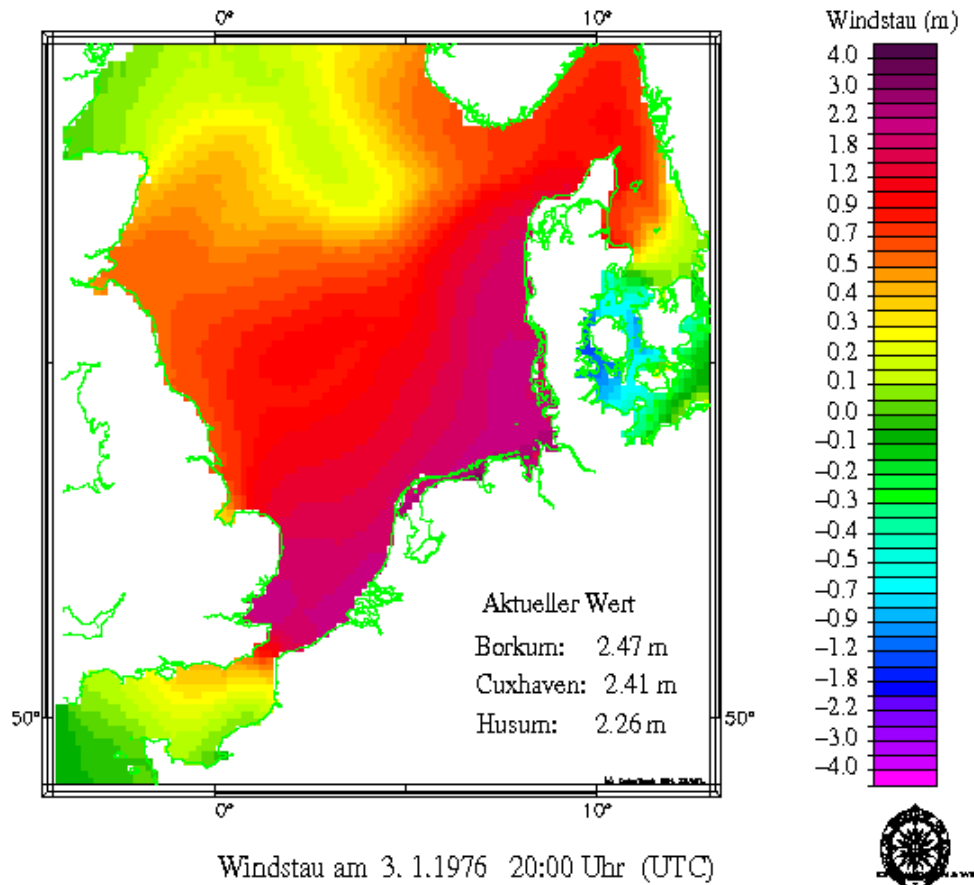


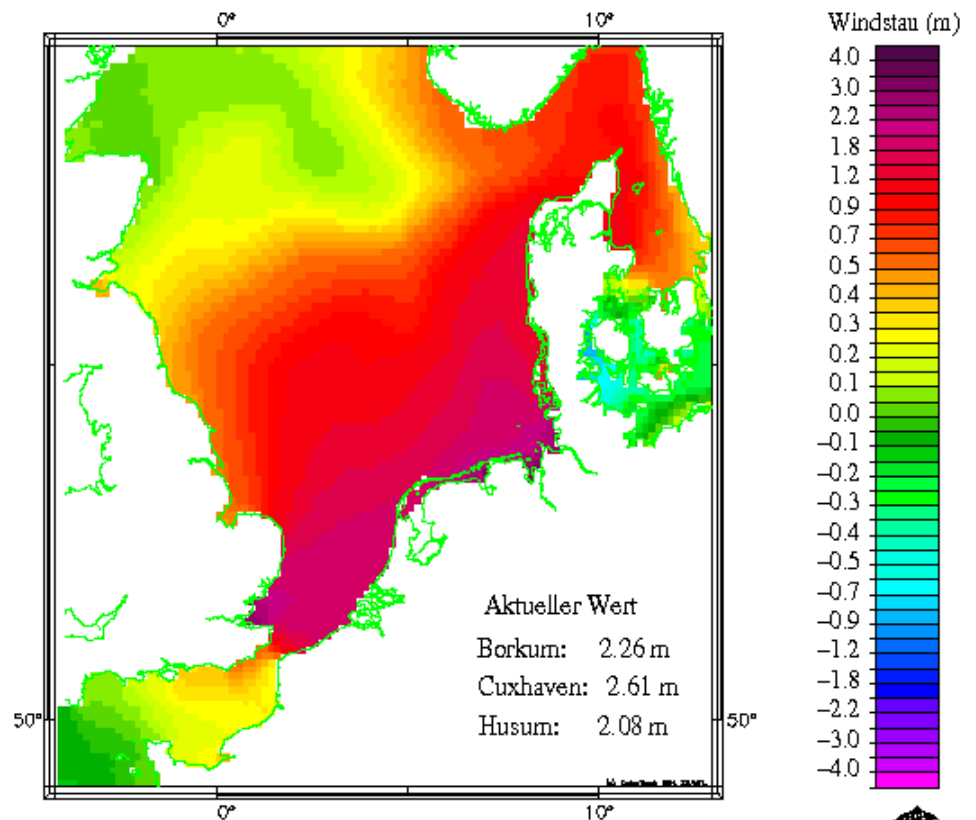
Windstau am 3. 1.1976 18:00 Uhr (UTC)



IFS, Member Nr. 9 – 03.01.1976, 18:00 UTC



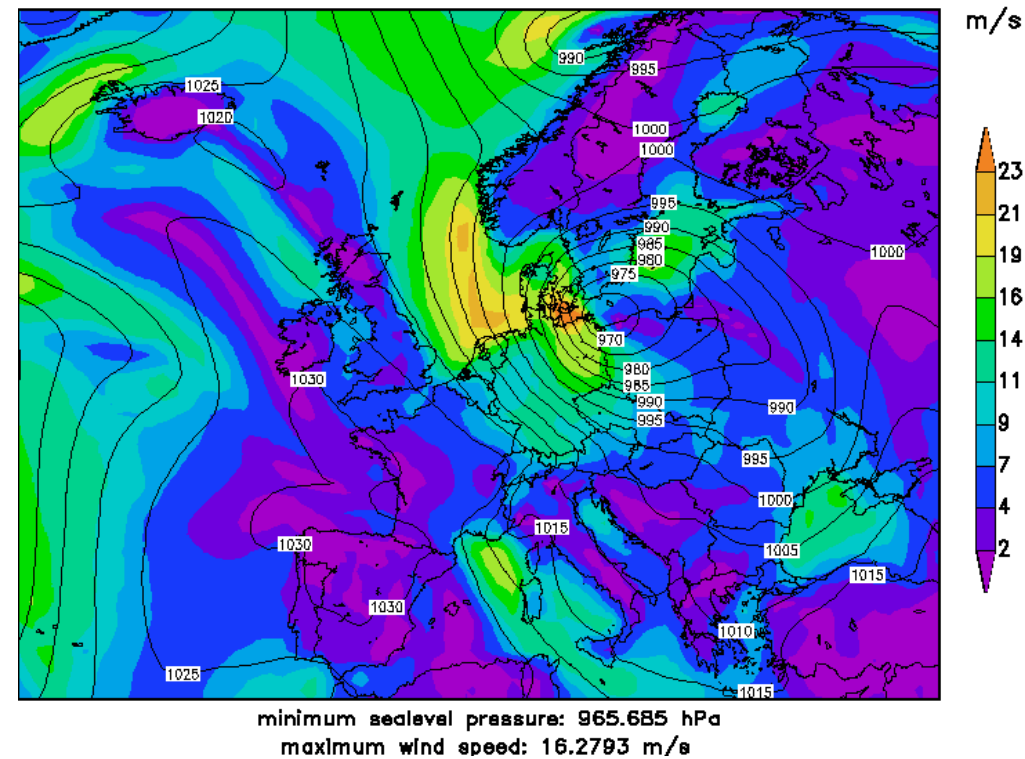


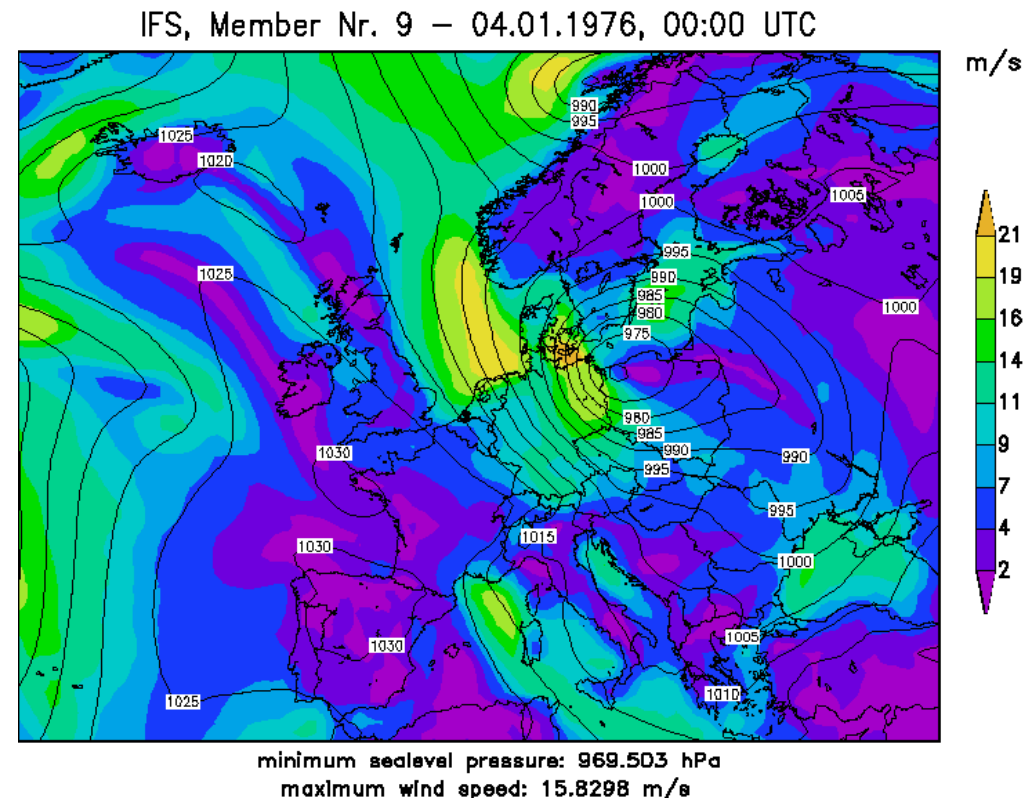
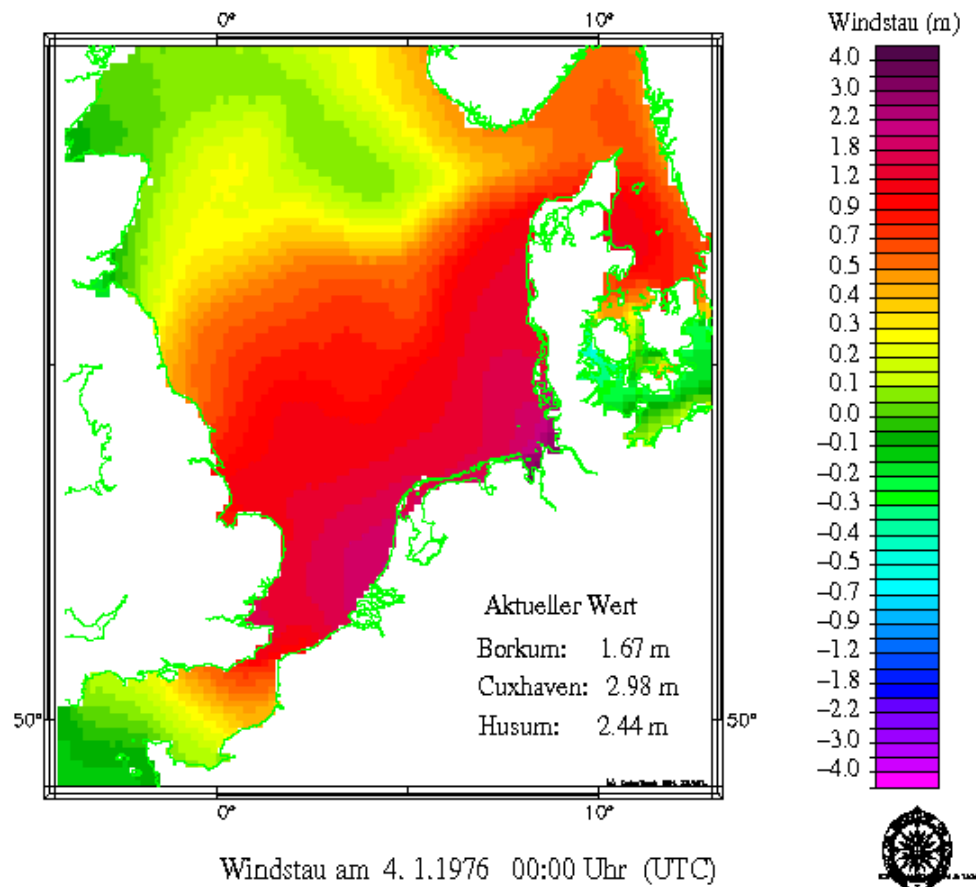


Windstau am 3. 1.1976 22:00 Uhr (UTC)



IFS, Member Nr. 9 – 03.01.1976, 22:00 UTC





Beispiel Sturmflut 3./4. Januar 1976

Windstau Cuxhaven

Staumodell EPS 09

Maximaler Windstau	6.05 m
Stau bezogen auf HW	5.07 m
MThw - HW	5.29 m

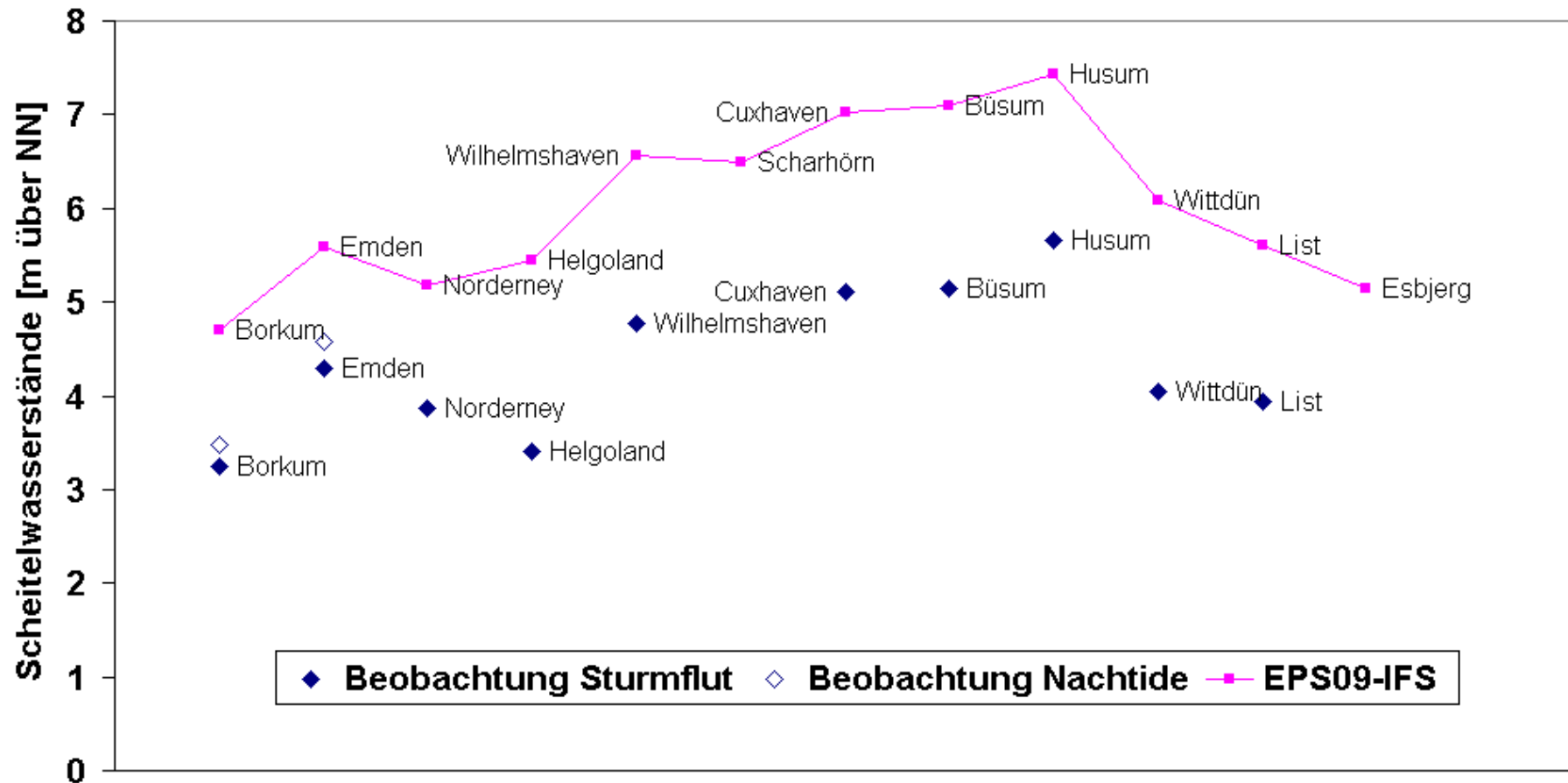
Küstenmodell EPS 09

Maximaler Windstau	5.51 m
Stau bezogen auf HW	5.48 m
MThw - HW	5.59 m

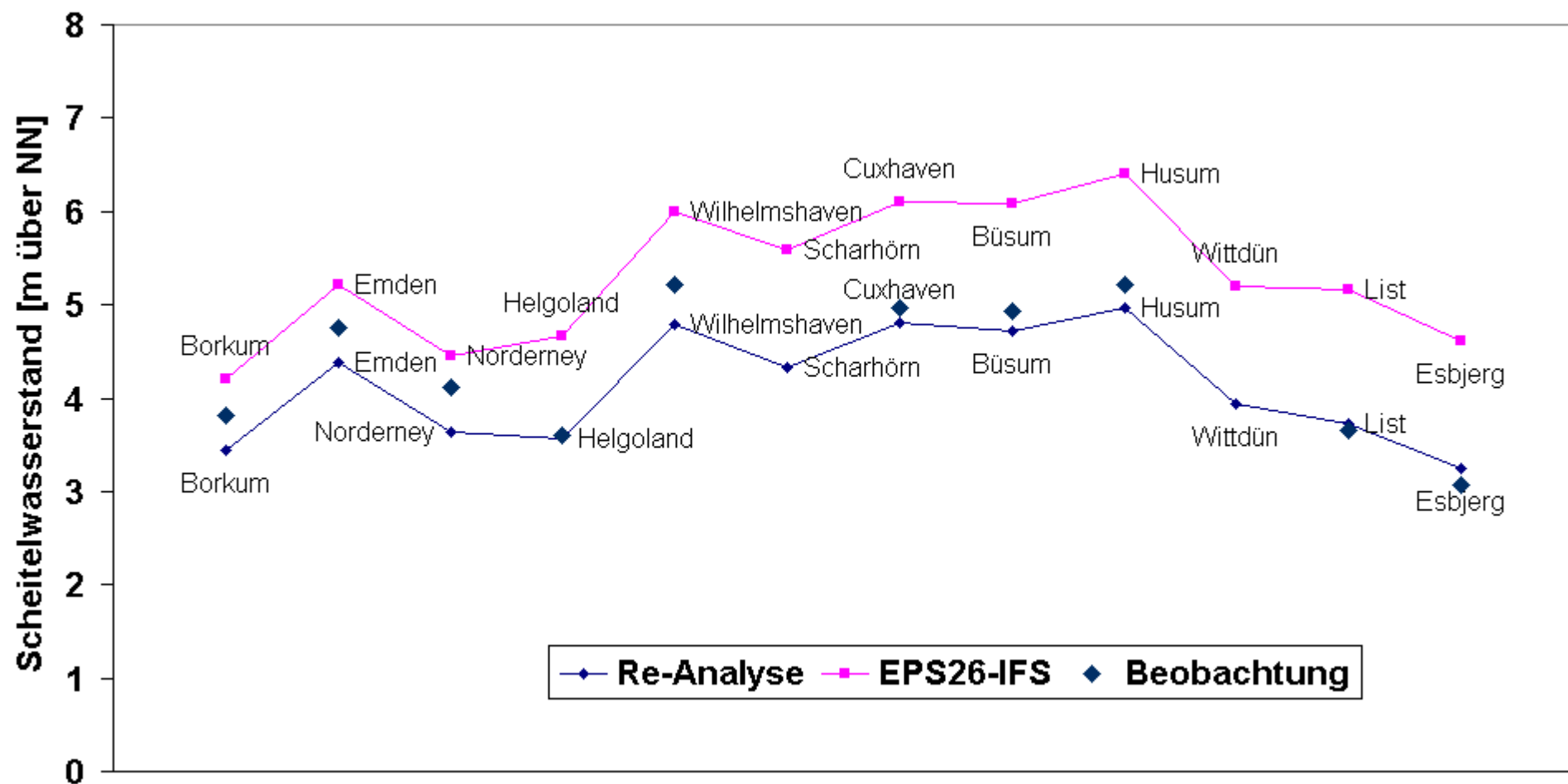
Beobachtung

Maximaler Windstau	4.17 m
Stau bezogen auf HW	3.55 m
MThw - HW	3.66 m

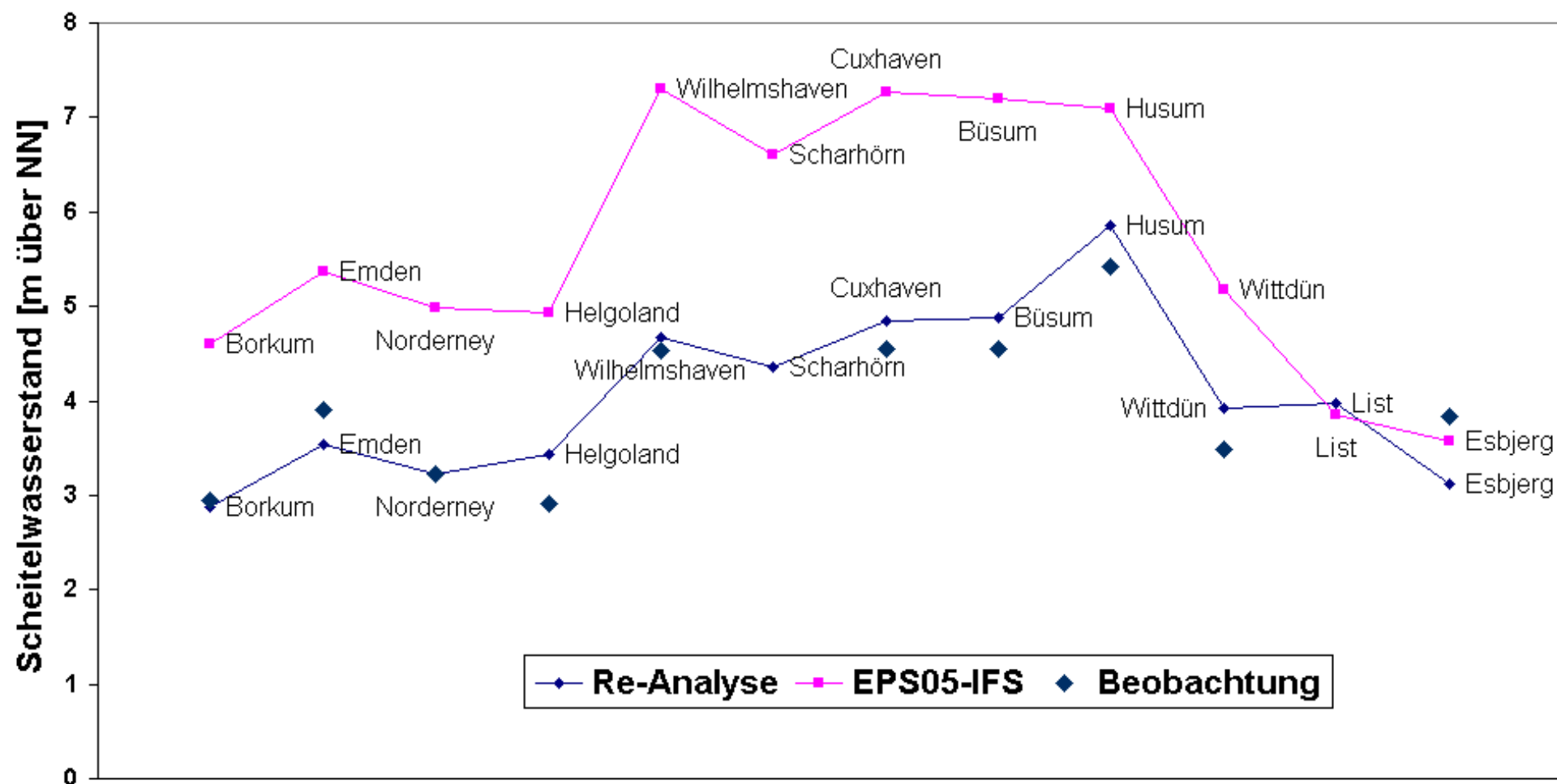
Regionalisierung - Scheitelwasserstände 1976



Regionalisierung - Scheitelwasserstände 1962



Regionalisierung - Scheitelwasserstände 1999



Zusammenfassung

Maximale Scheitelwasserstände (1962, 1976, 1999)

	Beobachtung [m über NN]	EPS [m über NN]	Differenz [m]
Borkum	3.82 1962	4.70 1976	0.98
Emden	4.76 1962	5.58 1976	0.82
Norderney	4.12 1962	5.18 1976	1.06
Helgoland	3.60 1962	5.44 1976	1.84
Wilhelmshaven	5.22 1962	7.31 1999	2.09
Cuxhaven	5.10 1976	7.27 1999	2.17
Büsum	5.15 1976	7.19 1999	2.04
Husum	5.66 1976	7.44 1976	1.78

Zusammenfassung

- Das Ensemble Prediction System wurde in zeitlicher Nähe tatsächlich eingetretener Sturmflutwetterlagen eingesetzt.
- Von 4500 Anfangsbedingungen führten nur 32 zu extremen Wetterlagen und nur 12 davon zu extremen Sturmfluten.
- An der Küste zwischen Wilhelmshaven und Husum wurden extreme Wasserstände um 7 m über NN simuliert.
- Damit werden bisher beobachtete Wasserstände lokal um etwa 2 m überschritten.
- Dieses Ergebnis wird erst durch statistische Interpretation wirklich aussagekräftig.

Ende



BUNDESAMT FÜR
SEESCHIFFFAHRT
UND
HYDROGRAPHIE

Vorgehen Simulationen

Extreme Wetterlagen

Ensemble Prediction System des ECMWF
4500 Simulationen

Integrated Forcast System des ECMWF
32 Simulationen

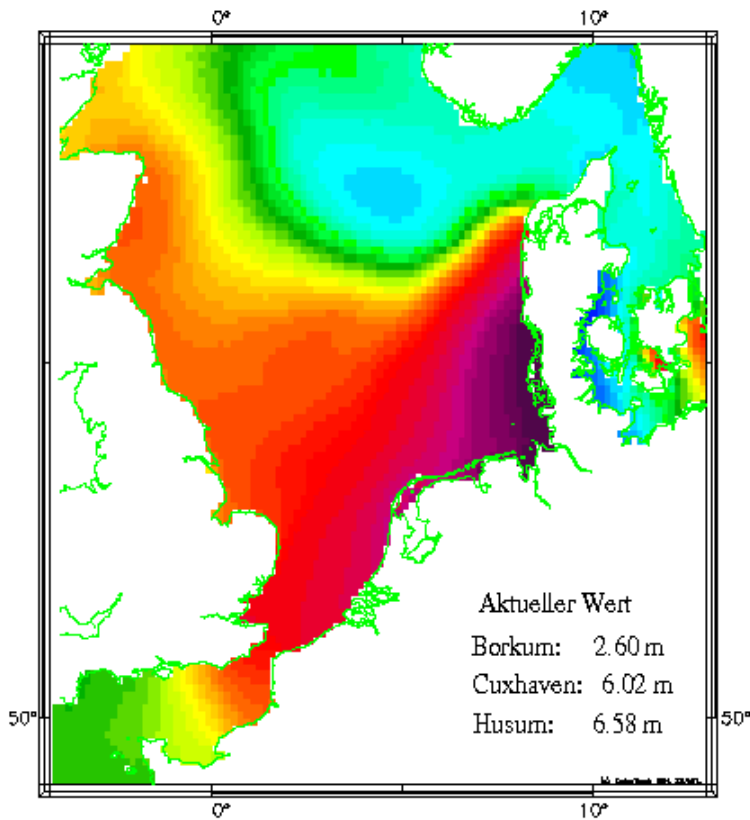
Lokales Modell des DWD
32 Simulationen

Staumodell des BSH
32+27 Simulationen

Extreme Sturmfluten

Zirkulationsmodell des BSH
10+2 Simulationen

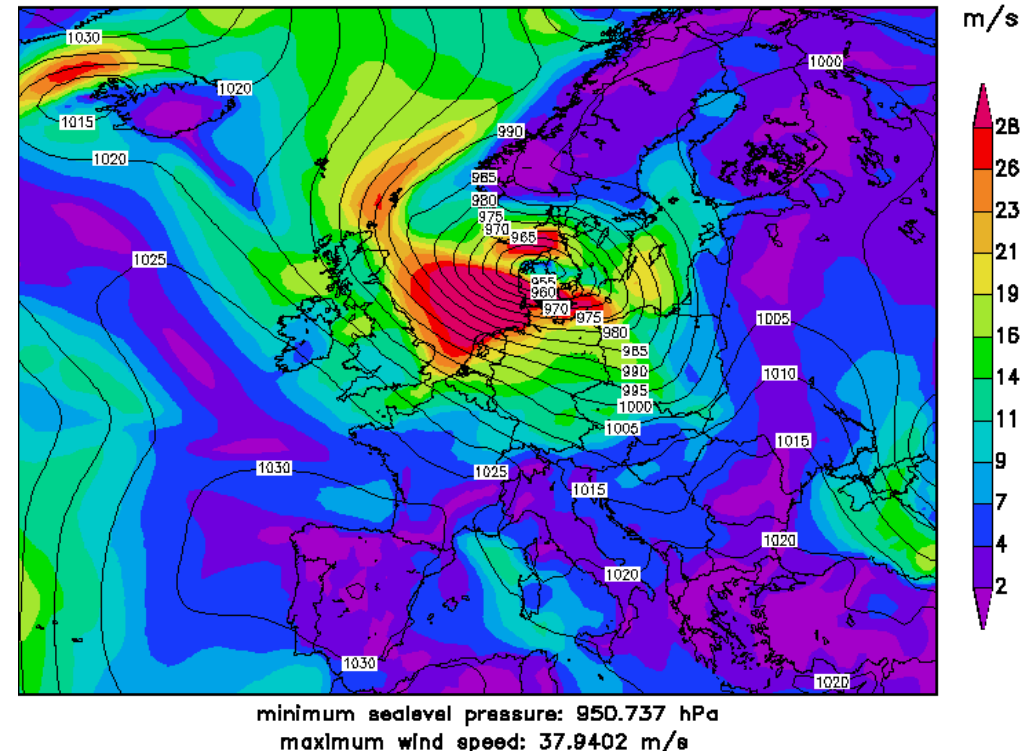
Beispiel Sturmflut 3./4. 1976 - Windstau und Wind Maximum und Animation



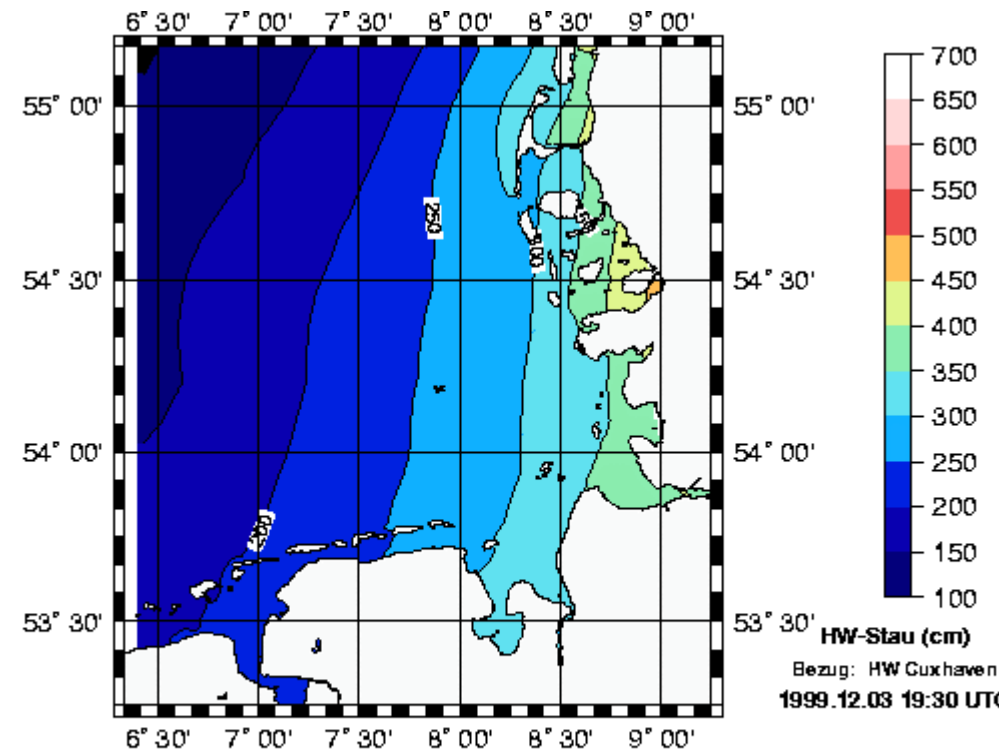
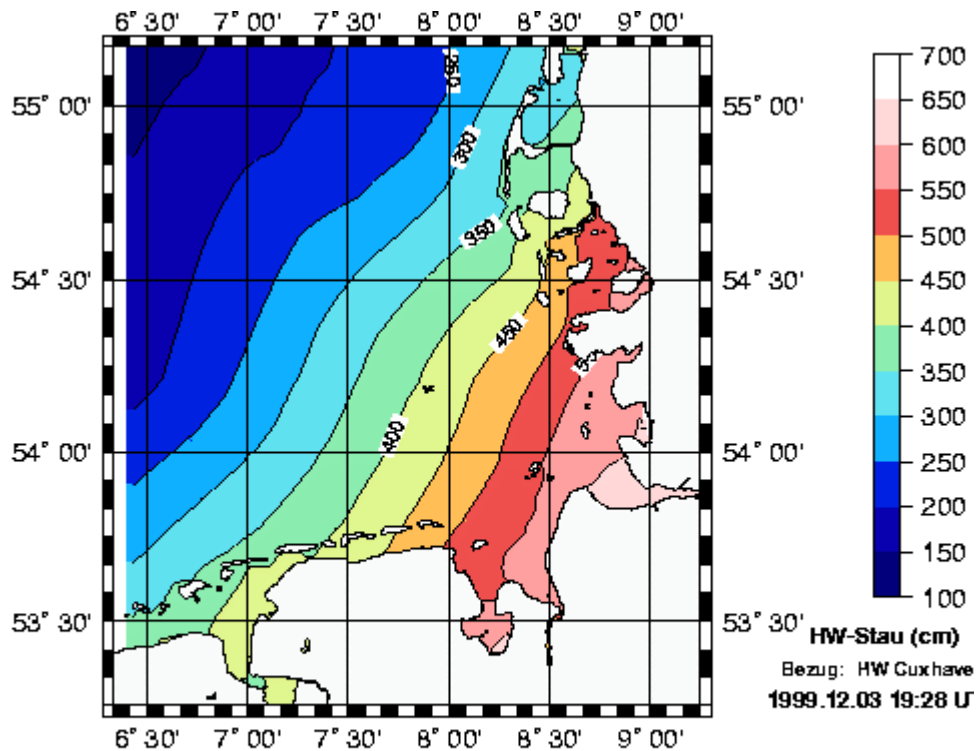
Windstau am 3. 1. 1976 10:00 Uhr (UTC)



IFS, Member Nr. 9 – 03.01.1976, 09:00 UTC



Regionalisierung - Windstau bei HW 1999 EPS 05



Windstau bezogen auf HW und NW (alle)

	1962	1967	1976	1990	1994	1999
Borkum	3.32 3.80	2.11 2.29	3.64 3.51	2.57 4.09	2.93 2.99	3.67 2.64
Cuxhaven	4.53 4.65	3.72 2.87	5.07 4.91	4.72 4.52	4.51 3.78	5.89 2.60
Husum	5.18 4.65	4.16 2.74	5.84 5.21	4.78 3.99	4.96 3.97	4.89 2.78

Starttermine (alle)

Sturmflutmaximum	Startzeitraum	Startintervall	Member insges.
16.02.1962, 22:40	11.02.1962, 12:00 - 15.02.1962, 12:00	12 h	9 × 50
03.01.1976, 14:20	30.12.1975, 12:00 - 03.01.1976, 00:00	12 h	8 × 50
03.12.1999, 20:18	29.11.1999, 00:00 - 03.12.1999, 18:00	6 h	20 × 50
23.02.1967, 23:20	20.02.1967, 00:00 - 23.02.1967, 18:00	6 h	16 × 50
28.01.1994, 13:08	24.01.1994, 18:00 - 28.01.1994, 12:00	6 h	16 × 50
27.02.1990, 01:42	23.02.1990, 00:00 - 28.02.1990, 00:00	6 h	21 × 50
27.02.1990, 14:17			
28.02.1990, 02:30			

Tabelle 1: Grundkonfiguration der EPS-Experimente

Gesamtzahl 4500

Maximaler Effektivwind

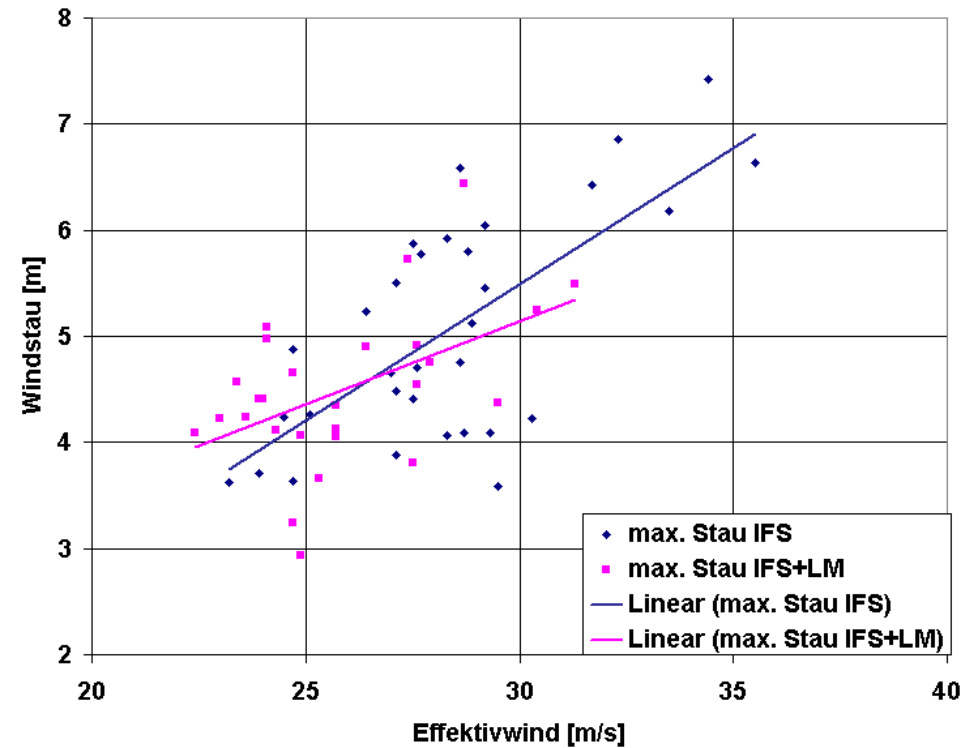
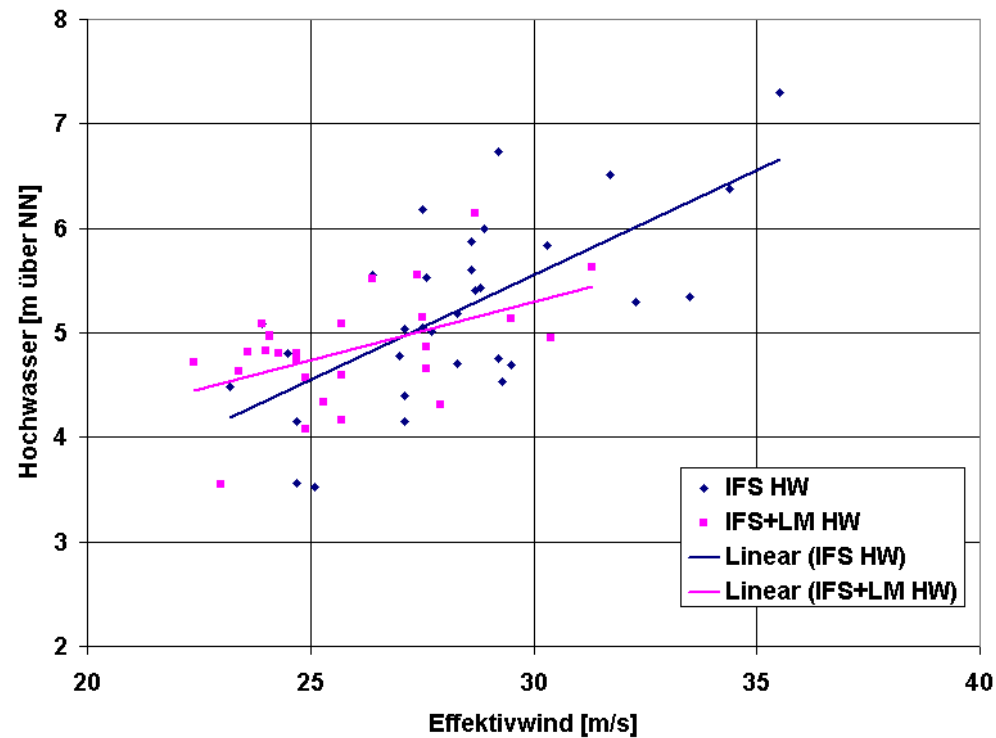
Sturmflut	max. Effektivwind - Beobachtung -	max. Effektivwind - Modellsimulation -	LM
16.02.1962	20,1 m/s	28,9 m/s	24.7
03.01.1976	21,6 m/s	32,3 m/s	29.5
03.12.1999	19,0 m/s	35,5 m/s	31.3
23.02.1967	19,8 m/s	28,8 m/s	23.0
28.01.1994	16,8 m/s	27,5 m/s	25.3
27.02.1990	18,0 m/s	34,4 m/s	27.9

4500 → 32 (+27)

Ergebnisse Staumod



BUNDESAMT FÜR
SEESCHIFFFAHRT
UND
HYDROGRAPHIE



Auswahl - Ozeanographie



BUNDESAMT FÜR
SEESCHIFFFAHRT
UND
HYDROGRAPHIE

	HW = 6 m	Windstau – HW = 4.50 m	Windstau – NW = 4.50 m
1962	IFS26	IFS26	
1962			IFS30
1967	-	-	-
1976	IFS61	IFS61	
1976	IFS09	IFS09	
1976	Lm45		Lm45
1976	IFS45		IFS45
1990	IFS30	IFS30	
1990			LM20
1990			IFS20
1994	IFS23	IFS23	
1999	IFS05	IFS05	
Gesamt	8	6	5

4500 → 32(+27) → 10(+2)

Jahr	Art	Meteorologie	Modell	Autor/Quelle	Maximaler Wasserstand
1825	Beobachtung (korr.)			Koopmann 1962	4.66
1962	Beobachtung			BSH	4.96
1967	Beobachtung			BSH	4.01
1976	Beobachtung			BSH	5.10
1990	Beobachtung			BSH	4.46
1994	Beobachtung			BSH	4.95
1995	Beobachtung			BSH	4.70
1999	Beobachtung			BSH	4.57
"1962"	Superposition			Koopmann 1962	(7.80)
"1962"	Modell	konstruiert		Hewer 1980	7.50
"1976"	Modell	konstruiert		Hewer 1980	6.80
1962	Modell - Hindcast	GME/LM	Staumod		4.76
1962	Modell - Hindcast	GME/LM	BSHcmod		4.81
1999	Modell - Hindcast	GME/LM	Staumod		4.67
1999	Modell - Hindcast	GME/LM	BSHcmod		4.85
1962	Modell	IFS – EPS26	BSHcmod		6.10
1962	Modell	IFS – EPS26	Staumod		5.99
1967	Modell	IFS – EPS39	Staumod		5.43
1976	Modell	IFS – EPS09	Staumod		6.73
1990	Modell	IFS – EPS30	Staumod		6.38
1994	Modell	IFS – EPS23	Staumod		6.18
1999	Modell	IFS – EPS05	BSHcmod		7.27
1999	Modell	IFS – EPS05	Staumod		7.30



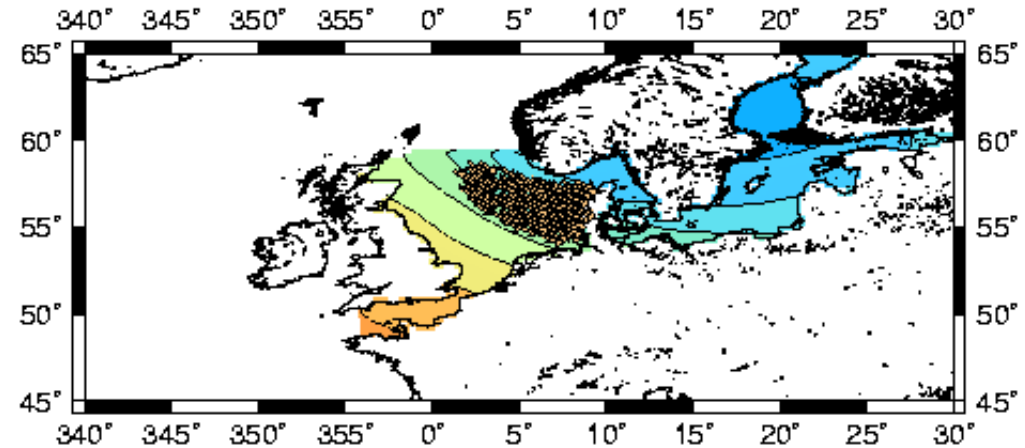
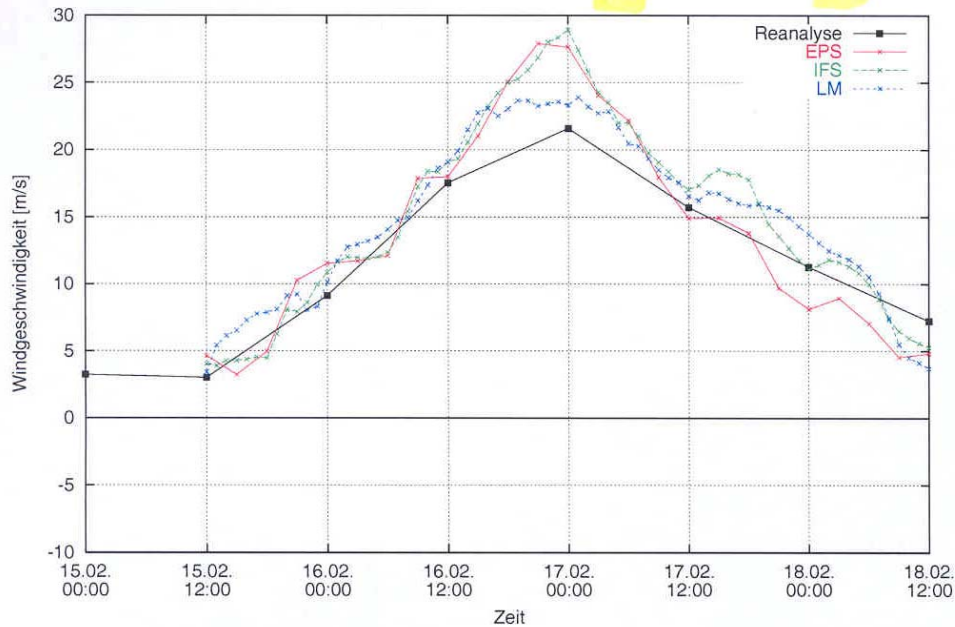
BUNDESAMT FÜR
SEESCHIFFFAHRT
UND
HYDROGRAPHIE

Beispiel 1: Meteorologie 1962 - EPS26



BUNDESAMT FÜR
SEESCHIFFFAHRT
UND
HYDROGRAPHIE

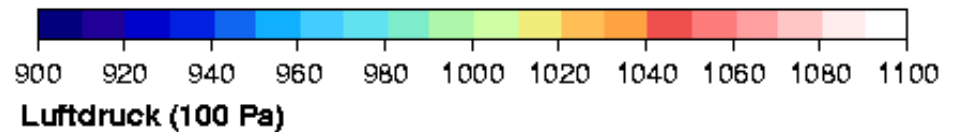
Effektivwind von Reanalyse, EPS, IFS und LM, 15.2.1962, 12:00, member no. 26



Intpol IFS26 Wind 1962 16.2. 20Uhr UTC,

Windbetrag groesser gleich 30 m/s, Maximum 35.60 m/s

Jeder 10. Wasserpunkt



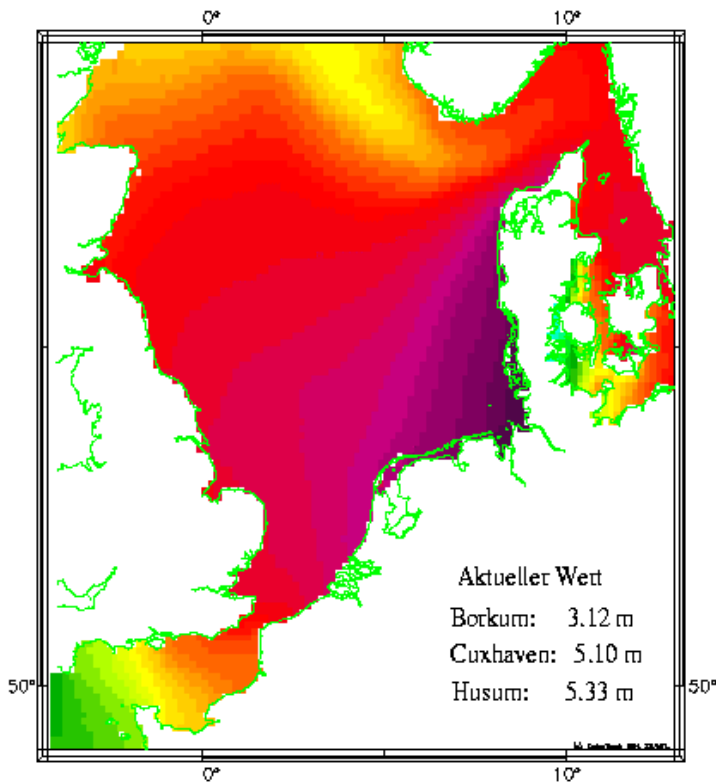
Beispiel 1: 1962 EPS26 Cuxhaven



BUNDESAMT FÜR
SEESCHIFFFAHRT
UND
HYDROGRAPHIE

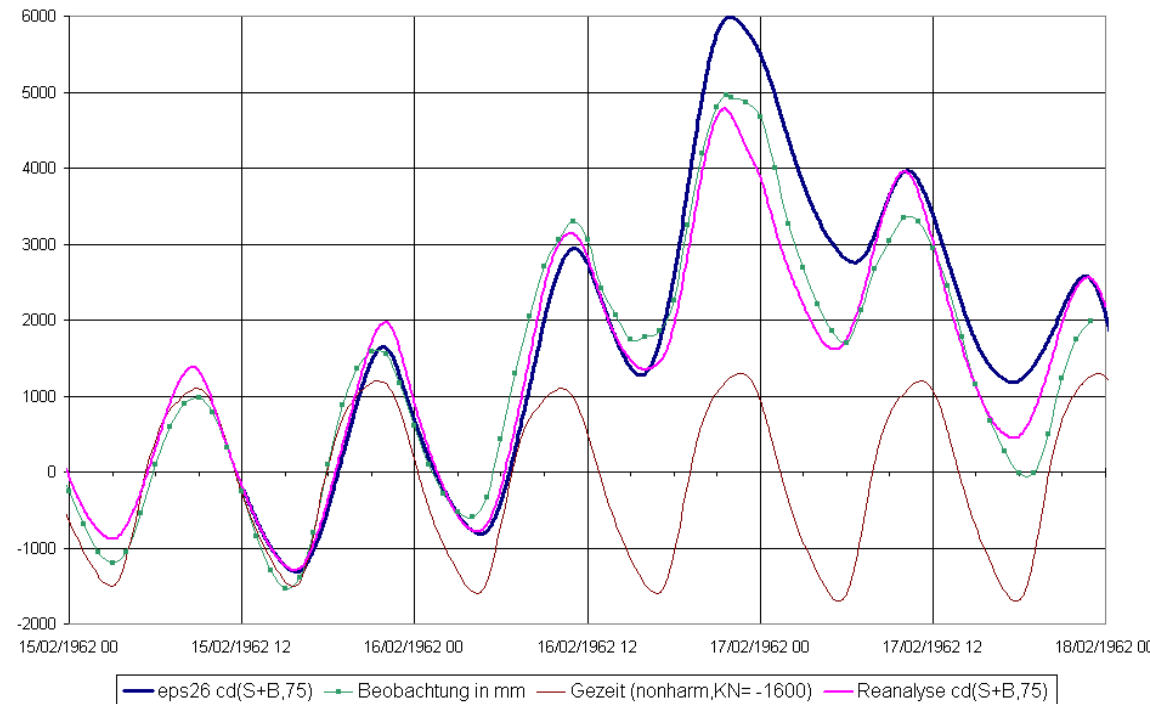
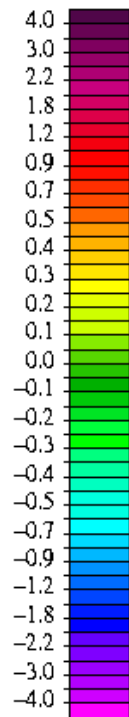
Windstau

Wasserstand



Windstau am 16. 2.1962 21:00 Uhr (UTC)

Windstau (m)

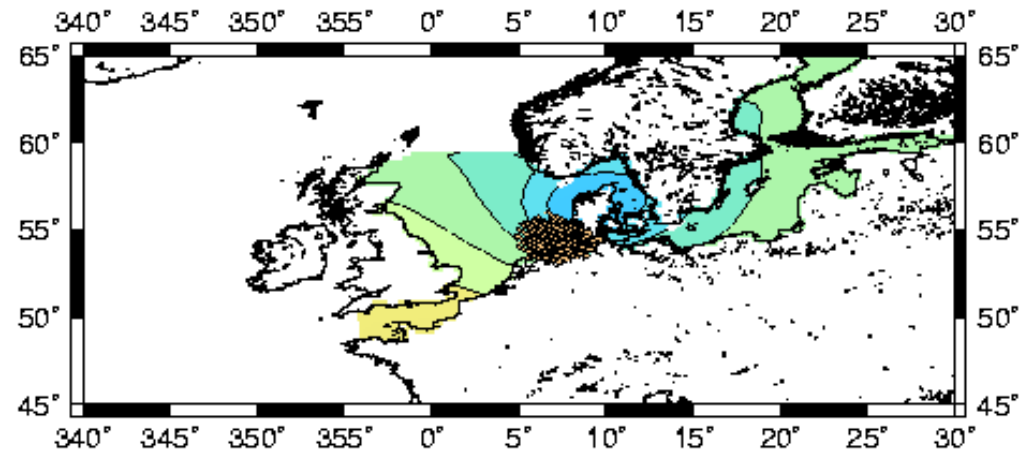
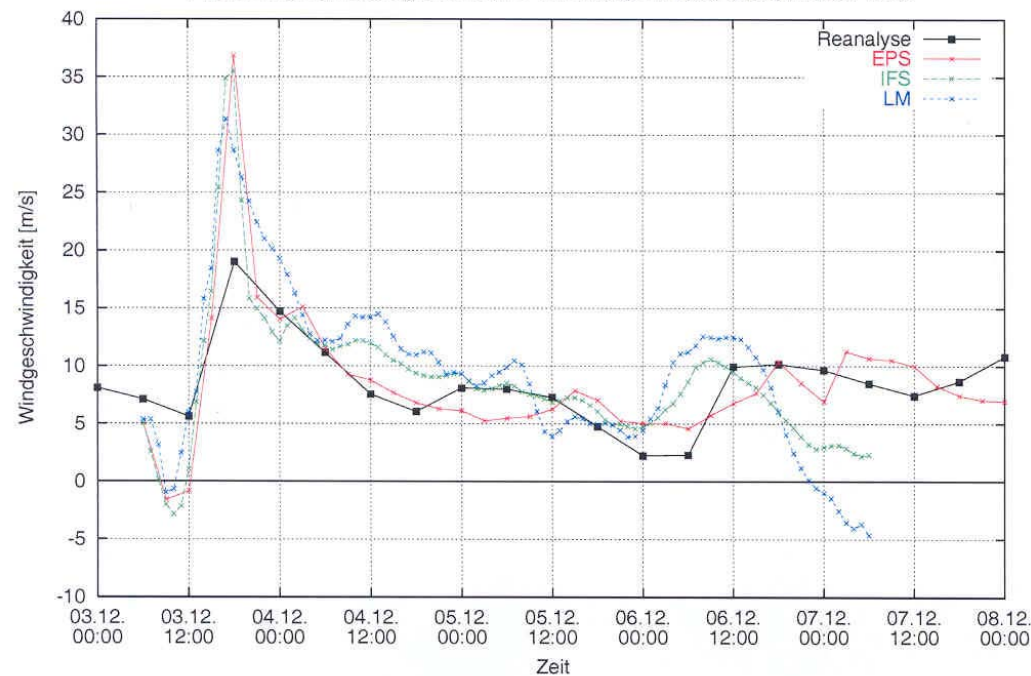


Beispiel 2: Meteorologie 1999 - EPS05



BUNDESAMT FÜR
SEESCHIFFFAHRT
UND
HYDROGRAPHIE

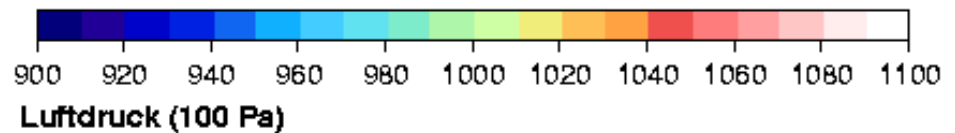
Effektivwind von Reanalyse, EPS, IFS und LM; 03.12.1999, 06:00, member no. 5



Intpol-Ifs eps05 Wind 1999 3.12 17 Uhr UTC,

Windbetrag groesser gleich 30 m/s, Maximum 41.68 m/s

Jeder 10. Wasserpunkt



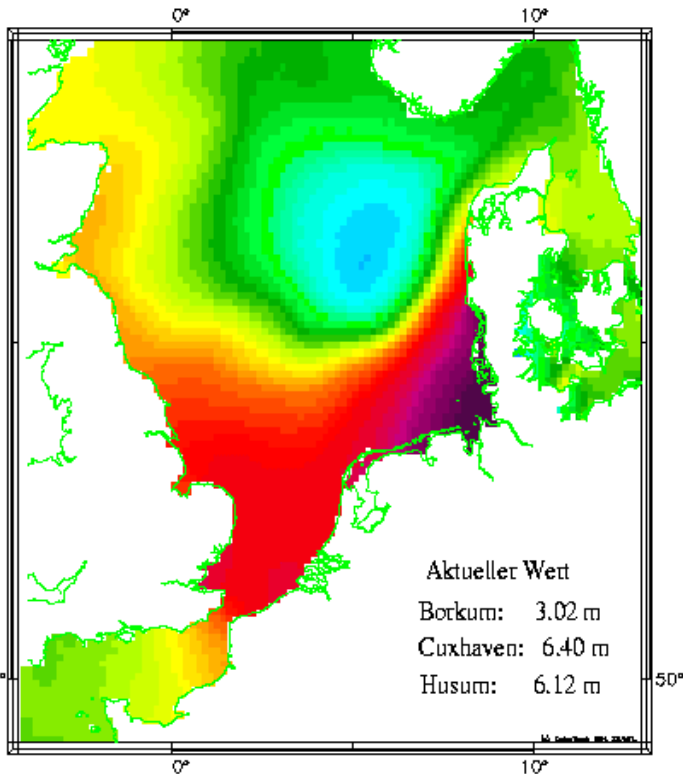
Beispiel 2: 1999 EPS05 Cuxhaven



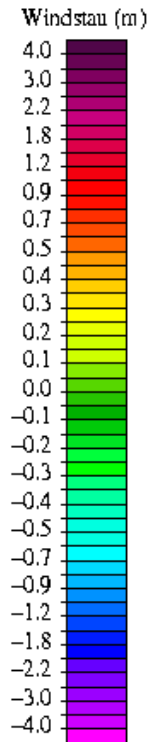
BUNDESAMT FÜR
SEESCHIFFFAHRT
UND
HYDROGRAPHIE

Windstau

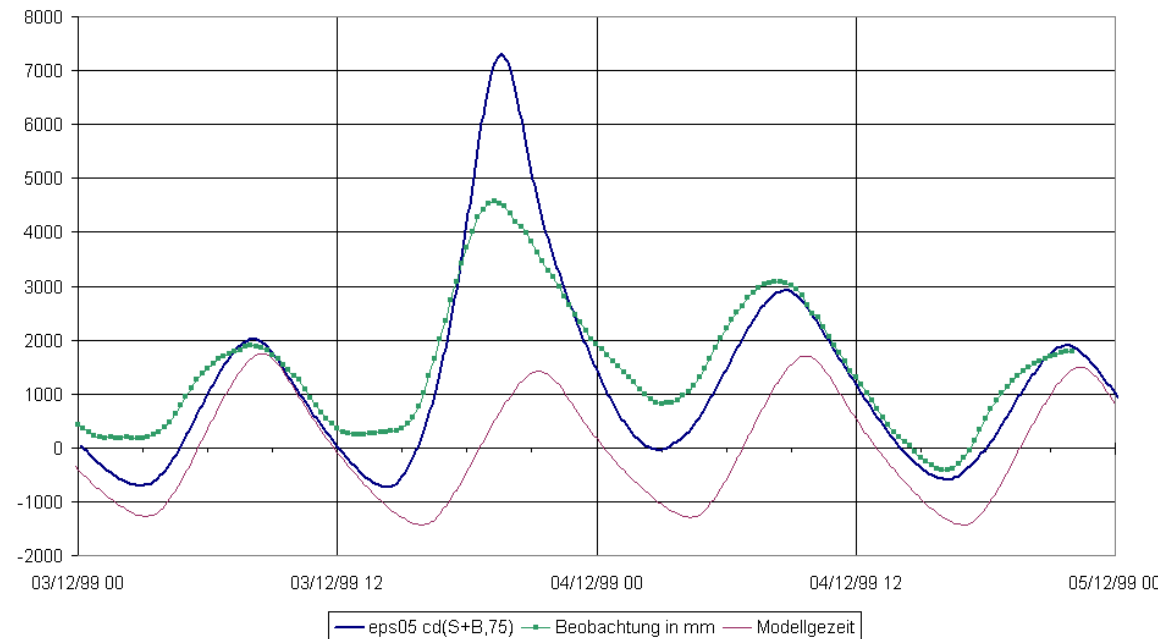
Wasserstand



Windstau am 3.12.1999 19:00 Uhr (UTC)



1999 nur ifs: Beginn 3.12. 0 Uhr, Start von Reanalyse und ab 6 Uhr Eps Winde

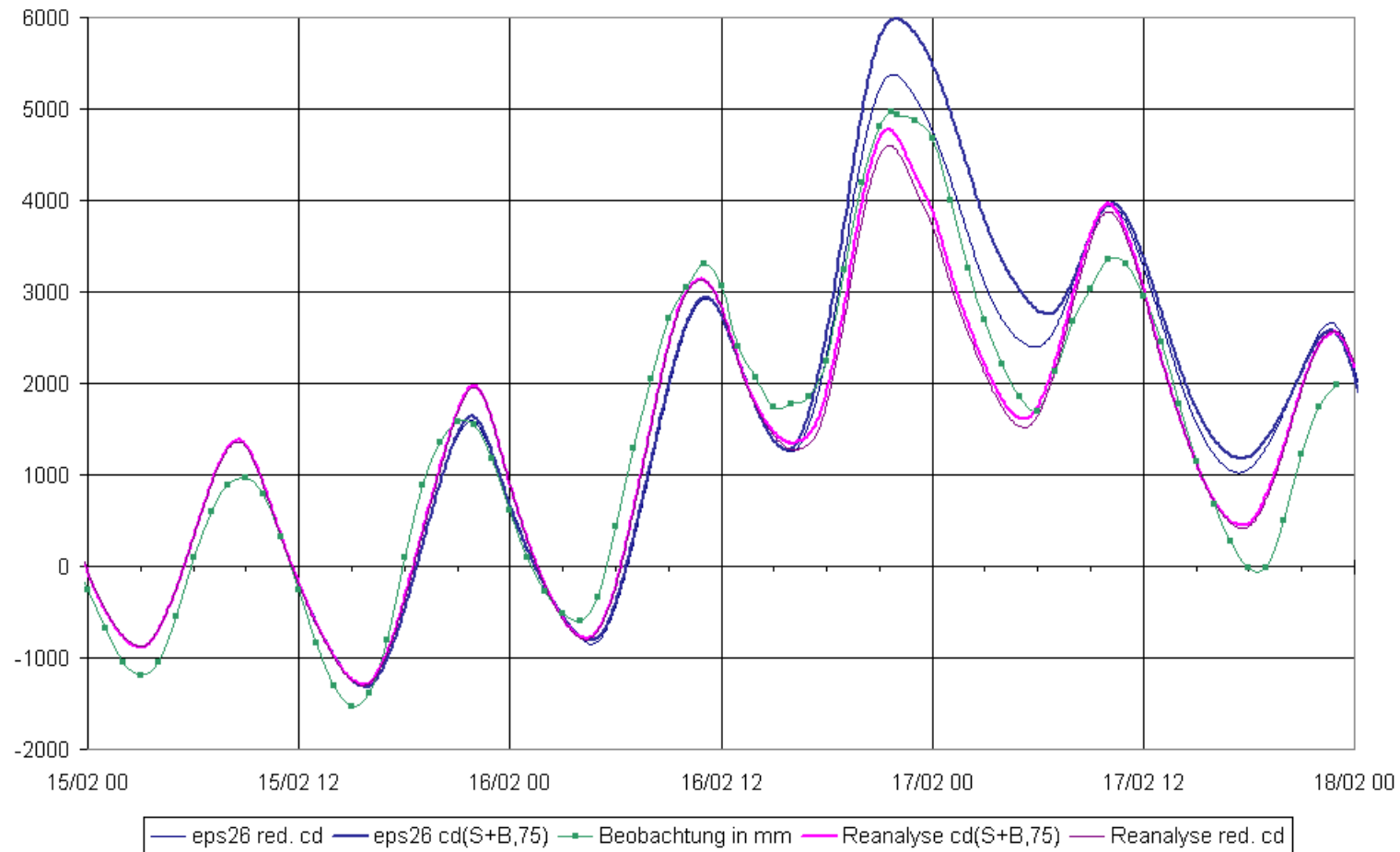


Windschubkoeffizient - Vergleich

	Windstau bei HW					Maximaler Wasserstand				
	M-N 03	S+B 75	Onv 93	Wu 82	Red	M-N 03	S+B 75	Onv 93	Wu 82	Red
Helgoland	2.26	2.29	2.36	2.40	1.95	2.91	3.07	3.14	3.18	2.73
Borkum	2.03	1.74	1.84	1.82	1.54	2.95	2.66	2.76	2.75	2.46
Wilhelms.	3.07	3.10	3.18	3.24	2.65	4.54	4.58	4.66	4.72	4.13
Cuxhaven	3.31	3.28	3.35	3.43	2.79	4.55	4.67	4.76	4.84	4.20
Büsum	3.19	3.36	3.55	3.52	2.94	4.55	4.61	4.80	4.77	4.20
Husum	3.97	3.98	3.99	4.18	3.26	5.42	4.96	4.96	5.16	4.24
Esbjerg	3.03	2.56	2.21	2.47	1.67	3.83	3.12	2.99	3.24	2.48
Abs. Abw.		14.7	23.4	24.9	58.0		26.3	28.7	32.9	61.6
Rel. Abw.		0.055	0.082	0.085	0.197		0.067	0.082	0.073	0.149

Einfluss der Windschubspannung

Staumodell - Cuxhaven 1962

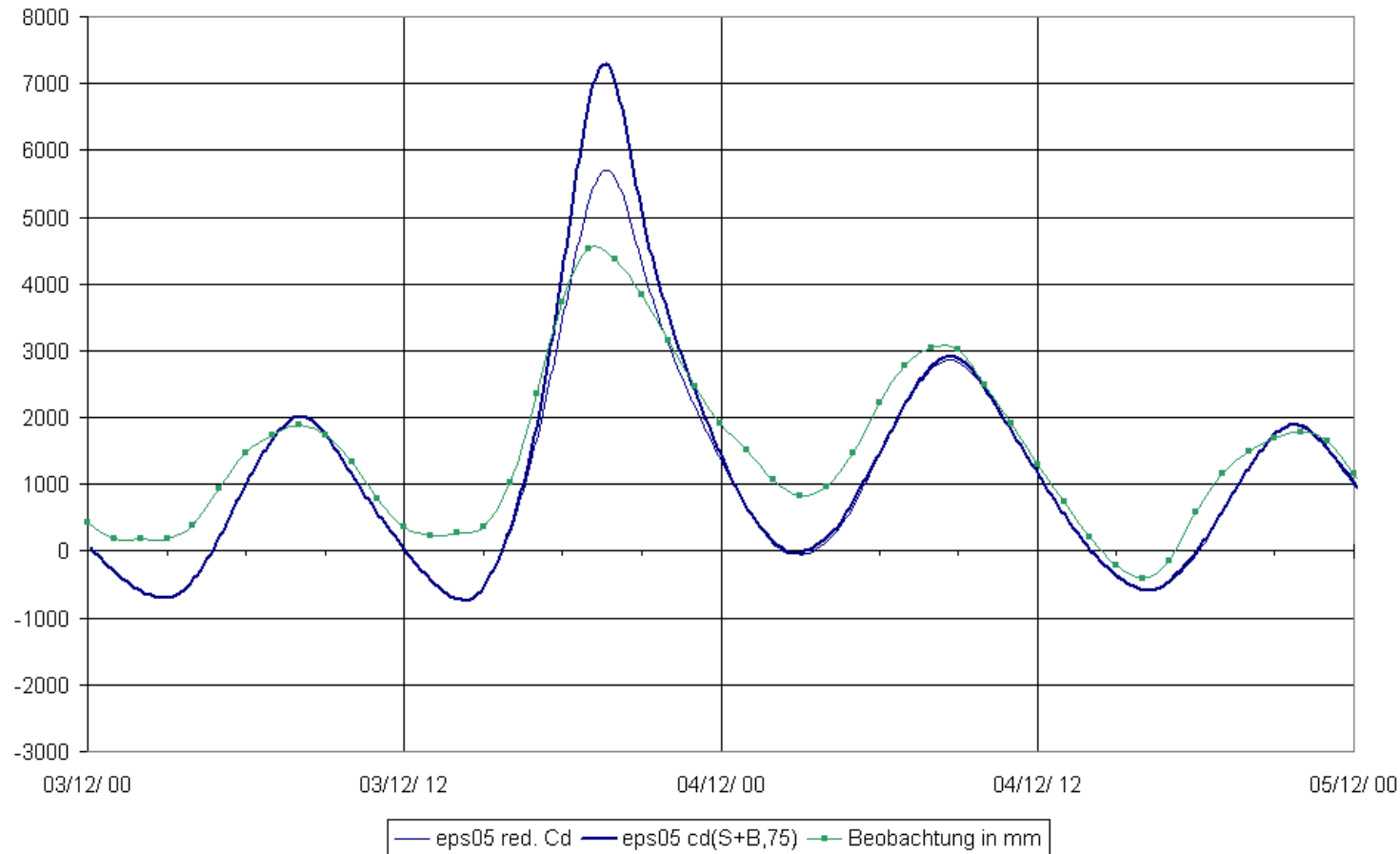


Einfluss der Windschubspannung

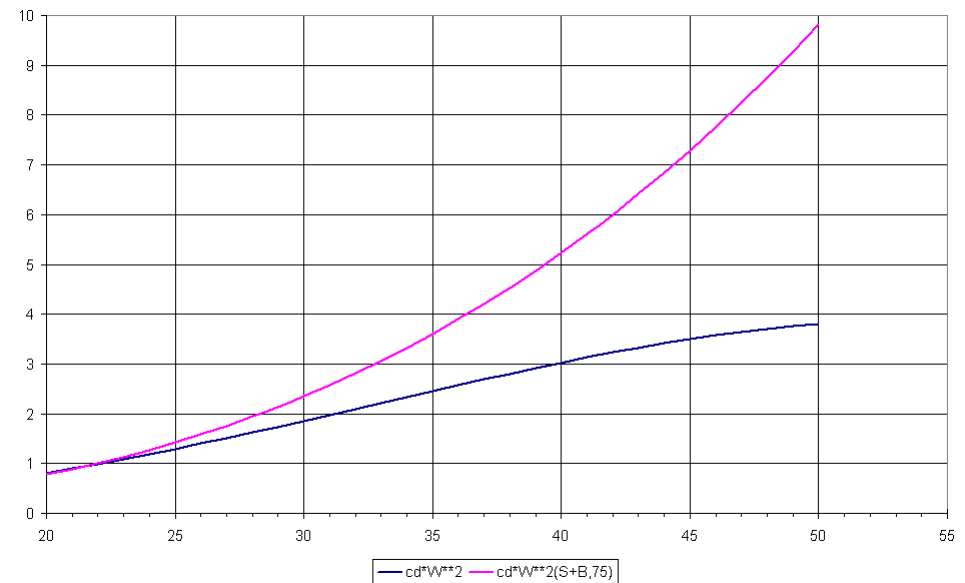
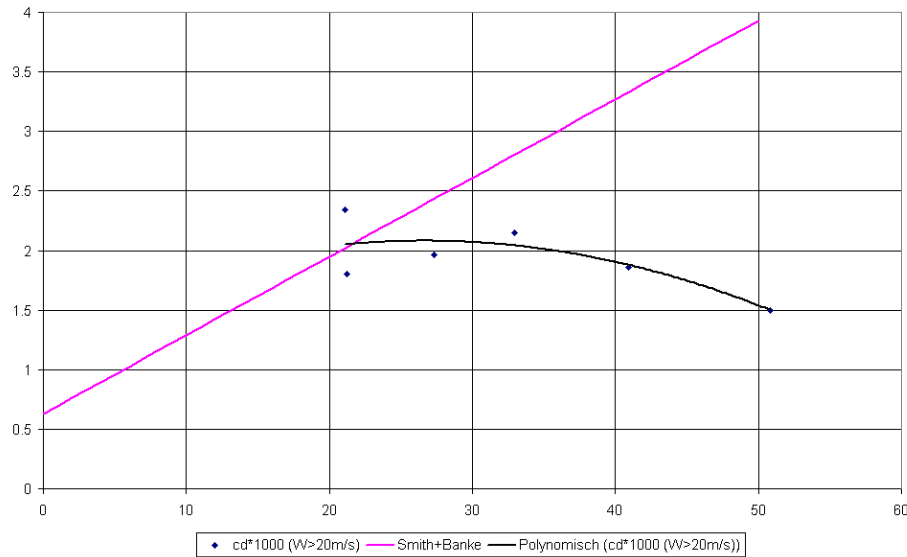
Staumodell - Cuxhaven 1999



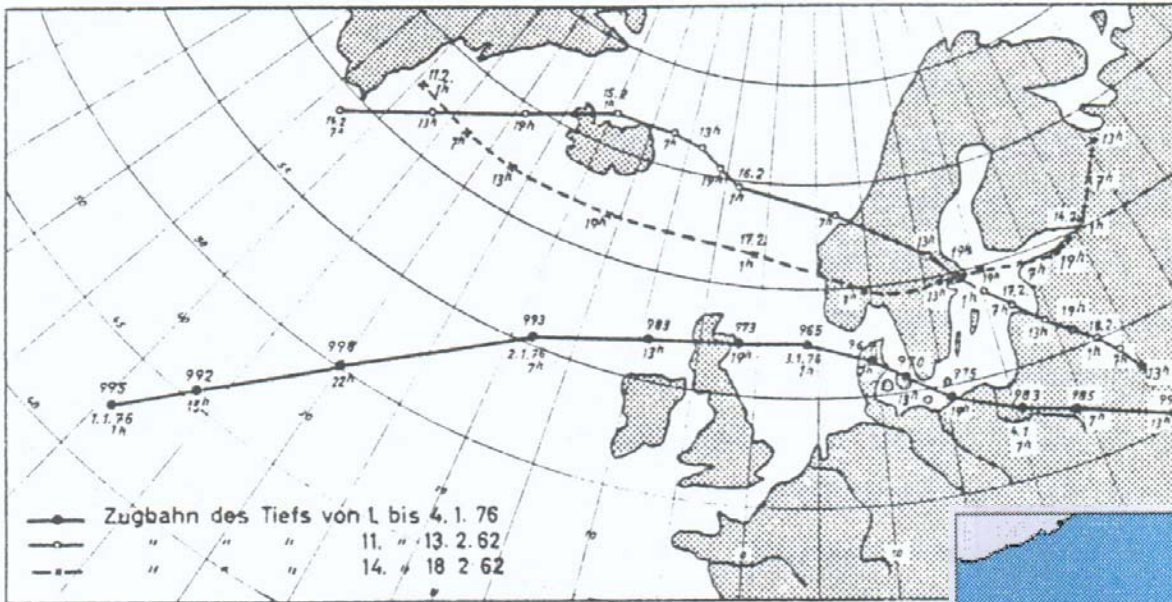
BUNDESAMT FÜR
SEESCHIFFFAHRT
UND
HYDROGRAPHIE



Windschubspannungskoeffizient und Windschubspannung



Zyklonenbahnen und Sturmfluttyp



Fuchs, 1999

Land Niedersachsen, 1979

