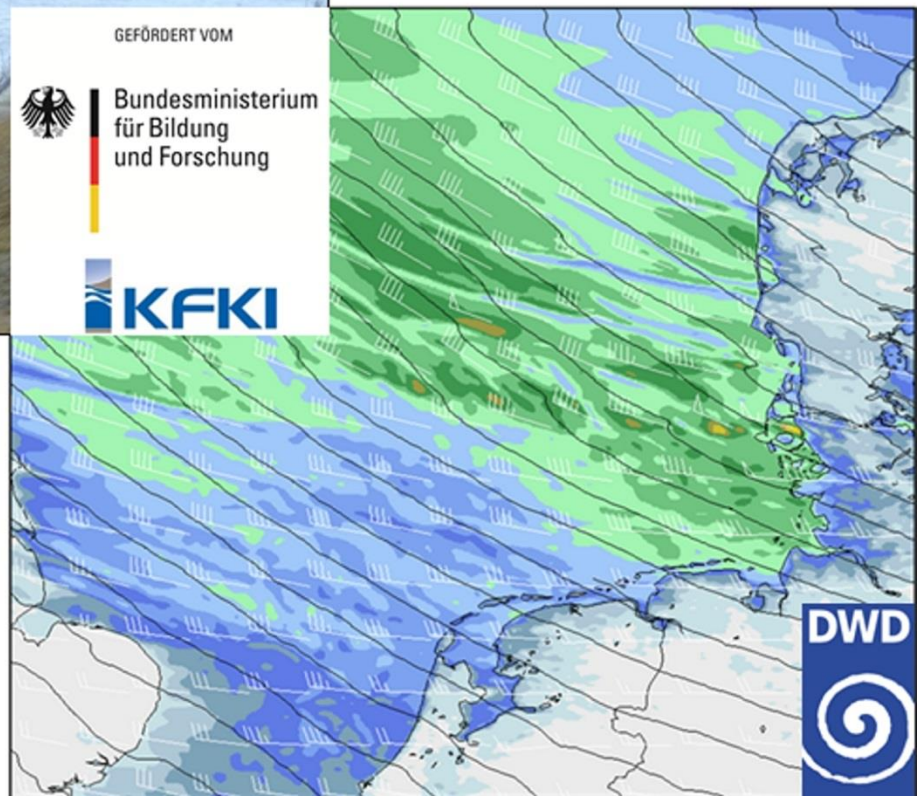
OptempS MohoWif

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung
KFKI

Optimierung **emp**irischer **S**turmflutvorhersagen
und
Modellierung **ho**ch auflösender **Wi**nd**f**elder



Zentrale Projektziele

- Nachrechnung von 40 sturmfluterzeugenden Wetterlagen der vergangenen 50 Jahre mit der Modellkette des DWD und Randwerten aus den ERA-40 und ERA-INTERIM Datensätzen

- Optimierung der empirischen Sturmflutvorhersage für die niedersächsische Küste auf Basis dieser meteorologischen Daten und statistische Betrachtungen der Pegel entlang der Nordseeküste

Laufzeit: April 2011 bis August 2014

Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

ausgewählte Sturmfluten

Nr	Start (UTC)	Eintritt max. Wasserstand im Zeitraum(UTC)	Ende (UTC)	zugehörender Stau (cm)
1	14.02.1962	16.02.1962 20:10	17.02.1962	297
2	28.11.1966	30.11.1966 23:47	01.12.1966	206
3	21.02.1967	23.02.1967 21:10	24.02.1967	228
4	26.02.1967	01.03.1967 01:03	01.03.1967	206
5	10.11.1973	19.11.1973 17:03	20.11.1973	255
6	04.12.1973	06.12.1973 19:04	07.12.1973	241
7	11.12.1973	14.12.1973 00:03	14.12.1973	235
8	01.01.1976	03.01.1976 11:59	04.01.1976	275
9	18.01.1976	21.01.1976 00:40	22.01.1976	275
10	28.12.1977	31.12.1977 00:16	31.12.1977	248
11	21.11.1981	24.11.1981 08:10	25.11.1981	237
12	30.01.1983	02.02.1983 01:06	02.02.1983	223
13	02.12.1988	05.12.1988 06:48	05.12.1988	159
14	11.02.1989	14.02.1989 14:46	15.02.1989	159
15	23.01.1990	25.01.1990 23:22	27.01.1990	182
16	24.02.1990	26.02.1990 23:24	28.02.1990	250
17	18.08.1990	20.08.1990 22:33	21.08.1990	117
18	17.12.1991	20.12.1991 09:00	21.12.1991	197
19	20.01.1993	22.01.1993 22:34	23.01.1993	213
20	07.12.1993	09.12.1993 17:32	10.12.1993	147
21	17.12.1993	20.12.1993 00:57	20.12.1993	192
22	25.01.1994	28.01.1994 10:34	31.01.1994	247
23	11.03.1994	13.03.1994 22:08	14.03.1994	171
24	30.12.1994	01.01.1995 22:29	02.01.1995	201
25	07.01.1995	10.01.1995 04:56	11.01.1995	228
26	27.10.1996	29.10.1996 23:18	30.10.1996	165
27	02.02.1999	05.02.1999 02:23	06.02.1999	220
28	30.11.1999	03.12.1999 18:00	04.12.1999	201
29	27.01.2000	30.01.2000 03:54	30.01.2000	223
30	25.10.2002	28.10.2002 02:05	28.10.2002	146
31	29.10.2006	01.11.2006 04:27	01.11.2006	255
32	09.01.2007	12.01.2007 02:27	12.01.2007	199
33	16.01.2007	18.01.2007 20:13	19.01.2007	129
34	16.03.2007	18.03.2007 21:33	20.03.2007	216
35	07.11.2007	09.11.2007 09:45	10.11.2007	255
36	23.11.2007	25.11.2007 10:05	26.11.2007	147
37	10.03.2008	13.03.2008 01:30	13.03.2008	133
38	09.11.2010	12.11.2010 13:48	13.11.2010	155
39	02.02.2011	04.02.2011 23:17	05.02.2011	133

- **Kriterien:**
  Stau Norderney > 200cm
  einige jüngere Ereignisse
  Sommersturmflut

- **39 Stürme 1962 bis 2011**
- **eine Sturmperiode dauert ca. 4-5 Tage.**

- **beide COSMO-Modelle laufen im Vorhersage- und Nudging-Modus.**

Modellkette und –daten für OptempS-MohoWif

Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

COSMO-de 2.2 km Maschenweite, 65 Schichten

↑ EU2DE

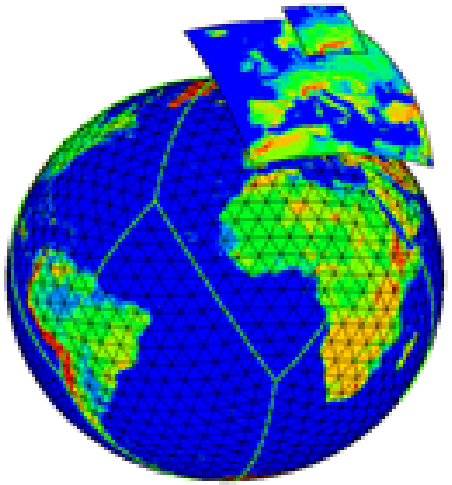
COSMO-eu 7 km Maschenweite, 40 Schichten

↑ GME2EU

GME 30 km Maschenweite, 60 Schichten

↑ IFS2GME

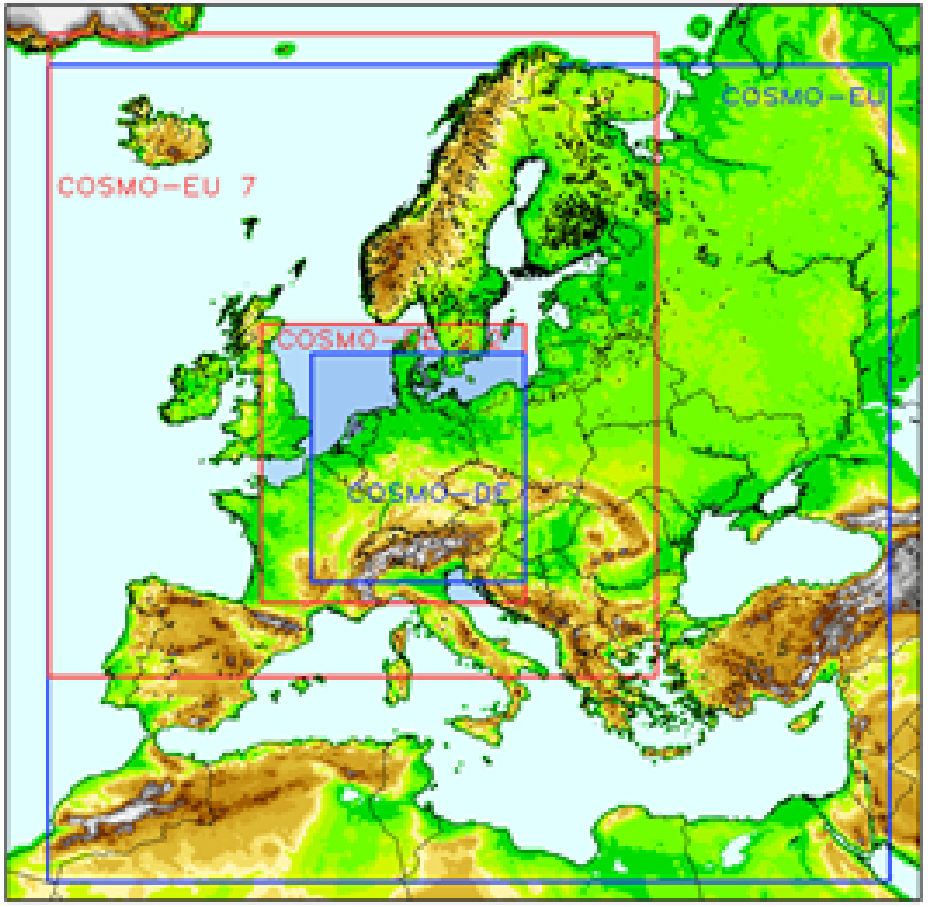
ERAInterim/ERA-40

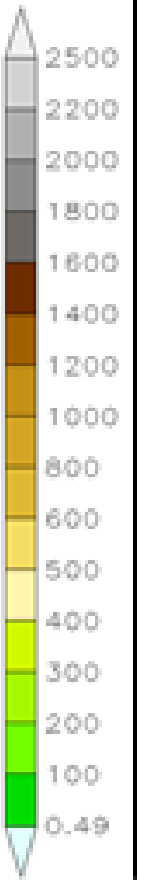


ERA Interim	ERA-40
60 Schichten	60 Schichten
Reduziertes Gausgitter T255, ca. 80 km	Reduziertes Gausgitter T159, ca. 125 km
12 h 4D-Var	3D-Var

Modellgebiete für OptempS-MohoWif

Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand





- COSMO-EU:
  665x657 Gitterpunkte
  0.0625° Maschenweite
- COSMO-eu 7 km:
  480x518 Gitterpunkte
  0.0625° Maschenweite
- COSMO-de 2.2 km:
  650x700 Gitterpunkte
  0.02° Maschenweite
- COSMO-DE
  421x461 Gitterpunkte
  0.025° Maschenweite

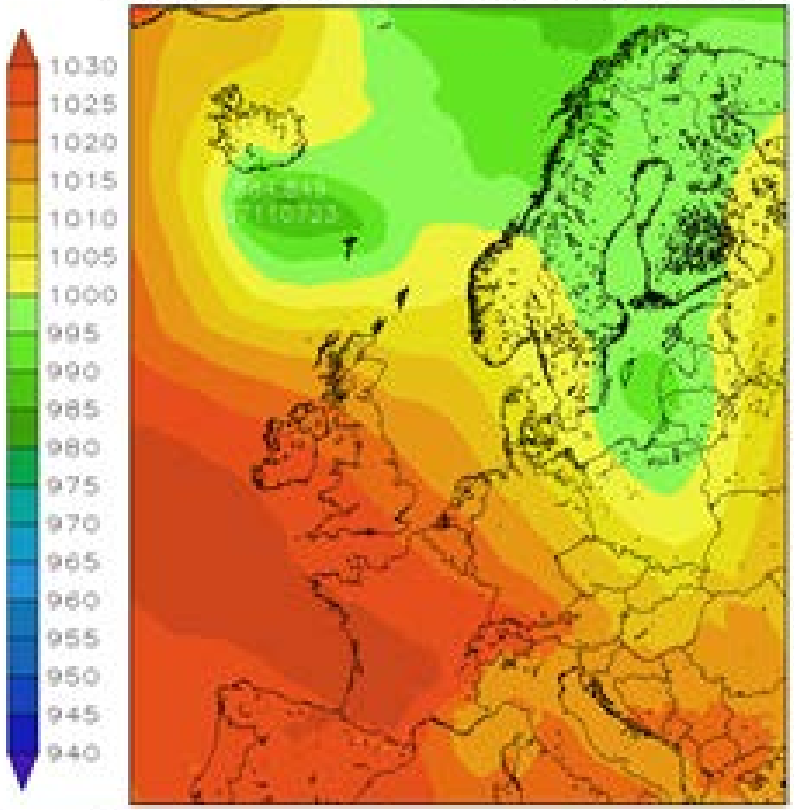
18. KFKI Seminar

Beispiel: Sturm "Tilo" 2007

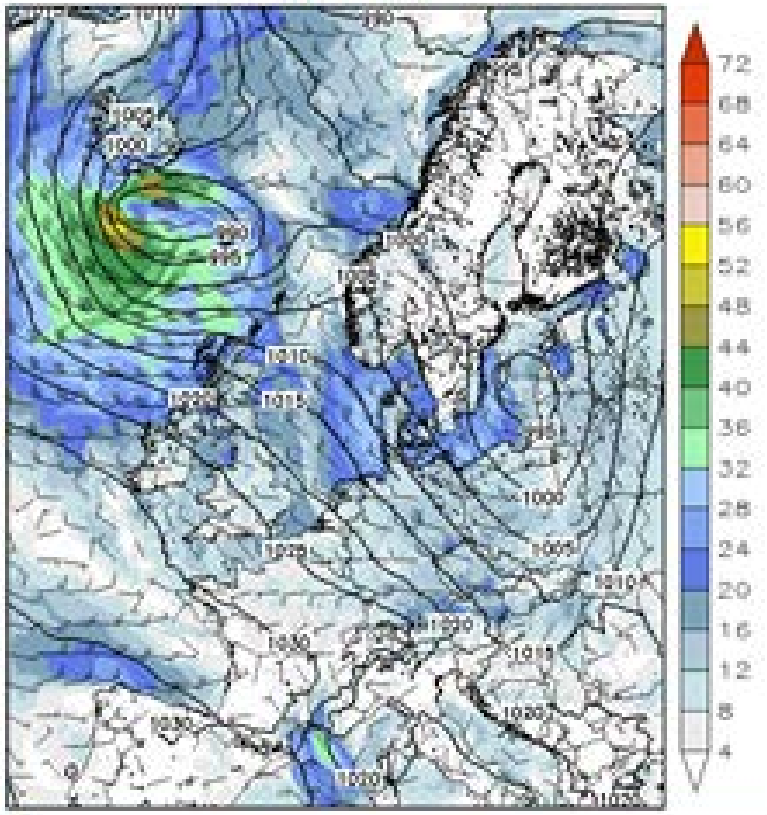
Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

Sturm "Tilo" 7.11.07, 23 UTC – 11.11.07, 00 UTC; COSMO-eu Nudging Läufe

PMSL/hPa_COSMO-EU_2007110723



FF_10m / kn

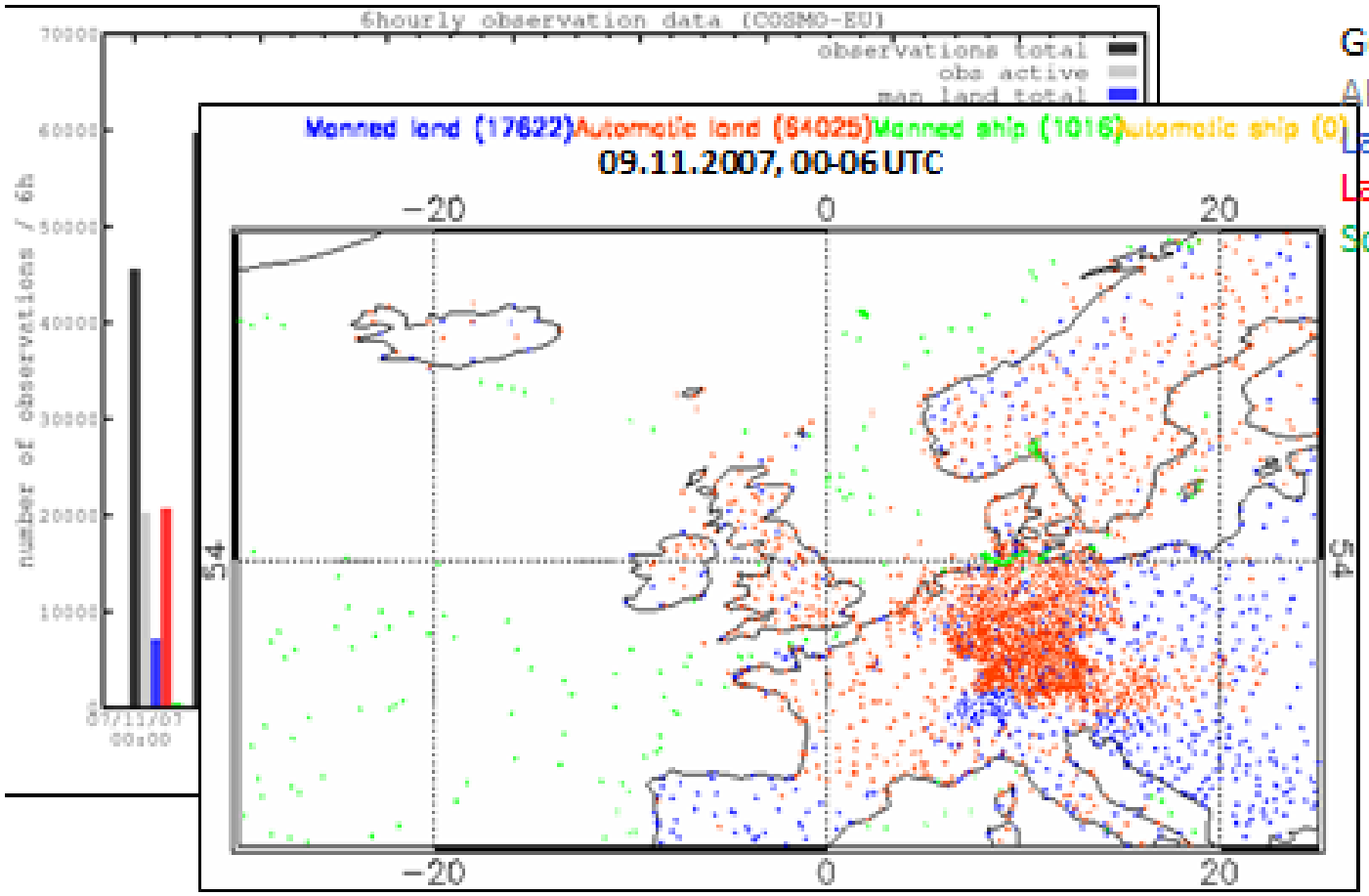


18. KFKI Seminar

22

Beobachtunge während Sturm "Tilo" 2007

Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand



Gesamt
Aktiv
Land bemannt
Land Autom.
Schiff

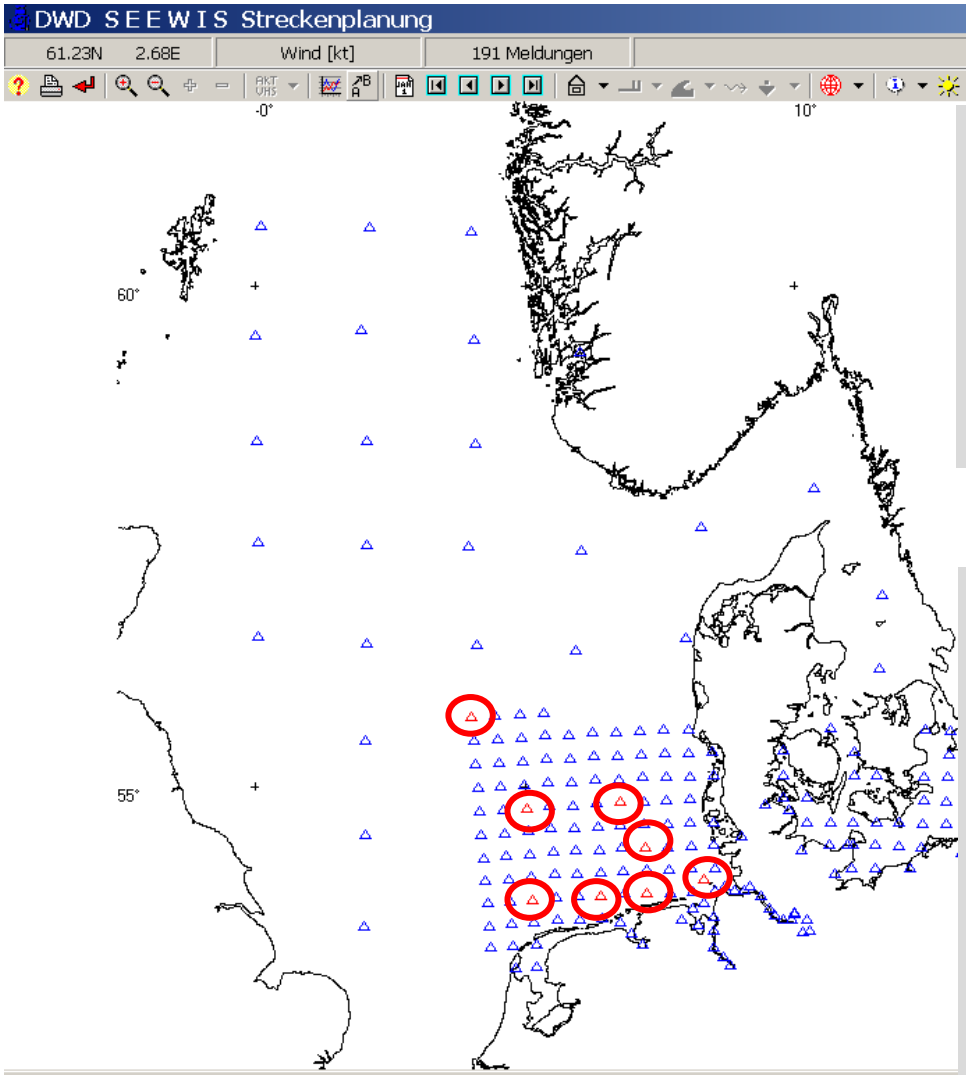
- Nutzung von Radiosonden-, Flugzeug, Windprofiler- und SYNOP-Beobachtungen.

Teilprojekt A
Optimierung empirischer Sturmflutvorhersagen

NLWKN - Forschungsstelle Küste

Sturmflutwarndienst Küste im NLWKN

Bisheriges Verfahren – Datenbasis:



- **bisheriges Verfahren:**
  - Polynome bis 3. Ordnung
  - aufgeteilt nach Windrichtung und teilweise Windgeschwindigkeit
  - Berücksichtigung des Windes in der Deutschen Bucht
  - Excel basiert

- **neues Verfahren:**
  - trigonometrischer Ansatz
  - eine Formel pro Pegel, die alle Windrichtungen und Geschwindigkeiten verarbeitet
  - **Berücksichtigung der meteorologischen Verhältnisse in der nördlichen Nordsee**
  - Umstellung auf neuen Software (MATLAB)

Aufbereitung der Eingangsdaten

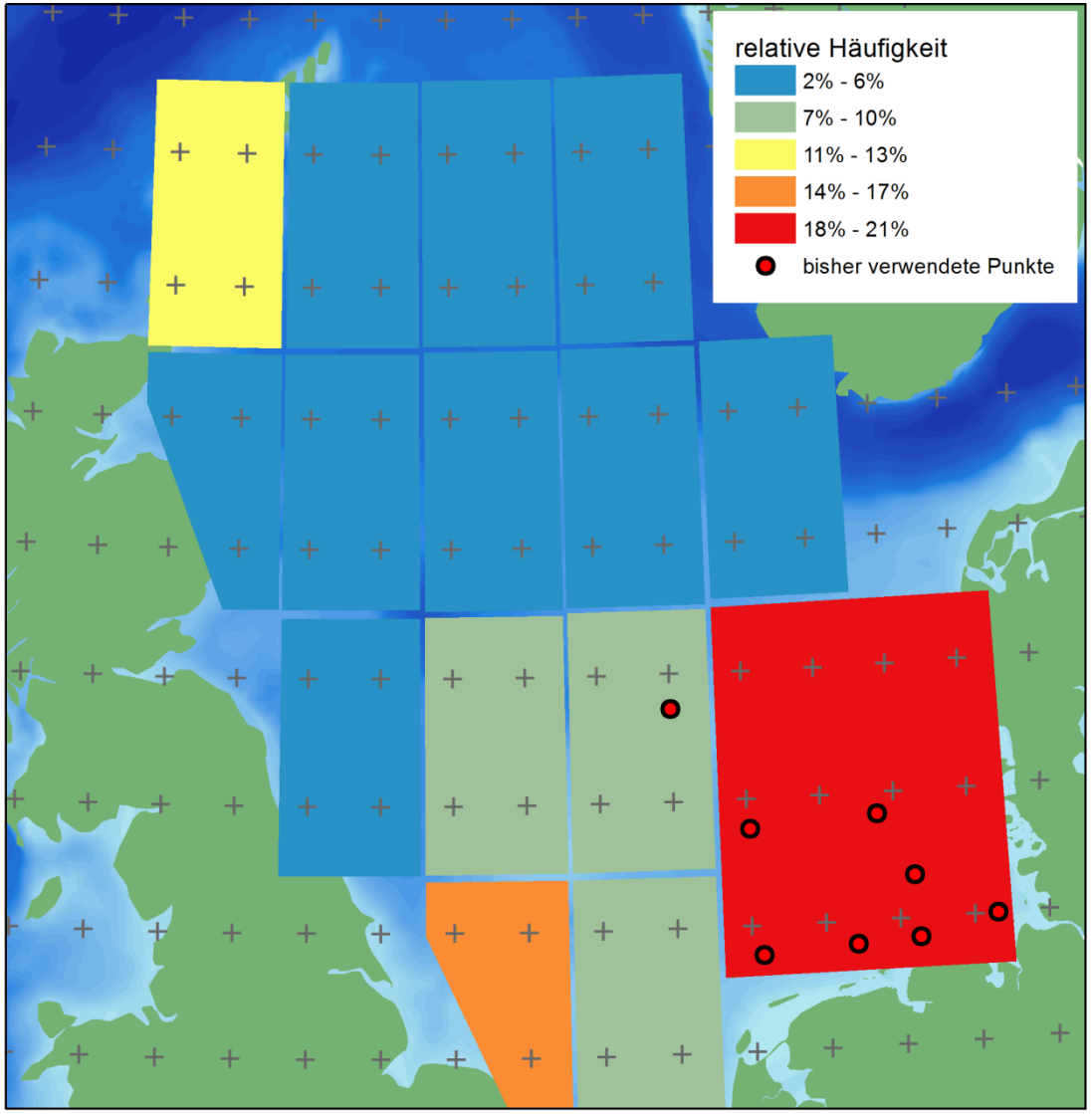
Ausgangsproblem: zu wenig Daten

DWD liefert hochaufgelöste Daten

Neues Problem: zu viele Daten

- **Teilung der Datensätze nach Zufallsprinzip zur statistischen Analyse** (Trainings-, Validierungsdatensatz)
- **Räumliche Auswahl der Wind-Ausgabepunkte**
  - Lage der Punkte
  - Anzahl der Punkte
- **Datenmittelung**
  - räumlich: Mittelung von jeweils bis zu 4 quadratisch angeordneten Punkten
  - zeitlich: Verwendung von 3h-Mitteln zum „Ausbügeln“ von kurzfristigen Erscheinungen
- **Wahl des Zeitversatzes zwischen Wind und Stau**

Räumliche Auswahl



- 1°-Gitter ausgelesen
- jeweils 4 Punkte gemittelt

- Relevanz der 15 Gebiete ermittelt durch stufenweise Regression („stepwise fit“)

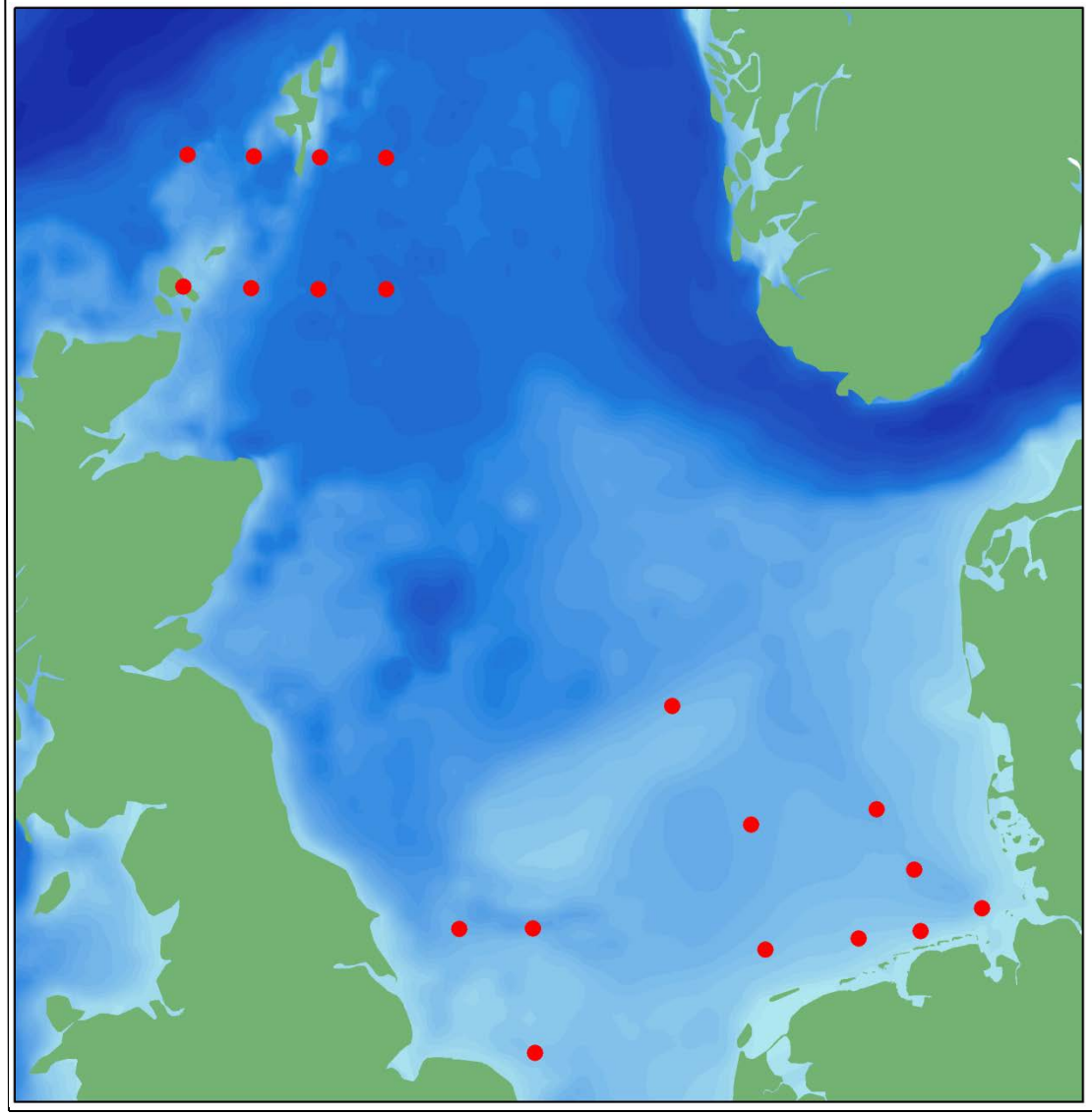
  (aus welchen Gebieten werden Windgeschwindigkeit und –richtung bei wiederholten Berechnungen am häufigsten und als erstes ausgewählt)

- Reihenfolge:
- Bereich der „Deutschen Bucht“
- Bereich vor Norfolk
- Bereich nordöstlich Schottlands bis zu den Shetlands

- Die Bereiche im Nordosten der Nordsee vor Norwegen werden kaum verwendet

- Reduktion der Wind-Ausgabepunkte reduziert die Qualität der Regression nur leicht

Räumliche Auswahl



- 1°-Gitter ausgelesen
- jeweils 4 Punkte gemittelt

- Relevanz der 15 Gebiete ermittelt durch stufenweise Regression („stepwise fit“)

  (aus welchen Gebieten werden Windgeschwindigkeit und –richtung bei wiederholten Berechnungen am häufigsten und als erstes ausgewählt)

- Reihenfolge:
- Bereich der „Deutschen Bucht“
- Bereich vor Norfolk
- Bereich nordöstlich Schottlands bis zu den Shetlands

- Die Bereiche im Nordosten der Nordsee vor Norwegen werden kaum verwendet

- Reduktion der Wind-Ausgabepunkte reduziert die Qualität der Regression nur leicht

Zeitlicher Verzug zwischen Wind und Stau

- besten Ergebnisse mit zeitlichem Verzug von

  => $^{75\ km}/_{1\ h}$

- entspricht etwa dem Ansatz für Flachwasserwellen:

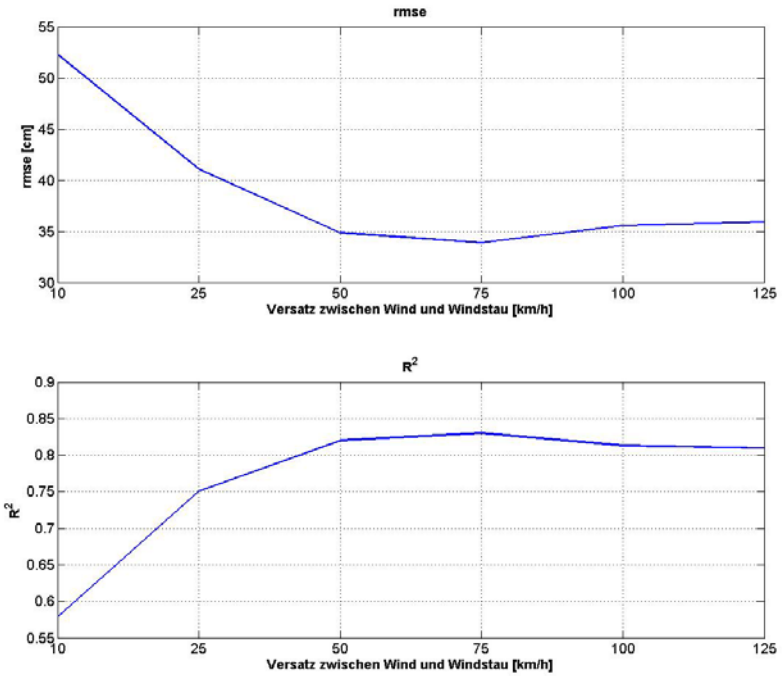
  $c = \sqrt{g * d}$,

  g = 9,81 m/s²

  d = Wassertiefe

  – Bei d = 100m, c ≈ 100km/h (mittlere Tiefe der Nordsee)

  – Bei d = 35m, c ≈ 70km/h (mittlere Tiefe der südl. Nordsee)

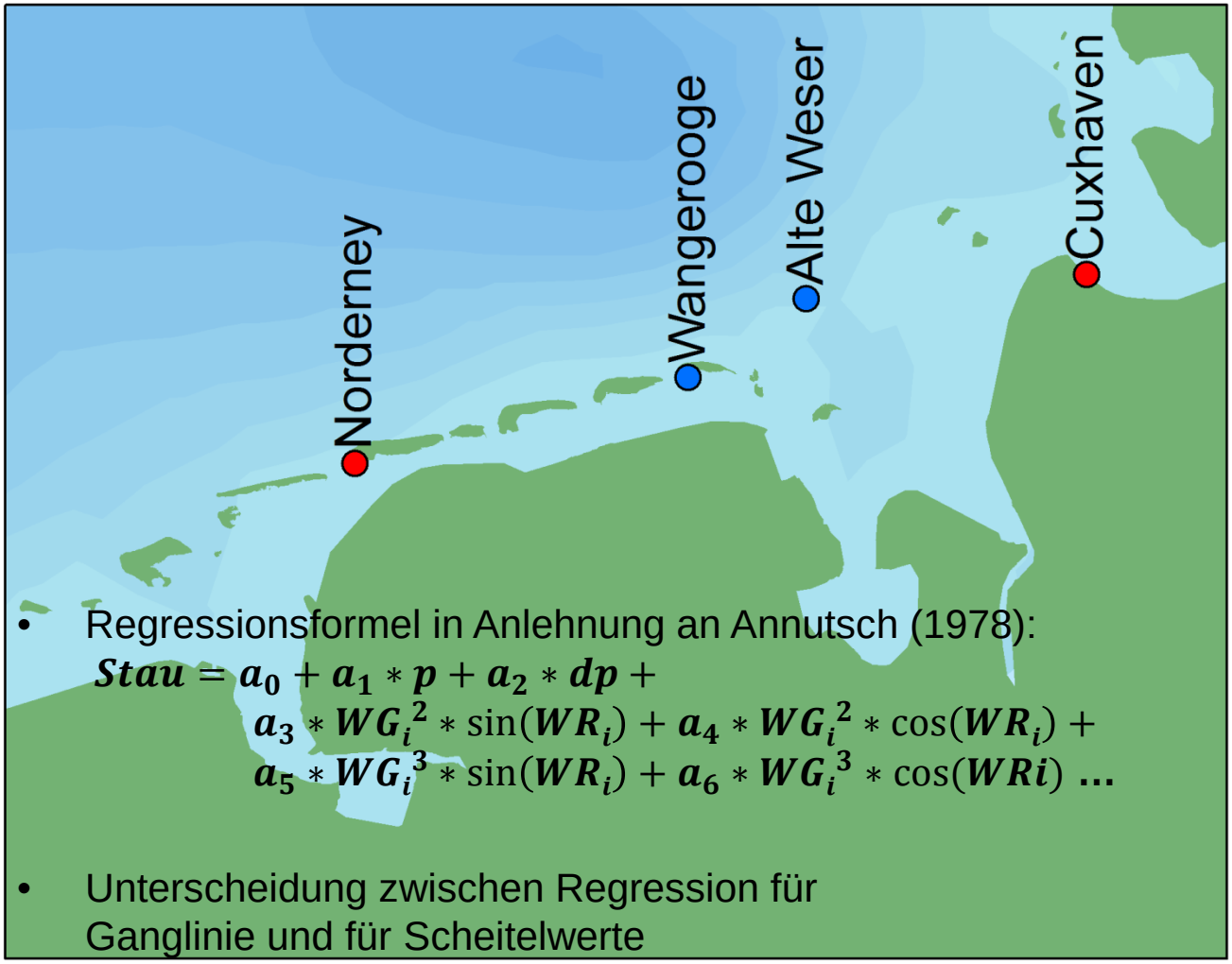


Zeitliches Mittel

- Mittelung des Windes über 3 Stunden brachte bessere Ergebnisse

Stauberechnung für Pegel direkt an der See

Regression mit meteorologischen Daten

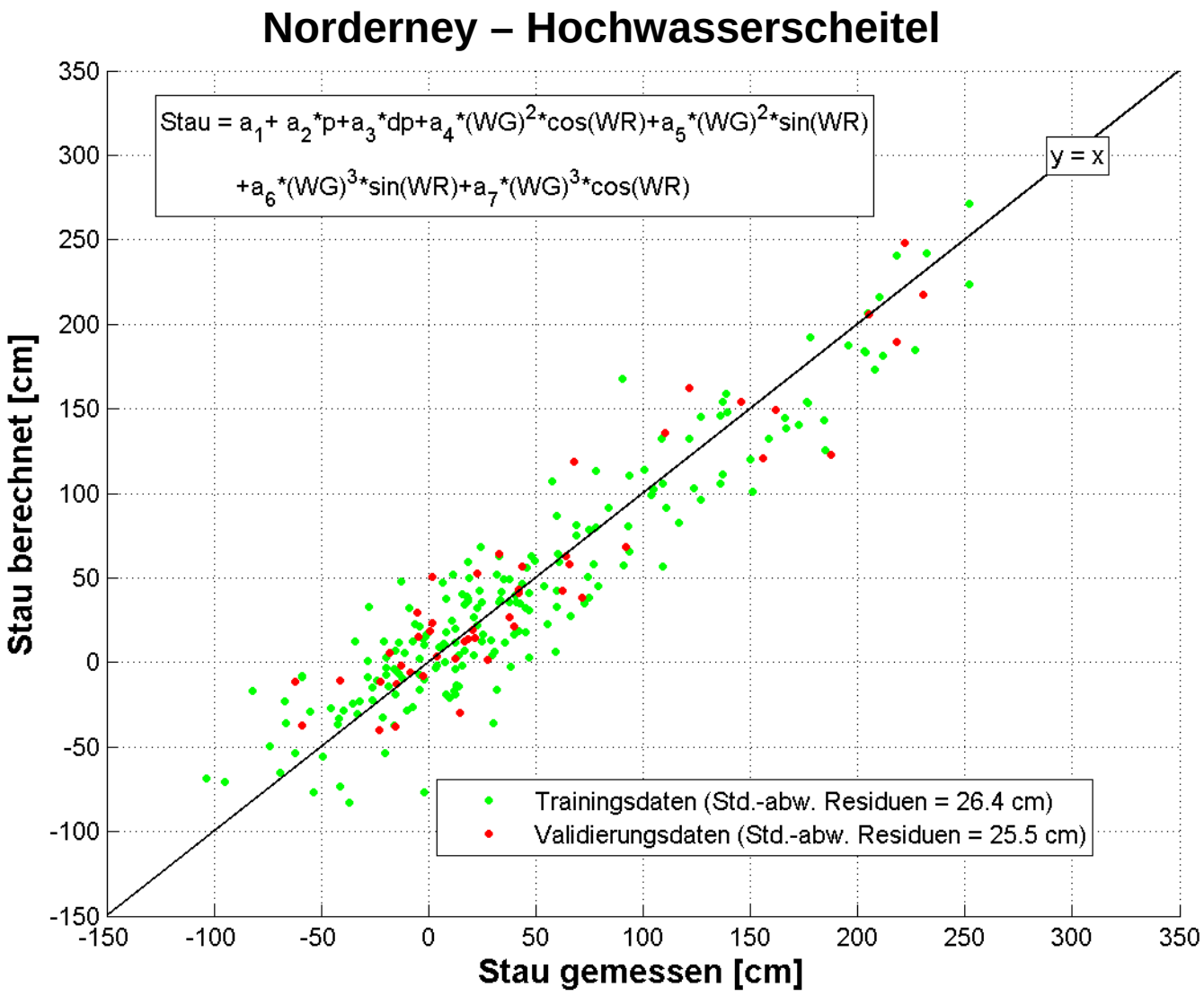


- Regressionsformel in Anlehnung an Annutsch (1978):

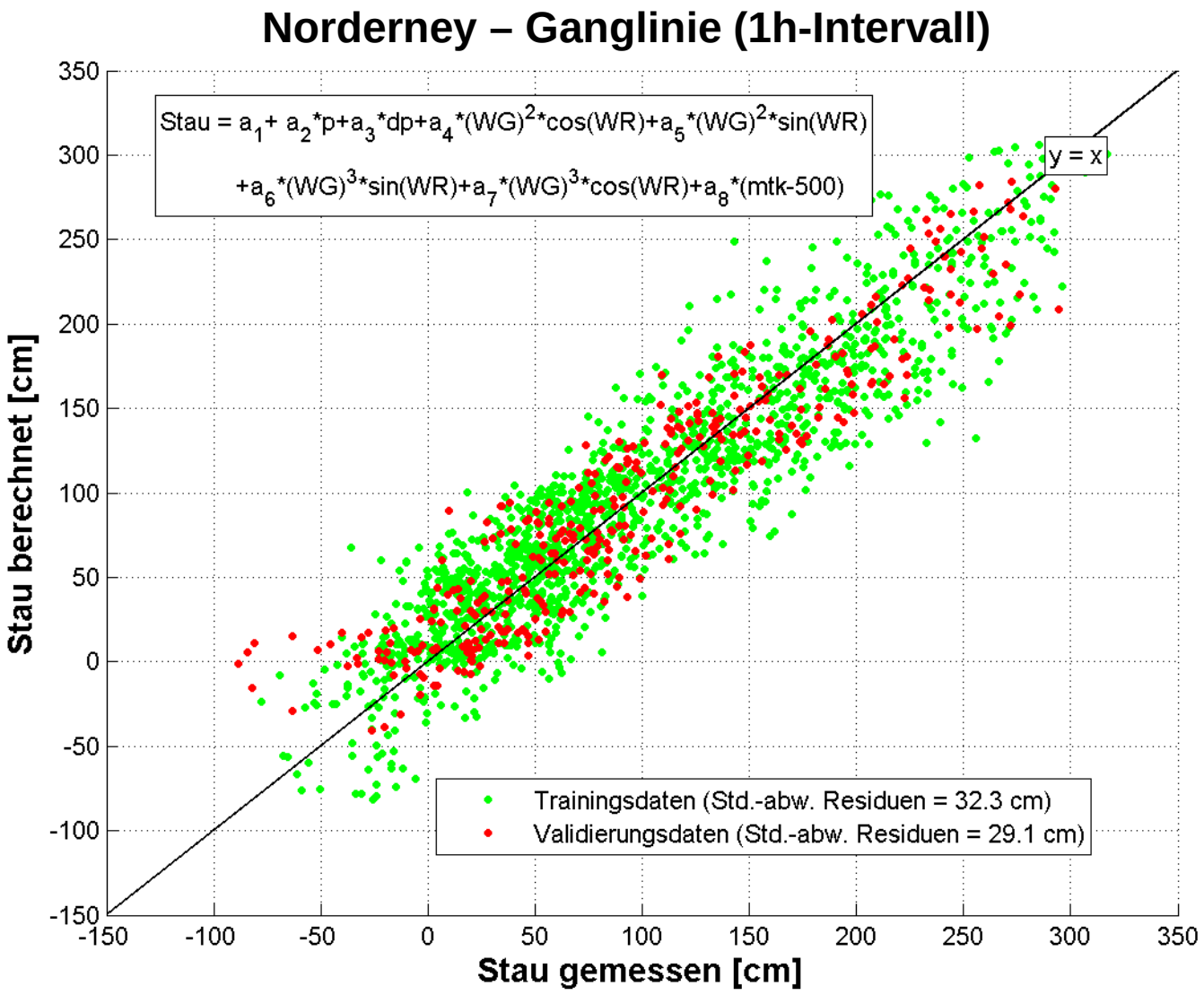
$$\boldsymbol{Stau = a_0 + a_1 * p + a_2 * dp +}$$
$$\boldsymbol{a_3 * WG_i^2 * \sin(WR_i) + a_4 * WG_i^2 * \cos(WR_i) +}$$
$$\boldsymbol{a_5 * WG_i^3 * \sin(WR_i) + a_6 * WG_i^3 * \cos(WRi)\ \ldots}$$

- Unterscheidung zwischen Regression für Ganglinie und für Scheitelwerte

Regression mit meteorologischen Daten



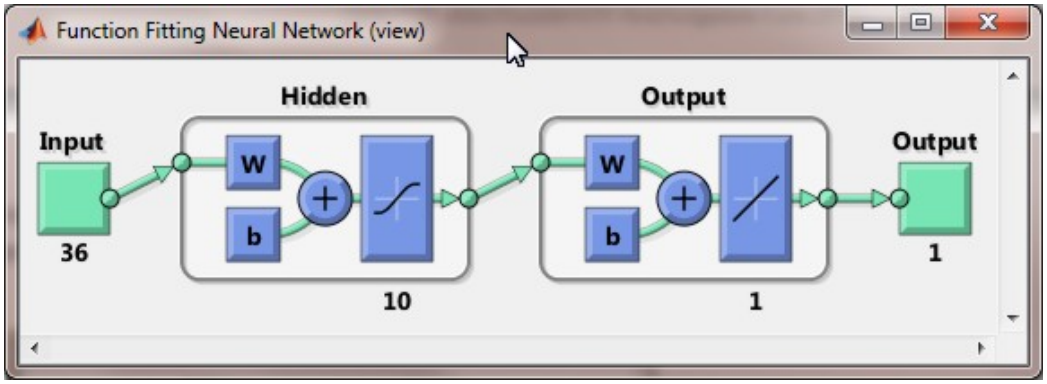
Regression mit meteorologischen Daten



Künstliche Neuronale Netze

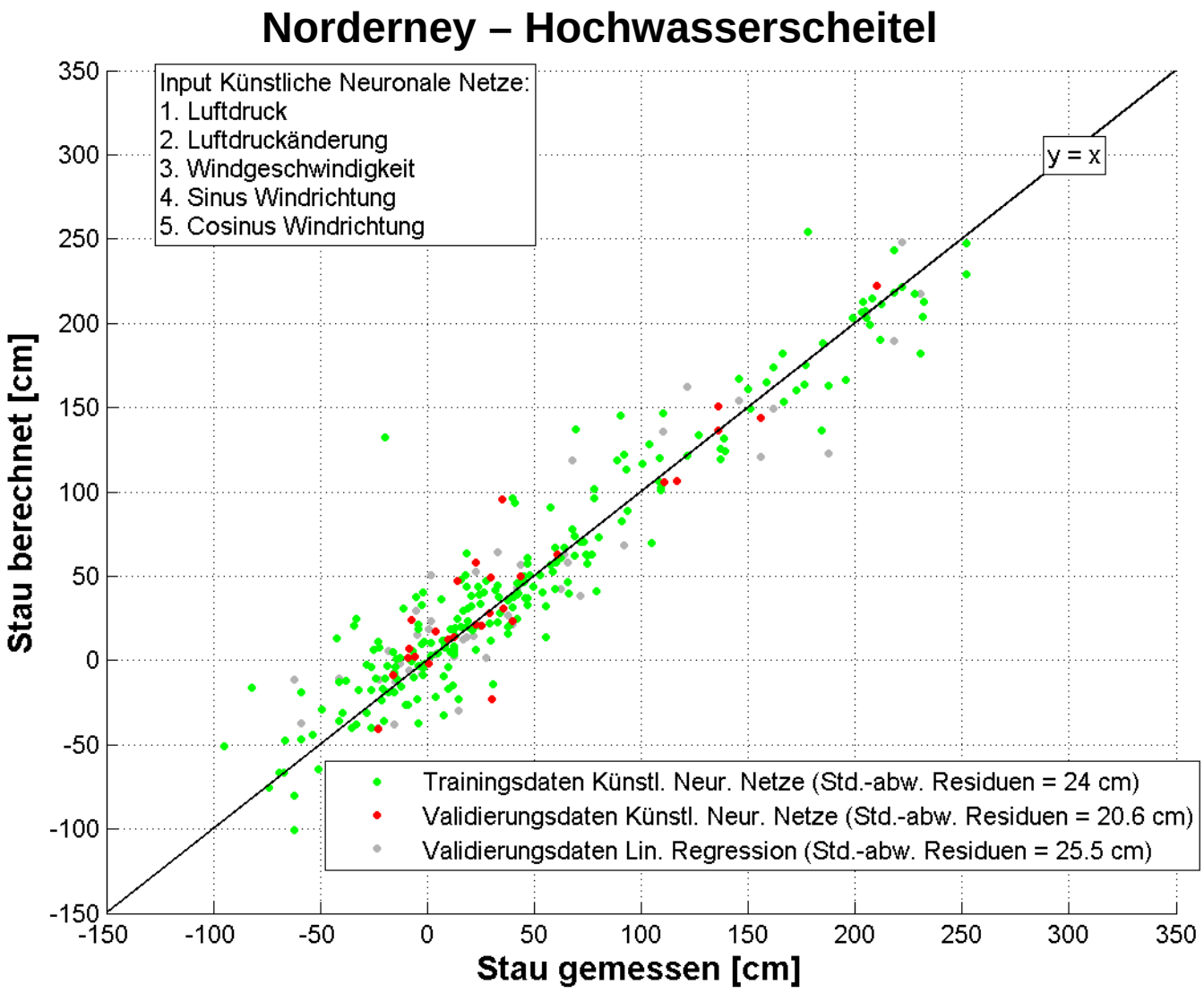
- Für Pegel Norderney, Cuxhaven, Wangerooge West und Alte Weser

- Künstliche Neuronale Netze
  - Feed-forward Netz
  - 2 Schichten
  - 10 Neuronen in verdeckter Schicht
  - 1 Output (Wasserstand)



- Unterscheidung zwischen Ganglinien und Scheitelwerten

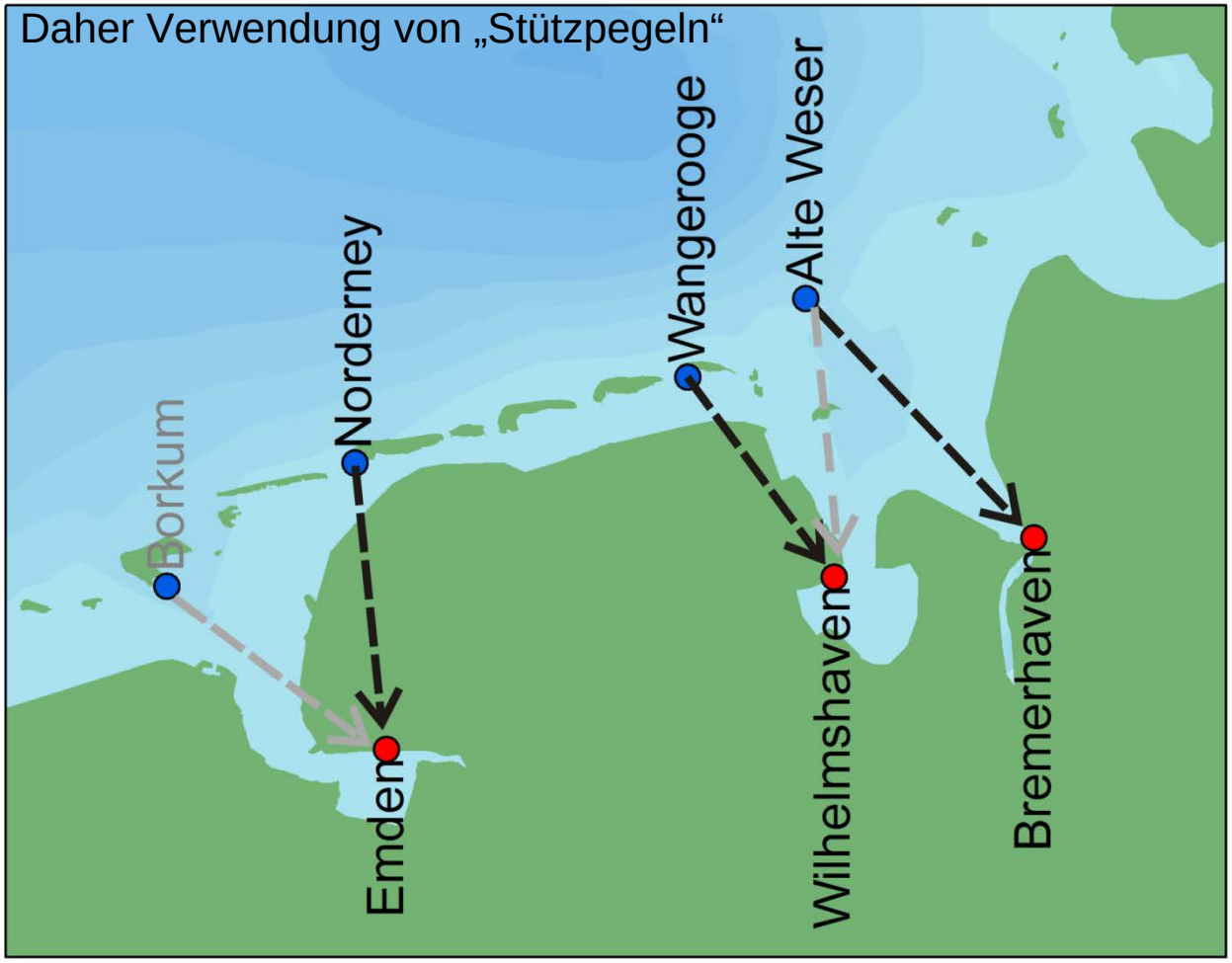
Künstliche Neuronale Netze



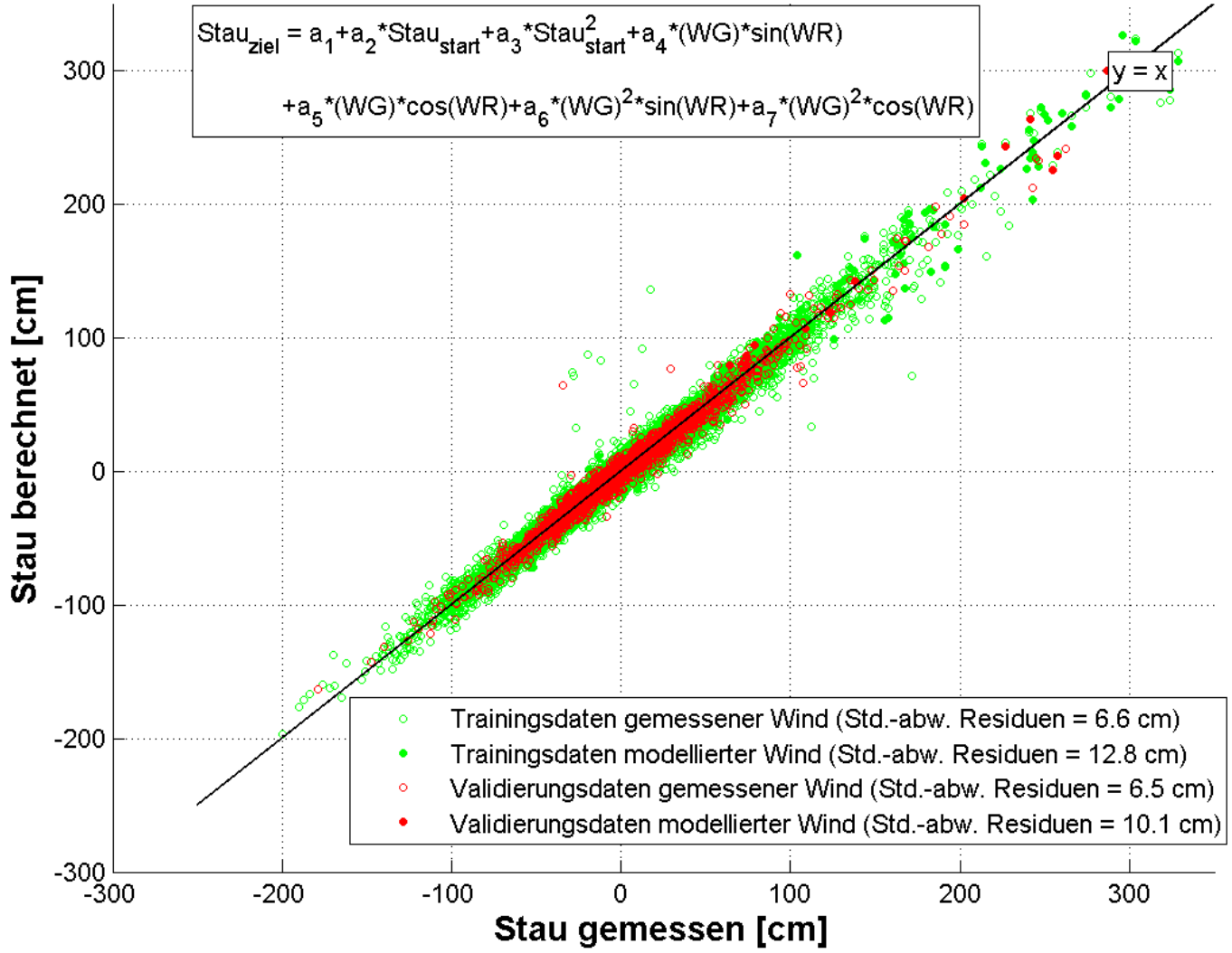
Stauberechnung für Pegel in den Ästuaren über Stützpegel

Stauberechnung in den Ästuaren

- Die Pegel in den Ästuaren lassen sich nur schlecht direkt aus dem Wind über der Nordsee berechnen
- Daher Verwendung von „Stützpegeln“



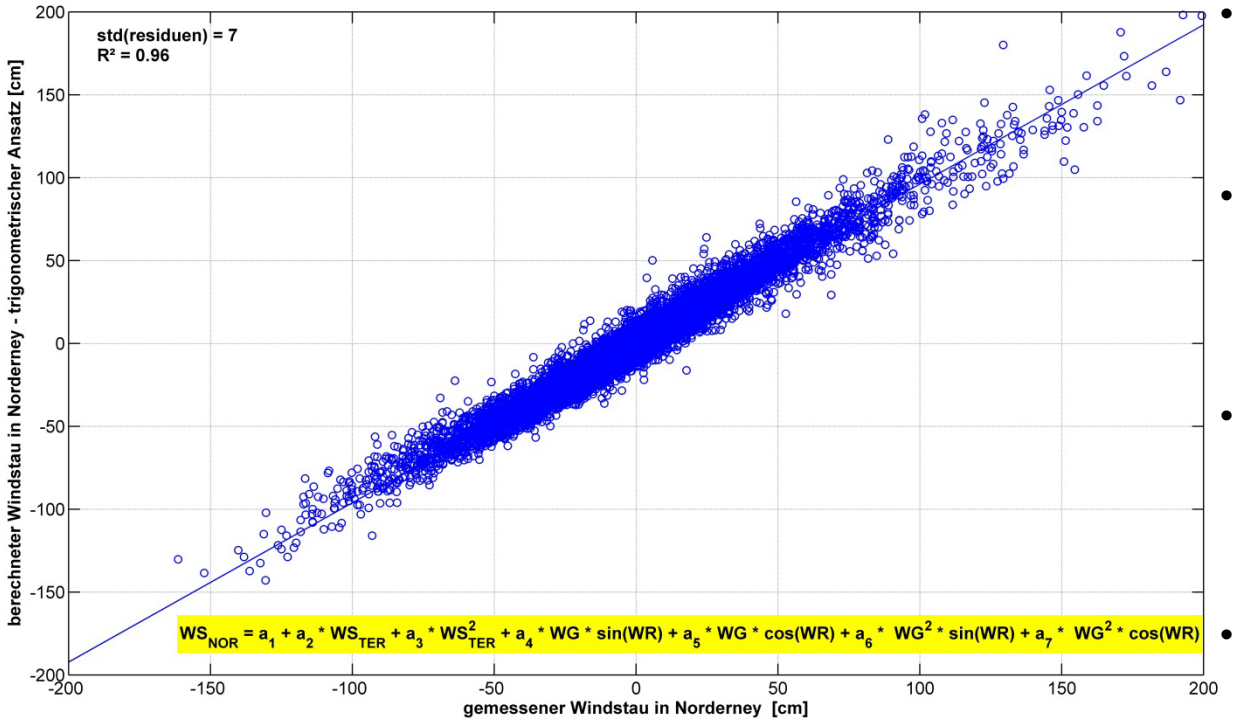
Emden – Stauberechnung über Norderney



Kurzfristige Stauberechnung mit Vorlaufpegeln

Kurzfristige Stauberechnung mit Vorlaufpegeln

Terschelling > Norderney

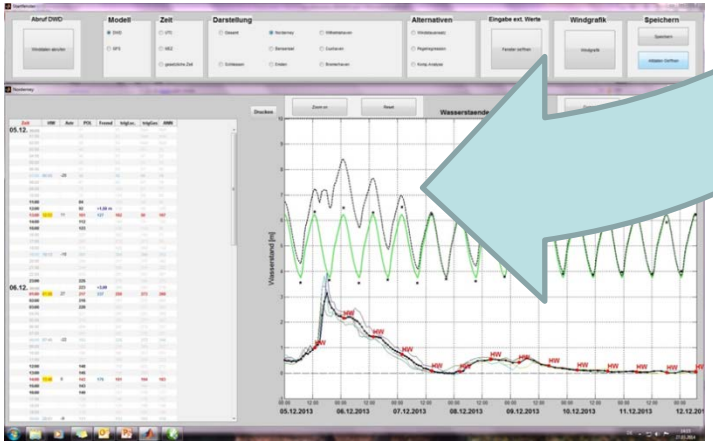


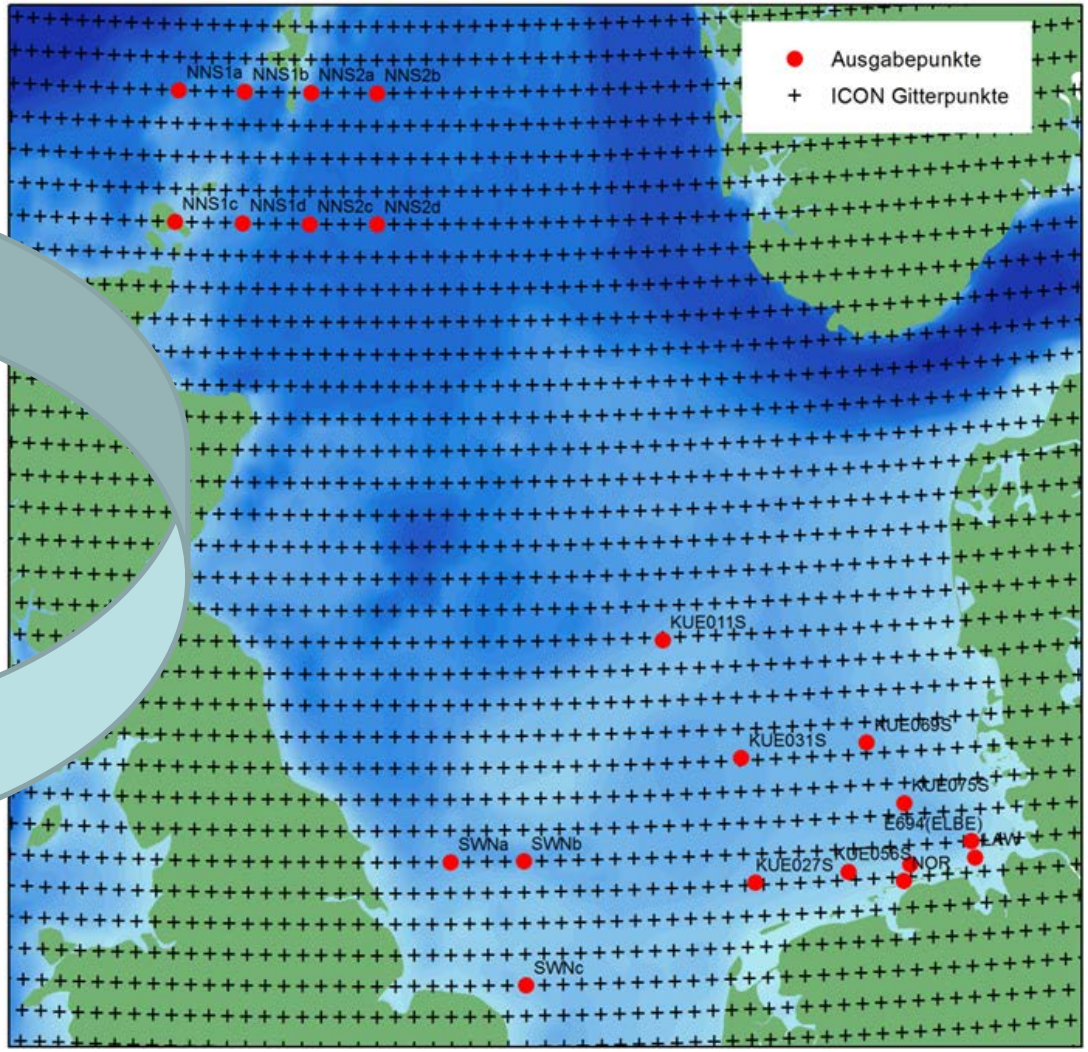
- Letzte Aktualisierung der Vorhersage: Hochrechnung von Pegelmessungen entlang der niederländischen Küste
- Optimierte Vorhersage mit trigonometrischem Ansatz (im Vergleich zu Polynomansatz mit Windrichtungsklassen)
- Eingangsparameter: Stau in Terschelling, Windrichtung und Windgeschwindigkeit in Norderney
- Weitere Parameter getestet: Anstieg des Hochwassers in Terschelling, Stau zu Niedrigwasser in Terschelling und Norderney → Einfluss gering, vernachlässigbar

Sturmflutwarndienst Küste im NLWKN

neues Verfahren – Datenbasis:

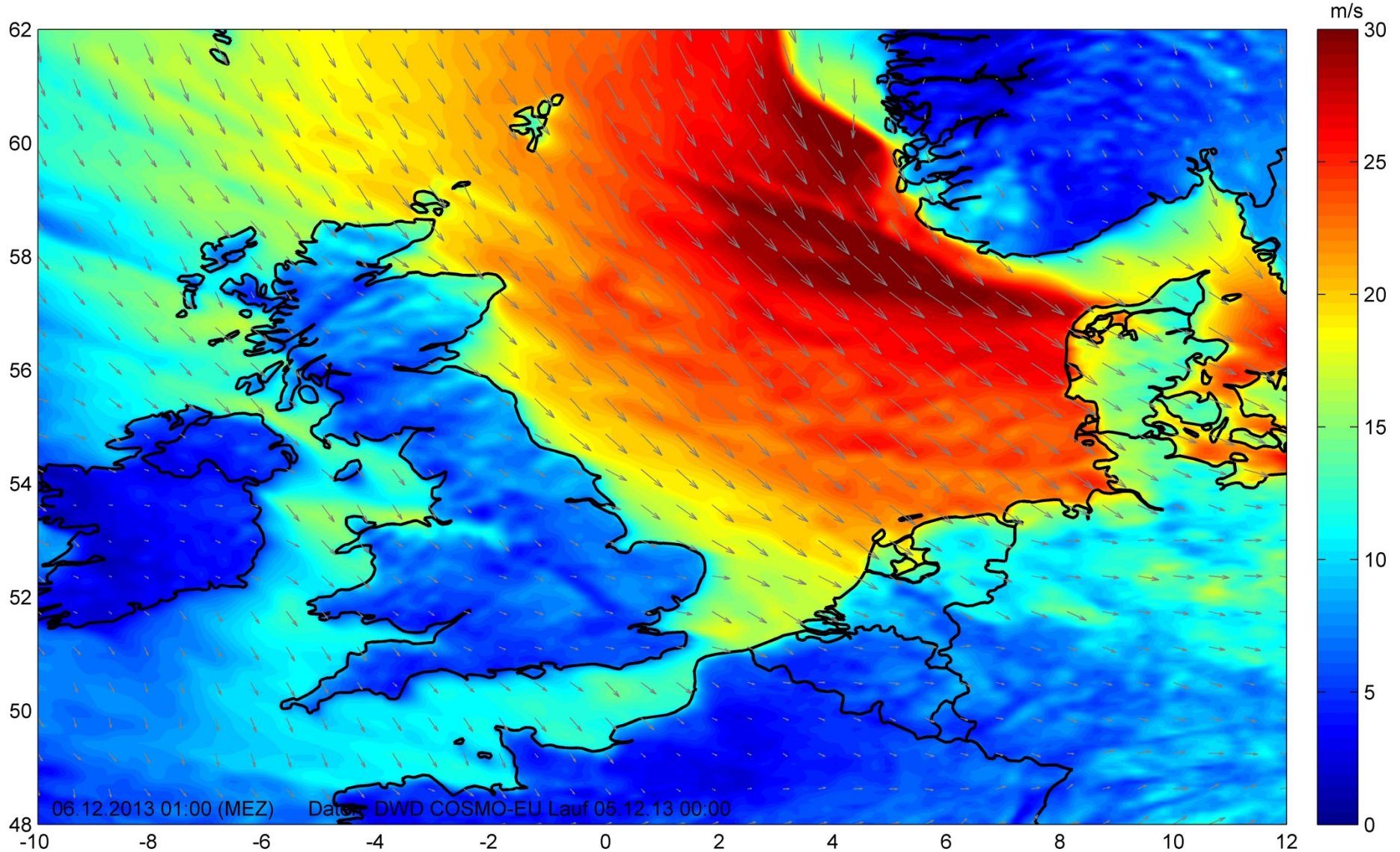
ICON-Daten als GRIB2-Dateien
per FTP aus Offenbach



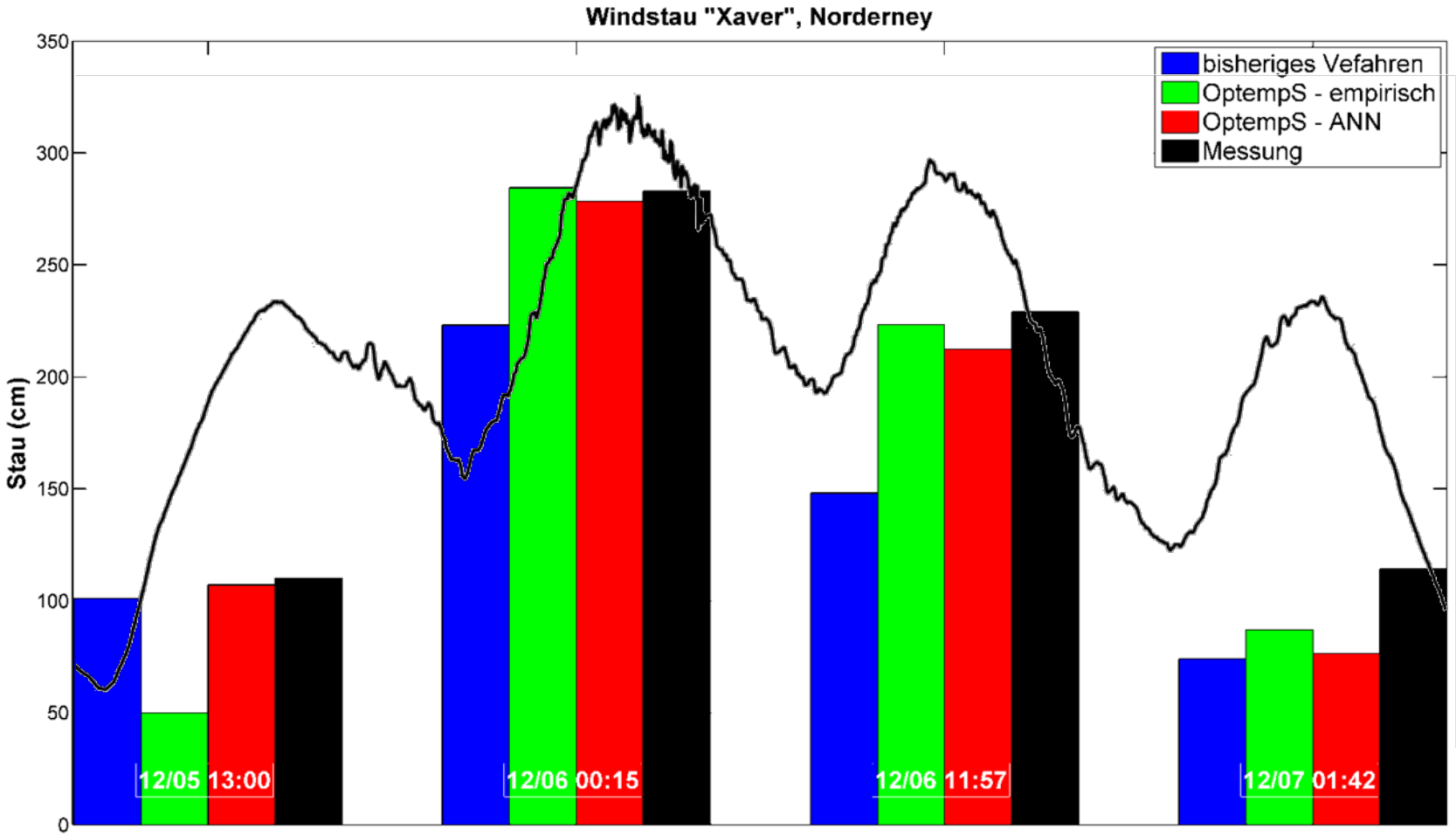


Praxistest: Sturmflut „Xaver“ im Dezember 2013

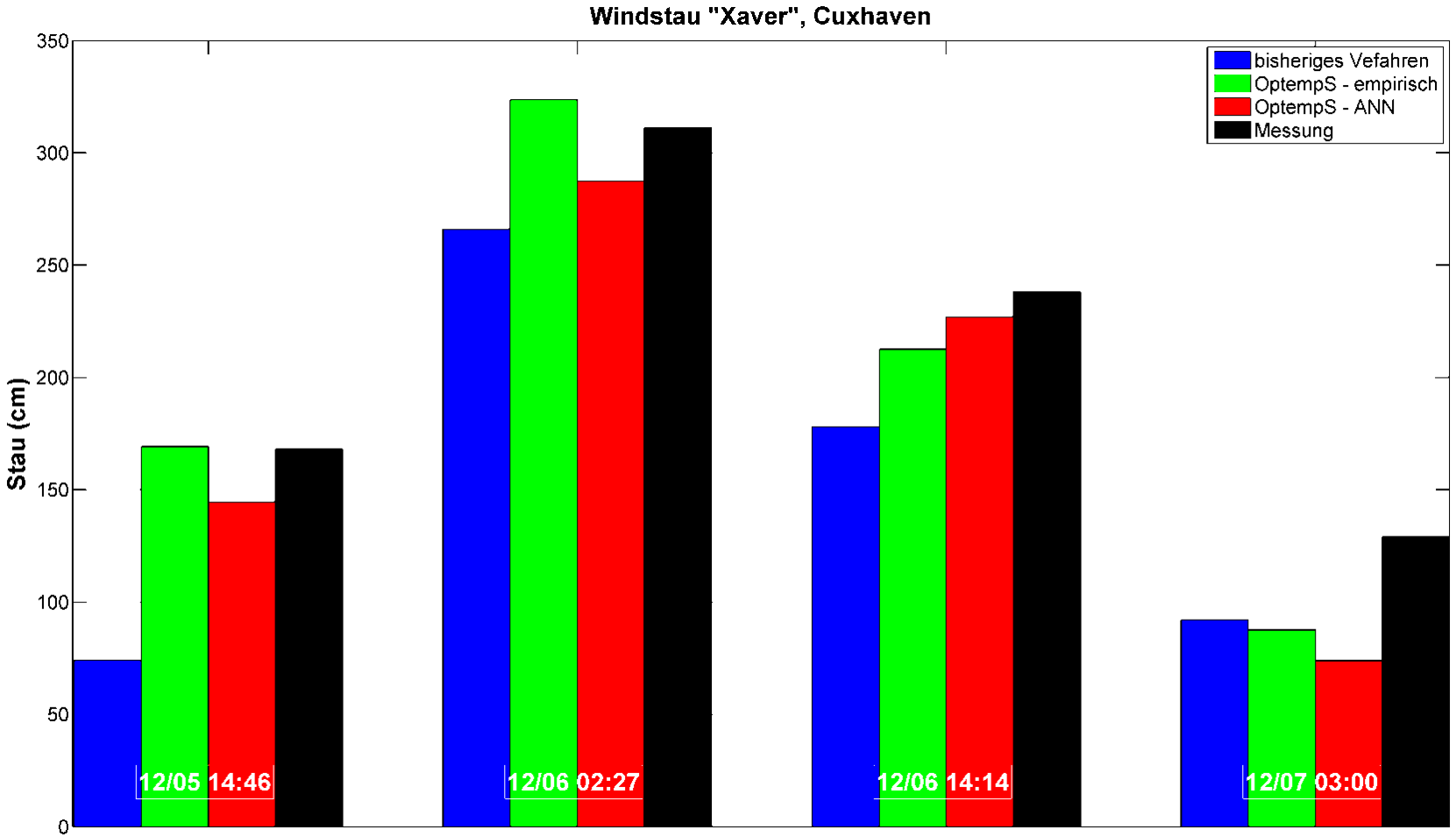
„Sturmflut ‘Xaver‘’06.12.2013



Sturmflut ‘Xaver‘ Vorhersage



Sturmflut ‘Xaver‘ Vorhersage



Danke

an:

DWD

BMBF

KFKI

Projektbegleitende Gruppe:

Frau Gönnert, Herrn Ferk , Herrn Jensen,
Herrn Müller-Navarra, Frau Rudolph

und natürlich den Projektmitarbeitern

Jana Kristandt und Maximilian Streicher

Ende