

## OPTEL - Windstaustudien und Entwicklung eines operationellen Tideelbmodells

Vorstellung KFKI-Projekt OPTEL-C:

# Entwicklung eines operationellen Tideelbmodells sowie Modellkopplung mit dem BSH – Vorhersagemodell der Nordsee

Elisabeth Rudolph & Christine Kremp

[www.baw.de](http://www.baw.de)



courtesy of HPA (T.Strotmann, B.Hartwich)

BSH 2007: Entwicklung eines operationellen Vorhersagemodells für das Elbeästuar

**Ziel:** Verbesserung der Vorhersage von

- Wasserstand,
- Strömung und
- Salztransport

entlang des Elbe Ästuares zwischen Cuxhaven und Hamburg

für normale und extreme Situationen (z.B. Sturmflut, Sturmeebbe, hoher Abfluss)

**wichtig für**

- Schifffahrt z.B. Containerschiffe auf dem Weg zum Hafen Hamburg
- Sturmflutschutz

**Idee:** entwickle 2 unterschiedliche Vorhersagemodelle Elbe und betrachte die jeweiligen Vor- und Nachteile im operationellen Betrieb

OPTEL: 1. April 2008 – 31. März 2011

<http://www.bsh.de/de/Meeresdaten/Projekte/OPTEL/index.jsp>

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

# OPTEL – Operationelles Vorhersagemodell für die Tideelbe



Partner im KFKI - Forschungsprojekt OPTEL

**OPTEL D: HPA** - Hamburg Port Authority:

Messungen und Datenanalyse (KFKI Seminar 2009)

**OPTEL B: DWD** – Deutscher Wetterdienst:

Wettervorhersagen und lokale Vorhersagewindfelder über dem Elbeästuar  
(KFKI Seminar 2009)

**OPTEL A: BSH** – Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie :

Wasserstands-, Strömungs- und Salzgehaltsvorhersage für die Nordsee  
und das Elbeästuar mit HN-Modell BSH-cmod

**OPTEL C: BAW** – Bundesanstalt für Wasserbau:

Wasserstands-, Strömungs- und Salzgehaltsvorhersage für das Elbeästuar  
mit HN-Modell UnTRIM2007



**Bundesanstalt für Wasserbau**  
Federal Waterways Engineering and Research Institute

GEFÖRDERT VOM



**Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung**

**BMBF - Förderkennzeichen 03KIS071**



**Bundesanstalt für Wasserbau**  
Kompetenz für die Wasserstraßen

16. KFKI Seminar Bremerhaven

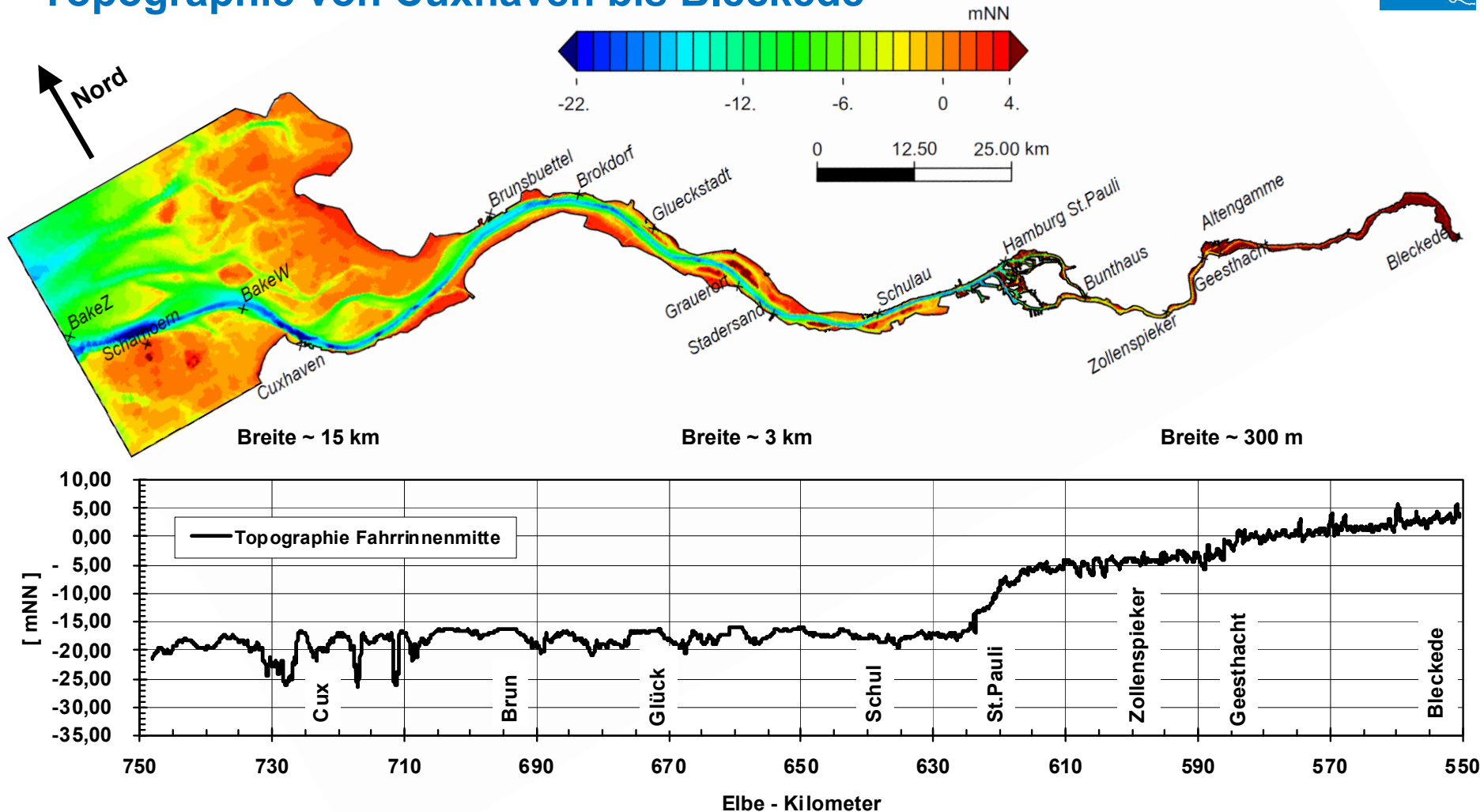
OPTEL - Operationelles Vorhersagemodell für die Tideelbe

Elisabeth Rudolph & Christine Kremp · 2. November 2011

Seite 3

# Hydrodynamisch - numerisches Modell des Elbe Ästuares

## Topographie von Cuxhaven bis Bleckede



Topographie 2006, HN Modell: UnTRIM (V.Casulli, Uni Trento) siehe [BAWiki](http://www.baw.de) auf [www.baw.de](http://www.baw.de)



# Hydrodynamisch - numerisches Modell des Elbe Ästuares

## BAW Vorhersagemodell Elbe



### ■ HN Modell UnTRIM

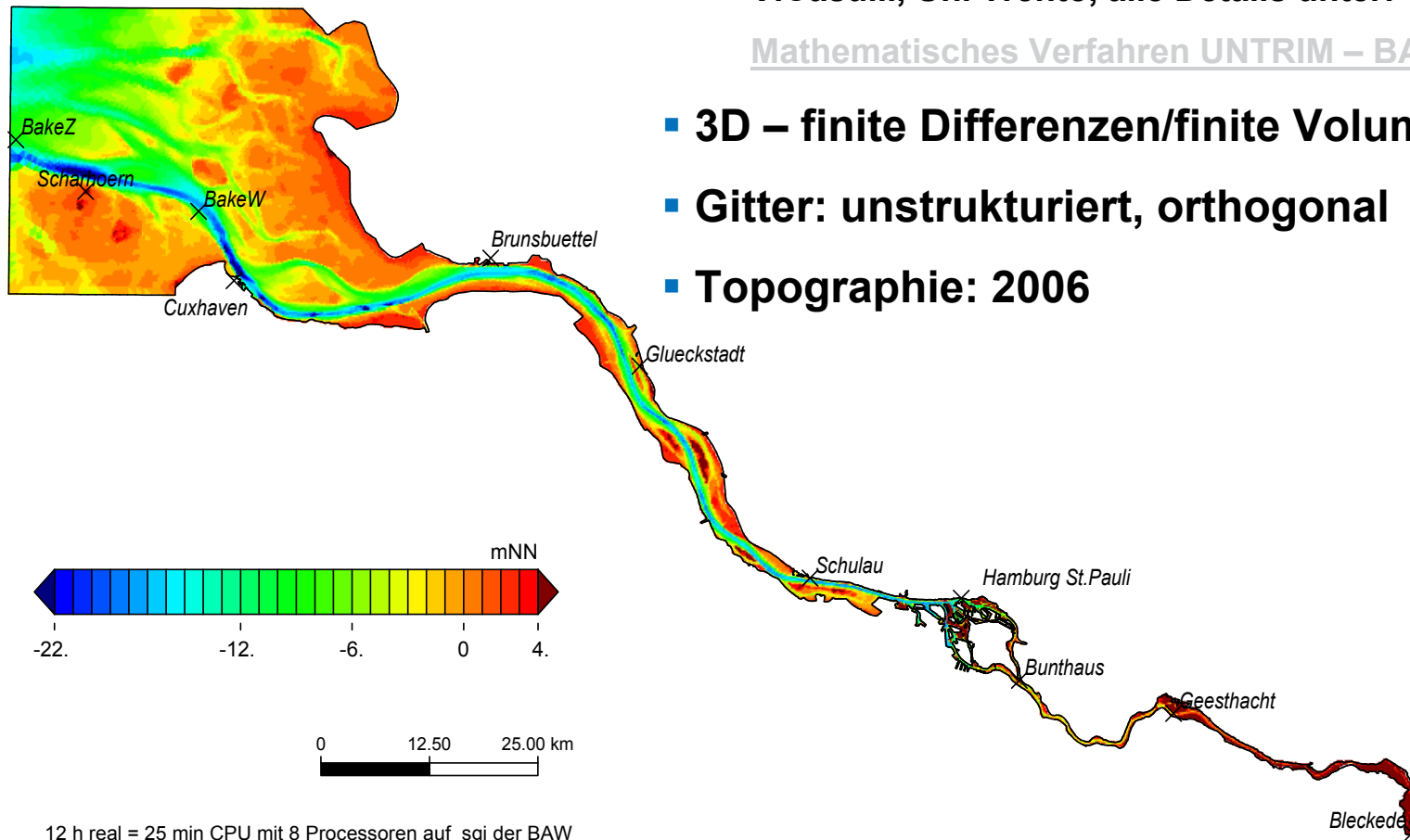
V.Casulli, Uni Trento, alle Details unter:

[Mathematisches Verfahren UNTRIM – BAW-Methoden-Wiki](#)

### ■ 3D – finite Differenzen/finite Volumen

### ■ Gitter: unstrukturiert, orthogonal

### ■ Topographie: 2006



12 h real = 25 min CPU mit 8 Prozessoren auf sgi der BAW



**Bundesanstalt für Wasserbau**  
Kompetenz für die Wasserstraßen

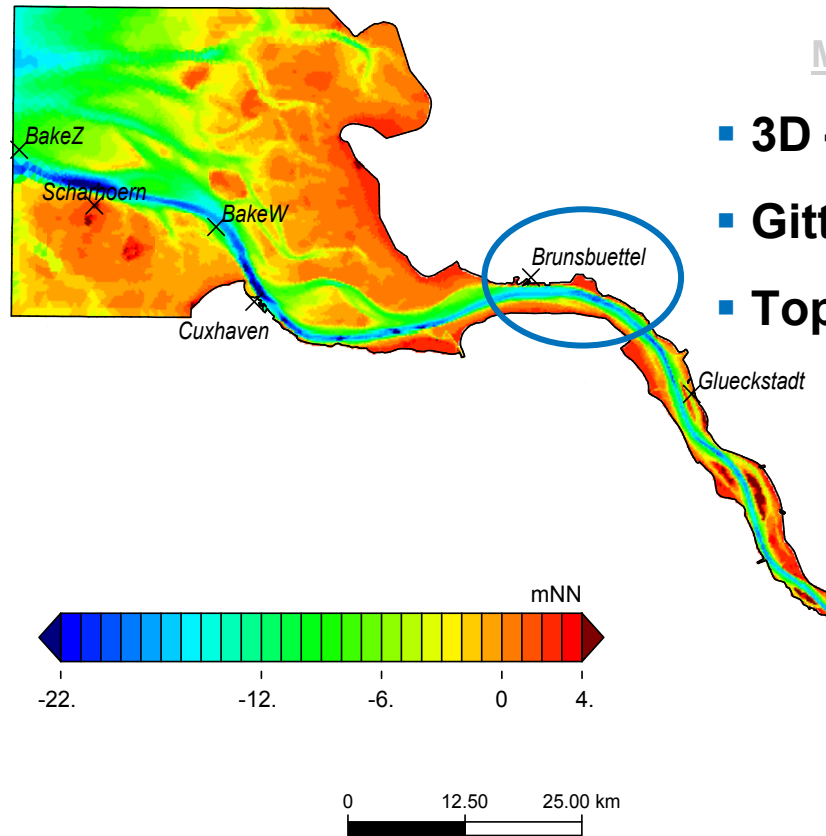
# Hydrodynamisch - numerisches Modell des Elbe Ästuares

## BAW Vorhersagemodell Elbe

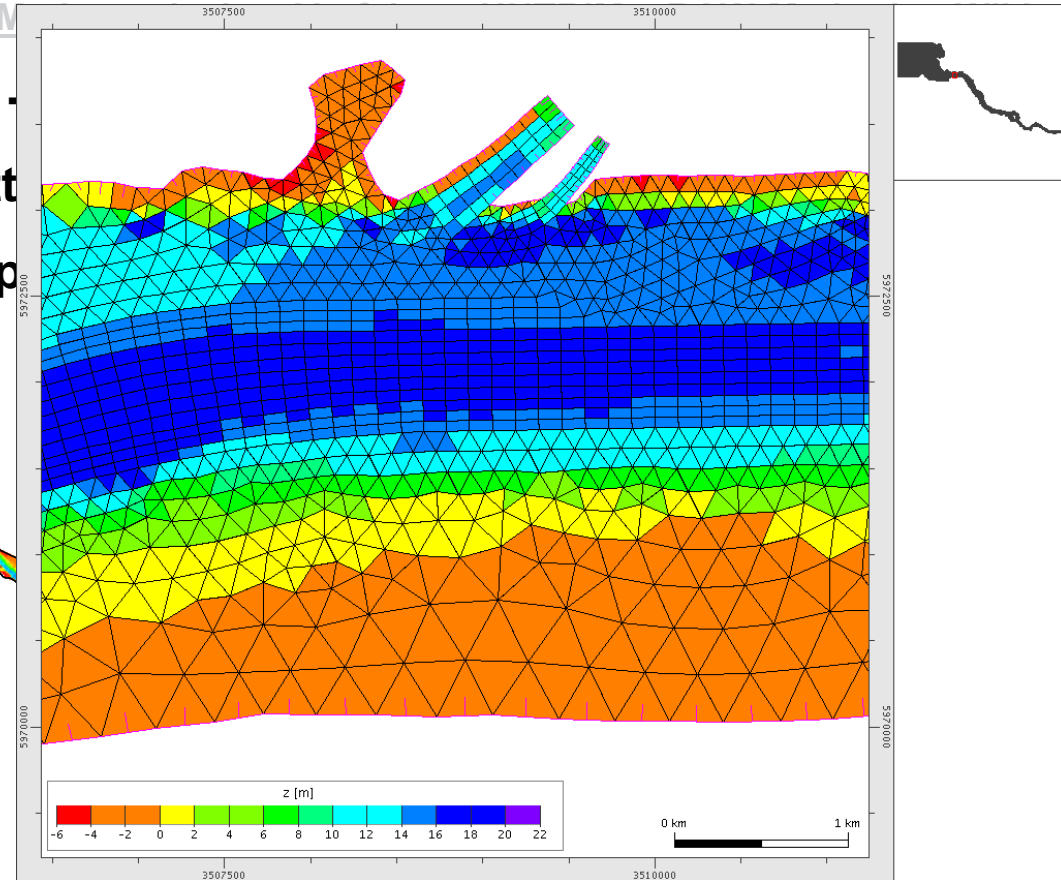


### ■ HN Modell UnTRIM

V.Casulli, Uni Trento, alle Details unter:



- 3D -
- Gitt
- Top



12 h real = 25 min CPU mit 8 Prozessoren auf sgi der BAW

# BAW Vorhersagemodell Elbe

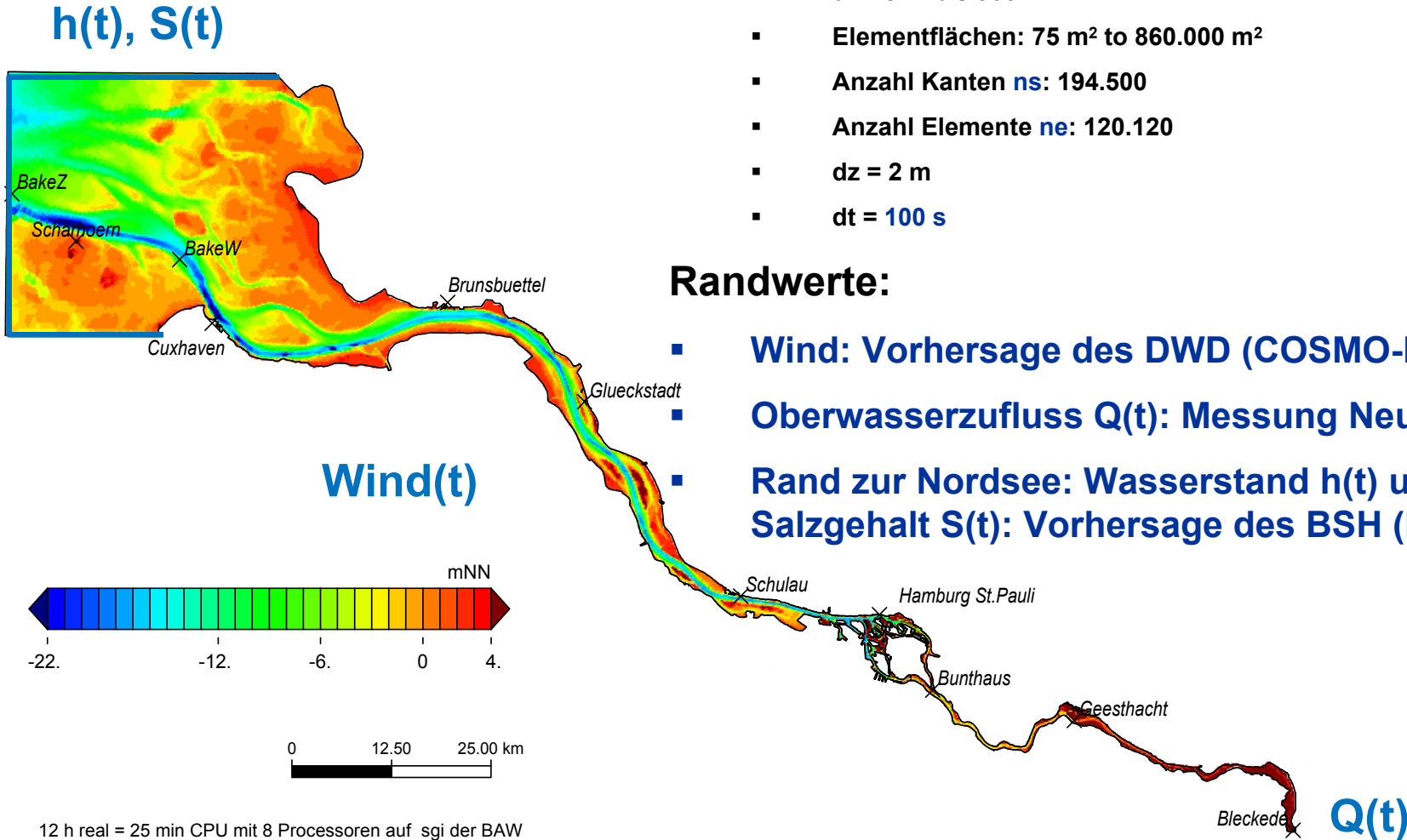
## HN - Modell:

### ■ UnTRIM2007 (3D mit Salz)

- dx: 5 m bis 930 m
- Elementflächen: 75 m<sup>2</sup> to 860.000 m<sup>2</sup>
- Anzahl Kanten **ns**: 194.500
- Anzahl Elemente **ne**: 120.120
- dz = 2 m
- dt = 100 s

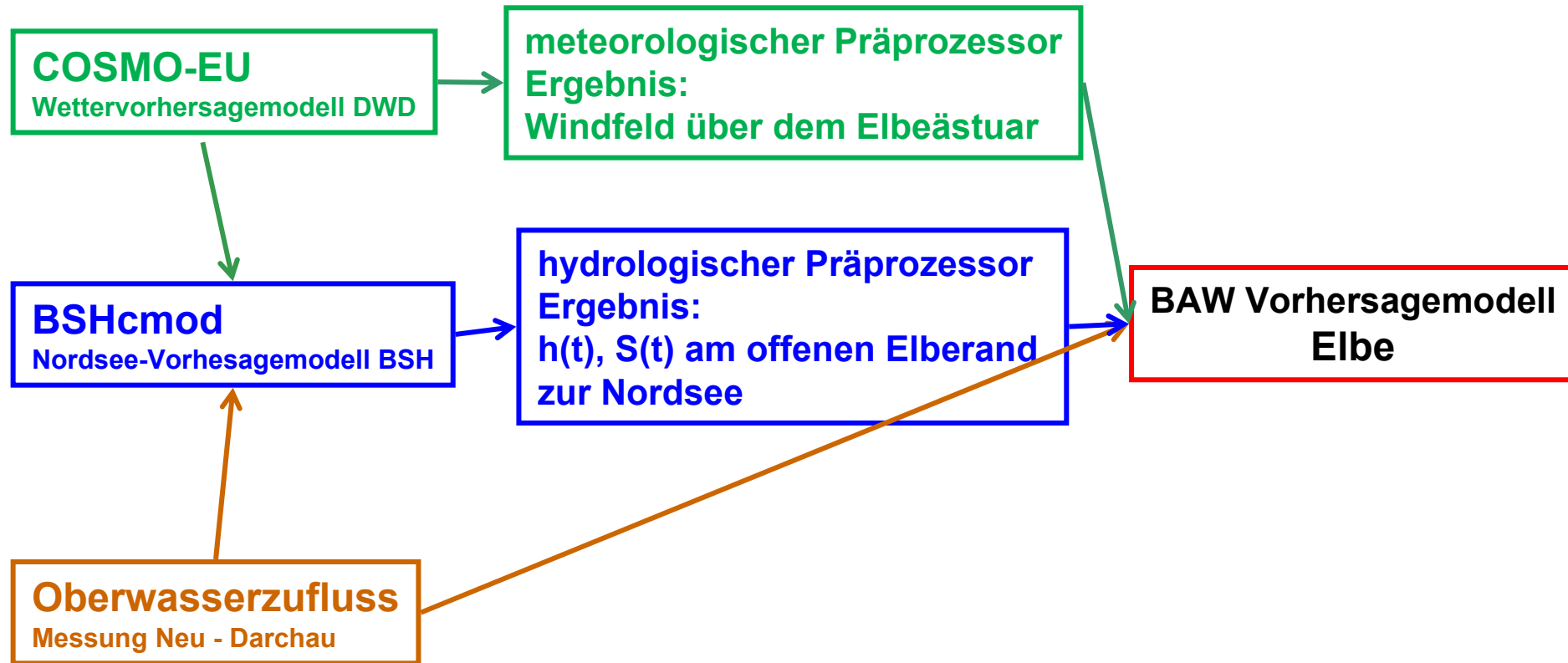
## Randwerte:

- Wind: Vorhersage des DWD (COSMO-EU)
- Oberwasserzufluss Q(t): Messung Neu Darchau
- Rand zur Nordsee: Wasserstand h(t) und Salzgehalt S(t): Vorhersage des BSH (BSHcmod)



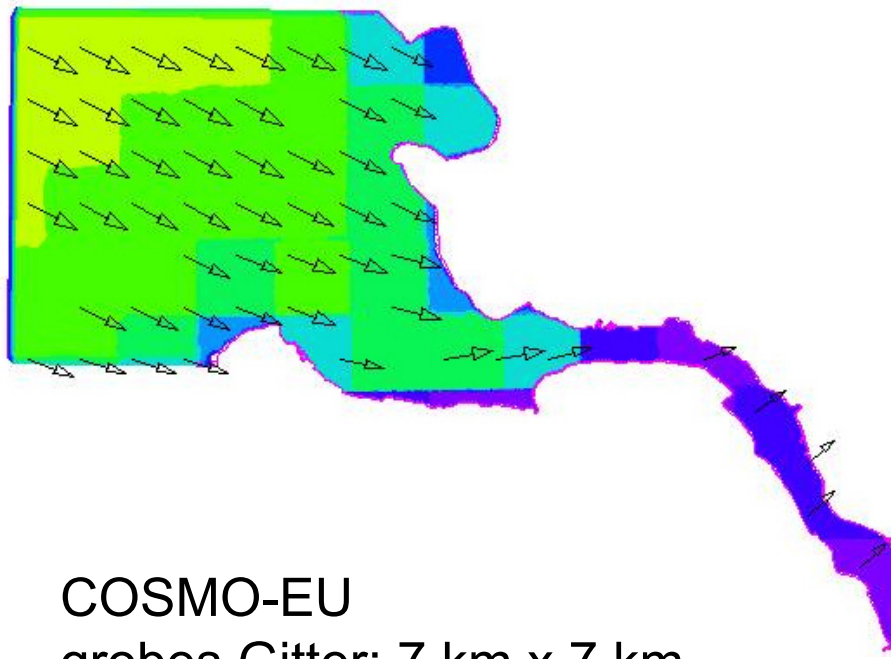
12 h real = 25 min CPU mit 8 Prozessoren auf sgi der BAW

# Vorbereitung Randwerte

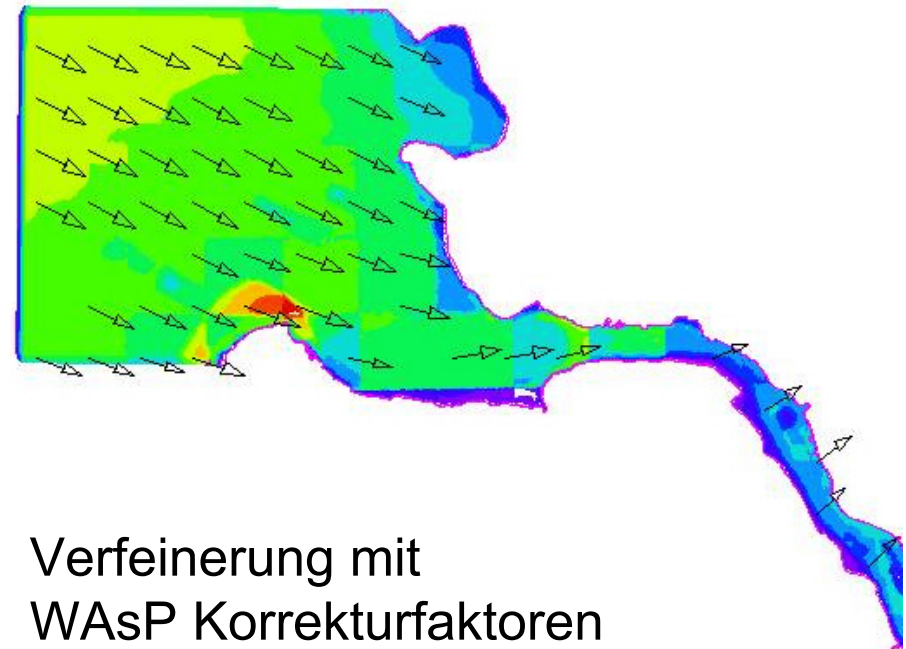




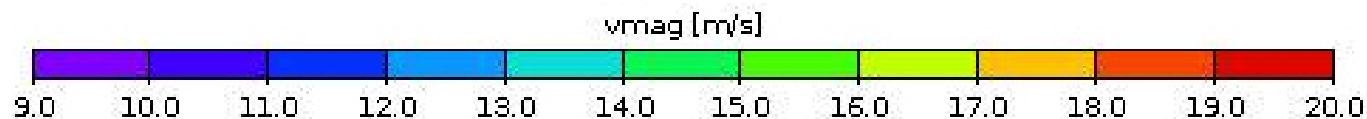
# Vorbereitung Randwerte: Wind



COSMO-EU  
grobes Gitter: 7 km x 7 km



Verfeinerung mit  
WAsP Korrekturfaktoren  
feines Gitter: 250 m x 250 m  
(Korrekturfaktoren aus OPTEL B, DWD,  
Vortrag A.Ganske [KFKI-Seminar 2009](#))



## Auswahl der geeigneten Zeiträume durch OPTEL D, HPA

### Kalibrierung:

Szenario 1: mittlere Verhältnisse, kein Wind,  $Q = 400 \text{ m}^3/\text{s}$  (Juli 2006)

### Validierung:

Szenario 2: zunehmender Abfluss (April 2006)

Szenario 3: abnehmender Abfluss (April 2006)

Szenario 4: starker Ostwind (Januar 2008)

Szenario 5: Sturmflut 1. November 2006

Szenario 6: Sturmflut Januar 2007

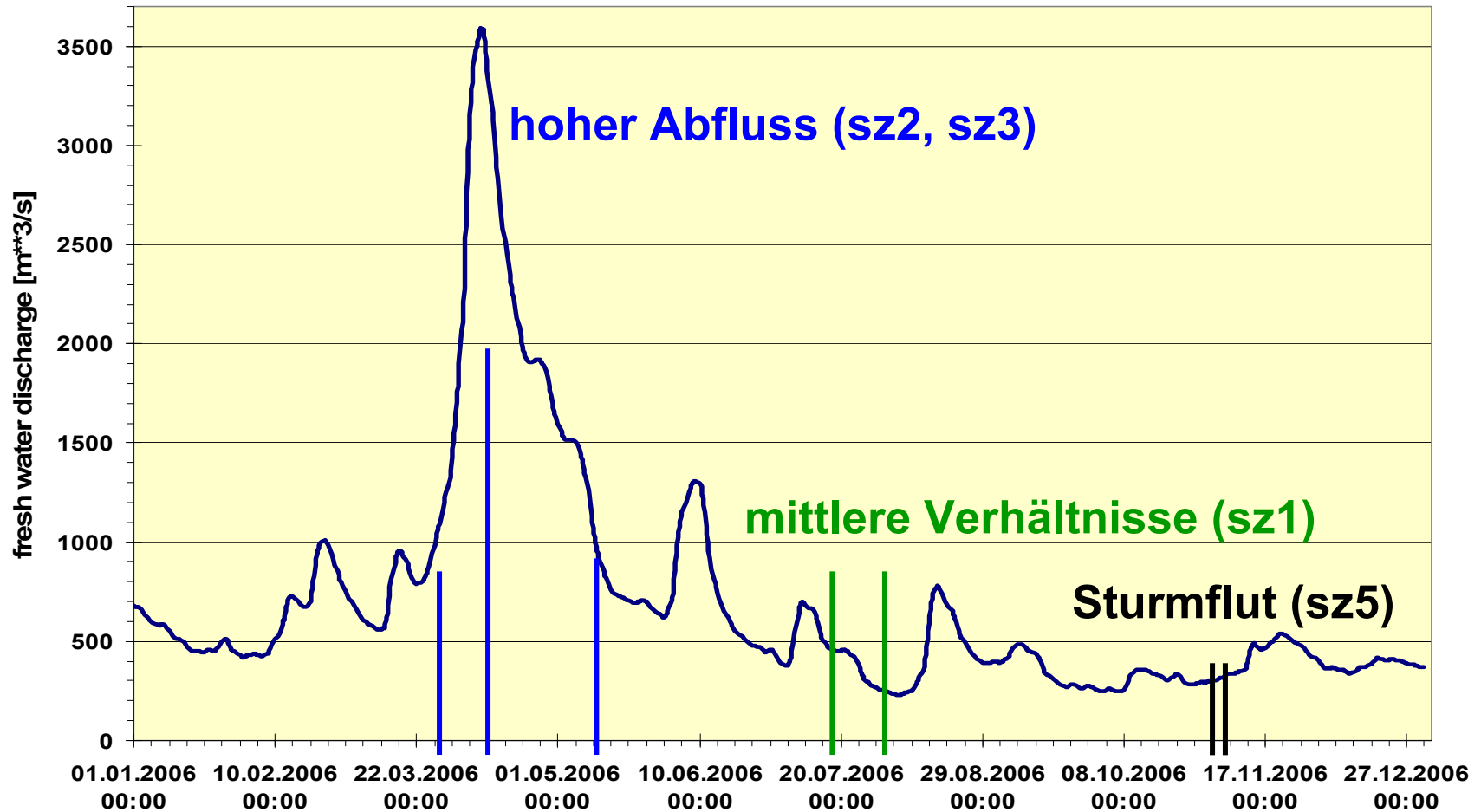
### Wasserstandsrandwerte aus

- Messungen für die Szenarien aus 2006
- Vorhersagemodell Nordsee BSHcmod für alle Szenarien

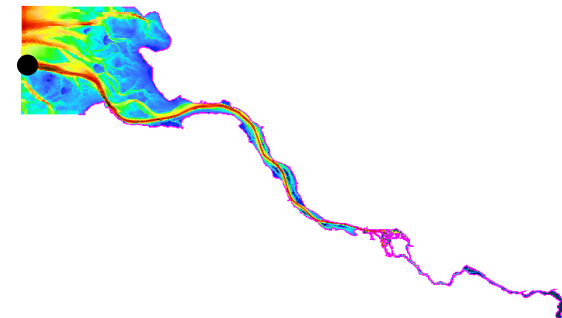
... was kann man vom BAW Vorhersagemodell Elbe erwarten?

# 4 Szenarien in 2006: Abfluss Neu Darchau

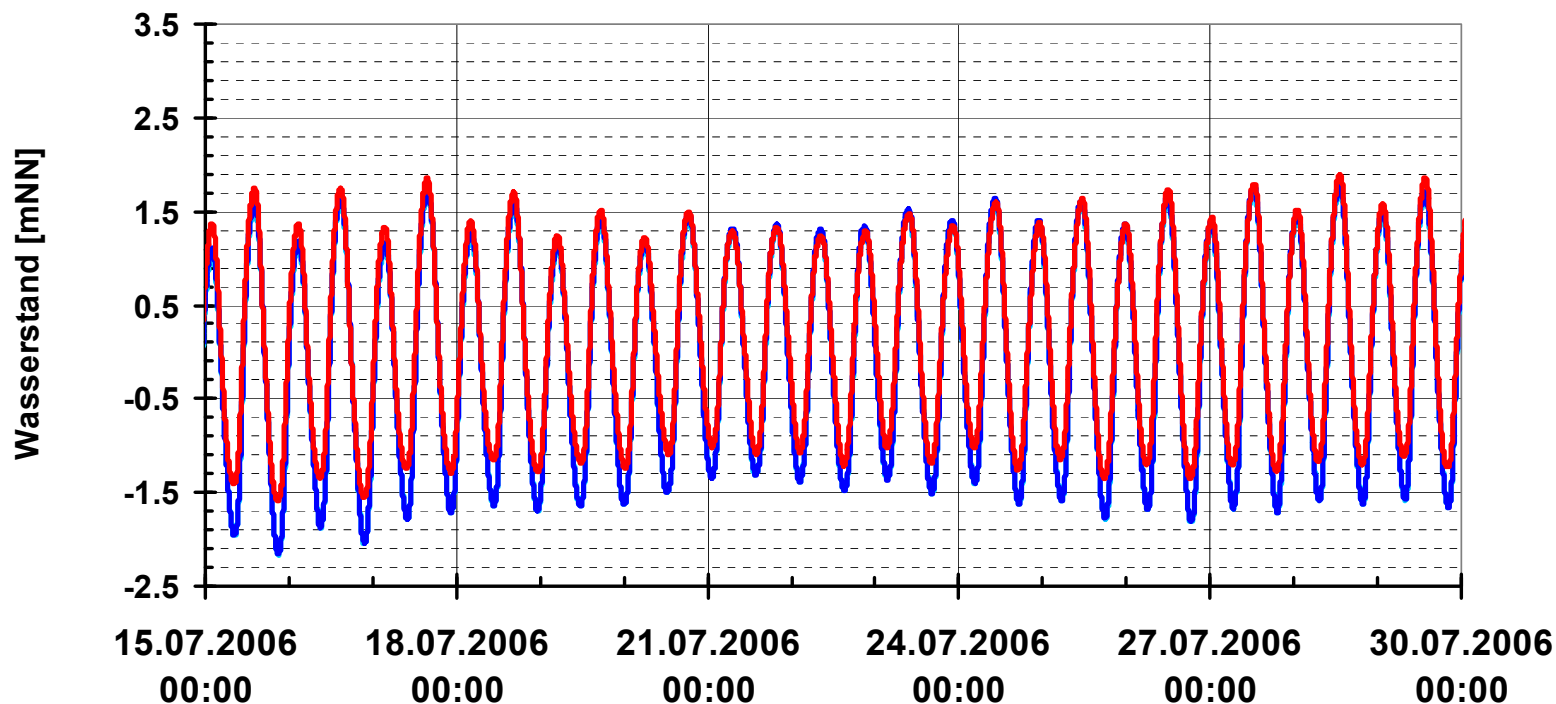
Observations of fresh water discharge in Neu Darchau 2006



# Randwerte Nordsee: Wasserstand



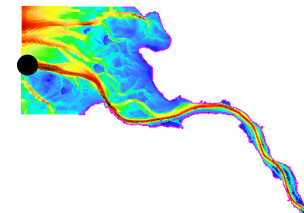
## Szenario 1: Wasserstand Bake A



**Messung (zur Randwertgenerierung verwendet)**

**Vorhersage aus BSHcmod (Vorhersagemodell Nordsee, Randwert)**

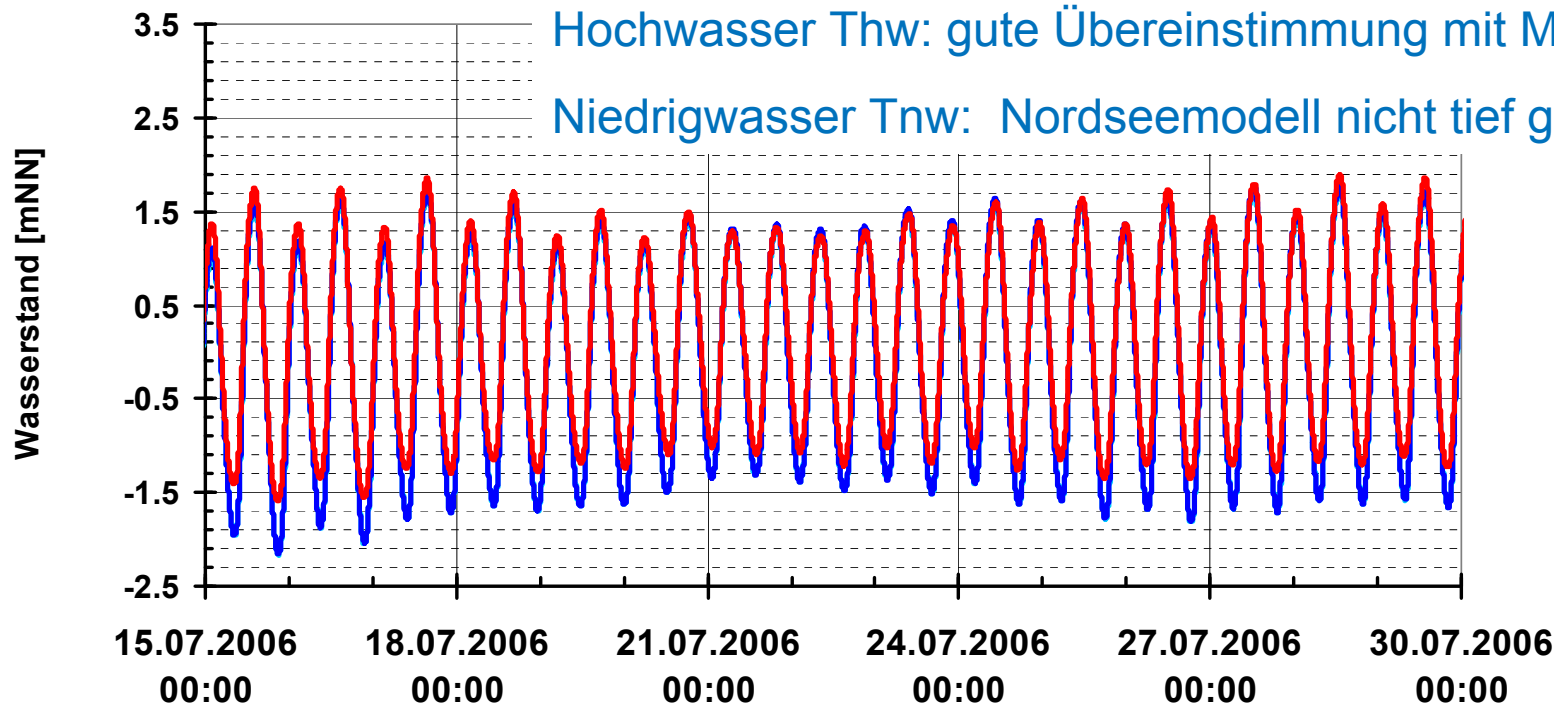
# Randwerte Nordsee: Wasserstand



Szenario 1: \ Wasserstandsvorhersage Nordseemodell

Hochwasser Thw: gute Übereinstimmung mit Messung

Niedrigwasser Tnw: Nordseemodell nicht tief genug



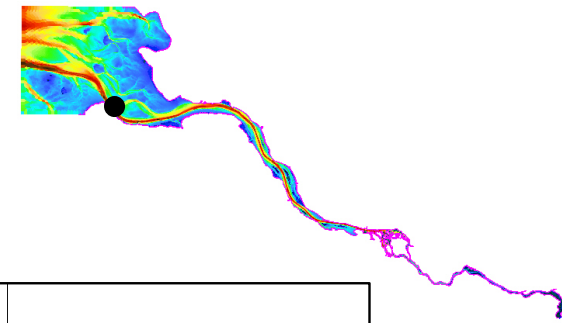
**Messung (zur Randwertgenerierung verwendet)**

**Vorhersage aus BSHcmod (Vorhersagemodell Nordsee, Randwert)**

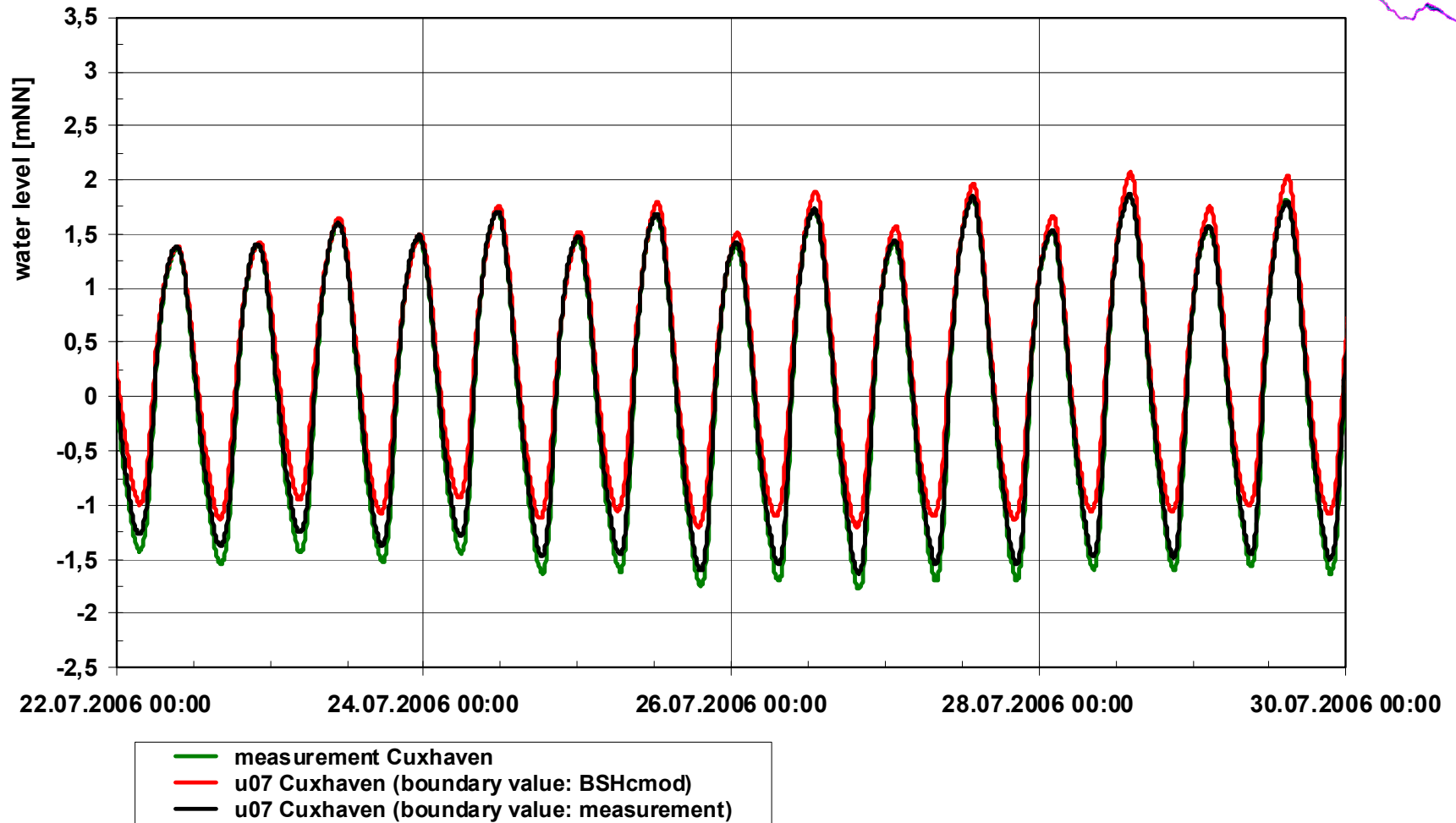


# Szenario 1: Juli 2006

## ... verwende beide Randwerte

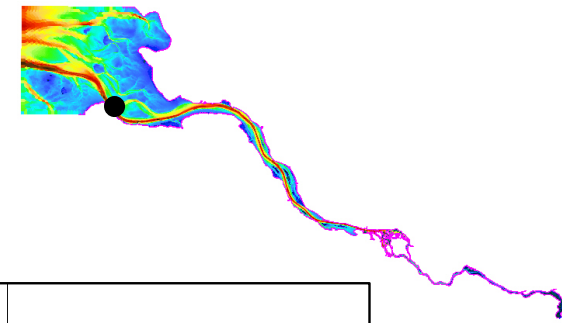


Cuxhaven

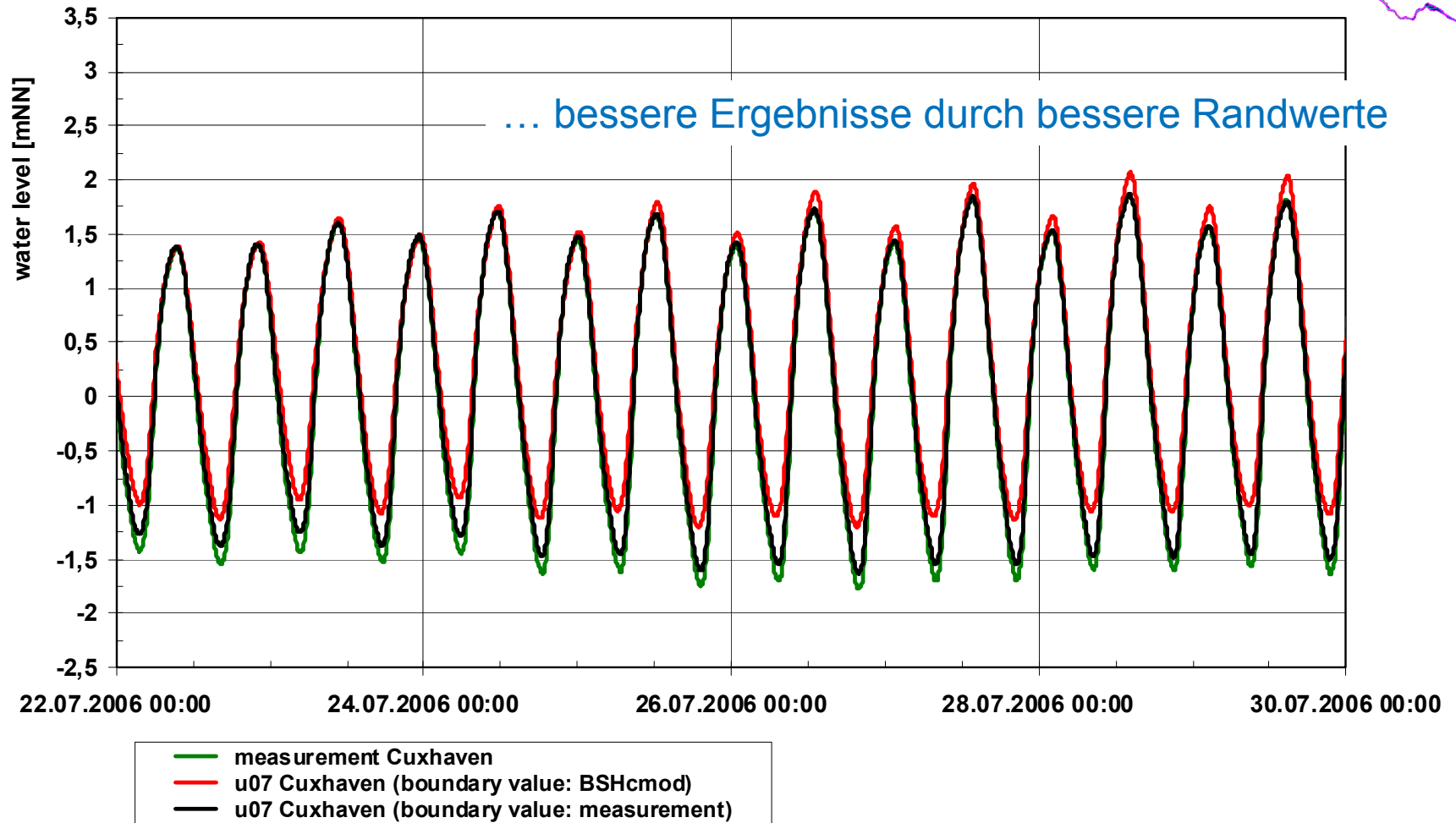


# Szenario 1: Juli 2006

## ... verwende beide Randwerte

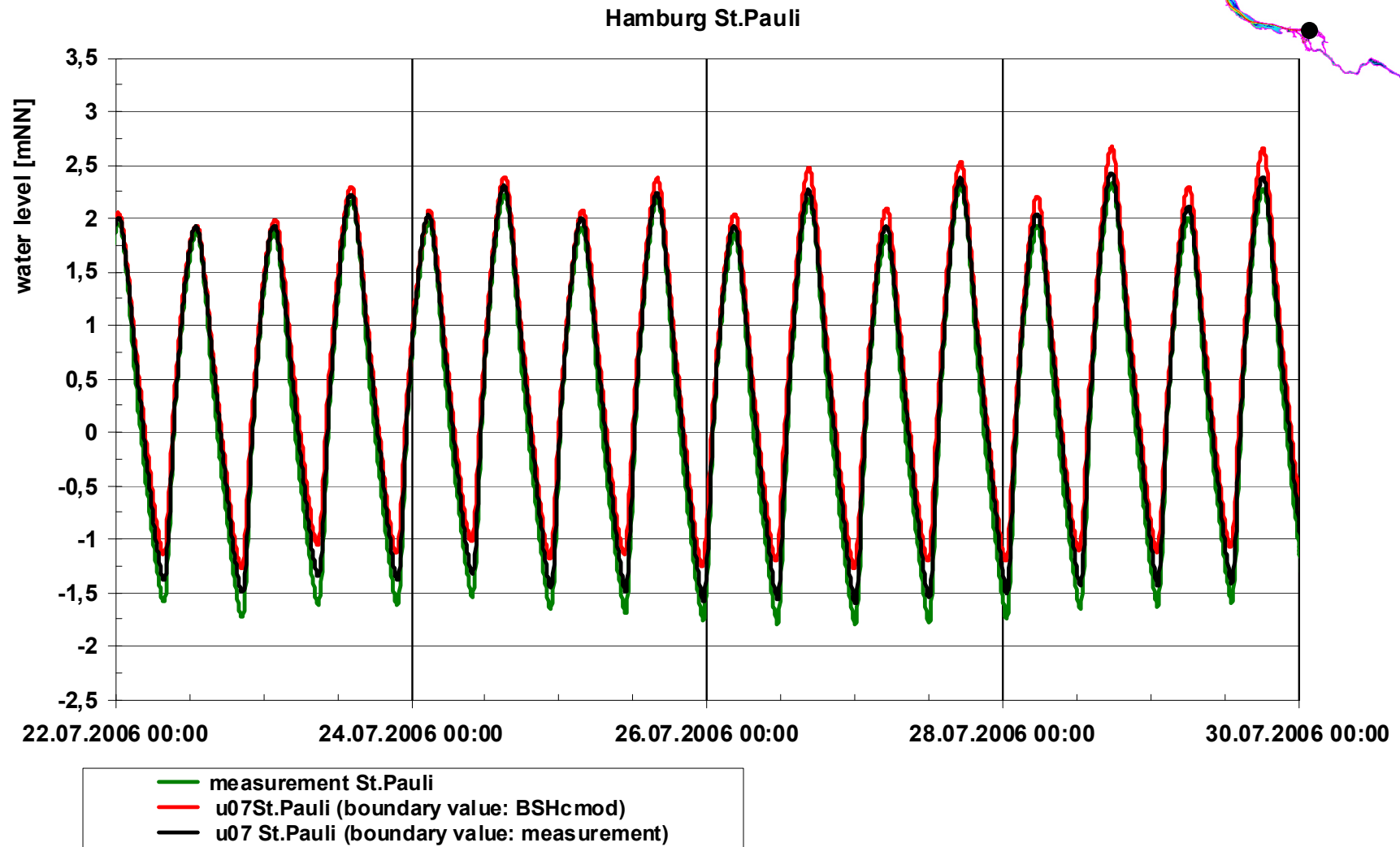
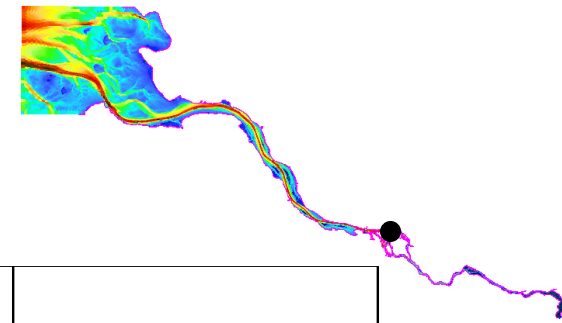


Cuxhaven



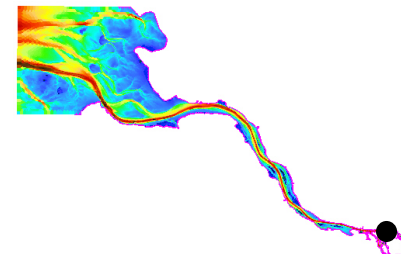
# Szenario 1: Juli 2006

## ... verwende beide Randwerte

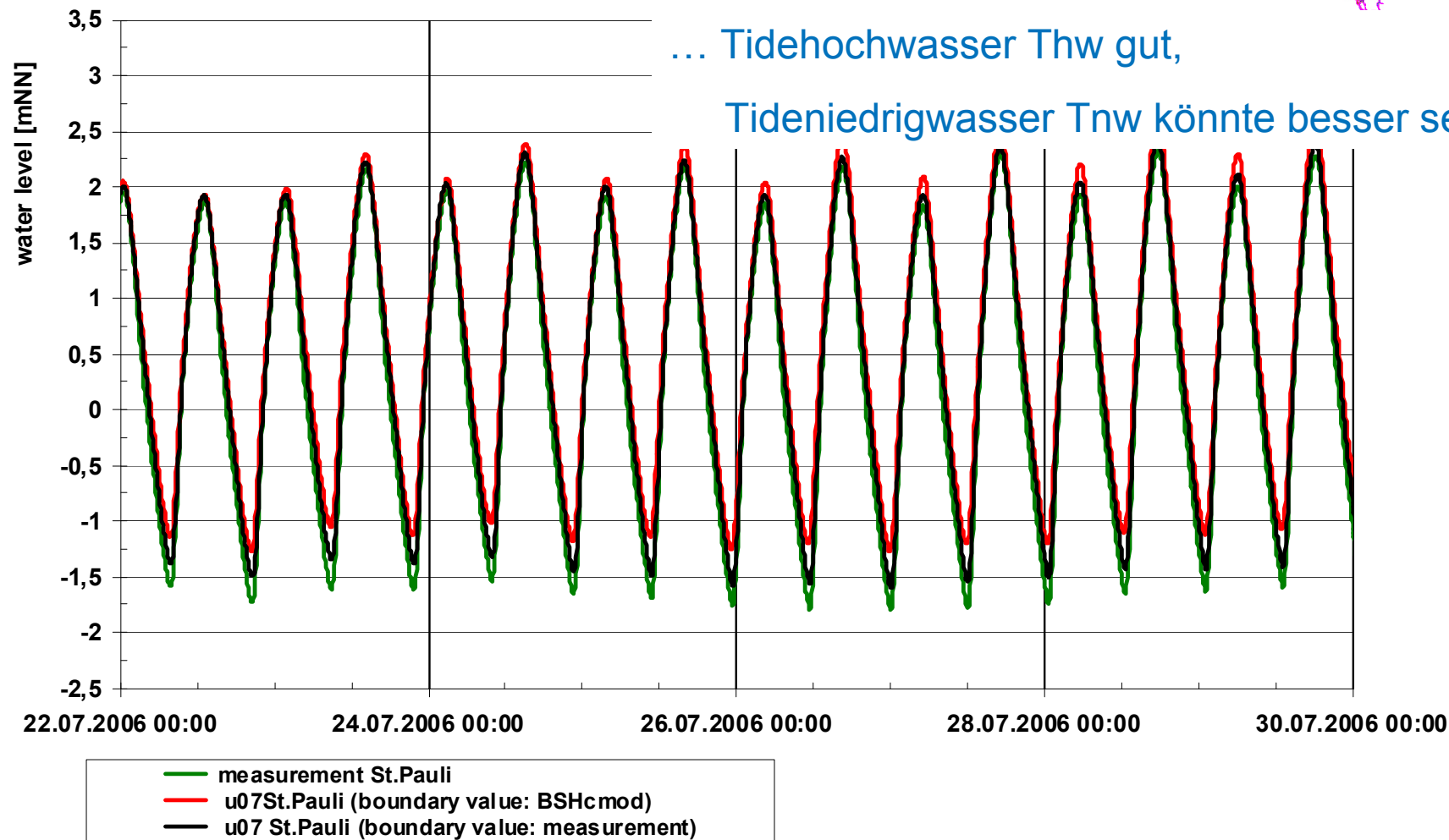


# Szenario 1: Juli 2006

## ... verwende beide Randwerte



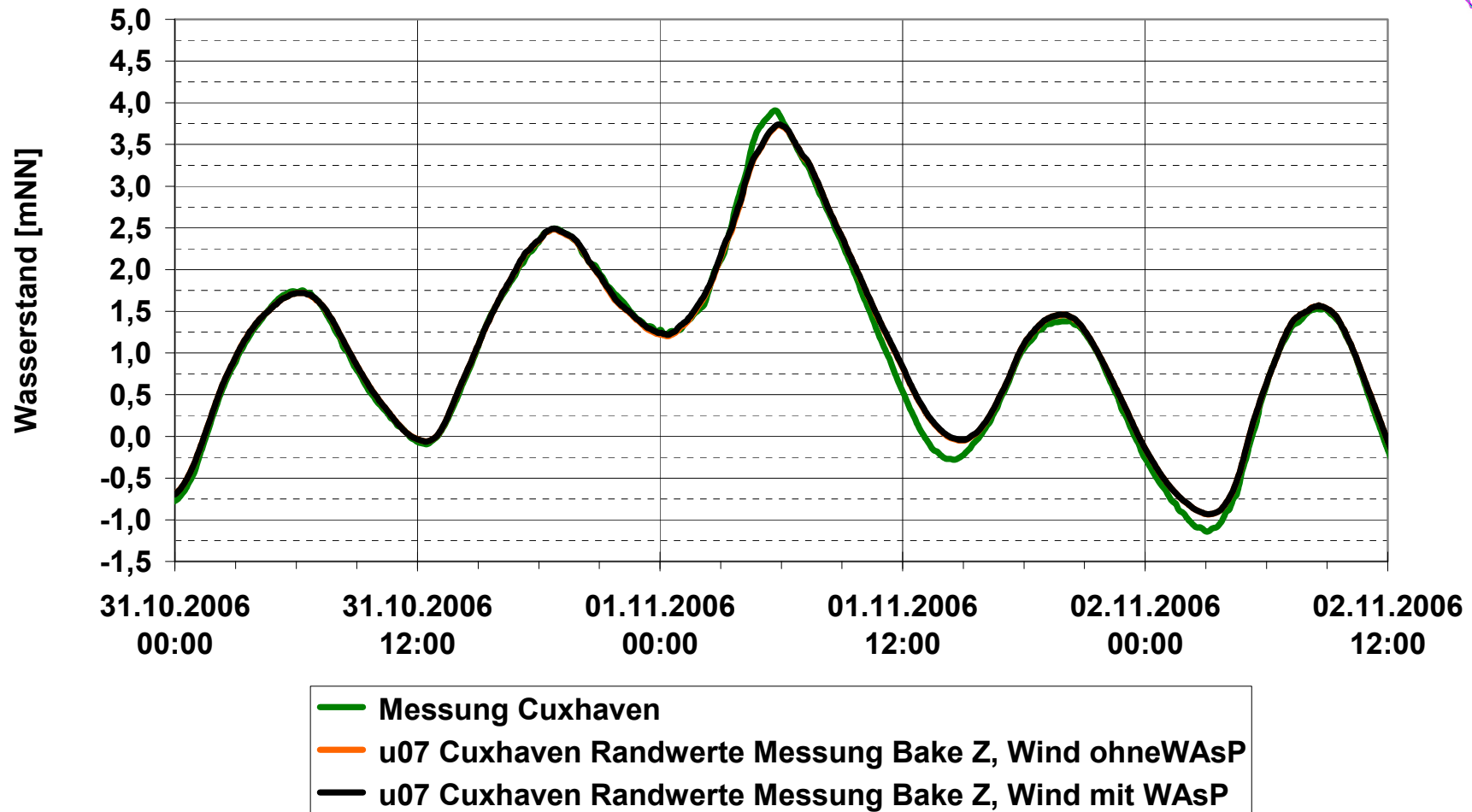
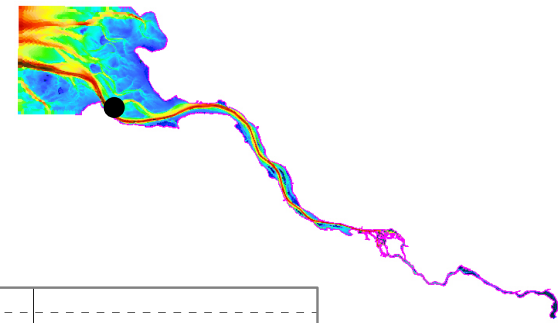
Hamburg St.Pauli



# Szenario 5: Sturmflut 1. November 2006

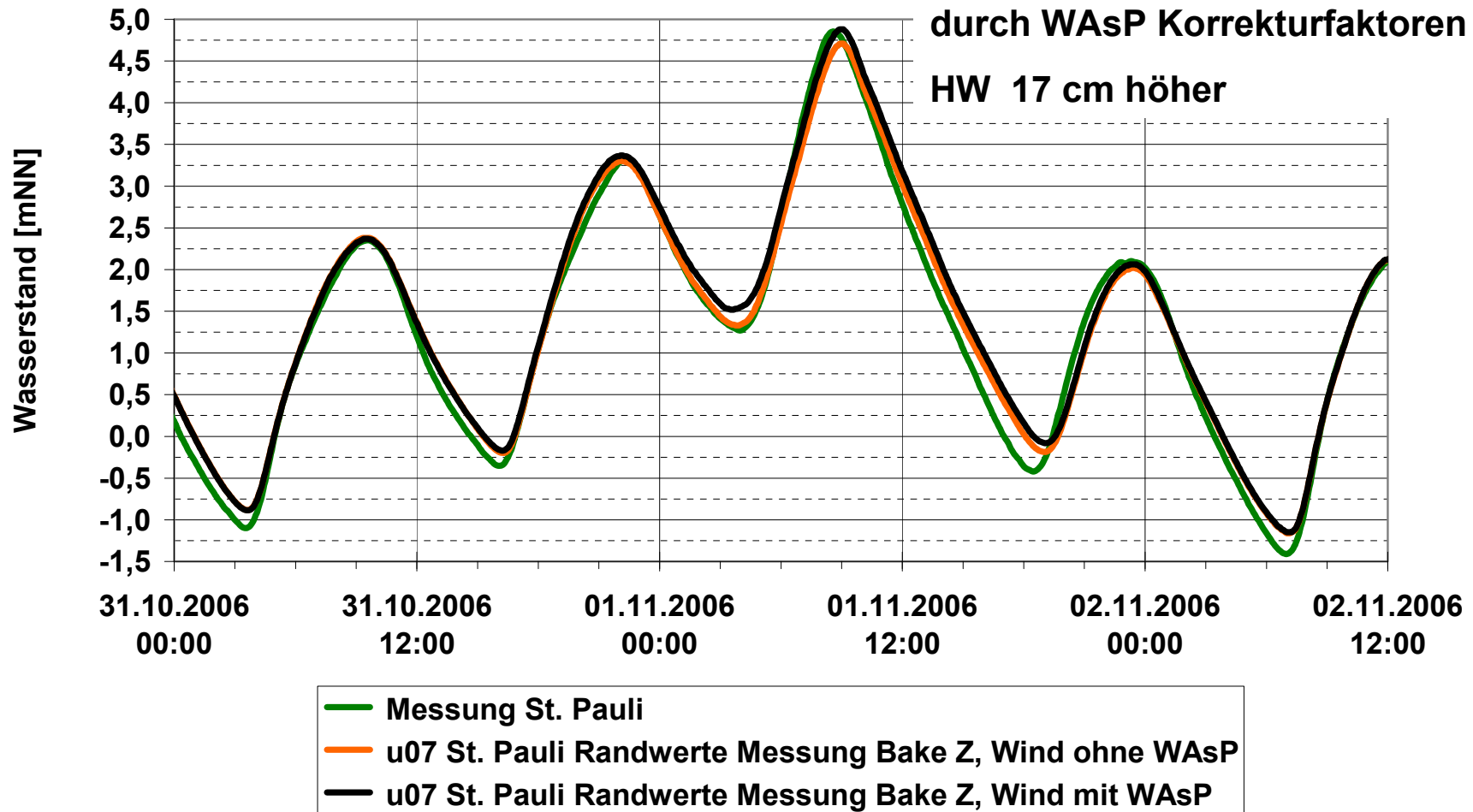
## Wasserstand Cuxhaven

### Bedeutung der WAsP Korrekturfaktoren



# Szenario 5: Sturmflut 1. November 2006

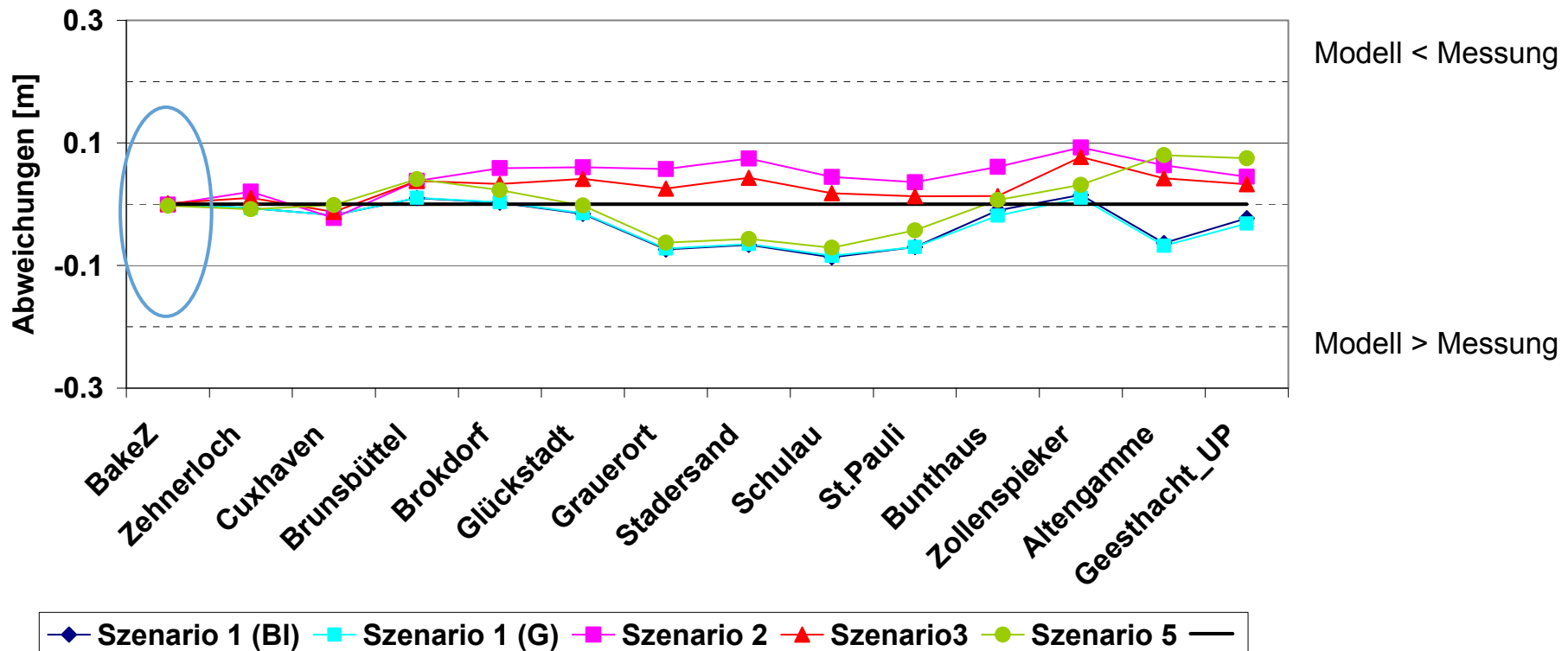
## Wasserstand Hamburg St.Pauli





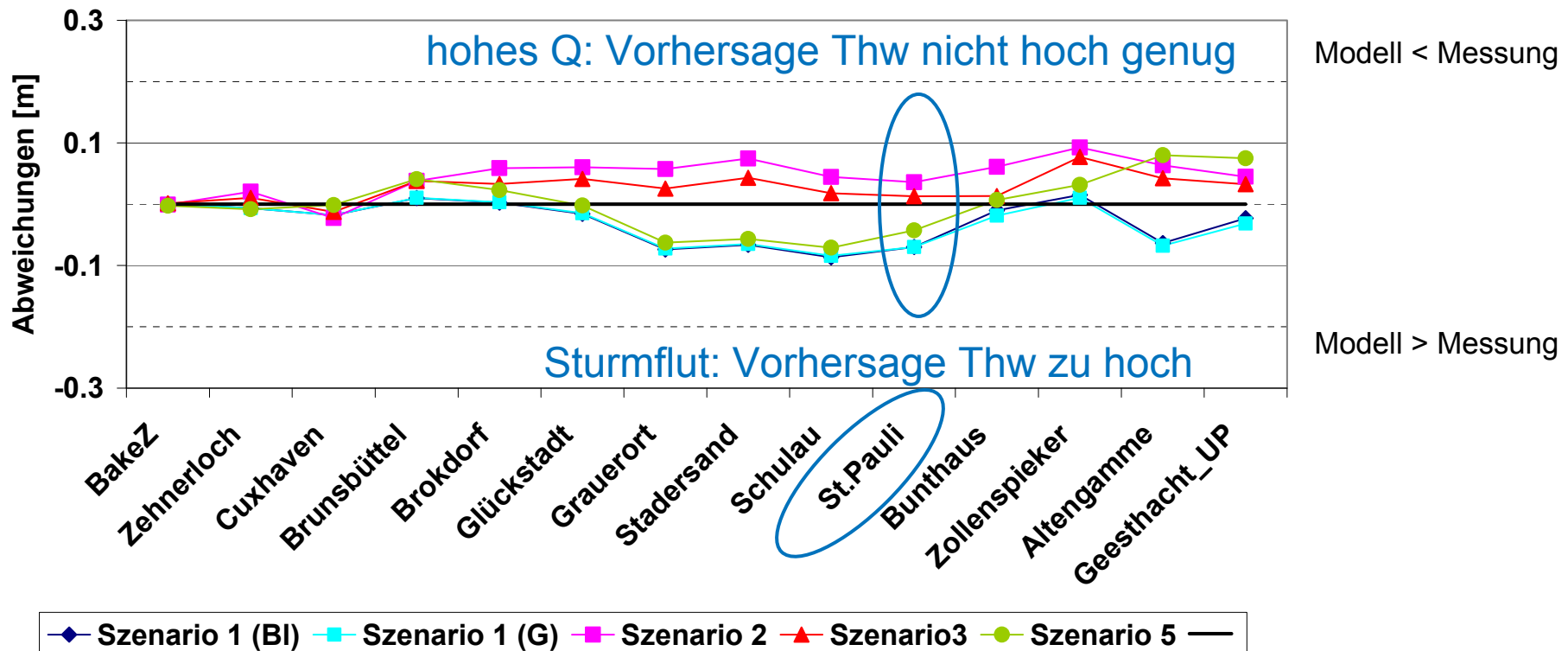
# Tidehochwasser Thw entlang des Elbe Ästuares: Randwerte aus Messung

diff Thw (Messung – Modell) < +/- 10 cm



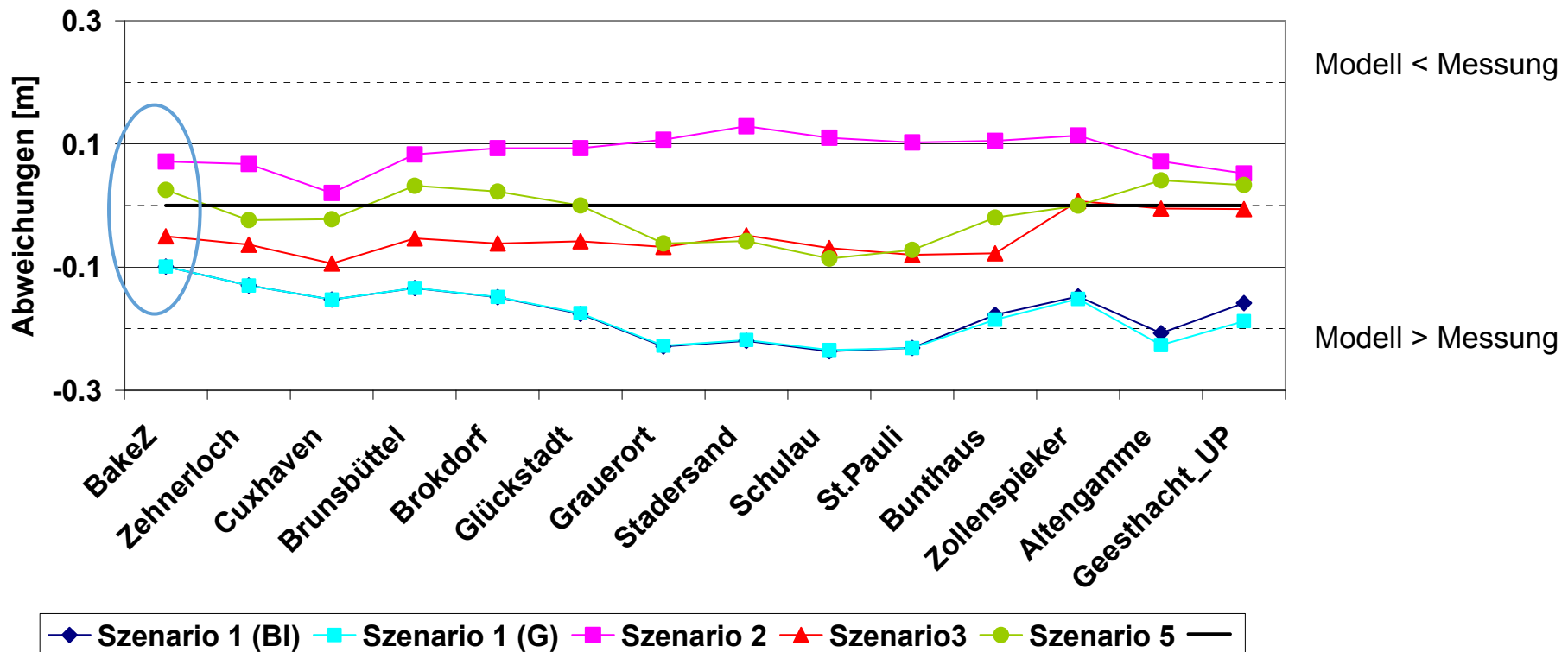
# Tidehochwasser Thw entlang des Elbe Ästuares: Randwerte aus Messung

diff Thw (Messung – Modell) < +/- 10 cm



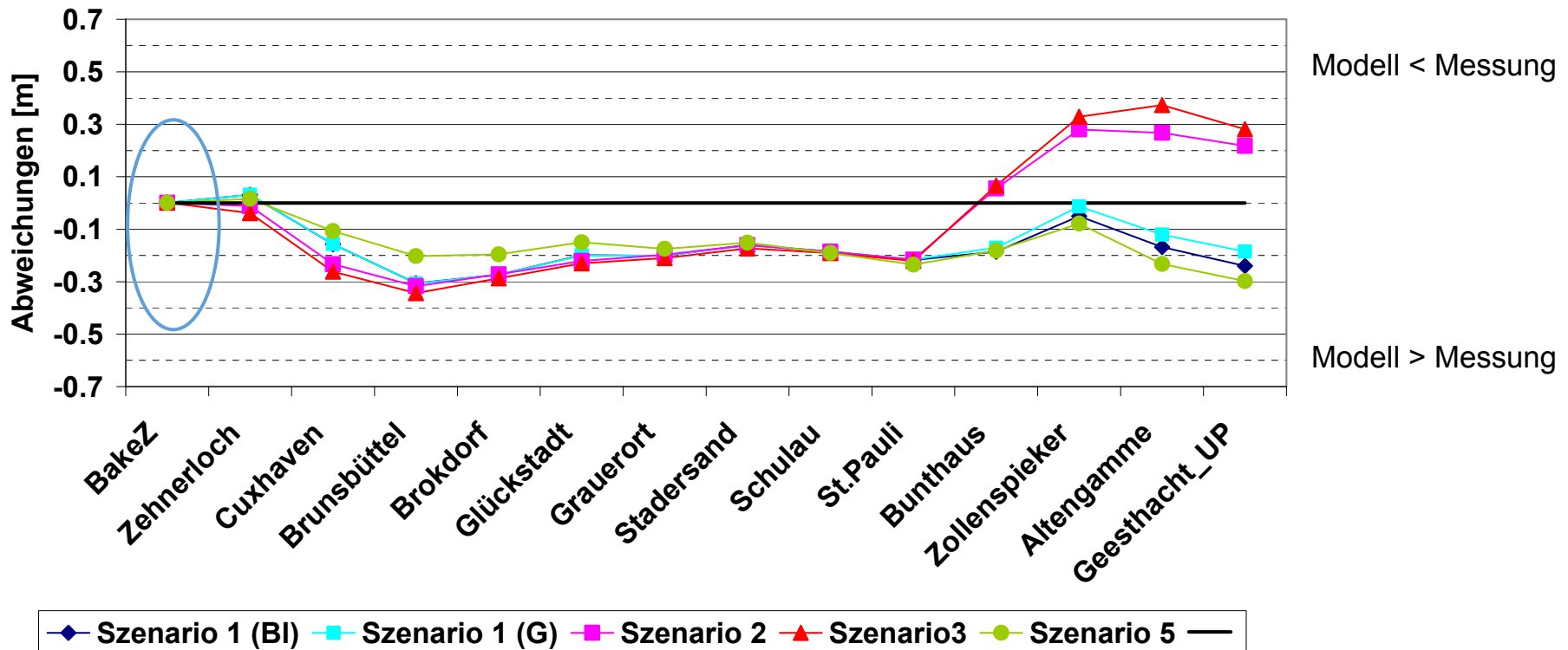
# Tidehochwasser Thw entlang des Elbe Ästuares: Randwerte aus Vorhersagemodell BSHcmod

diff Thw (Messung – Modell) < + 10 cm / -25 cm



# Tideniedrigwasser Tnw entlang des Elbe Ästuares: Randwerte aus Messung

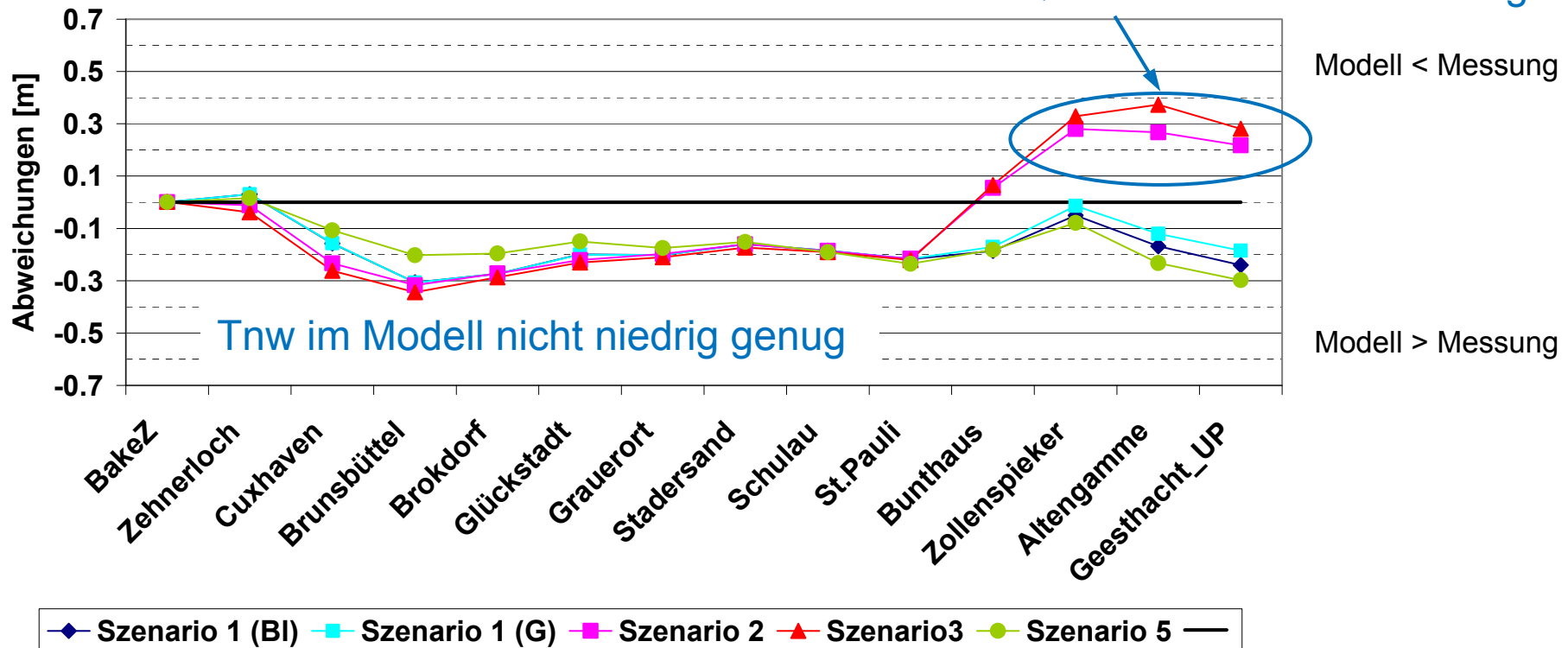
diff Tnw (Messung – Modell) < +/- 40 cm



# Tideniedrigwasser Tnw entlang des Elbe Ästuares: Randwerte aus Messung

diff Tnw (Messung – Modell) < +/- 40 cm

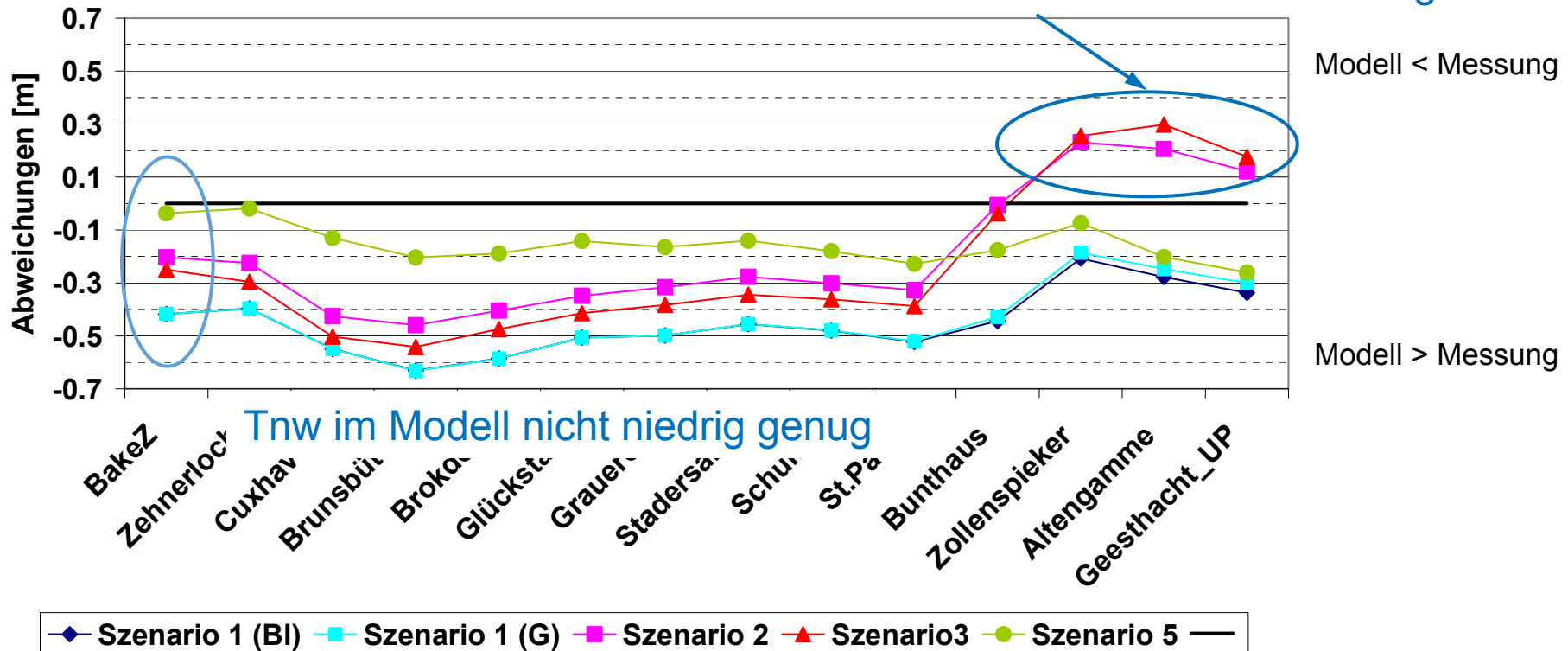
hoher Abfluss Q: Tnw im Modell zu niedrig



# Tideniedrigwasser Tnw entlang des Elbe Ästuares: Randwerte aus Vorhersagemodell BSHcmod

diff Tnw (Messung – Modell) < - 60 cm / + 30 cm

hoher Abfluss Q: Tnw im Modell zu niedrig



# BAW Vorhersagemodell Elbe präoperationell auf BSH - Rechner seit Januar 2011

präoperationelle Testphase

Vorhersagezeitraum: 24 Stunden

jeden Tag um Mitternacht beim BSH:

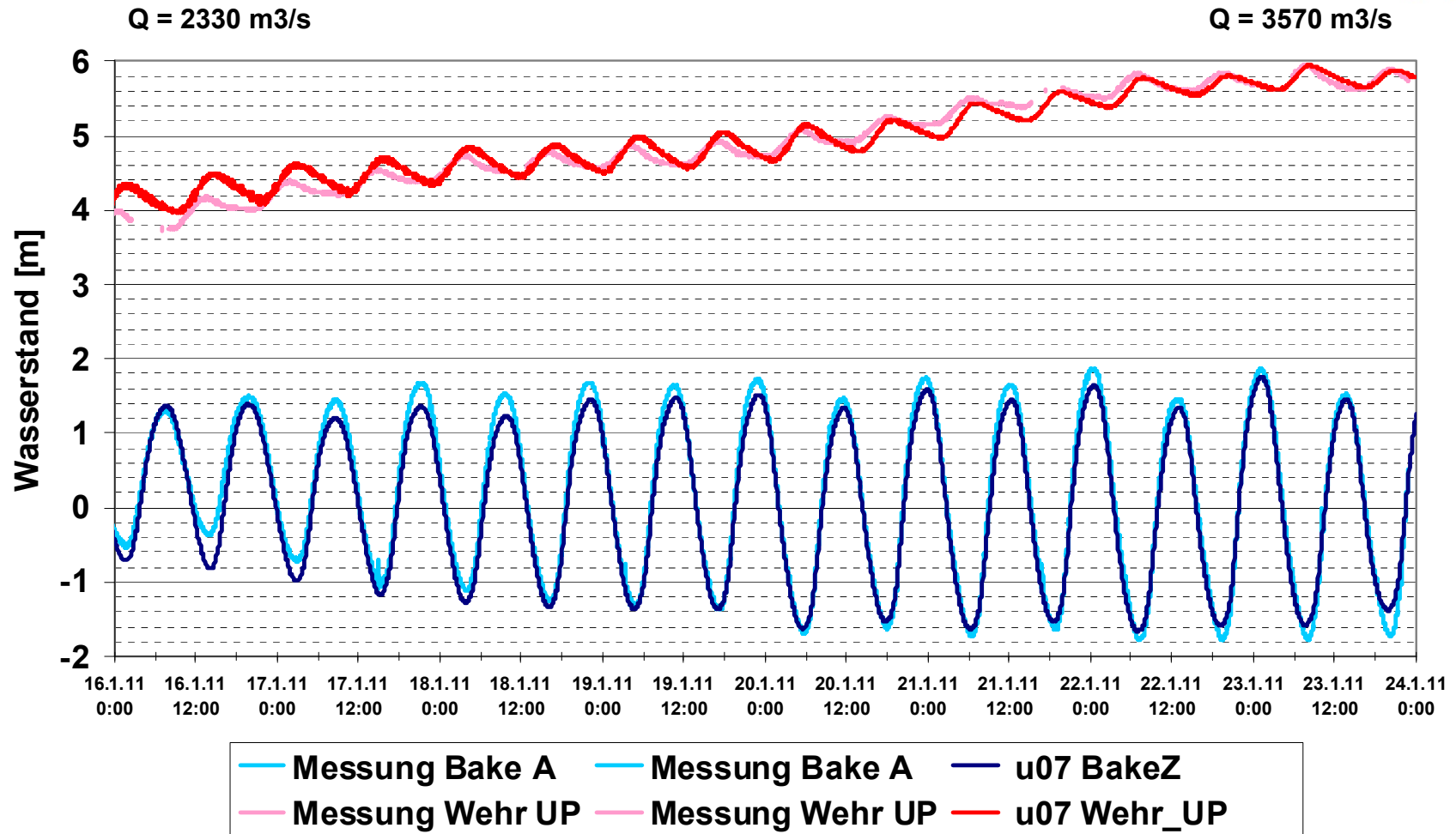
- Vorhersage Nordsee (BSH-cmodnoku ~ 2 Stunden)
- Vorbereitung Randwerte für BAW Vorhersagemodell Elbe ( ~ 1,5 Stunden)
- Vorhersage Elbe (BAW-UnTRIM2007 ~ 1,5 Stunden)
- Vorhersage Nordsee mit Elbe (BSH-cmodnokuel ~ 8,5 Stunden)

BSH-cmod Vorhersage für Wasserstand, Strömung, Salzgehalt, Temperatur und Eisbedeckung

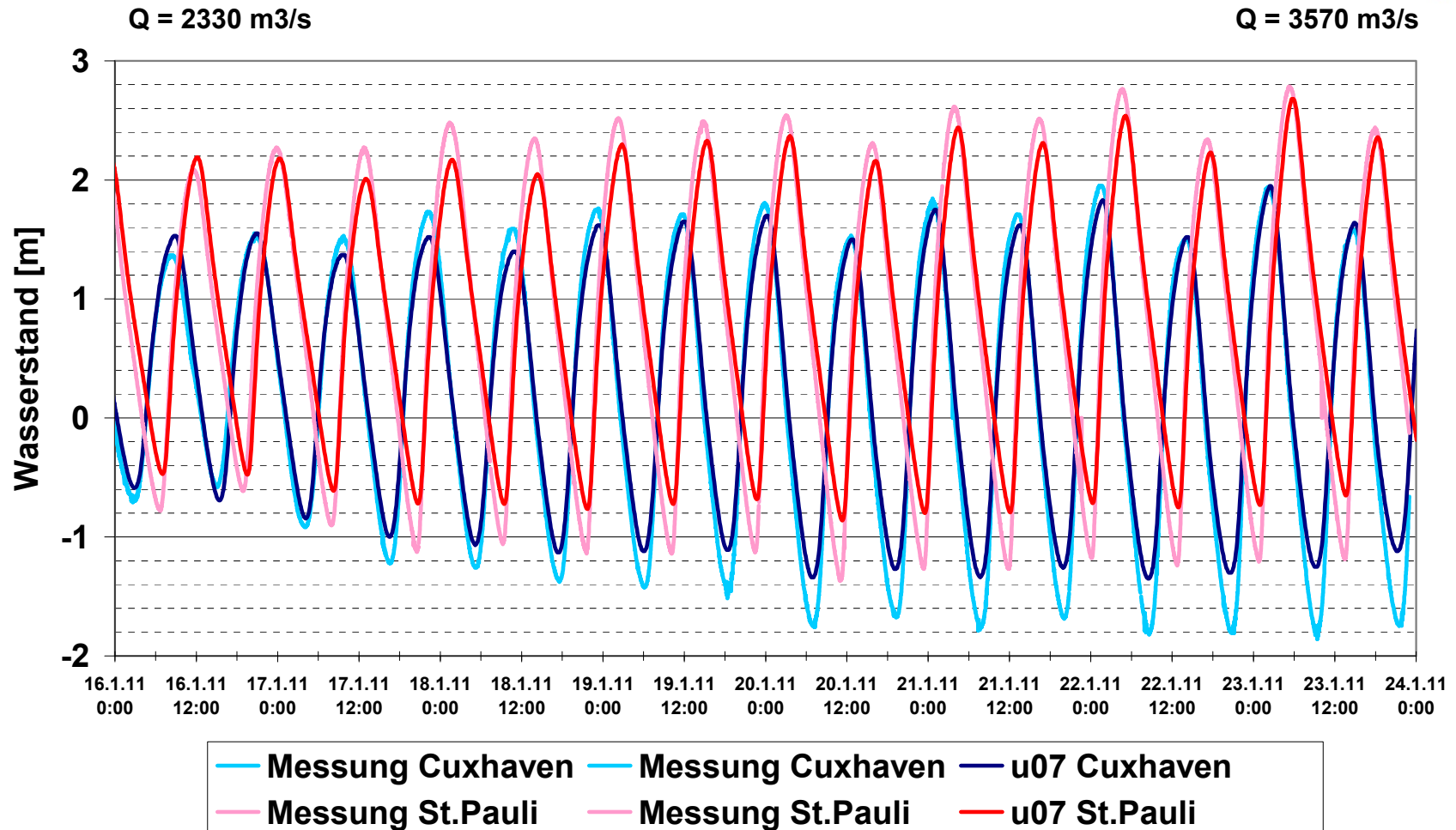
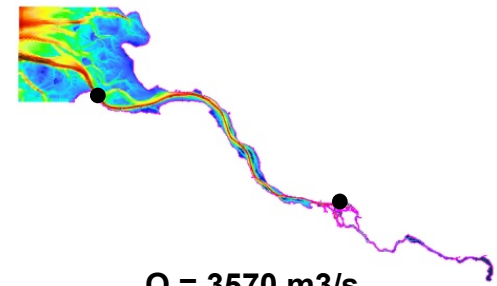


# präoperationell seit Januar 2011: hoher Oberwasserzufluss im Januar 2011

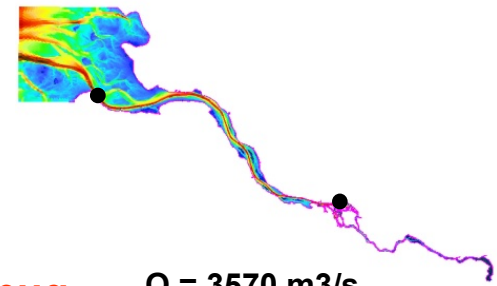
hier 8 \* 24 h Vorhersage



präoperationell seit Januar 2011:  
hoher Oberwasserzufluss im Januar 2011



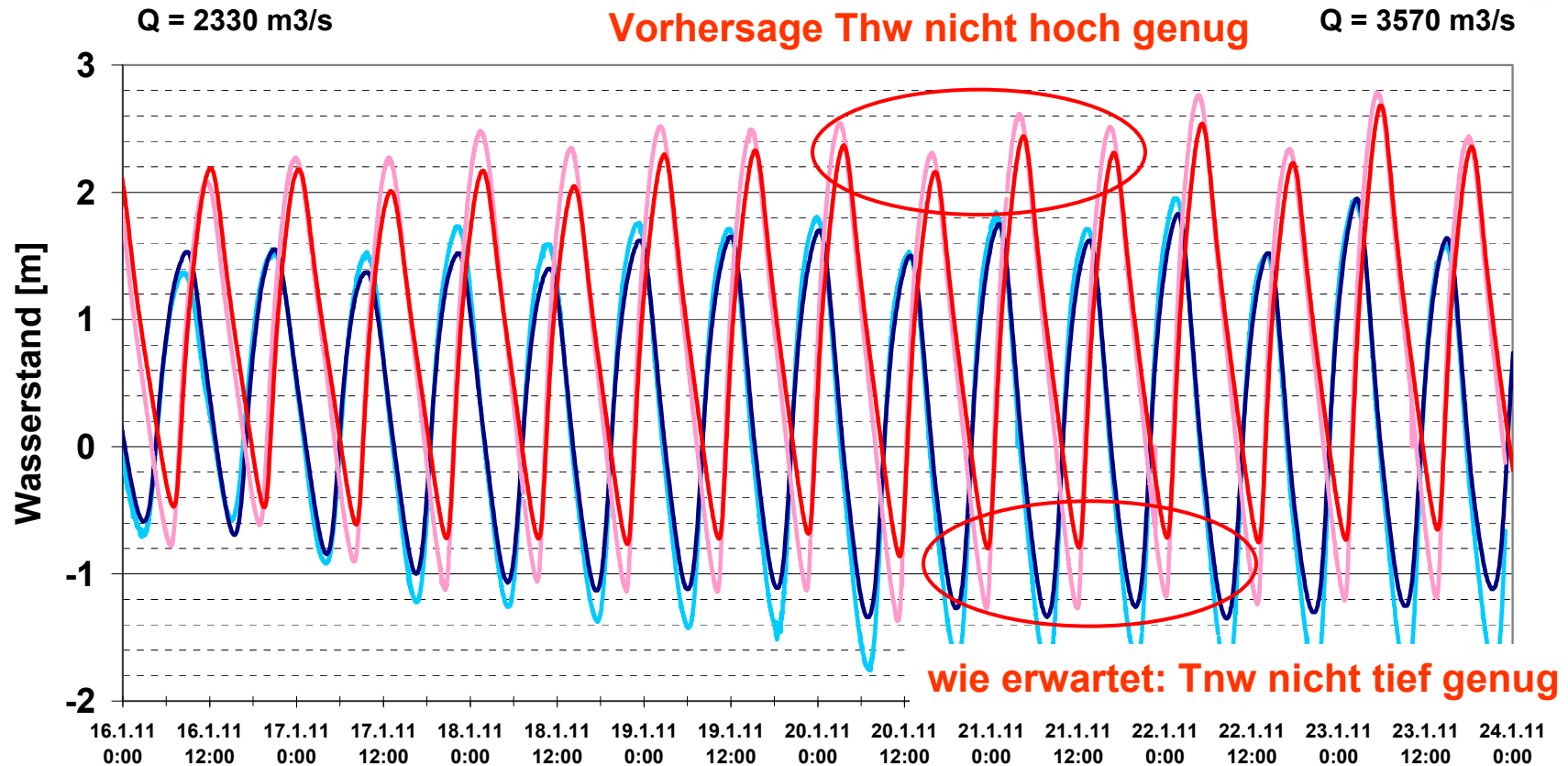
präoperationell seit Januar 2011:  
hoher Oberwasserzufluss im Januar 2011



St.Pauli wie erwartet:

Vorhersage Thw nicht hoch genug

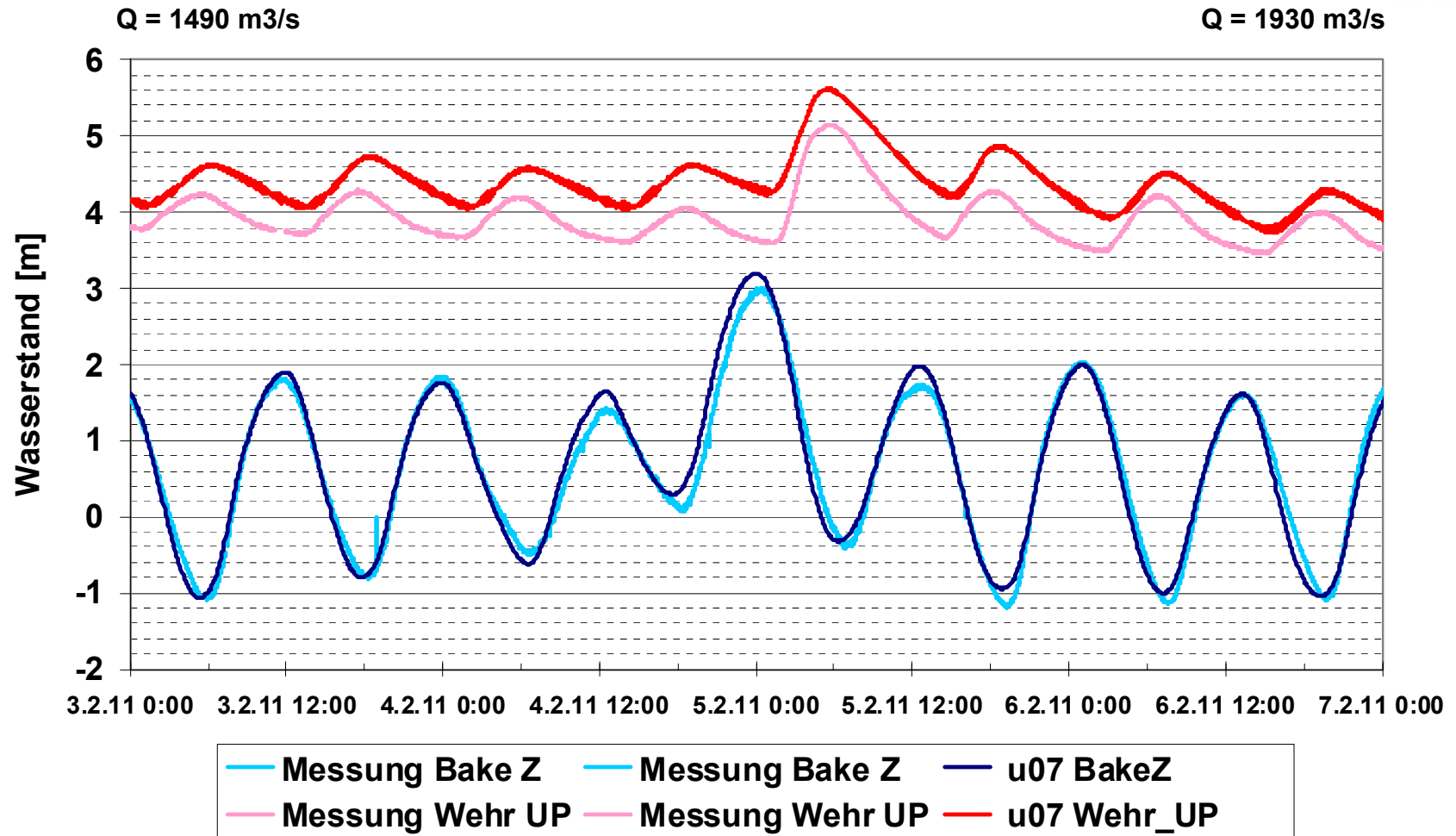
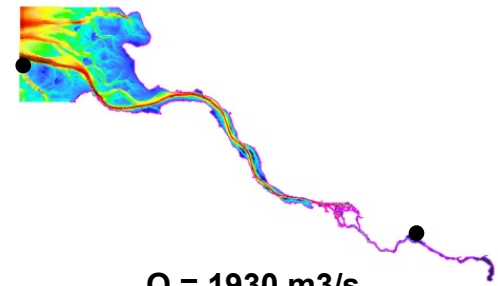
Q = 3570 m<sup>3</sup>/s



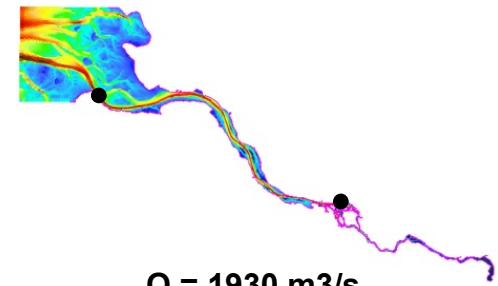
wie erwartet: Tnw nicht tief genug

— Messung Cuxhaven    — Messung Cuxhaven    — u07 Cuxhaven  
 — Messung St.Pauli    — Messung St.Pauli    — u07 St.Pauli

# präoperationell seit Januar 2011: Sturmflut im Februar 2011

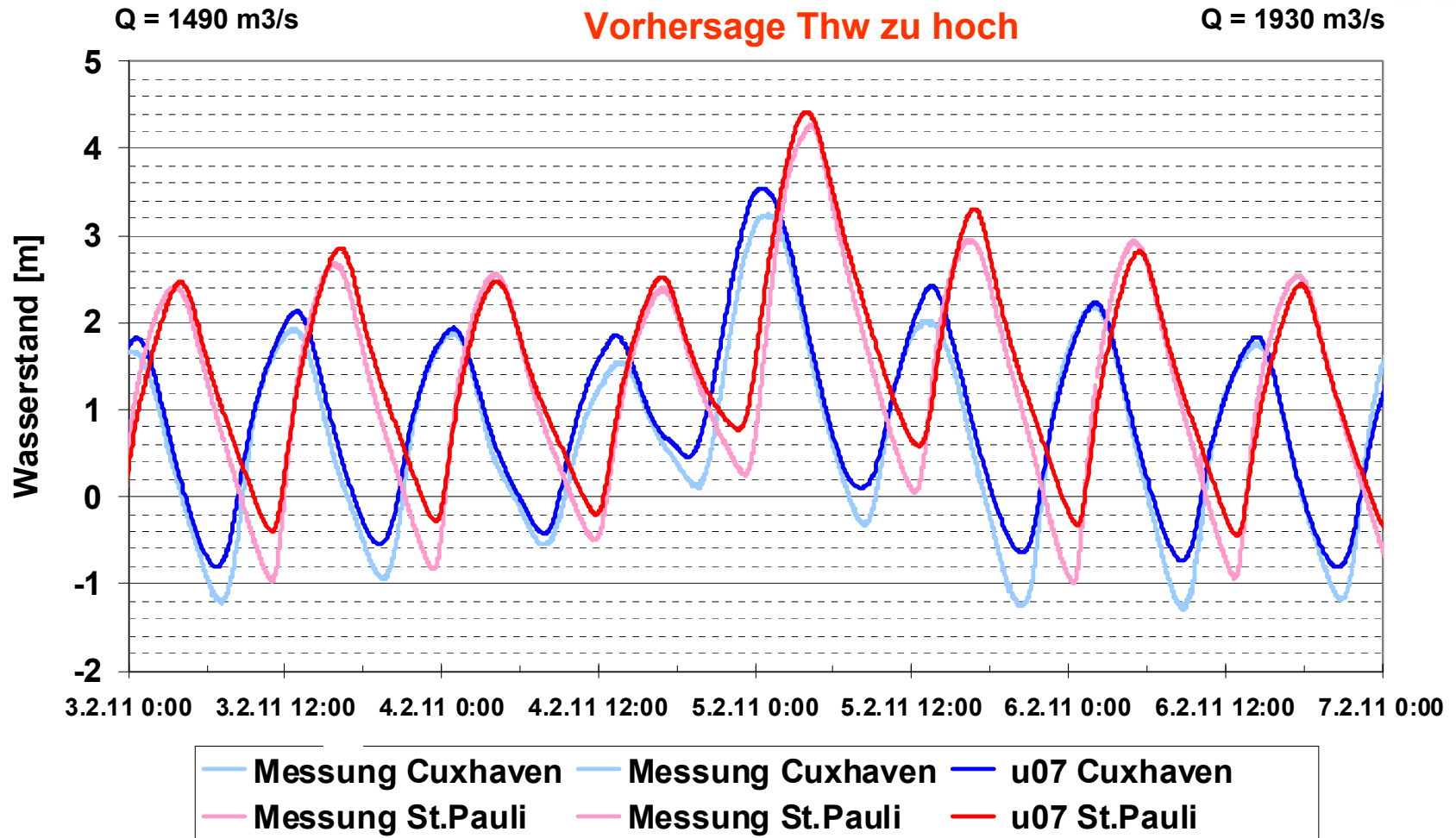


# präoperationell seit Januar 2011: Sturmflut im Februar 2011



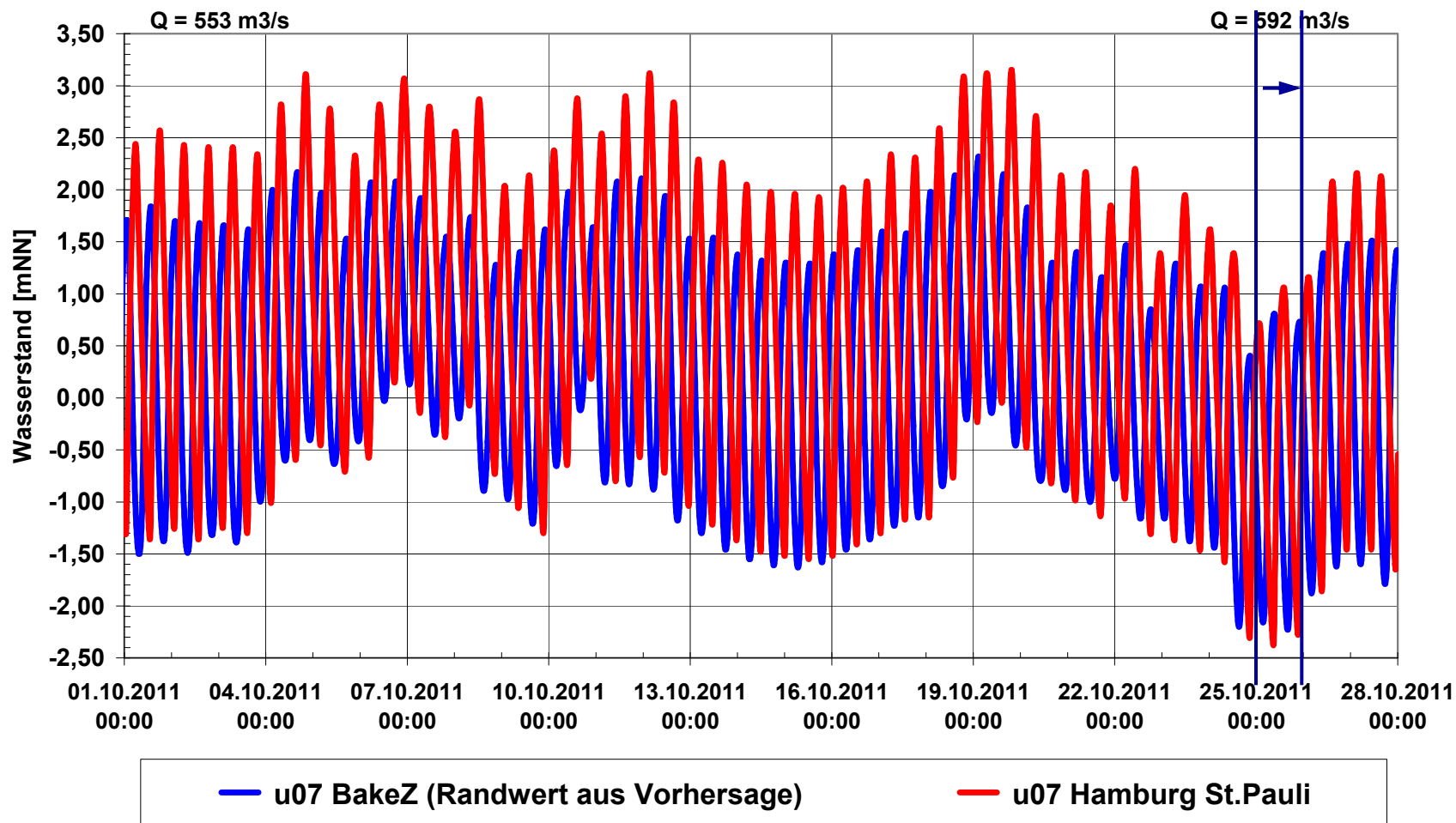
St.Pauli wie erwartet:

Vorhersage Thw zu hoch



# Vorhersage für Oktober 2011

u07 Vorhersage Elbe

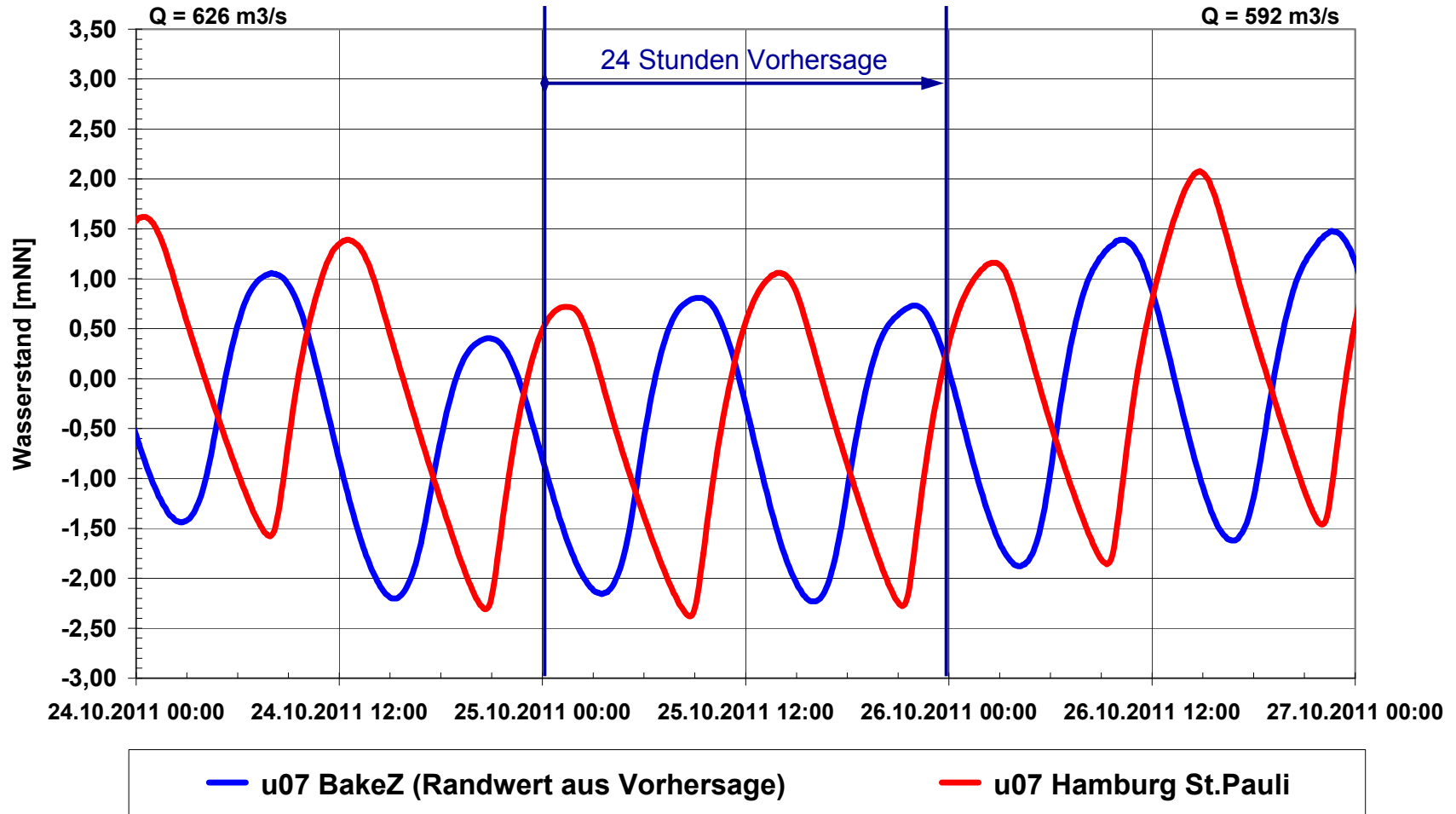


# Vorhersage für Dienstag 25. Oktober 2011

anhaltender Ostwind



u07 Vorhersage Elbe

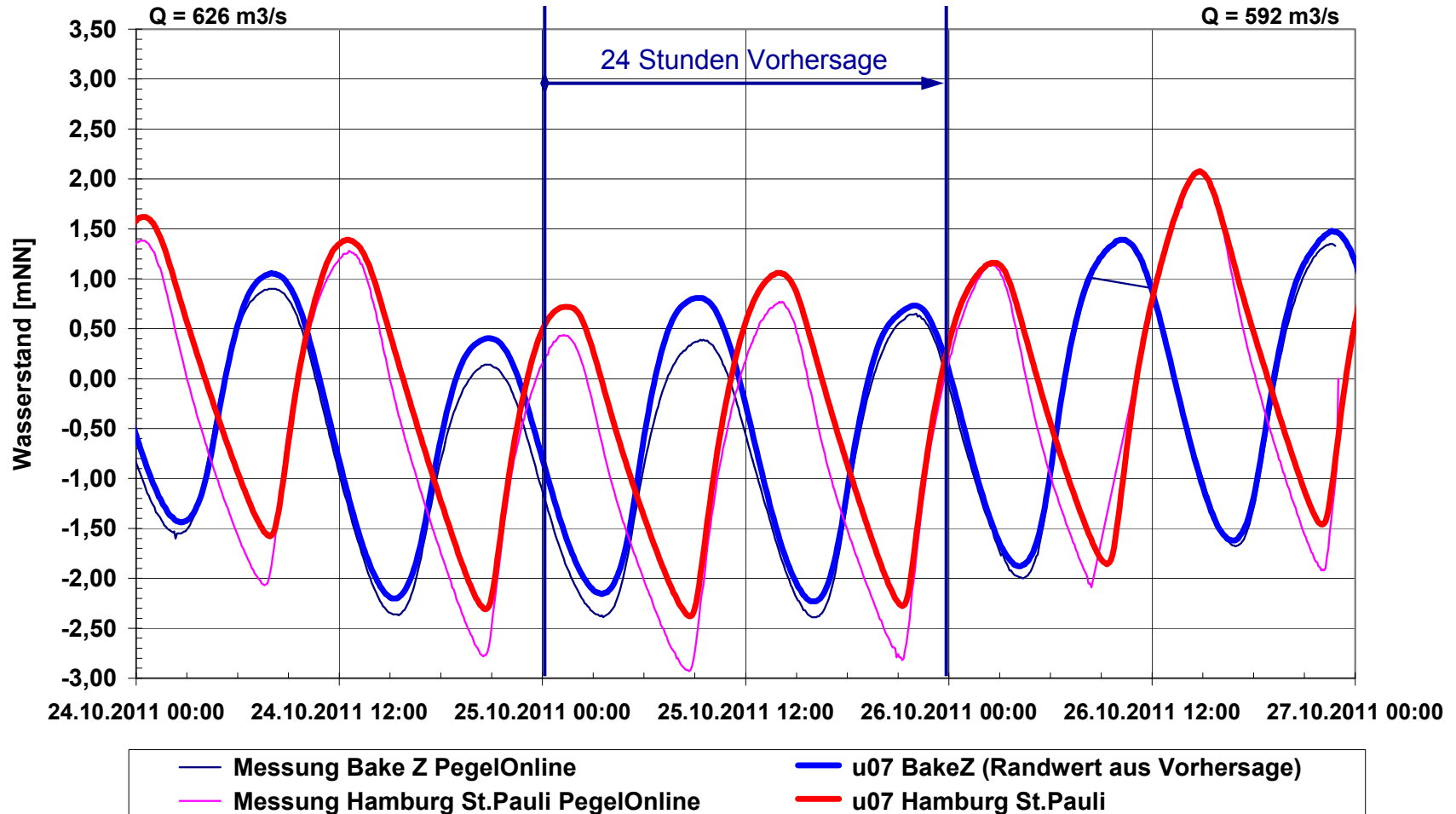


# Vorhersage für Dienstag 25. Oktober 2011

anhaltender Ostwind



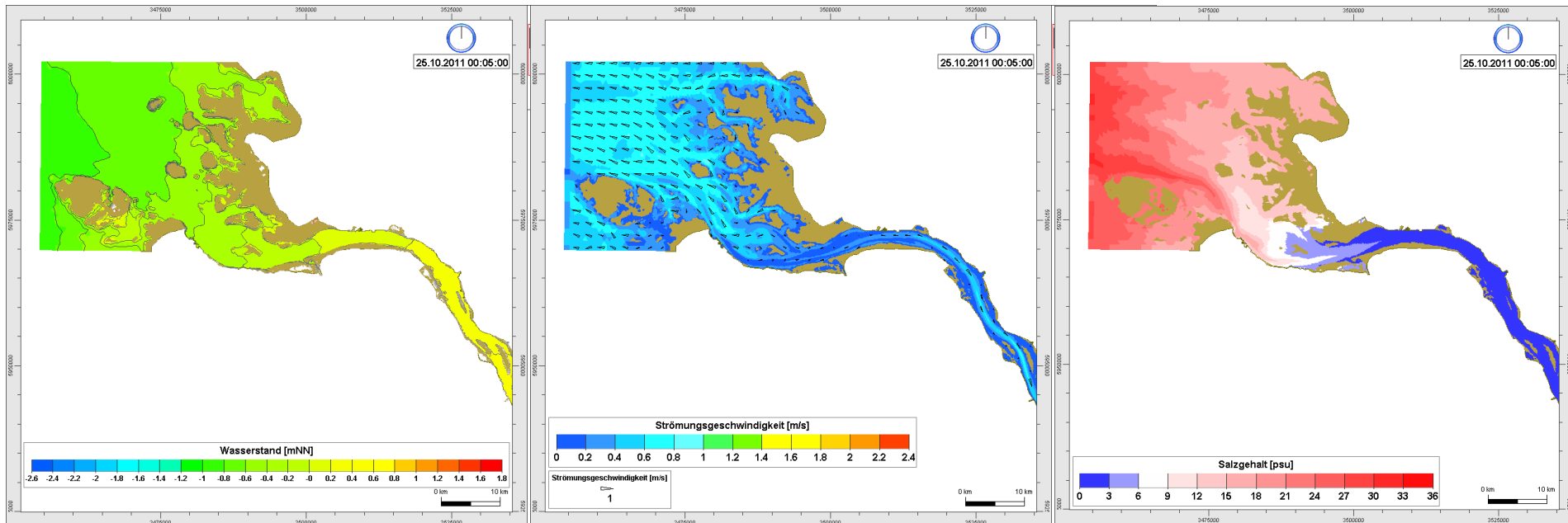
u07 Vorhersage Elbe





# Vorhersage für den 25. Oktober 2011 00:05 UTC

## Elbmündung



Wasserstand

Strömung (oberflächennah)

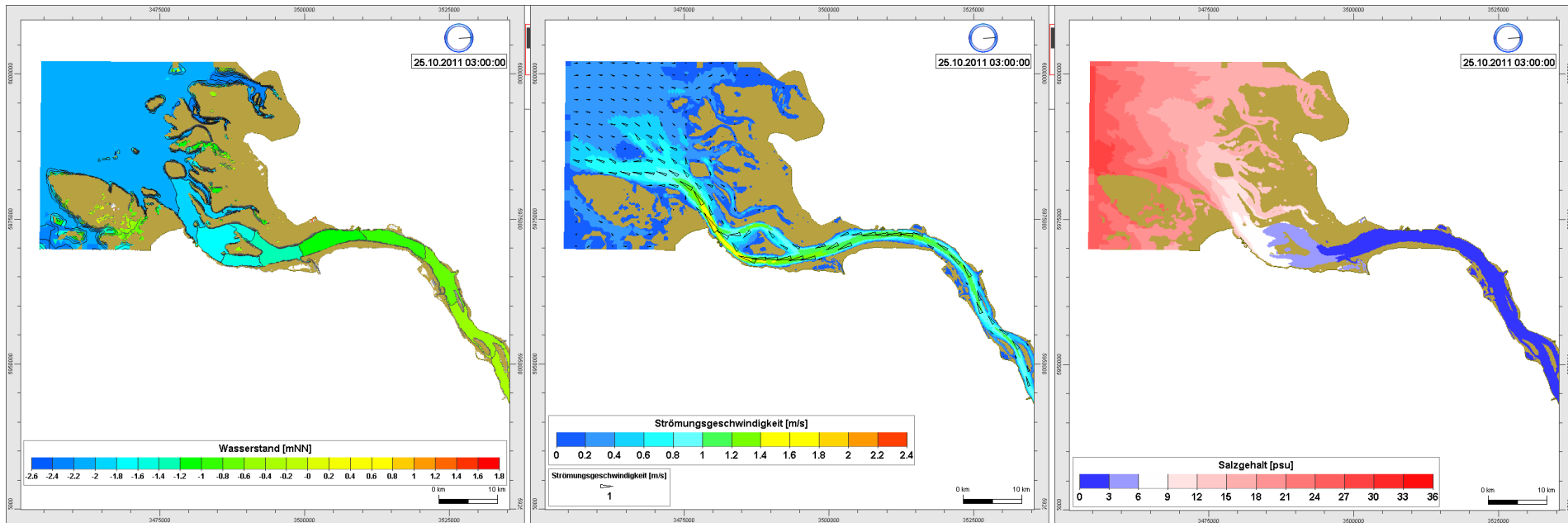
Salz (oberflächennah)



Bundesanstalt für Wasserbau  
Kompetenz für die Wasserstraßen

# Vorhersage für den 25. Oktober 2011 3:00 UTC

## Elbmündung



Wasserstand

Strömung (oberflächennah)

Salz (oberflächennah)

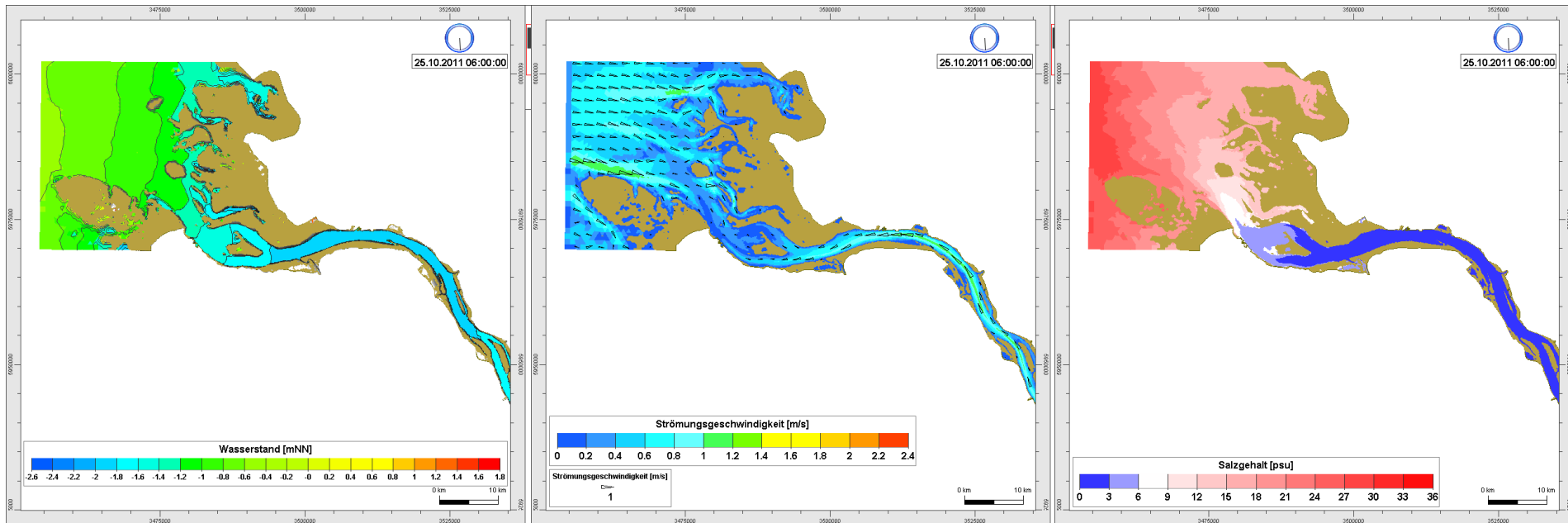
Tnw Bake Z



Bundesanstalt für Wasserbau  
Kompetenz für die Wasserstraßen

# Vorhersage für den 25. Oktober 2011 6:00 UTC

## Elbmündung



Wasserstand

Strömung (oberflächennah)

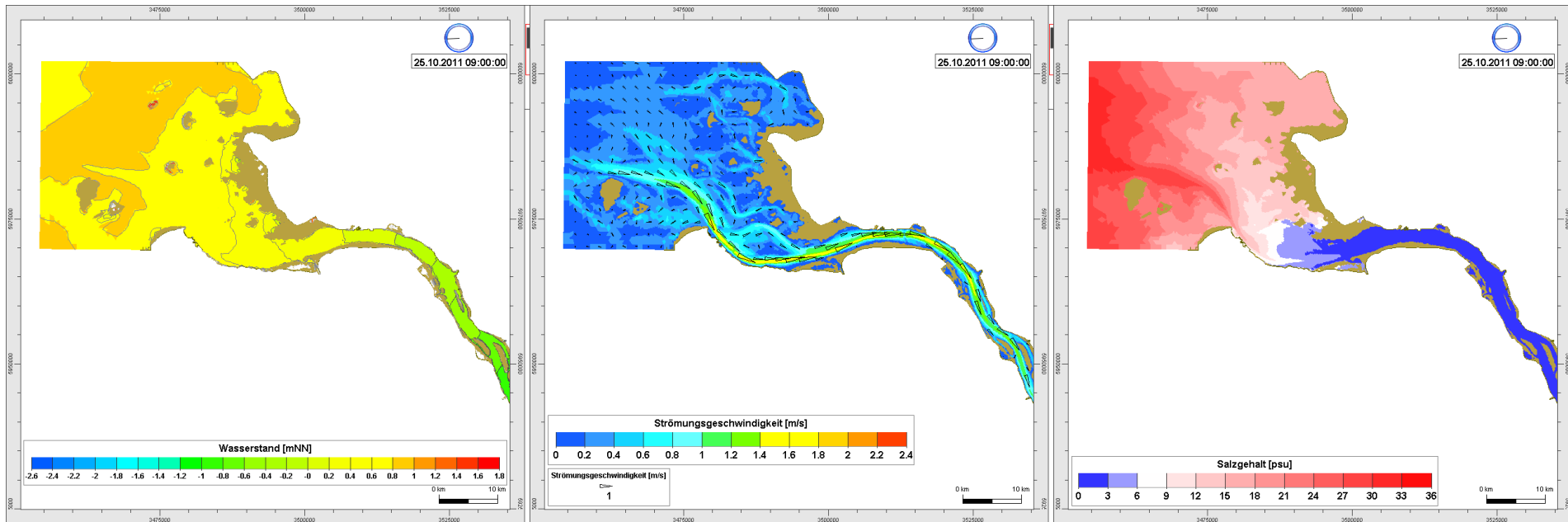
Salz (oberflächennah)



Bundesanstalt für Wasserbau  
Kompetenz für die Wasserstraßen

# Vorhersage für den 25. Oktober 2011 9:00 UTC

## Elbmündung



Wasserstand

Strömung (oberflächennah)

Salz (oberflächennah)

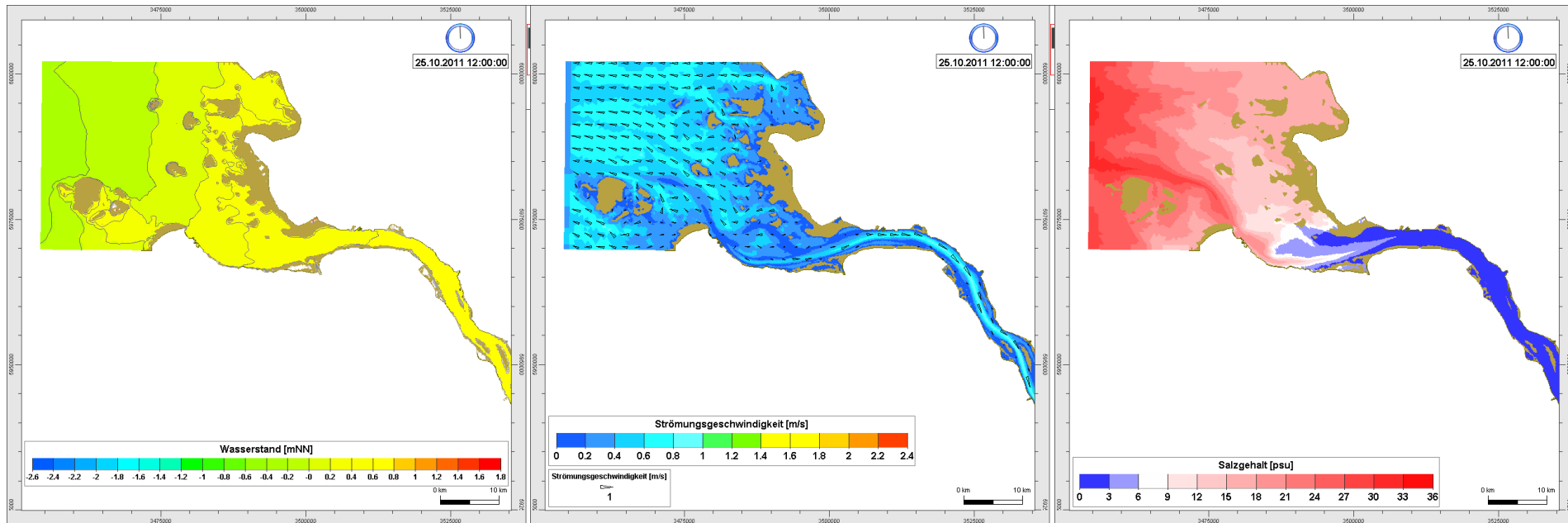
Thw Bake Z



Bundesanstalt für Wasserbau  
Kompetenz für die Wasserstraßen

# Vorhersage für den 25. Oktober 2011 12:00 UTC

## Elbmündung



Wasserstand

Strömung (oberflächennah)

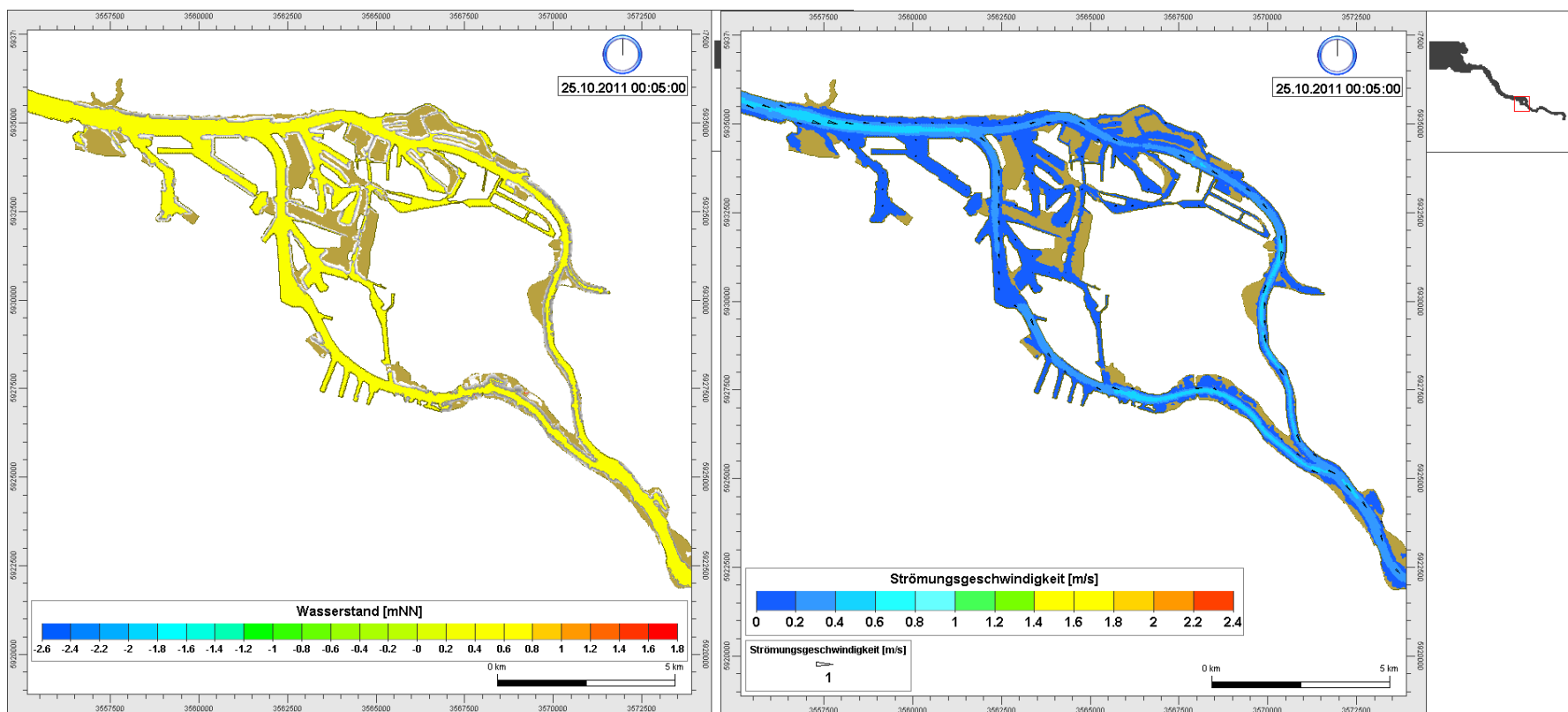
Salz (oberflächennah)



Bundesanstalt für Wasserbau  
Kompetenz für die Wasserstraßen

# Vorhersage für den 25. Oktober 2011 00:05 UTC

## Hafen Hamburg

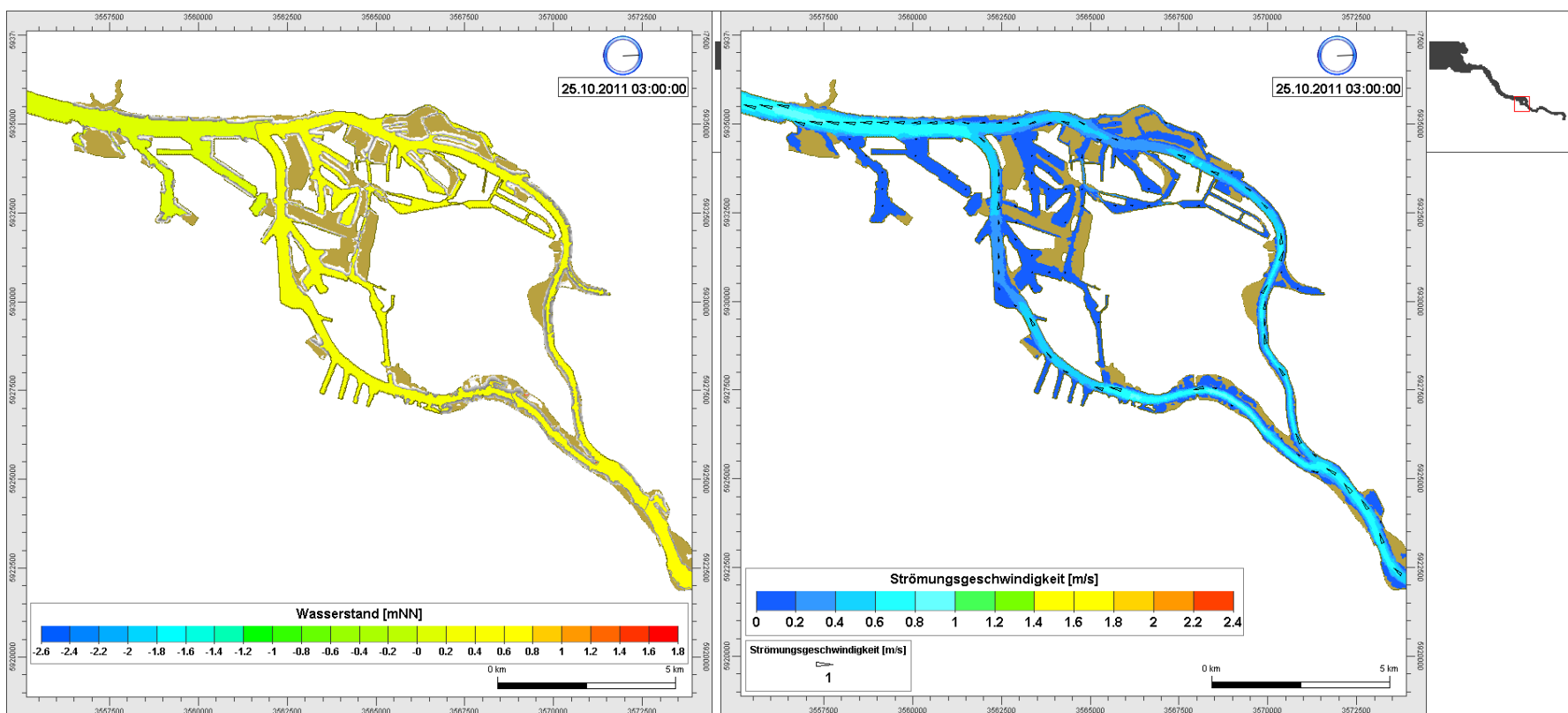


Wasserstand

Strömung (oberflächennah)

# Vorhersage für den 25. Oktober 2011 3:00 UTC

## Hafen Hamburg

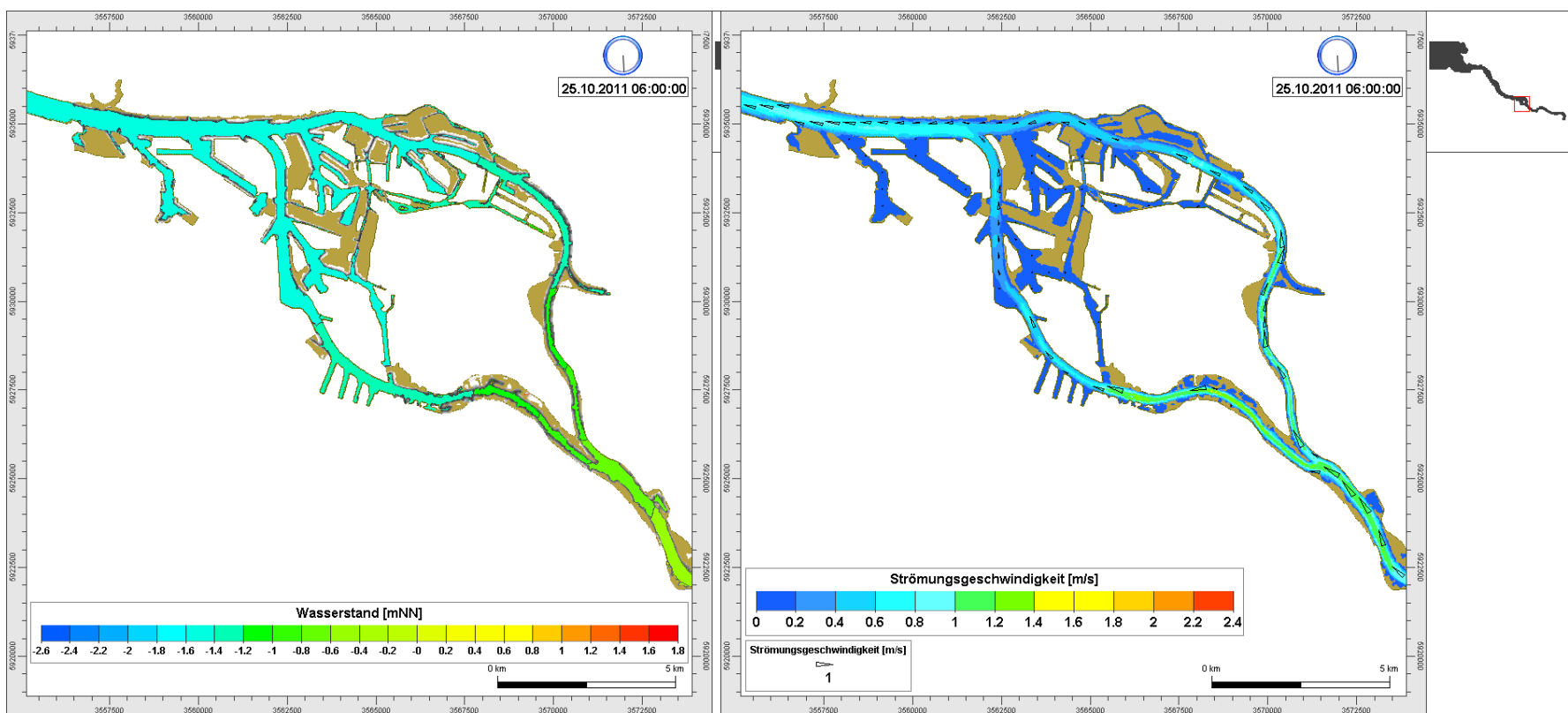


Wasserstand

Strömung (oberflächennah)

# Vorhersage für den 25. Oktober 2011 6:00 UTC

## Hafen Hamburg



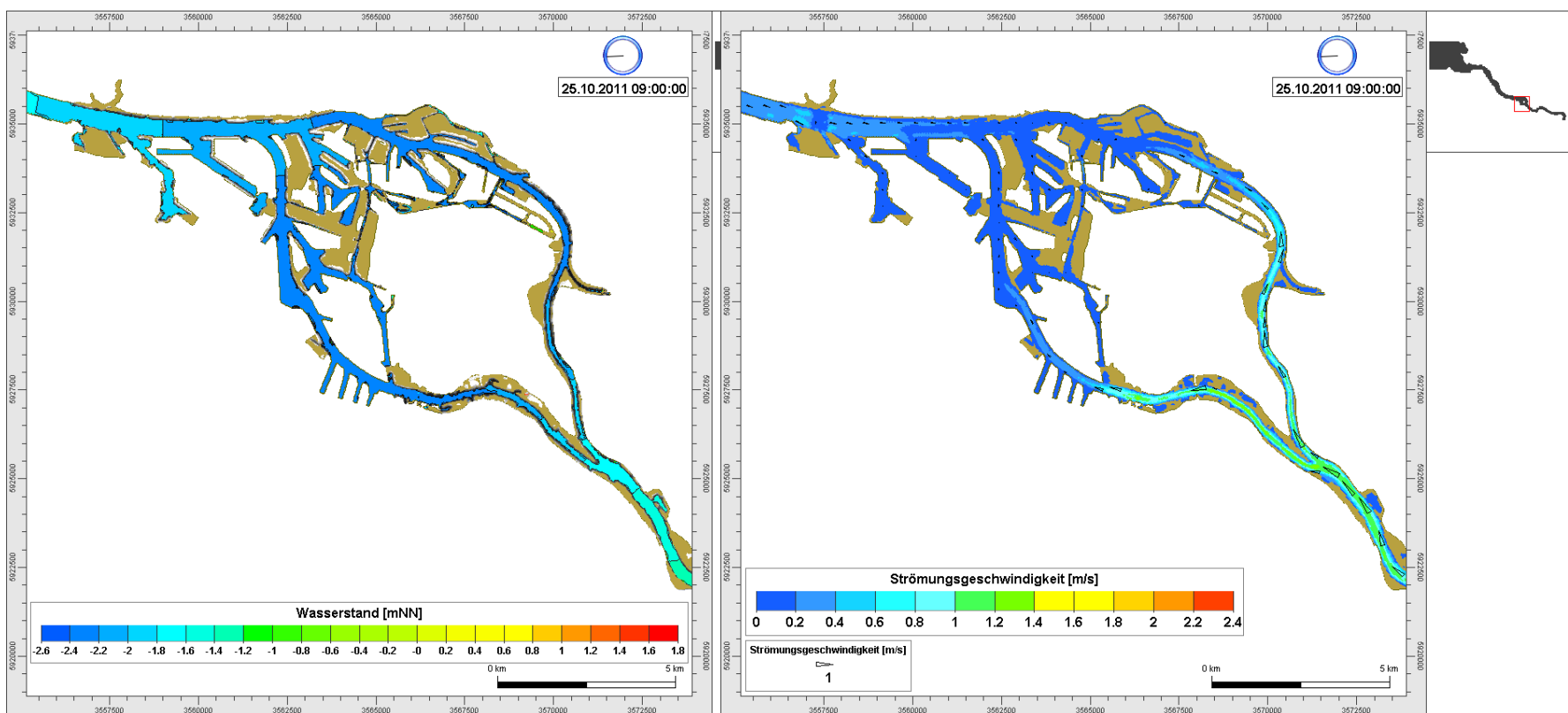
Wasserstand

Strömung (oberflächennah)



# Vorhersage für den 25. Oktober 2011 9:00 UTC

## Hafen Hamburg



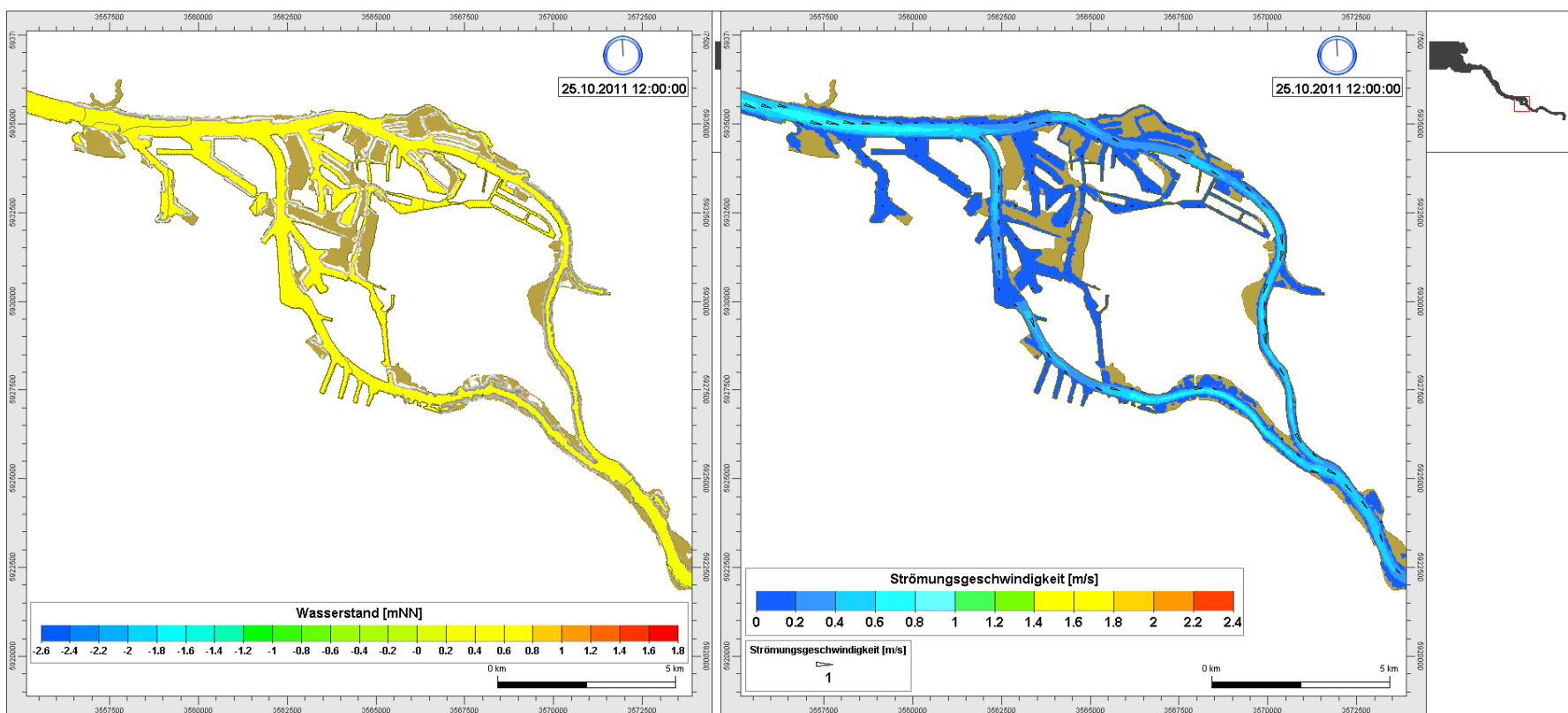
### Wasserstand

Tnw St.Pauli

### Strömung (oberflächennah)

# Vorhersage für den 25. Oktober 2011 12:00 UTC

## Hafen Hamburg



Wasserstand

Strömung (oberflächennah)

# Projektziele Optel C (BAW)

- Entwicklung eines **operationellen Vorhersagemodells** für die Elbe sowie Modellkopplung mit dem BSH-Vorhersagemodell der Nordsee ✓
- **4 Szenarien** unter optimalen Bedingungen ✓
  - Abweichungen Thw  $\pm 10$  cm und Tnw  $\pm 40$  cm
- **6 Szenarien** unter Vorhersagebedingungen ✓
  - Abweichungen Thw + 10 cm / - 25 cm und Tnw - 60 cm / + 30 cm
- **präoperationeller Betrieb** seit Januar 2011 ✓
  - BAW Vorhersagemodell Elbe läuft problemlos beim BSH
  - jeden Tag gegen ca. 2:00 Uhr eine **24 Stunden Vorhersage**
  - benötigt ca. 1,5 Stunden Vorbereitung, ca. **1,5 Stunden Vorhersagezeit**
  - 24 Stunden Vorhersage gegen 5:00 Uhr fertig
- startklar für Vorhersagen für **beliebige Ästuare** ✓
- alle Details im Abschlussbericht OPTTEL C ✓

# Ausblick und Dank

## nächste Schritte:

- Verlängerung der Vorhersagezeitraums auf 48 Stunden
- Standard BAW UnTRIM2007 Version beim BSH installiert ✓
- Verbesserung der Kalibrierung (in Arbeit)
- Verwende Ergebnisse aus operationellem Betrieb als Element der Qualitätssicherung in der BAW

## Dank an

- Vincenzo Casulli, Universität Trient
- KFKI
- Hartmut Komo, BSH
- Projektbegleitende Gruppe
- Projektpartner BSH, DWD, HPA
- Projektträger Jülich



Bundesanstalt für Wasserbau  
Federal Waterways Engineering and Research Institut

BMBF - Förderkennzeichen 03KIS071

