

# Das neue Wasserstandsvorhersagesystem für die Binneneibe

Dipl.-Ozeanogr. Finn Hartwig

Geschäftsstelle der Flussgebietsgemeinschaft (FGG) Elbe,

Hochwasservorhersagezentrale (HVZ) im

Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft (LHW) Sachsen-Anhalt

3. Dialog zum Hochwasserschutz Elbe, Lüneburg, 15.08.2019



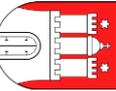
# Gliederung

- I. Eckpunkte zur Wasserstandsvorhersage für die Elbe
- II. Das Vorhersagesystem
  - Mathematische Modelle und deren Kopplung
  - erforderliche Daten
- II. Aktualisierung des Vorhersagesystems 2015 – 2018
  - Wie und weshalb wurde das Vorhersagesystem verbessert?
- III. Ausblick
  - Fortwährende Pflege des Vorhersagesystems
  - Kommunikation der Vorhersageunsicherheit



# Wasserstandsvorhersage für die Elbe

- Modellgestützte Vorhersagen seit Mitte 1980er
- Seit 2006 mit „WAVOS Elbe“ („**W**asserstands**V**orhersage**S**ystem“)
- Datengrundlage stammt von
  - Behörden der 4 Länder BB, SN, ST, TH
  - 3 Bundesbehörden: BSH, DWD, WSV
  - Tschechisches Hydro-Meteorologisches Institut (ČHMÚ)
- Seit 2013 auf Grundlage einer Verwaltungsvereinbarung zwischen 7 Ländern und dem Bund
- Zweigeteilter Betrieb:
  - Niedrig- & Mittelwasservorhersage → WSA Magdeburg
  - Hochwasservorhersage → LHW Sachsen-Anhalt



# „WAVOS Elbe“ im Überblick: Modelle und Datengrundlage

- Gewässer
- Vorhersagepegel
- Elbe-Modellgebiet
- ⇨ Zuflussvorhersagen
- ⇨ ... vom LHW ST
- ⇨ ... vom LHWZ SN
- ⇨ ... vom ČHMÚ (CZ)
- Niederschlags-Abfluss-Modellgebiet
- Niederschlags-Abfluss-Modellpegel
- Meteorologische Daten

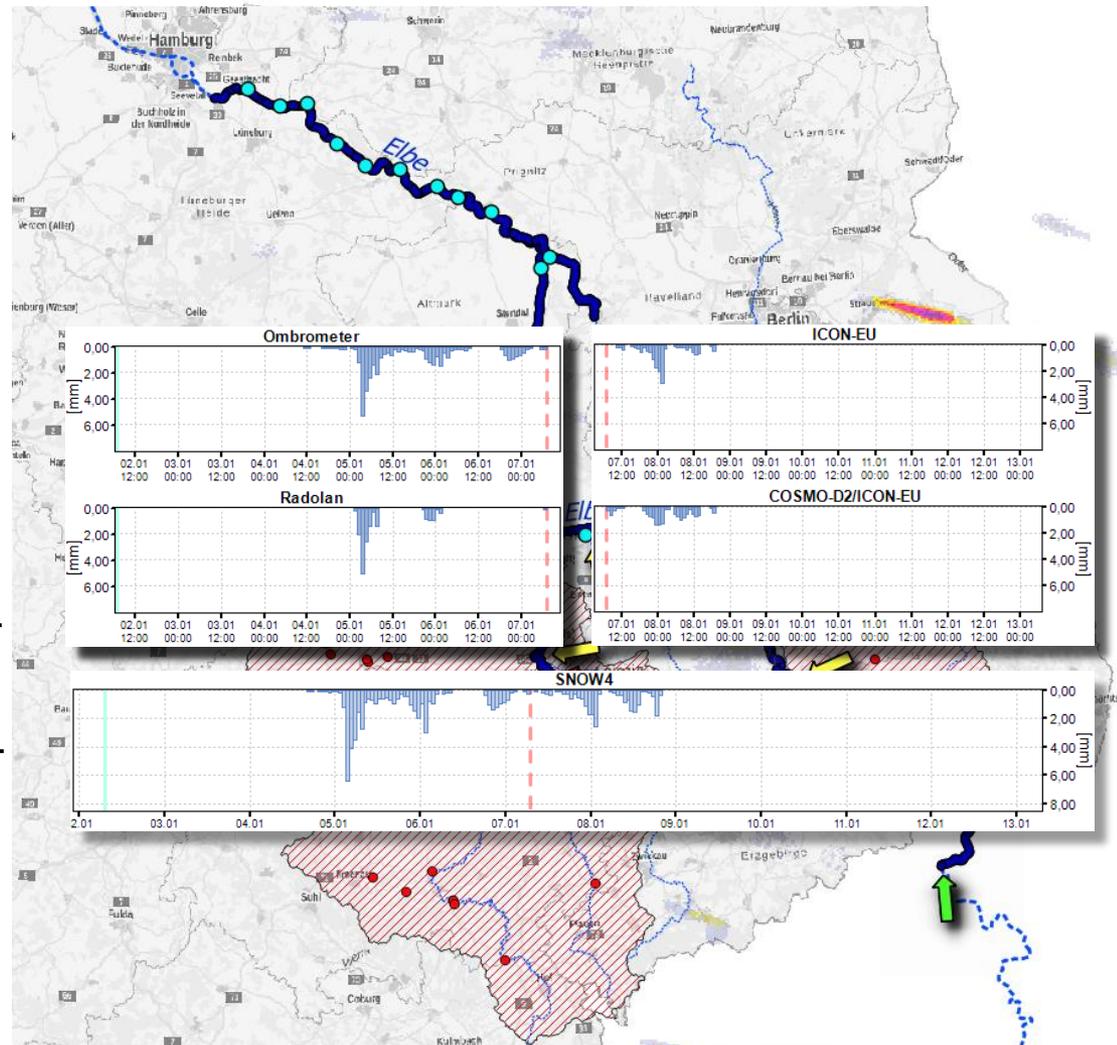
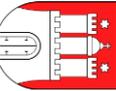


Abb. 1: Modellgebiete und Datengrundlage (Quelle: BKG)



# Das Elbe-Modell

## 1d-hydrodynamisch-numerisch

- Basierend auf physikalischen Gesetzen

$$1) \quad \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_{lat}$$

$$2) \quad \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{A} \right) + g \cdot A \frac{\partial \vartheta}{\partial x} + g \cdot A \cdot I_e = 0$$

$A$  = Querschnittsfläche,  $t$  = Zeit,  $Q$  = Durchfluss,  $x$  = Ort,  $q_{lat}$  = seitr. Zufluss,  $g$  = Schwerebeschleunigung,  $\vartheta$  = Oberflächenauslenkung,  $I_e$  = Energieliniengefälle

„Gesetze der Hydrodynamik“

- In bestimmten räumlichen und zeitlichen Abständen wiederholt mittels Werkzeugen der „numerischen Mathematik“

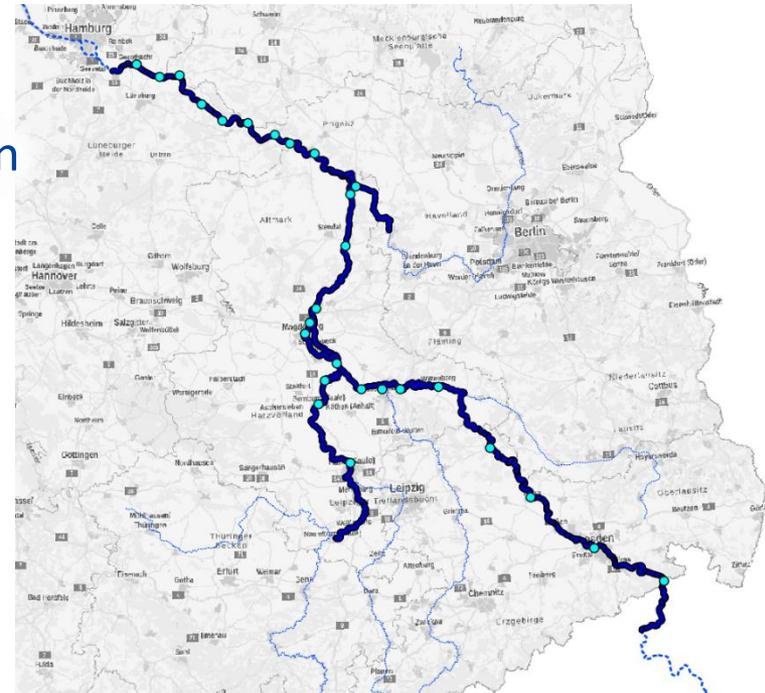
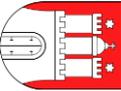


Abb. 2: Modellgebiet HN-Elbe-Modell



# Das Elbe-Modell

- 882km Modellgebiet
- Bis 8 Tage Vorhersagedauer  
= Vorhersage + Abschätzung

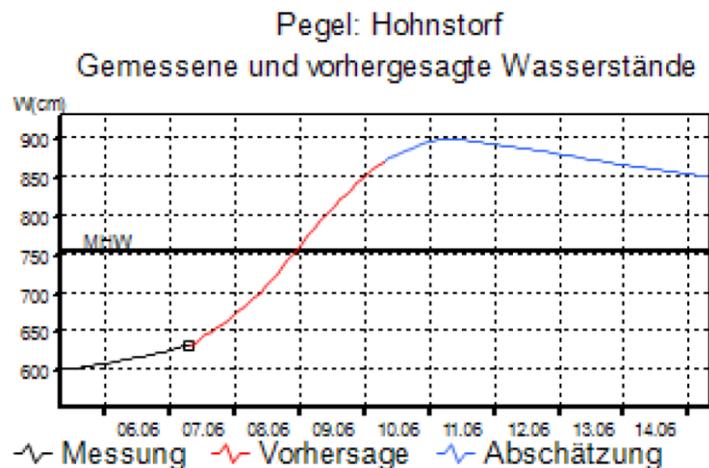
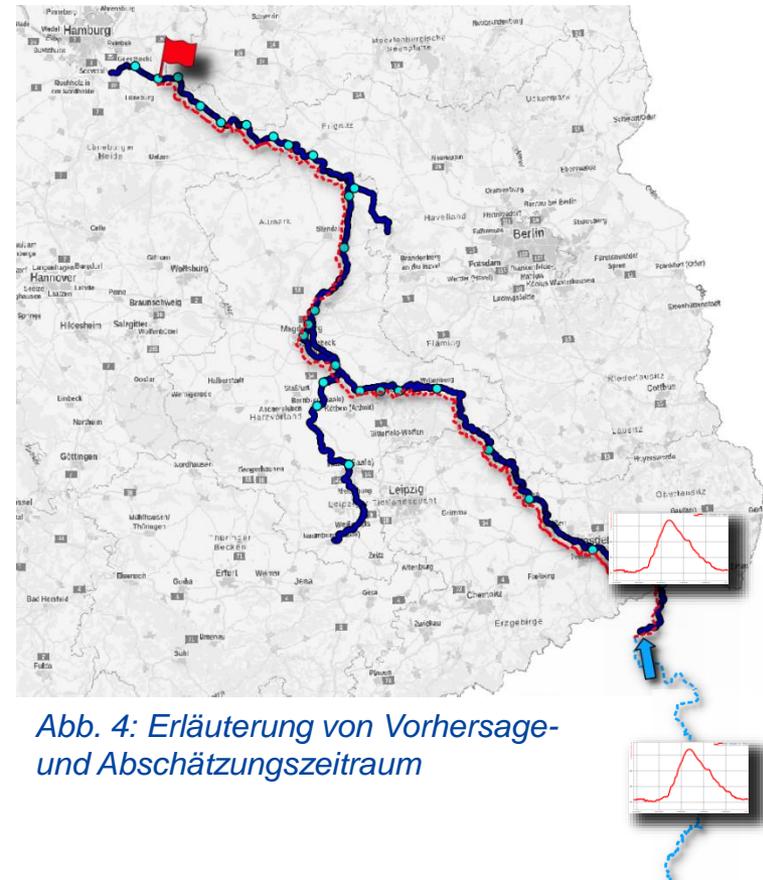


Abb. 3: Beispiel-Vorhersage Pegel Hohnstorf



- Hochwasser 2013:
  - Schwächen des Vorhersagesystems wurden ersichtlich
  - Wichtigkeit einer bestmöglichen Vorhersage wurde erkannt
- *Entschluss zur Erstellung eines neuen Modells und Aktualisierung des Vorhersagesystems*

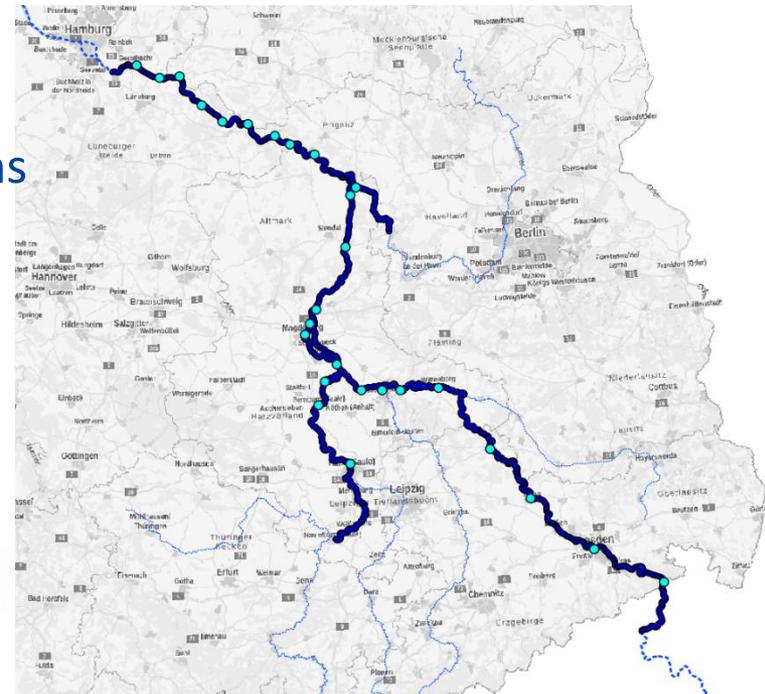
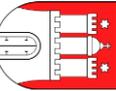


Abb. 2: Modellgebiet HN-Elbe-Modell

- Auftraggeber: FGG Elbe
- Auftragnehmer: Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG)
- Projektlaufzeit: März 2015 bis Herbst 2018



# Das neue Elbe-Modell: Verbesserungen

- Aktuelle Geodaten:
  - Gerinne
  - Vorländer
  - Deichverläufe
- Modellstränge Mulde + Schw. Elster
- 4 neue Vorhersagepegel
- 1 zusätzlicher Zufluss
- Steuerbare Flutpolder
- Zusätzliche Retentionsräume (Mündungen von Ohre und Tanger)
- Vorgabe der Wasserstandsvorhersage des BSH am unteren Rand
- Steuerbare wasserwirtschaftliche Anlagen

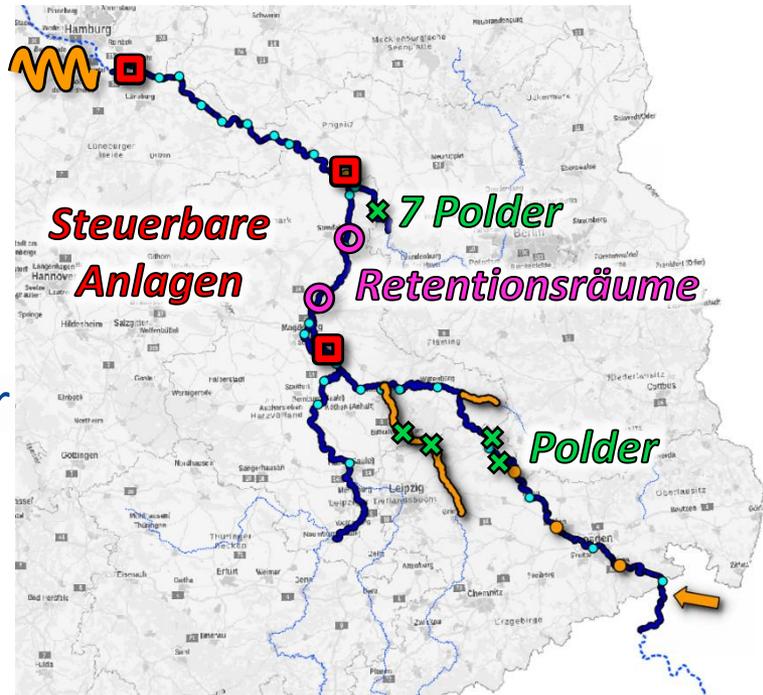
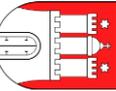


Abb. 5: Eigenschaften des neuen Modells



# Das neue Elbe-Modell: Pretziener Wehr

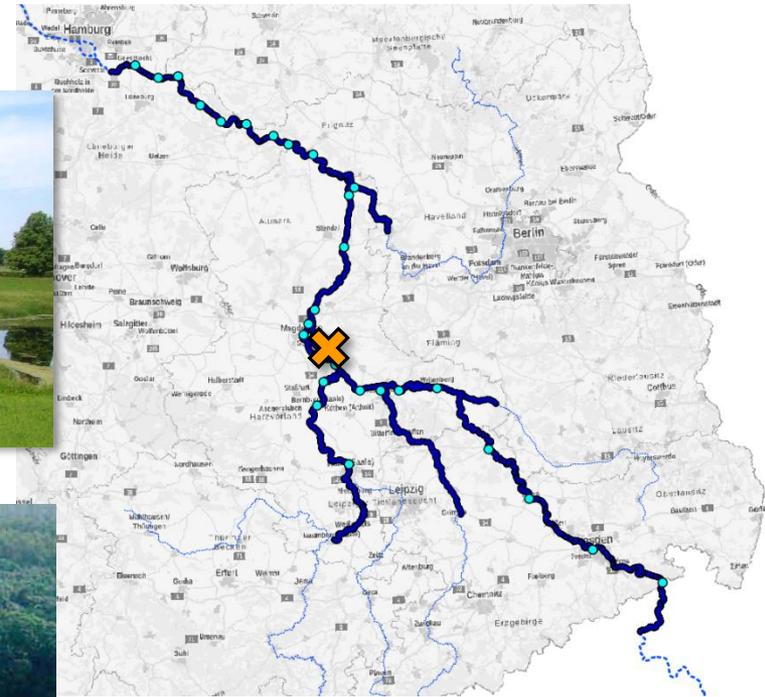
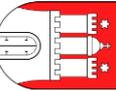
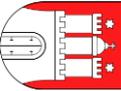


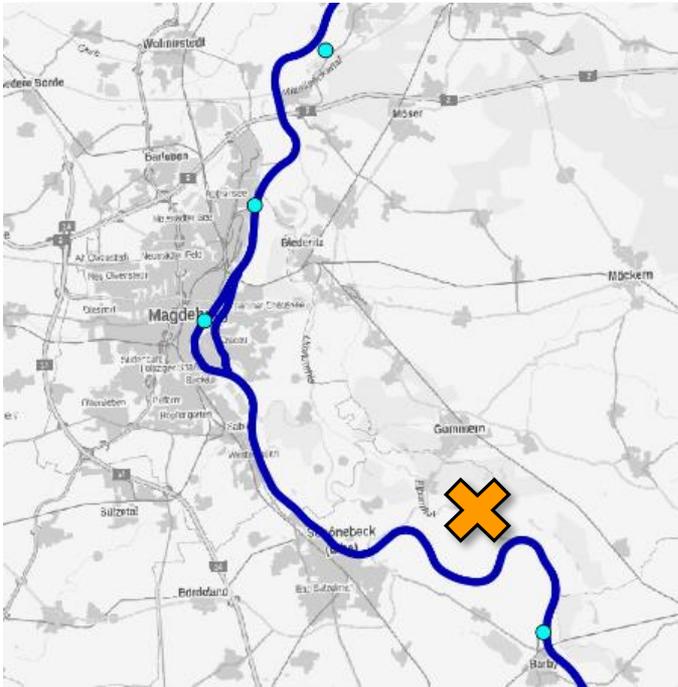
Abb. 8: Modellgebiet und Standort Pretziener Wehr



# Das neue Elbe-Modell: Pretziener Wehr



## Hydrologischer Normalfall



## Hochwasserfall

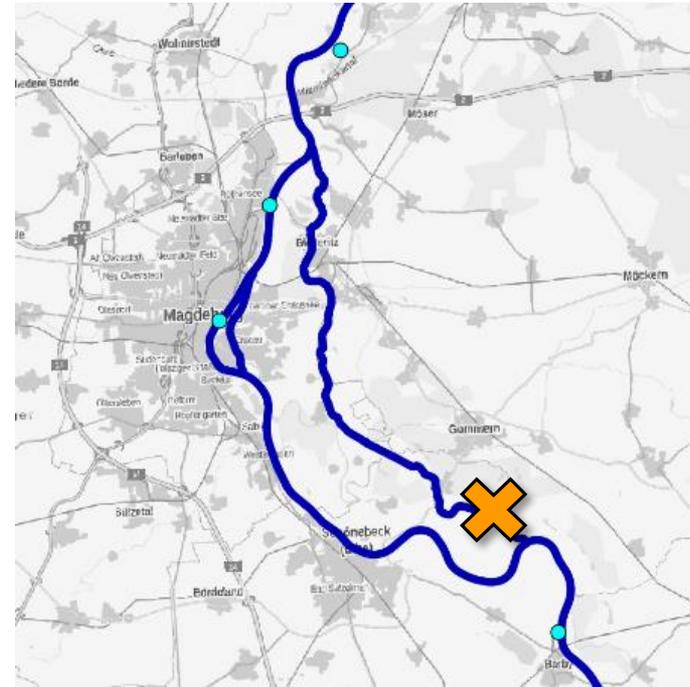


Abb. 9: Verlauf der Elbe im Normal- und im Hochwasserfall

# Das neue Elbe-Modell: Havelmündung

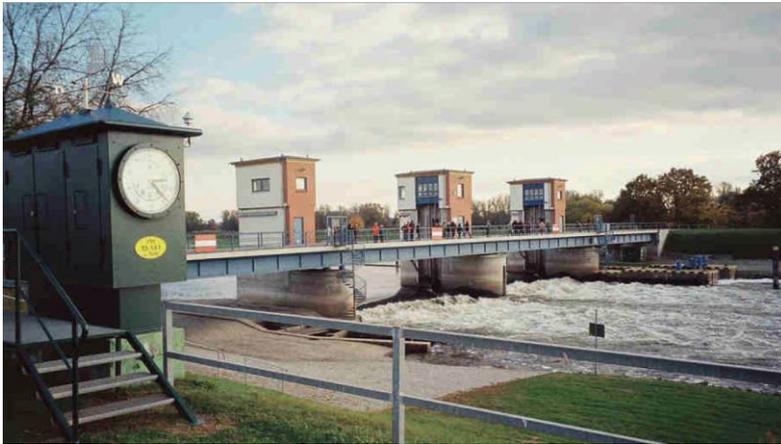


Abb. 10: Wehr Gnevsdorf



Abb. 11: Wehrgruppe Quitzöbel

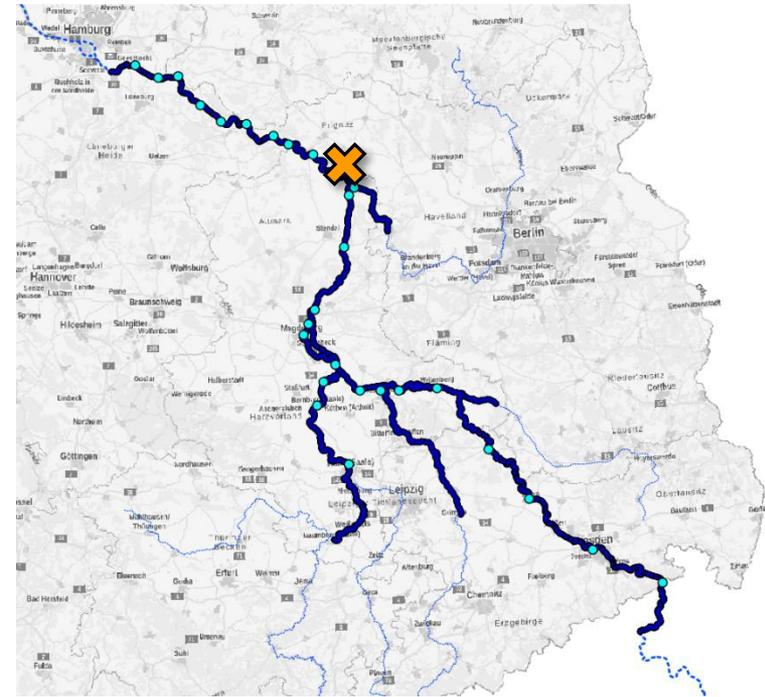
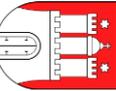


Abb. 12: Position der Havelmündung



# Das neue Elbe-Modell: Havelmündung

Normalfall:  
Havelentlastung



Hochwasserfall:  
Havelflutung



Abb. 13: Fließwege zur Havelentlastung und Elbscheitelkappung



# Das neue Elbe-Modell: Wehr Geesthacht



Abb. 14: Wehr Geesthacht (Quelle: FGG Elbe)

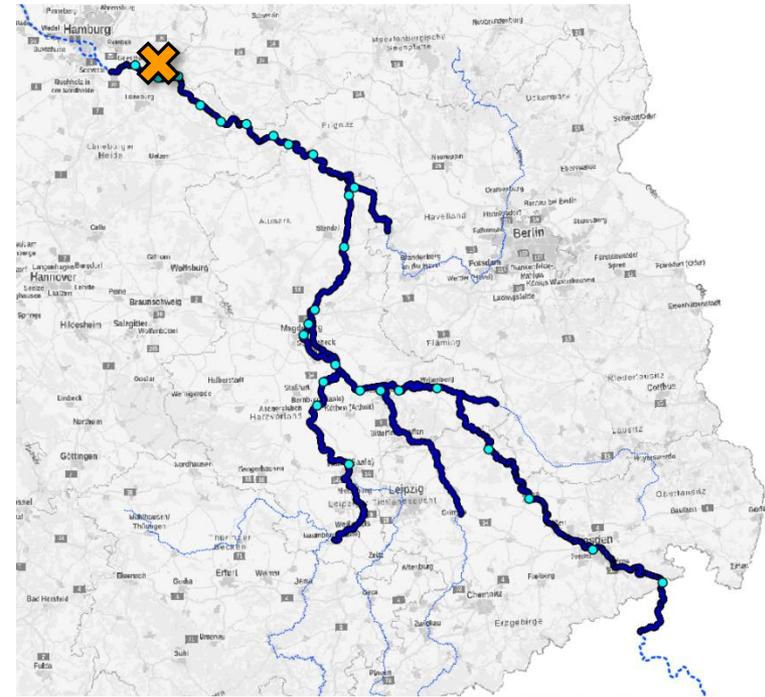


Abb. 15: Modellgebiet und Standort Wehr Geesthacht

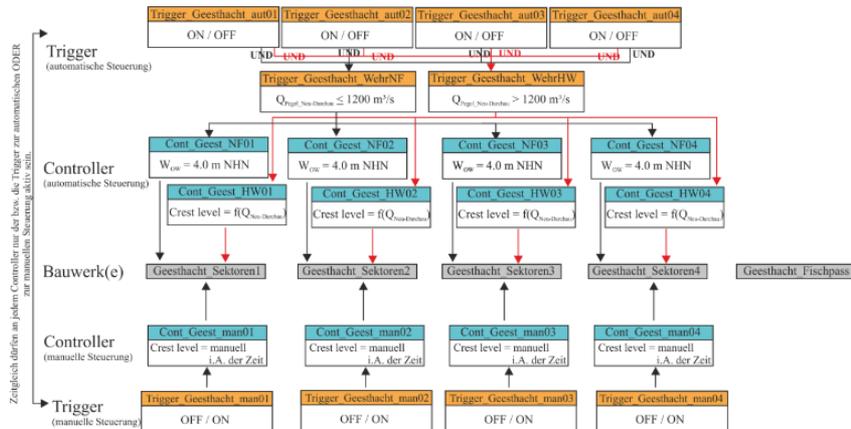


Abb. 16: Steuerung des Wehres Geesthacht im neuen Elbe-Modell (Quelle: BfG)



# Das neue Elbe-Modell: Kalibrierung

- Altes Modell: Für Niedrig- bis Hochwasser
- Neues Modell: Kalibriert speziell auf Hochwasser
- Nur 3 Ereignisse sind ausreichend gut dokumentiert:

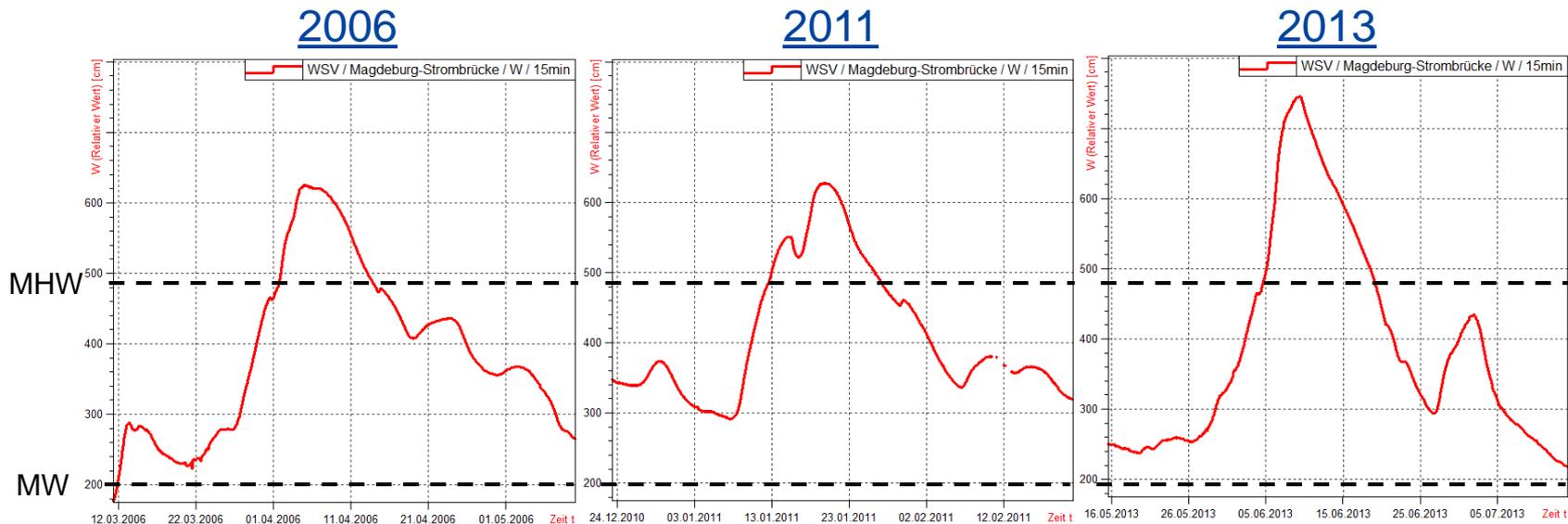


Abb. 17: Wasserstände der HW 06, 11 und 13 am Pegel Magdeburg Strombrücke

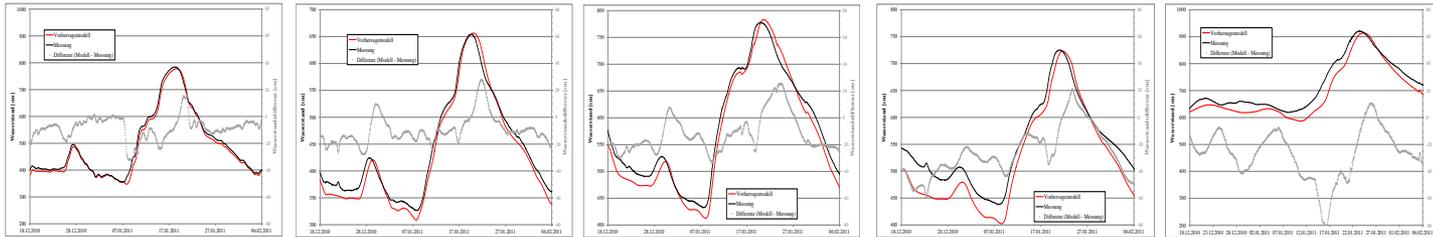
→ Kalibriert an Ereignissen 2011 und 2013, validiert an 2006



# Das neue Elbe-Modell: Kalibrierung

## Steuerung des Wellenablaufes über Rauheiten

2011



2013

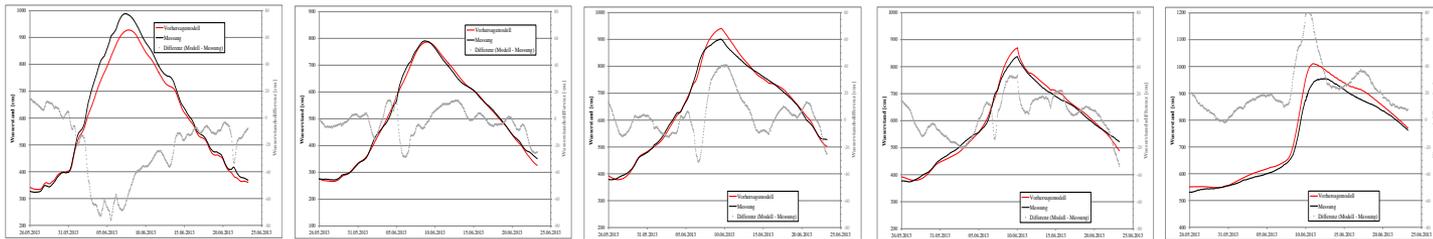


Abb. 18: Messung und Ergebnis des neuen Modells für die HW 2011 und 2013 für die Pegel Mühlberg, Vockerode, Magdeburg-Rothensee, Tangermünde und Hohnstorf (Quelle: BfG)

Ungenauigkeit verbleiben aufgrund von:

- Vernachlässigung saisonaler Unterschiede
- Räumliche Auflösung und Reduzierung auf 1D
- Unbekannte Verluste durch Deichbrüche, Havelflutung, W/Q-Umrechnung



# Das neue Elbe-Modell: Postprozessierung

## Nachbearbeitung des Modellergebnisses

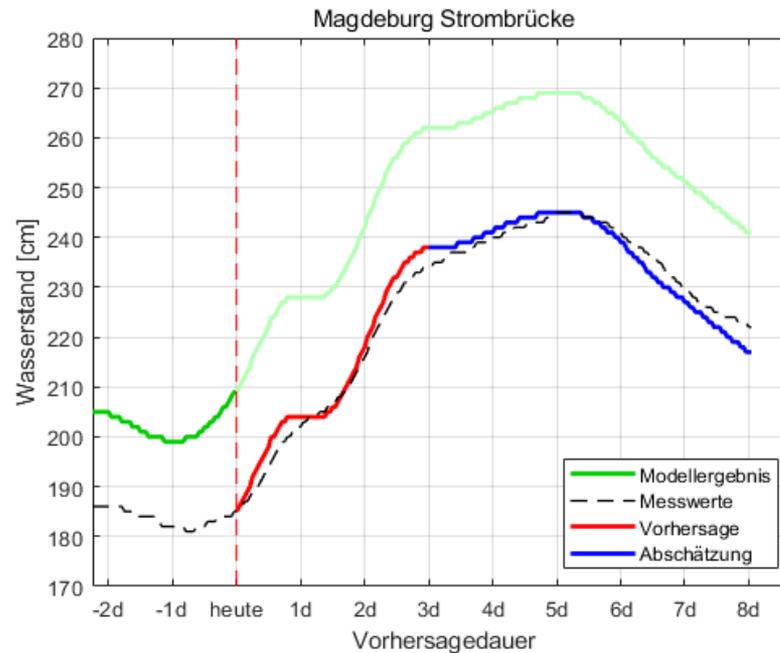


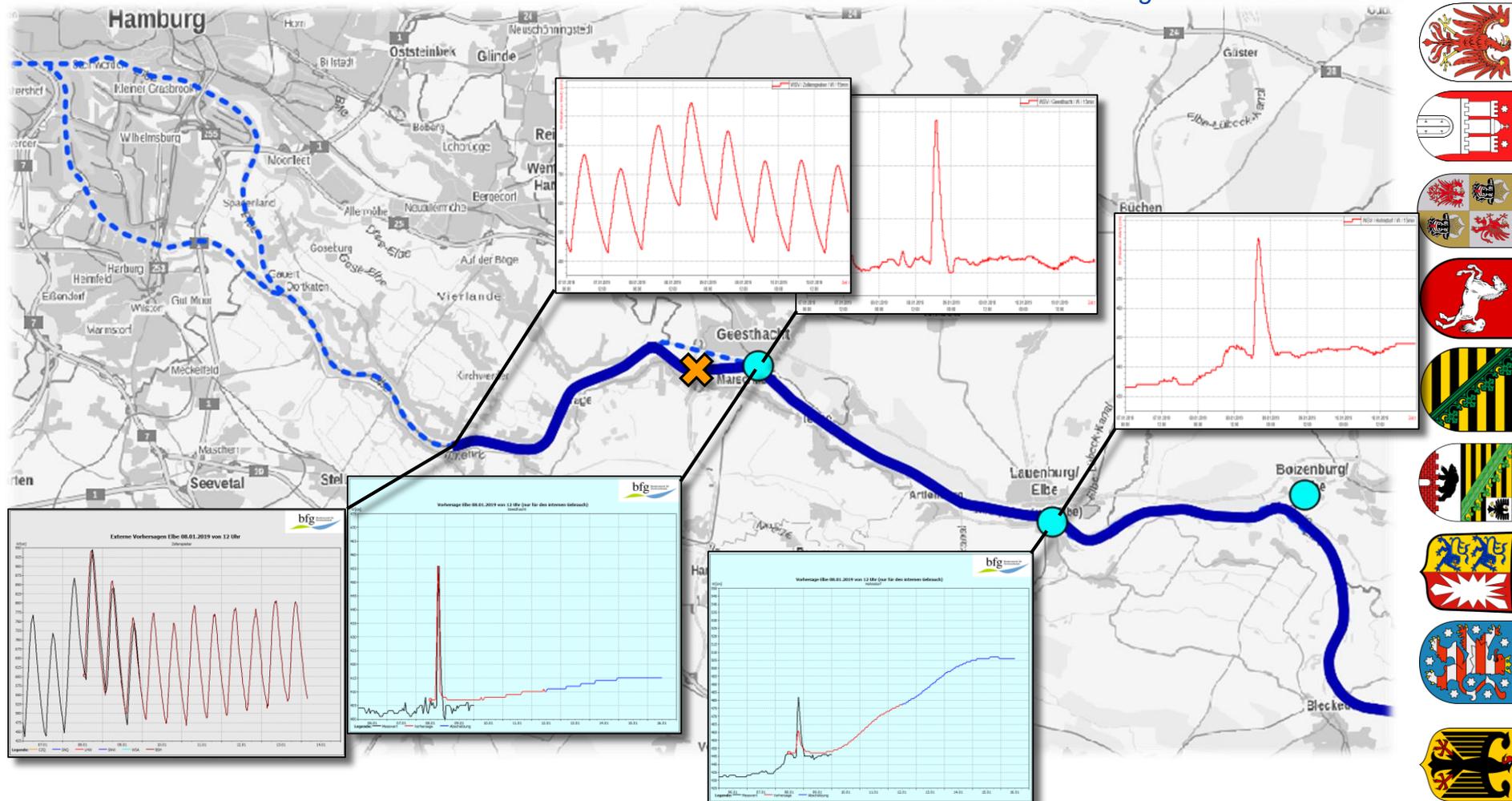
Abb. 19: Verschiebung des Modellergebnisses

Das Modellergebnis wird an den letzten Messwert herangeschoben  
→ Verringerung des modellbedingten Fehlers



# Das neue Elbe-Modell: Beispiel Testbetrieb: Sturmflut 08.01.2019

Abb. 20: Gemessene und modellierte Ganglinien des 08.01.2019



---- Elbe    — WAVOS-Modellgebiet    ● Vorhersagepegel    X Wehr Geesthacht



# Ausblick 1: Parallelbetrieb

- Modellgebiet enthält 14 HWS-Maßnahmen jünger als 2013
- Aktuelles Ereignis notwendig, um deren Funktionalität zu bestätigen

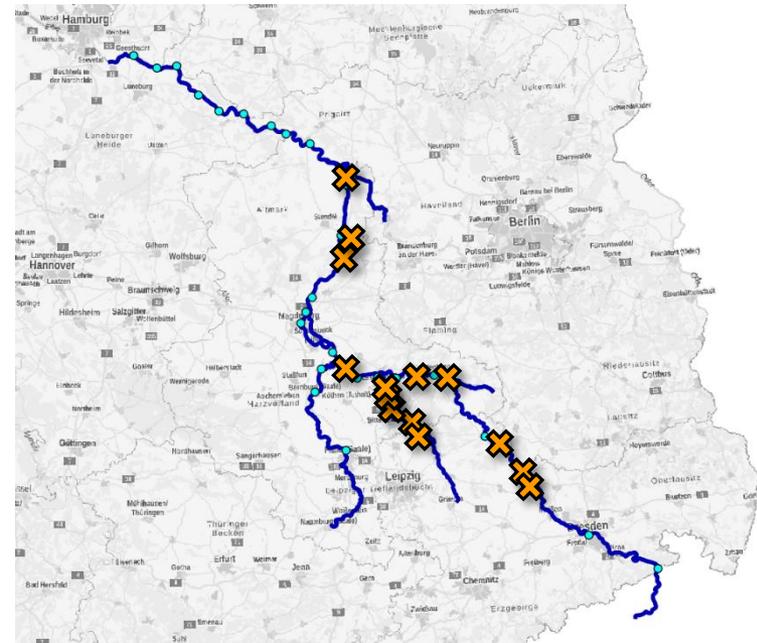
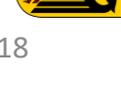
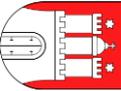


Abb. 21: Modellgebiet und Standorte der 14 Maßnahmen

→ Parallelbetrieb des alten und des aktualisierten Vorhersagesystems bis zum nächsten Hochwasser



## Ausblick 2: Pflege des Vorhersagesystems

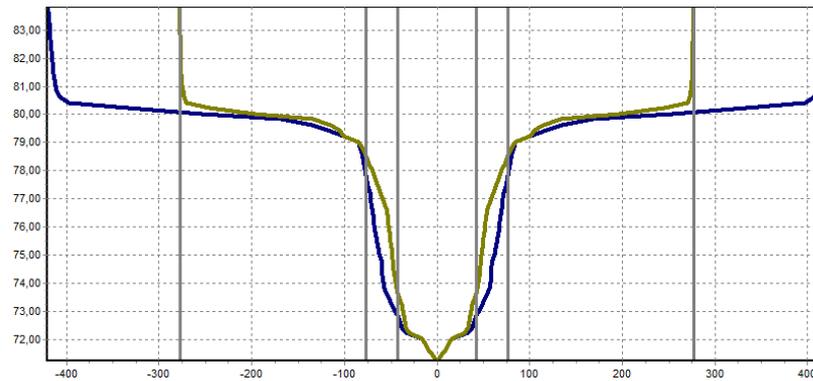
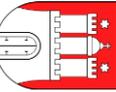


Abb. 22: Querprofil aus SOBEK-Elbe

- 6000 Querprofile sind fortwährend zu aktualisieren
  - Rauheiten (4 pro Querprofil) sind zu aktualisieren
  - Neue Hochwasserschutzmaßnahmen (Polder und DRV) und deren Steuerung sind in das Modell zu implementieren
- 2 Mitarbeiter für Support und Pflege durch FGG Elbe



# Ausblick 3: Kommunikation der Vorhersageunsicherheit

## 1. Berechnung der Vorhersageunsicherheit

- a. Nachrechnen einer möglichst großen Anzahl von Vorhersagen
- b. Berechnung sämtlicher Vorhersagefehler
- c. Berechnung verschiedener Quantile der Vorhersagefehler, getrennt nach hydrol. Situation (abh. von W und Tendenz)

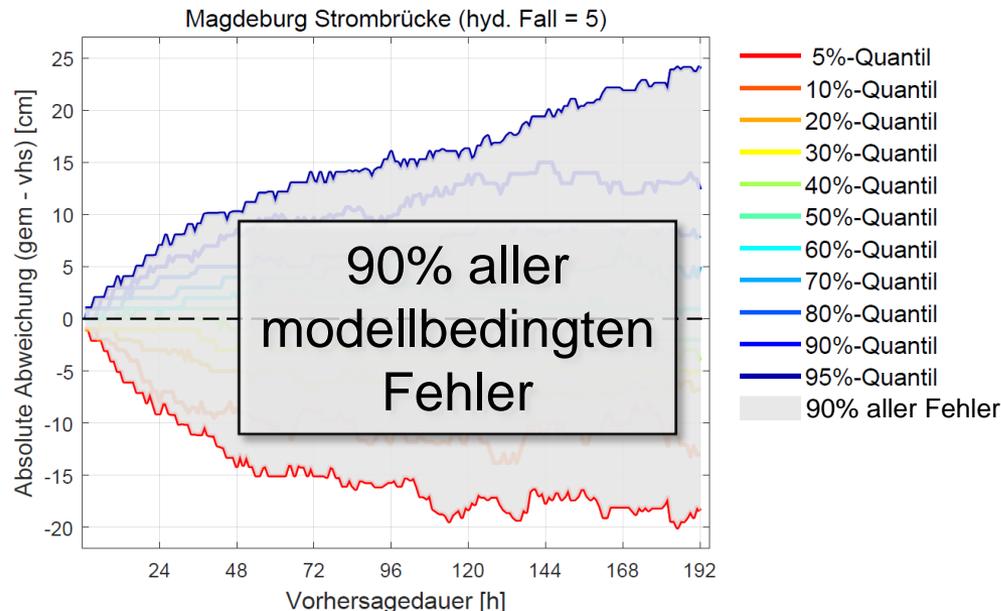


Abb. 23: Quantile der Vorhersagefehler von WAVOS für den Pegel Magdeburg Strombrücke



# Ausblick 3: Kommunikation der Vorhersageunsicherheit

## 2. Darstellung der Vorhersageunsicherheit

Addition der neuen Vorhersage mit je einem oberen und unteren Quantil ergibt das Unsicherheitsband

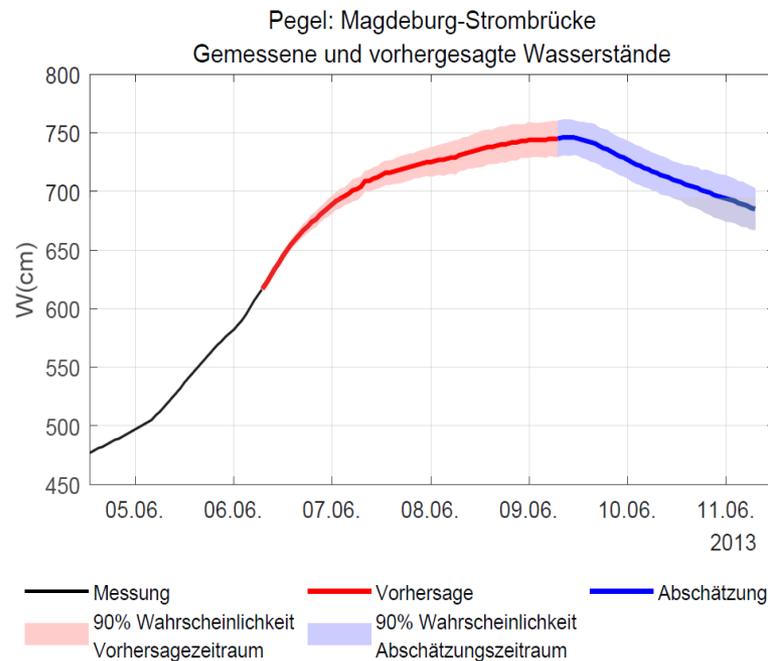


Abb. 24: Beispiel für eine Vorhersage für den Pegel Magdeburg Strombrücke mit Unsicherheitsband



# Vielen Dank!

## Fragen?

### Quellen:

- Abb. 1, 2, 4, 5, 8, 9, 12, 13, 15, 20, 21: WebAtlasDE(wms\_webatlasde\_grau), Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
- Abb. 3: Beispiel-Vorhersage Pegel Hohnstorf: Aus der Gemeinsamen Hochwasservorhersage für die Bundeswasserstraßen Elbe, Saale und Untere Havel
- Abb. 6: Pretziener Wehr: WAVOS Elbe – Verbesserung der Hochwasservorhersage, Zwischenbericht, BfG 2017
- Abb. 7: Pretziener Wehr: Die Elbe im Raum Magdeburg - Darstellung der wasserwirtschaftlichen Verhältnisse, M. Simon
- Abb. 10: Wehr Gnevsdorf: Die Elbe im Raum Magdeburg - Darstellung der wasserwirtschaftlichen Verhältnisse, M. Simon
- Abb. 11: Wehrgruppe Quitzöbel: Die Elbe im Raum Magdeburg - Darstellung der wasserwirtschaftlichen Verhältnisse, M. Simon
- Abb. 14: Wehr Geesthacht: FGG Elbe
- Abb. 16: Steuerung des Wehres Geesthacht im neuen Elbe-Model: WAVOS Elbe – Verbesserung der Hochwasservorhersage, Abschlussbericht, BfG 2018
- Abb. 17: Ganglinien der HW-Ereignisse 2006, 2011 und 2013 am Pegel Magdeburg Strombrücke, Screenshots aus WISKI
- Abb. 18: Messung und Ergebnis des neuen Modells für die HW 2011 und 2013 für die Pegel Mühlberg, Vockerode, Magdeburg-Rothensee, Tangermünde und Hohnstorf : WAVOS Elbe – Verbesserung der Hochwasservorhersage, Abschlussbericht, BfG 2018
- Abb. 19: Verschiebung des Modellergebnisses, Screenshot aus WAVOS Elbe
- Abb. 22: Querprofil der Elbe, Screenshot aus SOBEK
- Abb. 23: Quantile der Vorhersagefehler von WAVOS für den Pegel Magdeburg Strombrücke
- Abb. 24: Vorhersage für den Pegel Magdeburg Strombrücke mit Unsicherheitsband

