

# DePArT – Detektion von küstenhydrologischen Phänomenen und Artefakten in minütlichen Tidepegel­daten



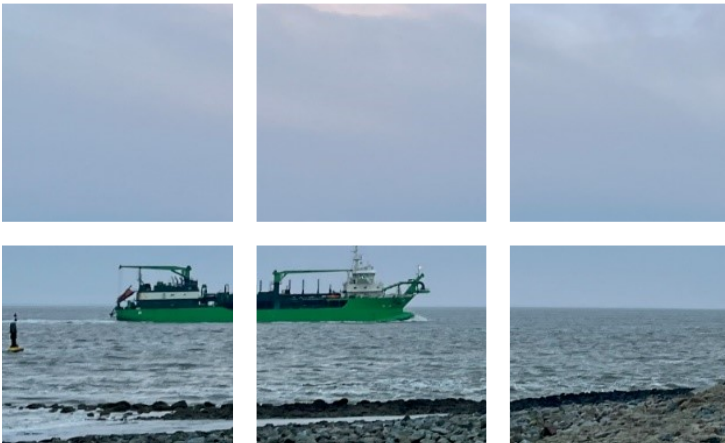
Fotos: Verena Krebs



**29. KfKI-Seminar 2025 am 18.11.2025 in Hamburg**

**Dr.-Ing. Verena Krebs**

Dezernat U12 – Gewässerkunde, Wasserbewirtschaftung | Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt



# Hintergrund

An den **deutschen Küsten und Ästuaren** befinden sich etwa 150 Messstellen zur Beschreibung der Tidewasserstände (und z. T. Tideströmungen) in Verantwortung der WSV.

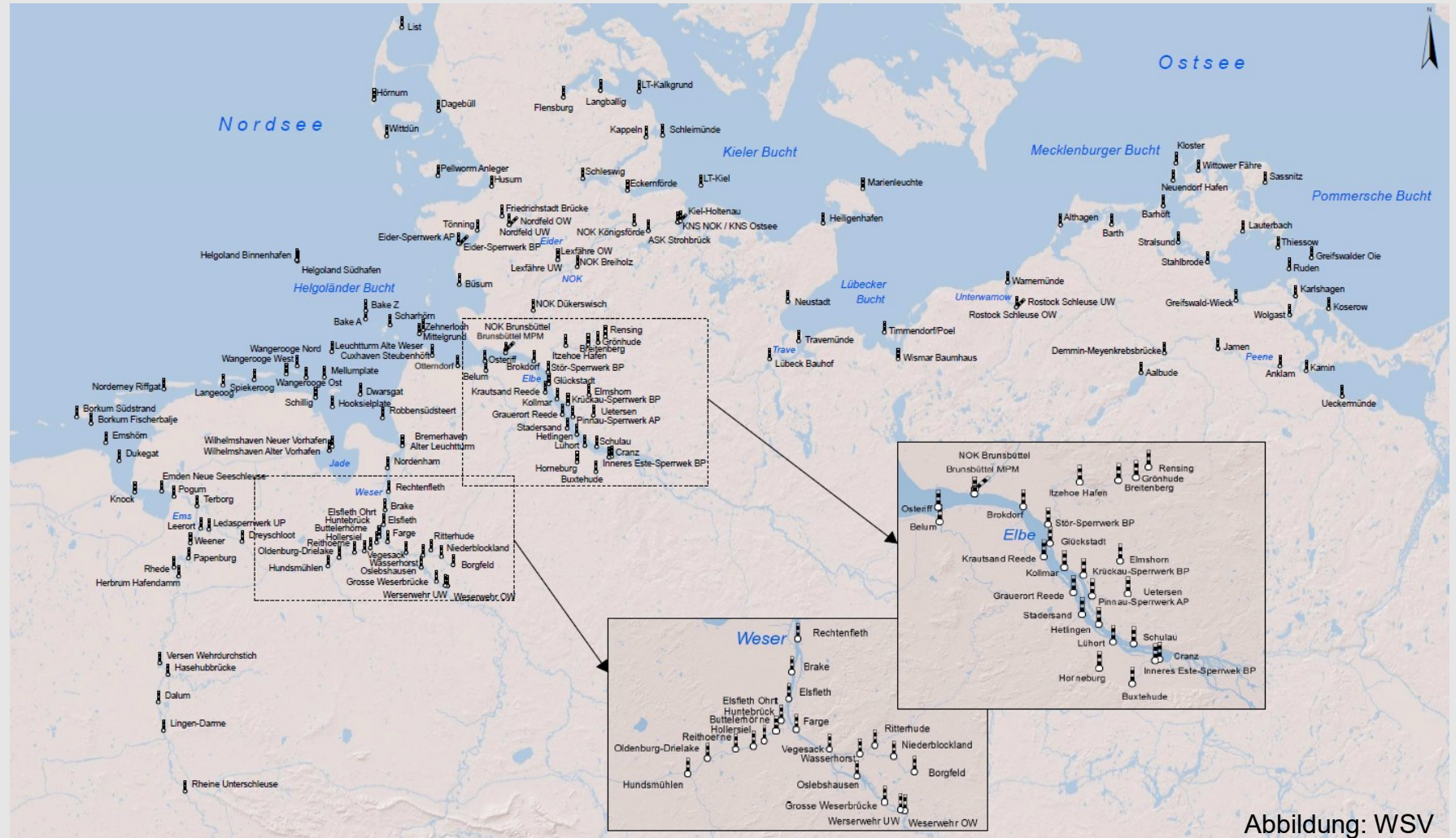


Abbildung: WSV



# Hintergrund

- ❖ Die Erfassung des Wasserstands erfolgt seit den 90er Jahren 1-minütlich.
- ❖ Alle Pegelanlagen verfügen über zwei redundante Systeme mit unterschiedlichen Messvorrichtungen.
- ❖ Über die WDFÜ werden die Daten in Echtzeit übertragen, anschließend weiterverarbeitet und archiviert.
- ❖ Neben Wasserständen werden weitere Umweltparameter (z. B. Temperatur, Leitfähigkeit, Sauerstoffgehalt, Trübung und Strömung) aufgezeichnet.



Fotos: Verena Krebs

**Raderpegel**  
(Pegel Cranz, Äußeres Estespw)



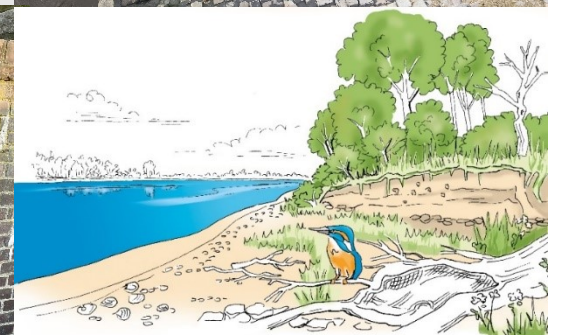
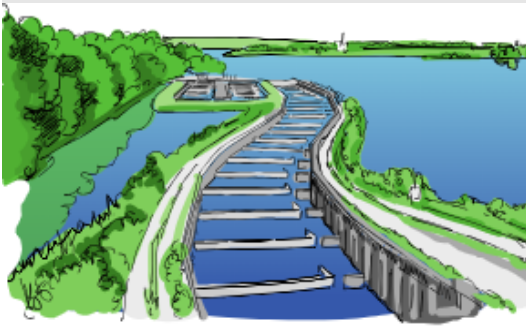
**WDFÜ**  
(Beispielbild)

# Hintergrund

**Pegeldaten bilden Eingangsgröße für verschiedene Fragestellungen, z. B.**

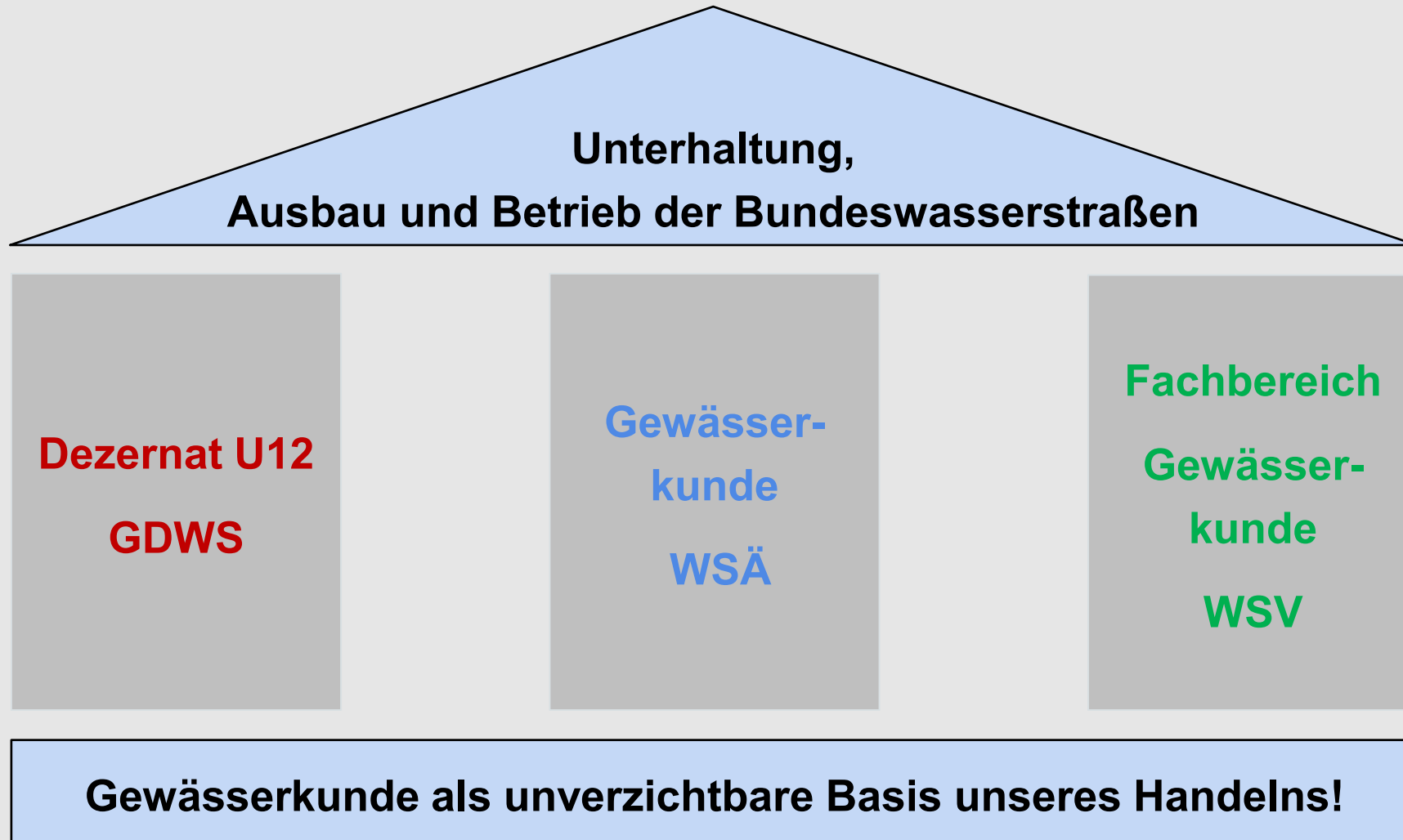
- ✓ Ausbau- und Unterhaltungsmaßnahmen der WSV und der Länder
- ✓ Betrieb der BWaStr (Sperrwerke, Wehre, etc.)
- ✓ Schifffahrt
- ✓ Vorhersagedienst des BSH
- ✓ Statistische Auswertungen
- ✓ Forschungs- und Entwicklungsarbeiten Dritter

Fotos: Verena Krebs



# Hintergrund

## Wahrnehmung Gewässerkundlicher Aufgaben in der WSV





# Hintergrund

## Unterschiedliche Ansprüche an die Daten

### (1) Echtzeitdaten

- möglichst ausfallsicher
- mit möglichst hoher Datenqualität
- aktuell nur sehr geringfügige Bearbeitung

z. B. abrufbar  
über VISILINK  
oder Pegelonline

### (2) Plausibilisierte Daten

- geprüfte und plausibilisierte Wasserstandsdaten
- nach möglichst einheitlichen Standards bearbeitet
- durchschnittliche Bearbeitungszeit: 1–12 Monaten

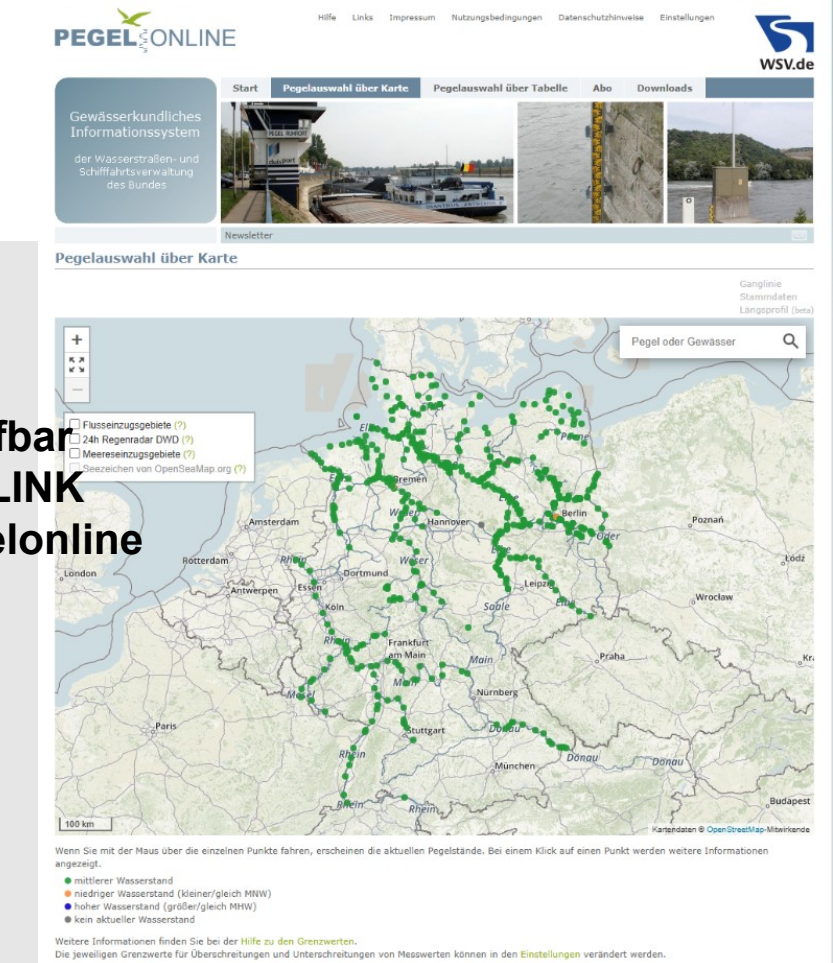


Abbildung: WWW.PEGELONLINE.DE

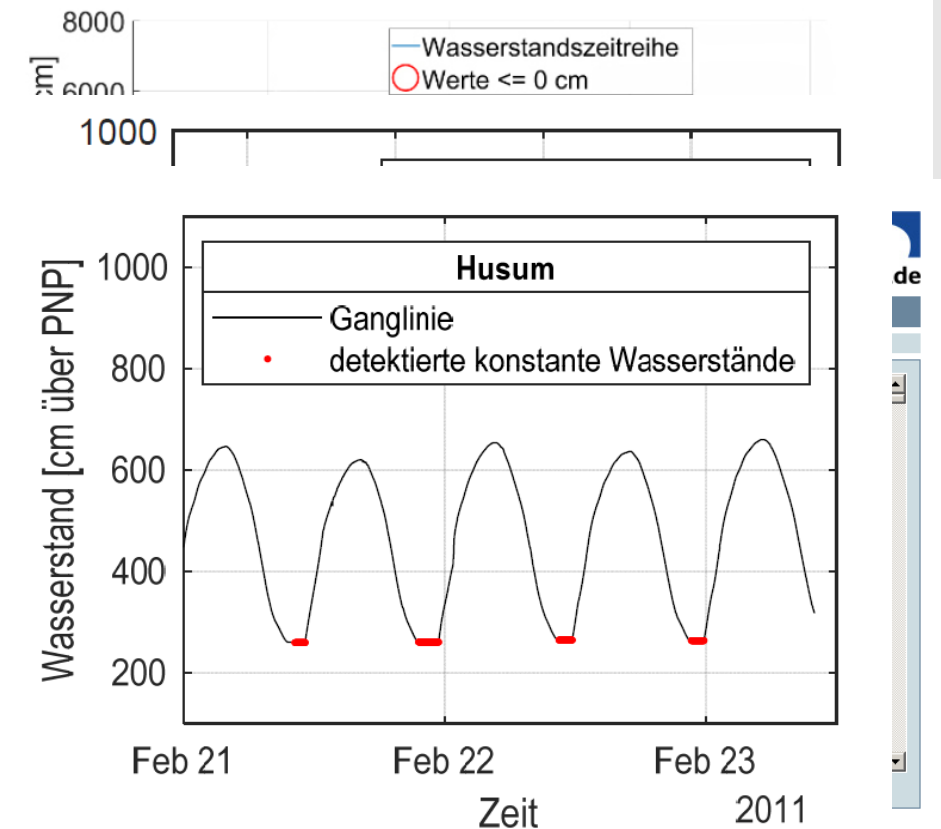
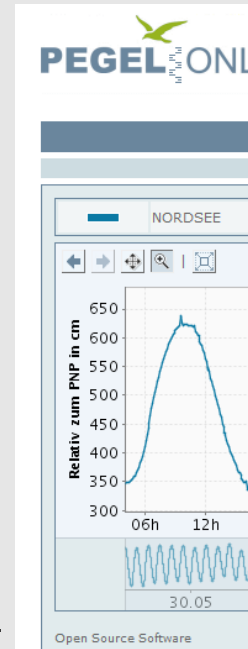
**Plausibilisierung händisch  
durch Gewässerkunde in  
den WSÄ**

# Hintergrund

## Mögliche Artefakte und Phänomene in Tidedaten

- ❖ Technische Messfehler und Übertragungsfehler
- ❖ Datenlücken
- ❖ „Hängenbleiben“ / Festsetzen des Pegelschachts
- ❖ Zusetzen / Trockenfallen des Pegels
- ❖ Eisstau
- ❖ Temporäre bauliche Veränderungen
- ❖ Sperrwerksbeeinflussung
- ❖ Schiffsbeeinflussung

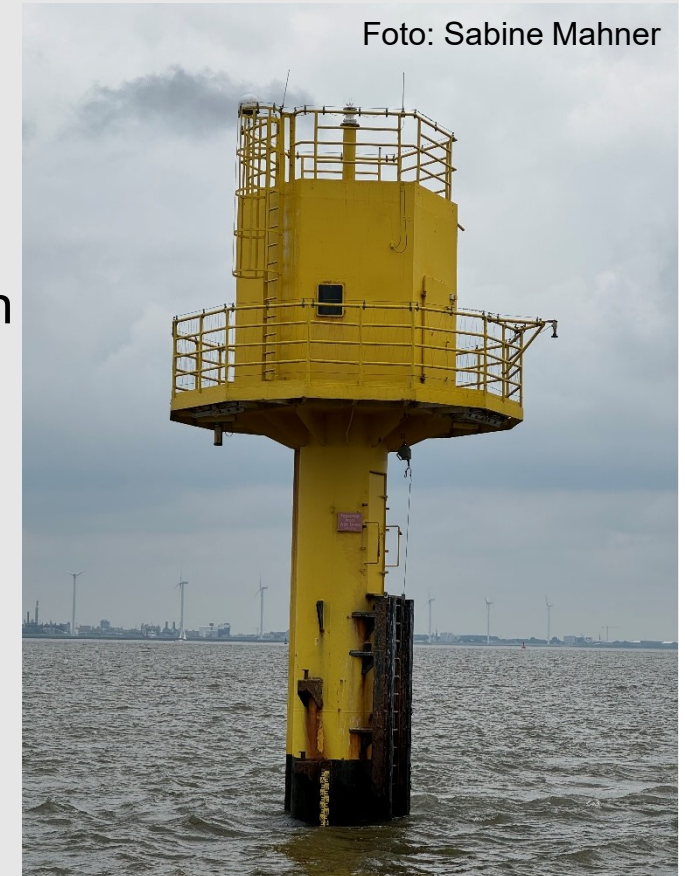
Abbildungen: SOLTAU ET AL.  
(noch unveröffentlicht)



# Projektziele DePArT

- ❖ Entwicklung mathematisch-numerischer Verfahren zur Detektion und Korrektur küstenhydrologischer Phänomene und Artefakte in Wasserstandszeitreihen
- ❖ Automatisierte Plausibilitäts- und Qualitätskontrolle
- ❖ Einheitliche und zeitnahe Plausibilisierung von Wasserstandsdaten
- **Schaffung einer einheitlichen Datengrundlage für Forschung und Wissenschaft**
- **Vereinfachung der manuellen Arbeit und Entlastung der Mitarbeitenden in den WSÄ**

Foto: Sabine Mahner

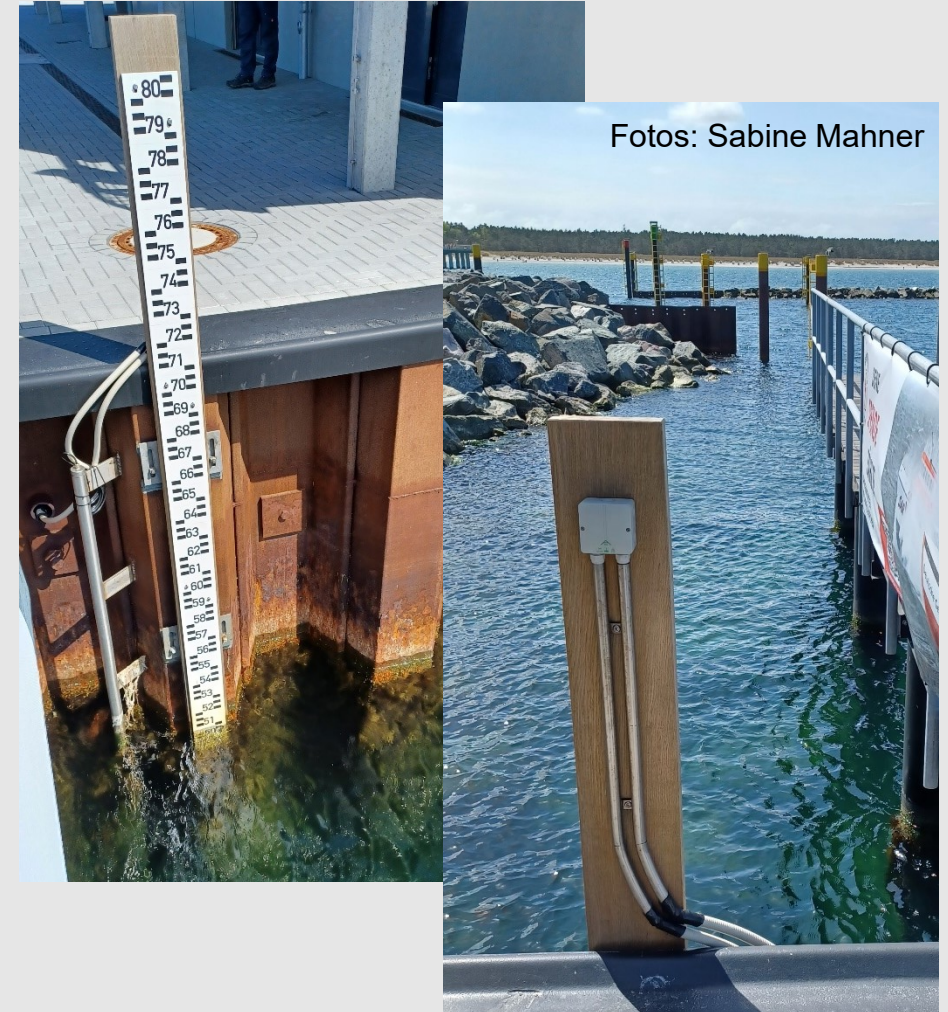




# Projektziele

## Methodisches Vorgehen

- ❖ Nutzung der Wasserstandsdaten von 26 Pegeln und Gezeitenvorausberechnung des BSH
- ❖ Intensiver Austausch mit Fachbehörden, insbesondere Gewässerkundlichen Mitarbeitenden (Einbindung des lokalen Expertenwissens)
- ❖ Nutzung von AIS-Daten zu Schiffspassagen
- ❖ Implementierung der entwickelten Verfahren in Softwaresystem der WSV und operationelle Tests
- ❖ Im Anschluss: Übernahme in den Regelbetrieb und Prüfung der Ausweitung auf den Binnenbereich



# Projektergebnisse (vgl. SOLTAU ET AL.)

## I. Preprocessing / Detektion von Artefakten

Detektion fehlerhafter Messungen und unnatürlicher Wasserstandsverläufe

- z. B. Detektion von **Ausreißern** aufgrund dynamischer Schwellenwerte
- Nach Entfernung grober Ausreißer, Mittelung der Wasserstandsdifferenzen über festgelegtes Fenster (hier 3 Jahre), bei Überschreitung eines zuvor festgelegten Quantils (hier  $q = 0,9999$ ), wird Ausreißer detektiert.

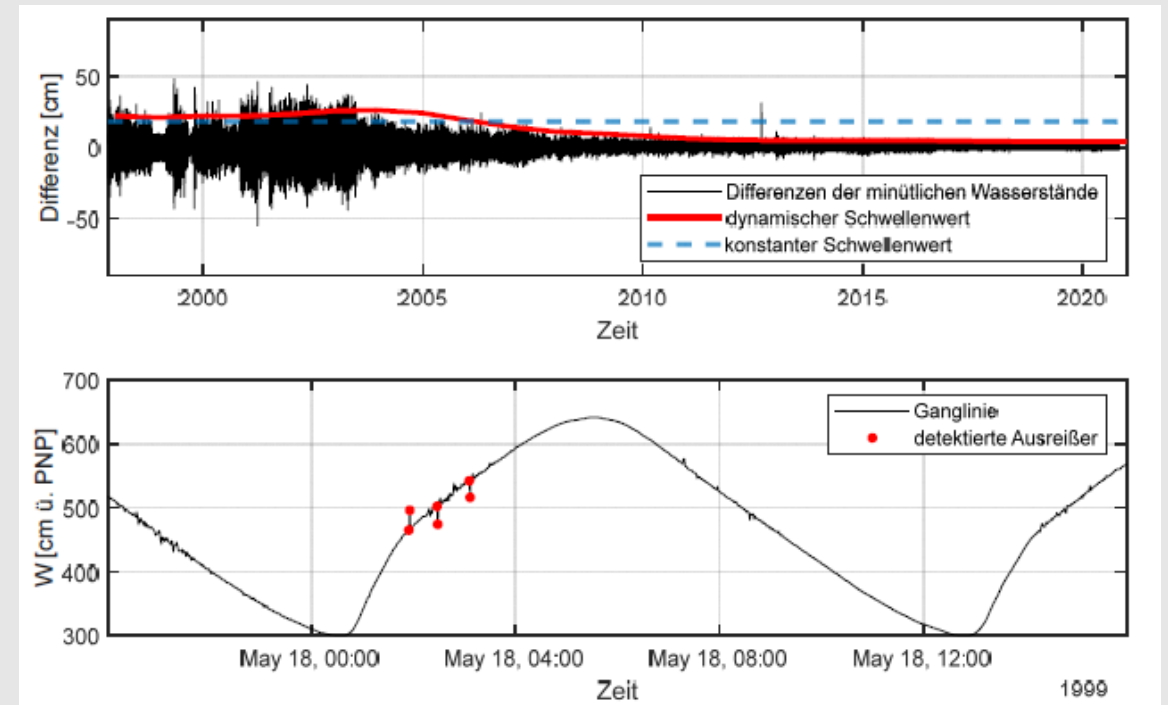


Abbildung: SOLTAU ET AL. (noch unveröffentlicht)

➤ **Fenstergröße und Quantil müssen für jede Datenreihe angepasst werden!**

# Projektergebnisse (vgl. SOLTAU ET AL.)

- Detektion von **Zeiträumen mit konstanten Wasserständen**
- Verfahren mit drei Parametern:
  - (1) Wie viele aufeinanderfolgende Werte müssen konstant sein?
  - (2) Wie lang darf der Abstand zwischen konstanten Abschnitten sein, um sie demselben Ereignis zuzuordnen?
  - (3) Definition von Bereichen, die ignoriert werden können, weil z. B. regelmäßiges Trockenfallen bekannt ist.

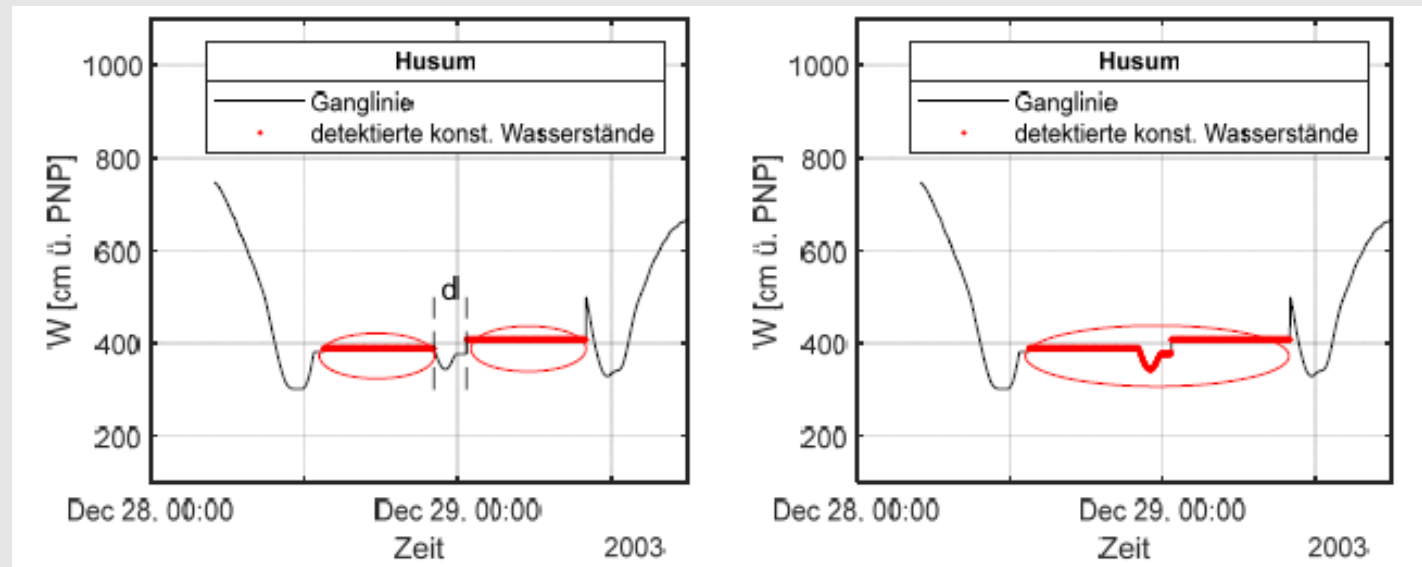


Abbildung: SOLTAU ET AL. (noch unveröffentlicht)



# Projektergebnisse (vgl. SOLTAU ET AL.)

- **Automatische Detektion von Sperrwerkschließungen**  
(viele Fehldetektionen, muss plausibilisiert werden)
- **Automatische Lückenidentifikation**
- **Auffüllen der Lücken**
  - Lineare Interpolation
  - Spline-Verfahren

} anwendbar bis Lückengröße von ca. 300 Min.
- **Multiple Regression**  
→ Schätzung der Daten aufgrund unabhängiger Prädiktoren  
(Nutzung des NTR-Signals von 1–2 Nachbarpegeln)

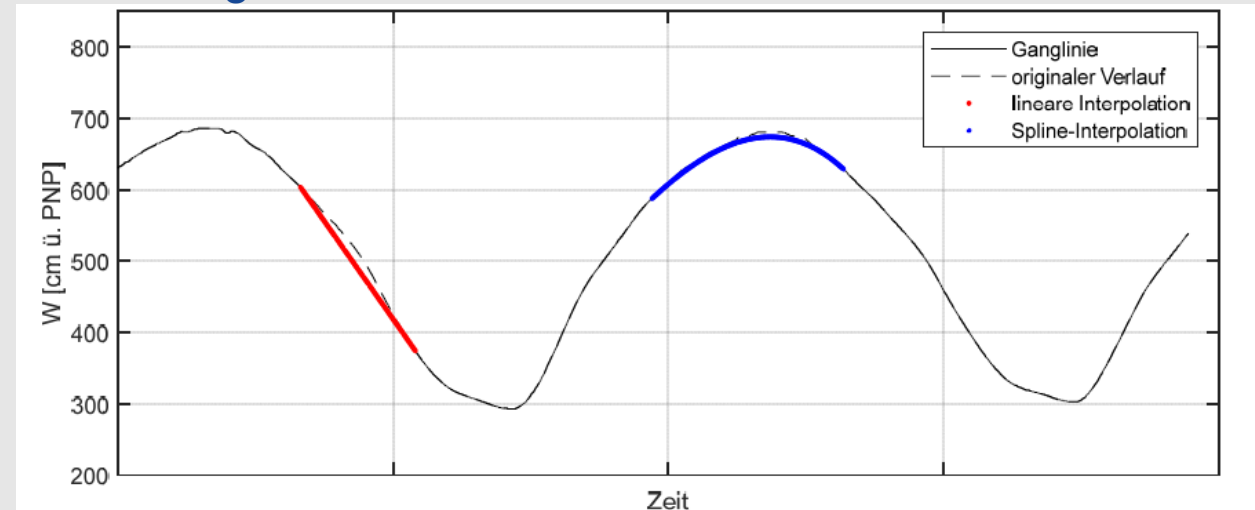


Abbildung: SOLTAU ET AL. (noch unveröffentlicht)

# Projektergebnisse (vgl. SOLTAU ET AL.)

## II. Komplexere Anomalien

- Detektion von langperiodischen Schwingungen

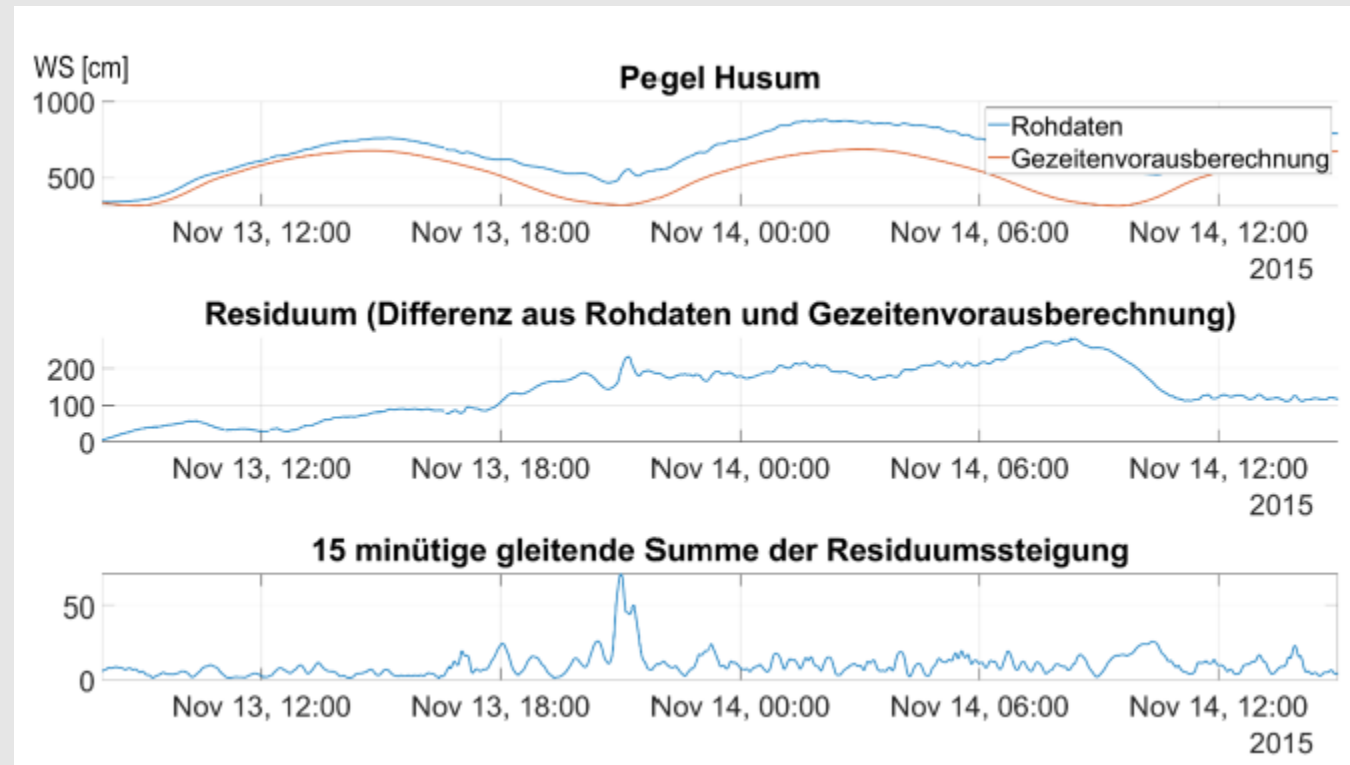
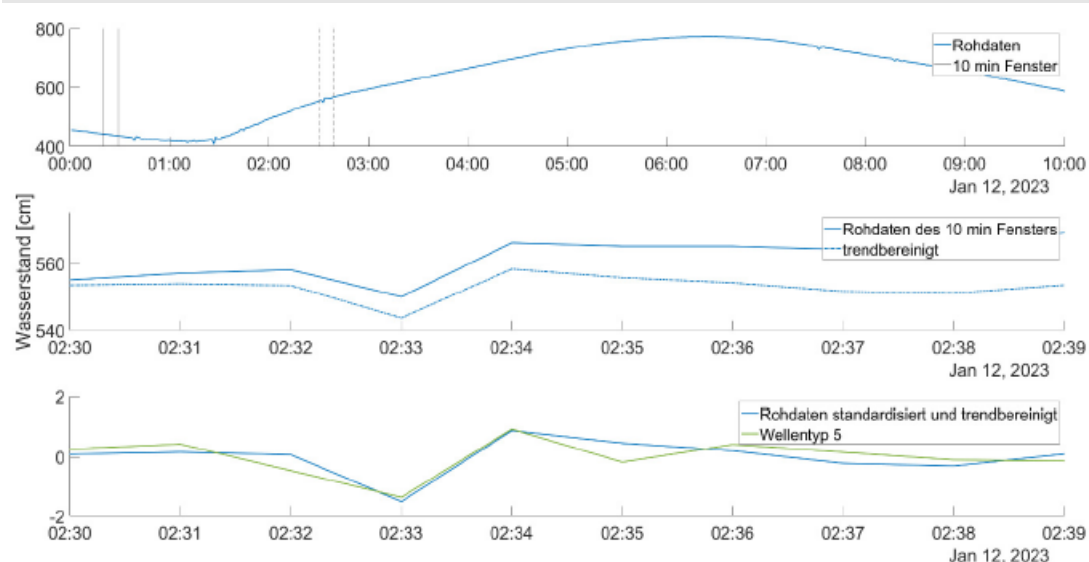


Abbildung: SOLTAU ET AL. (noch unveröffentlicht)

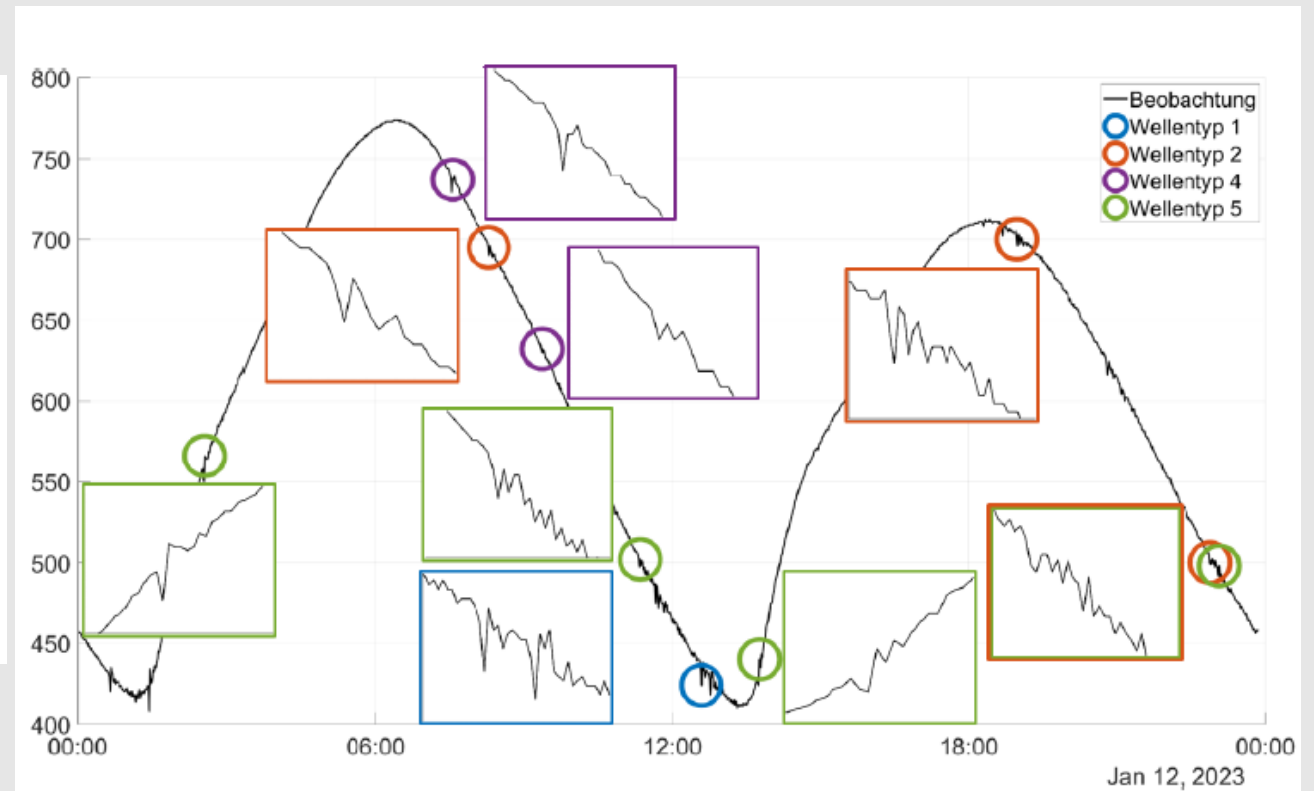
# Projektergebnisse (vgl. SOLTAU ET AL.)

## ▪ Detektion von Schiffswellen

Algorithmus zur Identifikation von Schiffswellen nach Abgleich mit zuvor je Pegel generierten Musterwellenverläufen



Abbildungen: SOLTAU ET AL. (noch unveröffentlicht)






# Anwendung innerhalb der WSV

- ❖ Gelieferte und dokumentierte **Algorithmen in Python** übersetzt (Bernd Lässig, GDWS U12)
- ❖ in Zusammenarbeit mit **KISTERS AG Funktionen in WISKI 7** (zentrale Datenbank zur Bearbeitung und Archivierung von Wasserstandsdaten) implementiert und getestet
- ❖ Funktionen durch Gewässerkunden der WSÄ bislang zurückhaltend genutzt (diverse Gründe)
- ❖ Funktion zur Schiffswellenidentifikation soll auf andere Pegel ausgeweitet werden (z. B. Ostsee)
- ❖ Funktionen sollen im Zusammenhang mit Einführung des **Data Validation Tool** der KISTERS AG vermehrt Verwendung finden

# Ausblick: Data Validation Tool



Applications | Data Validation

vkrebs01

Konfiguration

Ergebnisse

ValidationView

Ergebnisse nach Entitäten

Filter

500 / 500 Stationen

Filter zurücksetzen

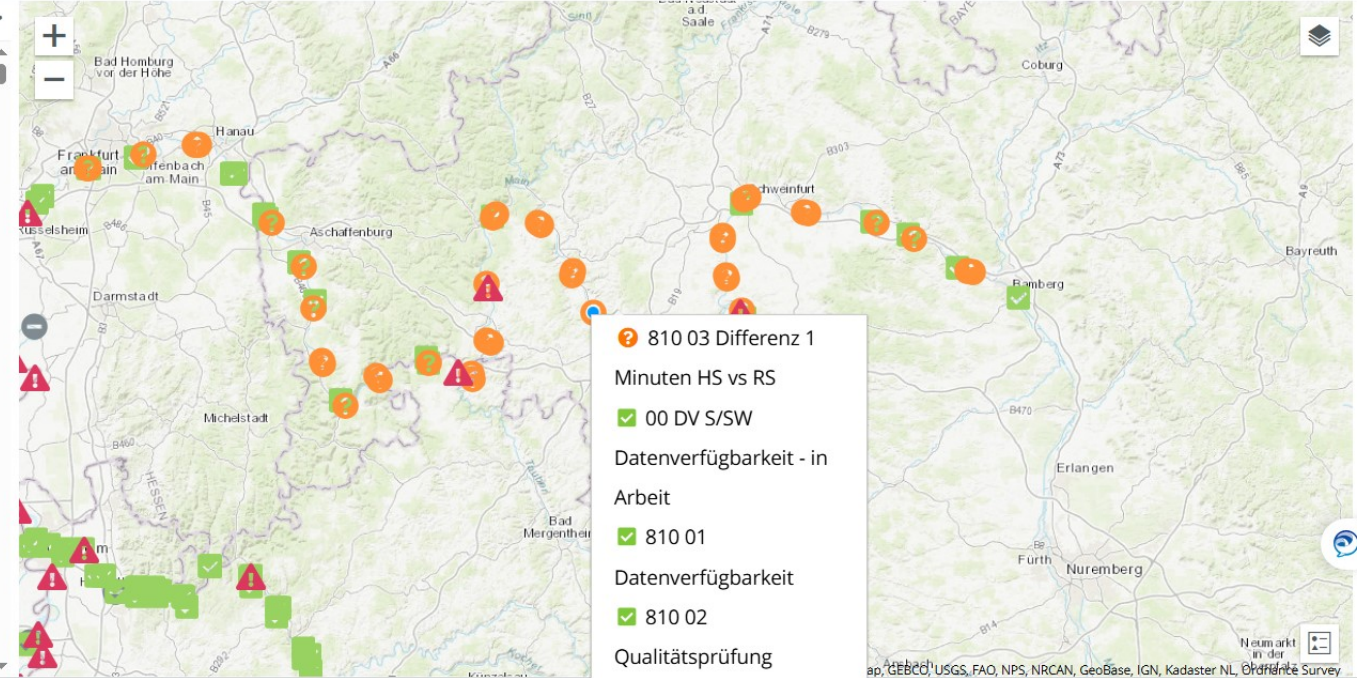
Messortnummer

Alle

Parameter

Alle

Sta...	Sta...	Me...	Score
Ra...	24...	810	⚠️ ⚠️ ? ✓
Fre...	23...	807	⚠️ ⚠️ ?
Me...	23...	807	⚠️ ⚠️ ✓
So...	23...	807	⚠️ ⚠️ ✓
Ho...	23...	807	⚠️ ⚠️ ✓
Bie...	25...	806	⚠️ ⚠️ ✓
Ob...	25...	806	⚠️ ⚠️ ✓
We...	27...	806	⚠️ ⚠️ ✓
Linz...	27...	806	⚠️ ⚠️ ✓
Haf...	23...	807	⚠️ ? ?
Jec...	23...	807	⚠️ ? ✓
Wyhl...	23...	807	⚠️ ? ✓
Illk...	23...	807	⚠️ ? ✓
Alt...	23...	807	⚠️ ? ✓



810 03 Differenz 1

Minuten HS vs RS

00 DV S/SW

Datenverfügbarkeit - in Arbeit

810 01

Datenverfügbarkeit

810 02

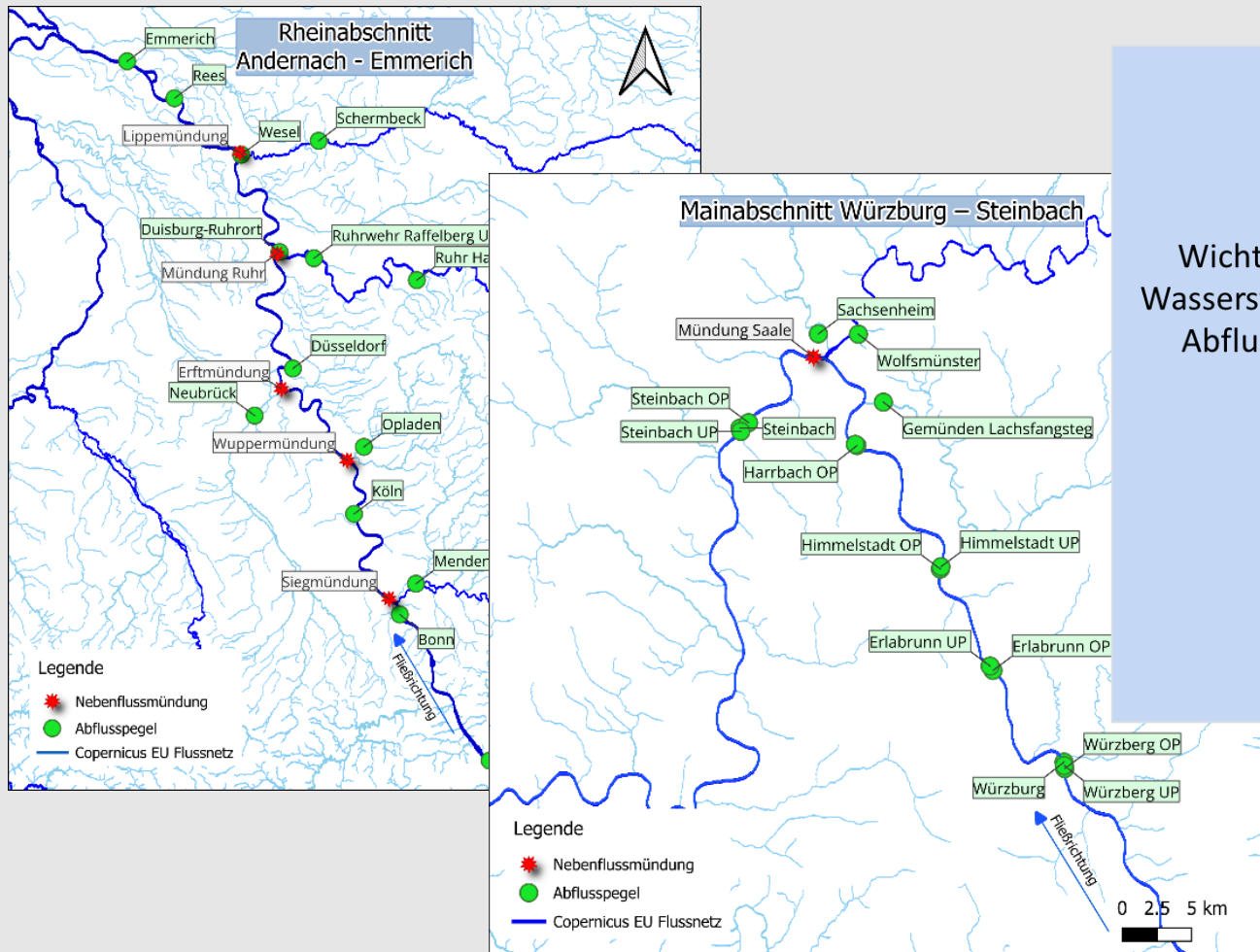
Qualitätsprüfung

© 2025 KISTERS AG | Alle Rechte vorbehalten

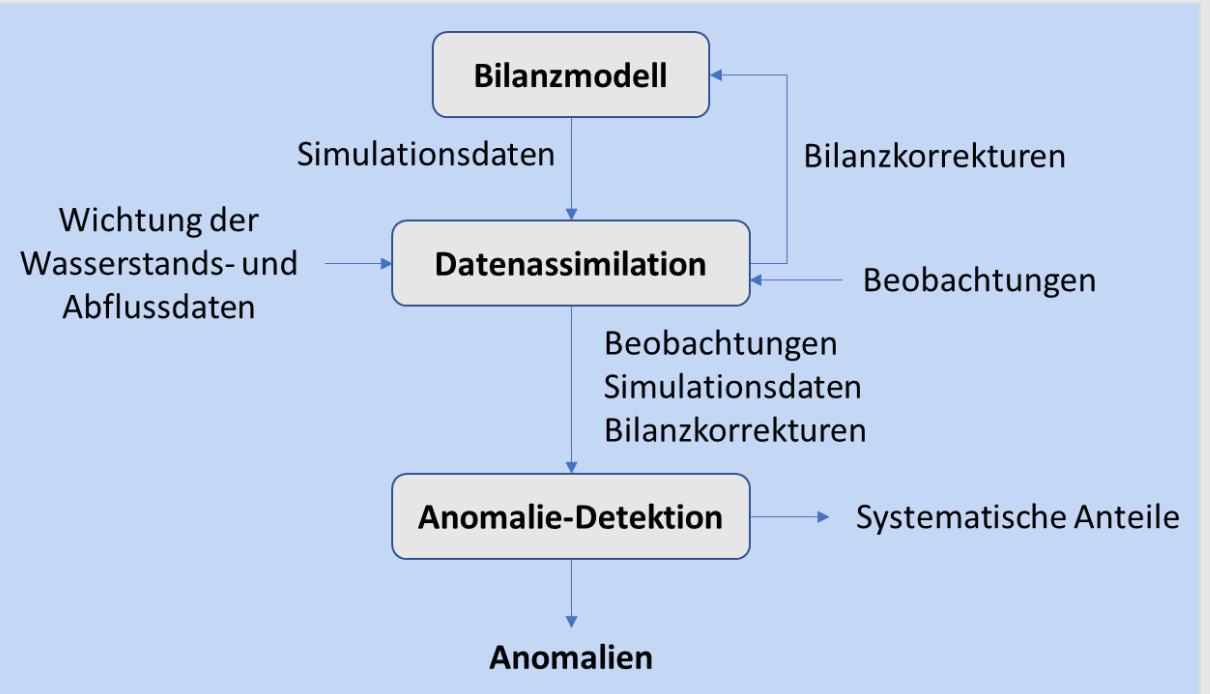
Alle Zeitstempel in der Zeitzone: Europe/Berlin

## Live Demo: WISKI Web – Data Validation Tool

# Exkurs: Massenbilanzierung mit KI Ansatz



Abbildungen: LICHTENSTERN ET AL (2025)



## ➤ Weitere Details:

LICHTENSTERN ET AL (2025): *Neue Konzepte zur Abflussbilanzierung der Bundeswasserstraßen*. WasserWirtschaft, 6|2025.



# Zusammenfassender Rückblick

## Was hat gut funktioniert?

- ✓ Austausch und Zusammenarbeit zwischen WSV und den beteiligten Universitäten
- ✓ gemeinsame Umsetzung der erarbeiteten Funktionen in den operativen Betrieb
- ✓ Einbringen und Aufgreifen des lokalen Expertenwissen
- ✓ klar umrissene und für die Praxis wichtige Fragestellung wurde bearbeitet
- ✓ gemessen an der Größe des Projekts, enormer Output für die Praxis

## „Lessons learned“

- ✓ noch engere Einbindung und Vernetzung von der Projektbearbeitenden und lokalen Gewässerkunden hilfreich → mehr Erfolg auf der „letzten Meile“
- ✓ Wissen ist sehr personengebunden, Wissenstransfer bei Personalwechsel gefährdet!

# Ausblick: Was gibt es noch zu tun?

- Grundsätze zur **einheitlichen Pegelsachbearbeitung** (WSV - Küste) festlegen  
→ AK Einheitliche Pegelsachbearbeitung (Leitung: Sabine Mahner)
- Auf Grundlage der festgelegten Grundsätze zur einheitlichen Pegelsachbearbeitung weitere **Automatisierungsmöglichkeiten** identifizieren
- Ausbau der **Echtzeitdatenprozessierung**? → in enger Abstimmung mit BSH
- Möglichkeiten von **KI-Anwendung** nutzen → Ansätze in DePArT noch nicht erfolgreich, aber seitdem enormer Techniksprung

## VISION:

*Download klar dokumentierter Wasserstandsdaten, für die je nach Anwendung bestimmte Bearbeitungsschritte an-/abgeschaltet werden können...?*



# DePArT – Detektion von küstenhydrologischen Phänomenen und Artefakten in minütlichen Tidepegel­daten

Fotos: Verena Krebs



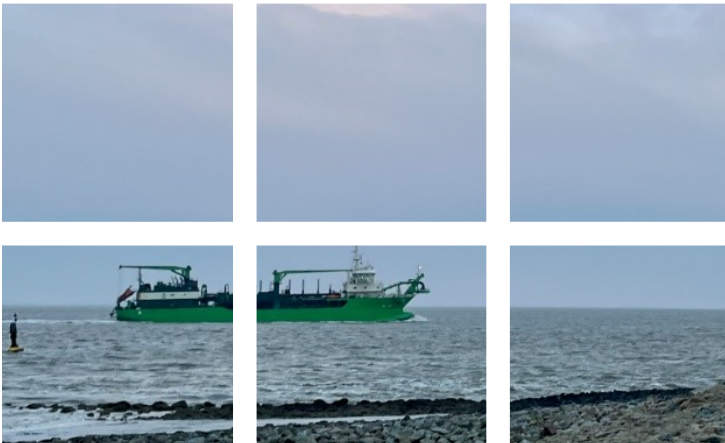
**Herzlichen Dank an die Projektarbeitenden von DePArT,**  
dabei insbesondere Herwig Nöthel, Felix Soltau und  
Jürgen Jensen für den persönlichen Austausch!



**29. KfKI-Seminar 2025 am 18.11.2025 in Hamburg**

**Dr.-Ing. Verena Krebs**

Dezernat U12 – Gewässerkunde, Wasserbewirtschaftung | Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt





# Literatur

LICHTENSTERN, M; MOTT, B.; MESSING, S.; RADEMACHER, S.; MEIßNER, D.; BRUM, M.; KÖHN, C.; SCHWANENBERG, D. (2025): *Neue Konzepte zur Abflussbilanzierung der Bundeswasserstraßen*. WasserWirtschaft, Heft 6, 2025.

DOI: <http://doi.org/10.1007/s35147-025-2522-1>

SOLTAU, F.; KAEHLER, C.; JENSEN, J.; ARNS, A.: *Detektion von küstenhydrologischen Phänomenen und Artefakten in minütlichen Tidepegeldaten (DePArT)*. (noch unveröffentlicht)

→ derzeit im Reviewprozess für Veröffentlichung in: DIE KÜSTE – Journal für Forschung und Praxis im Küsteningenieurwesen an Nord- und Ostsee, Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (KFKI).