

DePArT – Detektion von küstenhydrologischen Phänomenen und Artefakten in minütlichen Tidepegeldaten



Fotos: Verena Krebs



29. KfKI-Seminar 2025 am 18.11.2025 in Hamburg



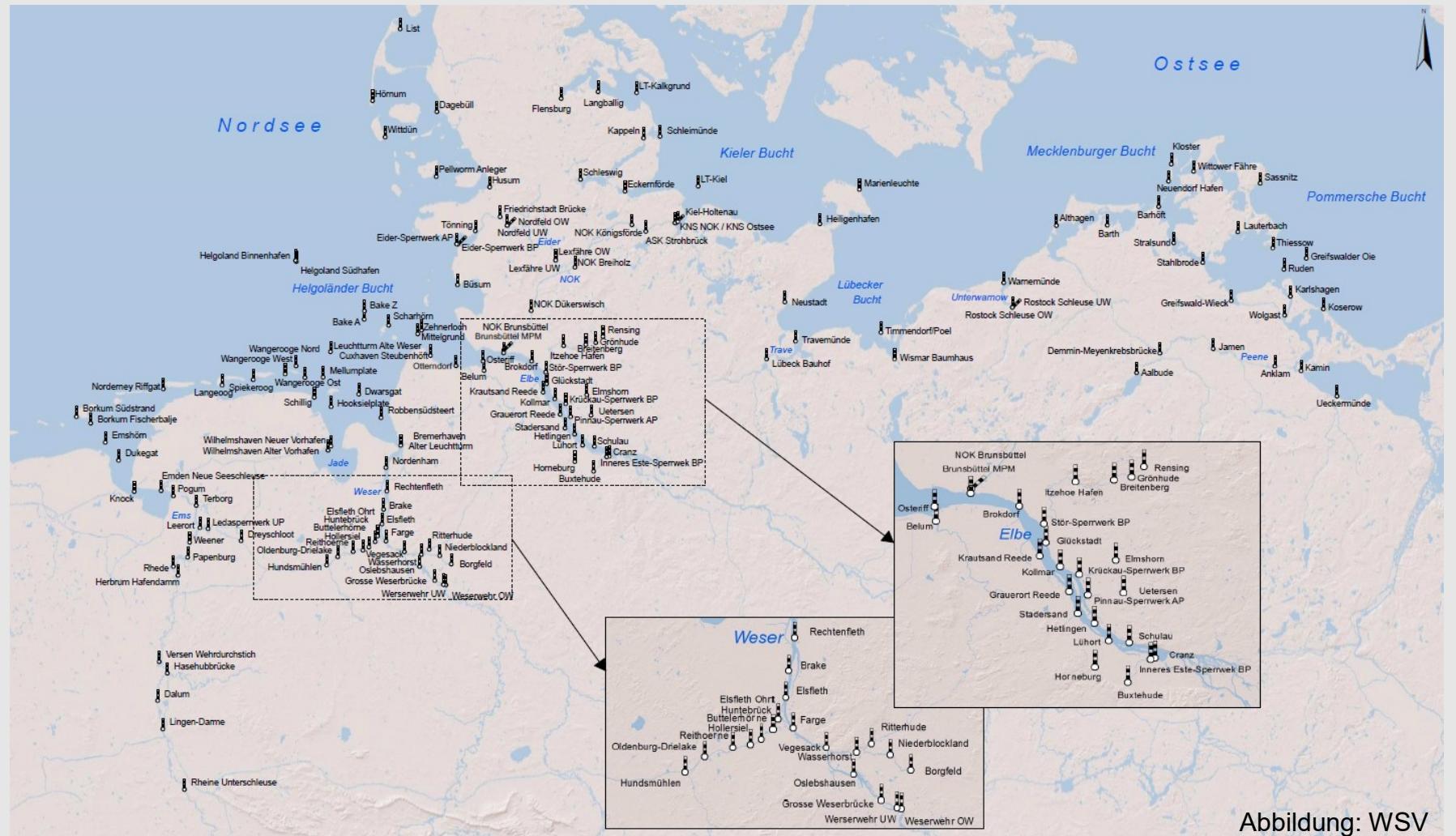
Dr.-Ing. Verena Krebs

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.



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

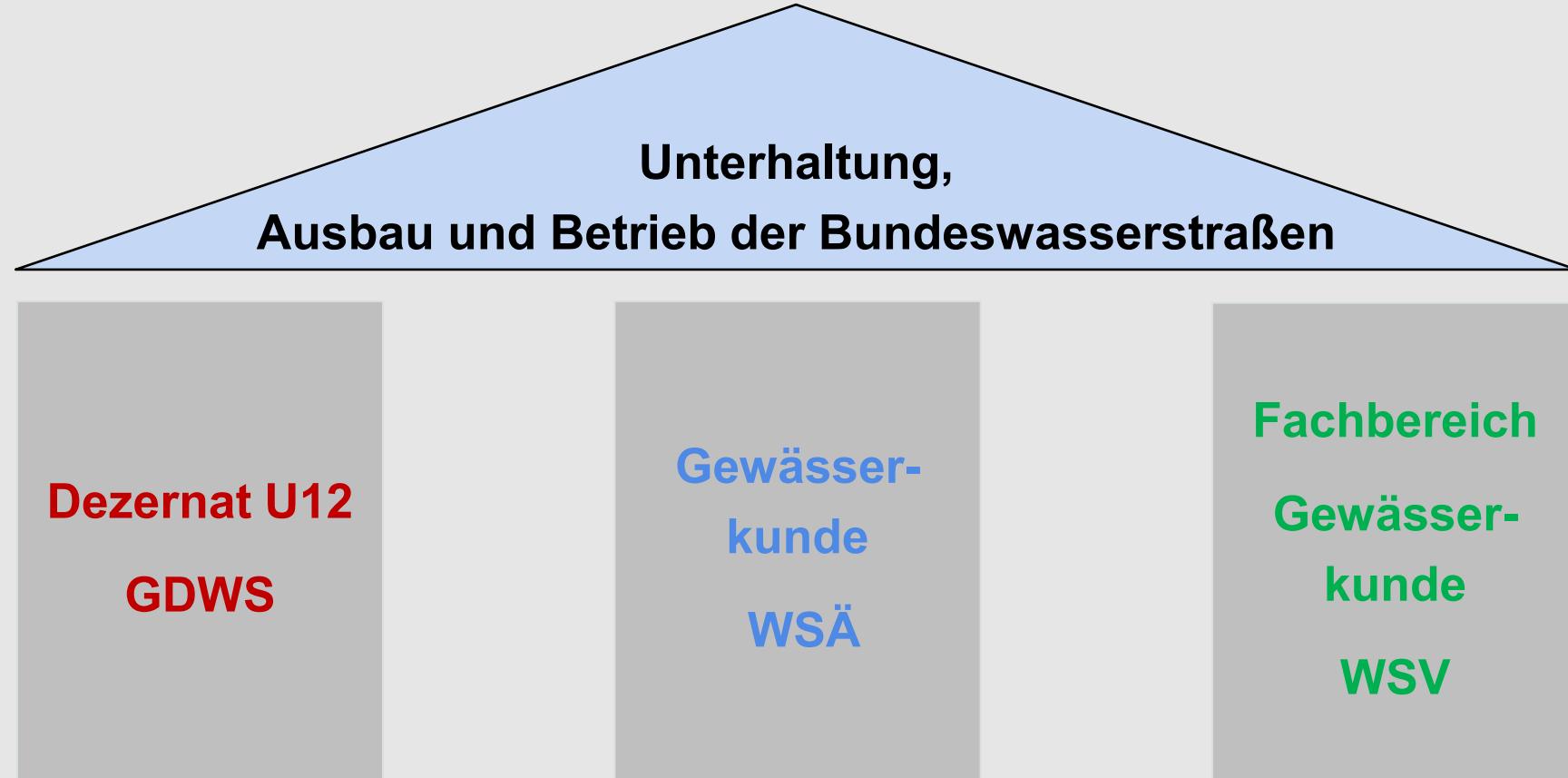
Pegeldaten bilden Eingangsgröße für verschiedene Fragestellungen, z. B.

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



Hintergrund

Wahrnehmung Gewässerkundlicher Aufgaben in der WSV



Gewässerkunde als unverzichtbare Basis unseres Handelns!

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

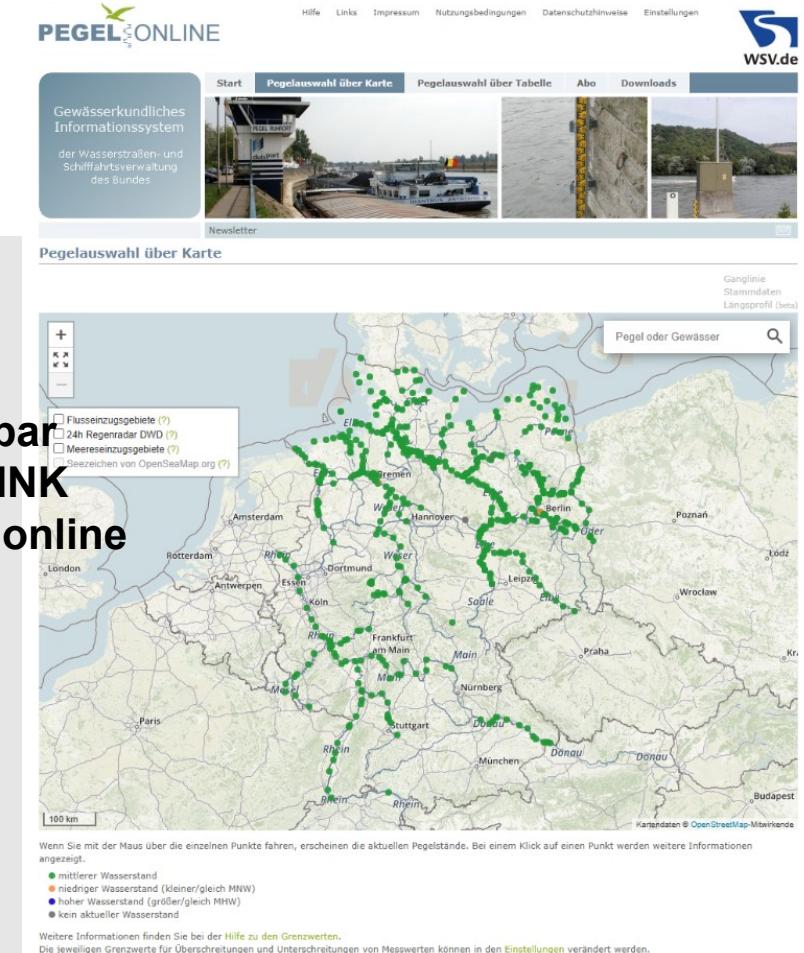


Abbildung: WWW.PEGELOLINE.DE

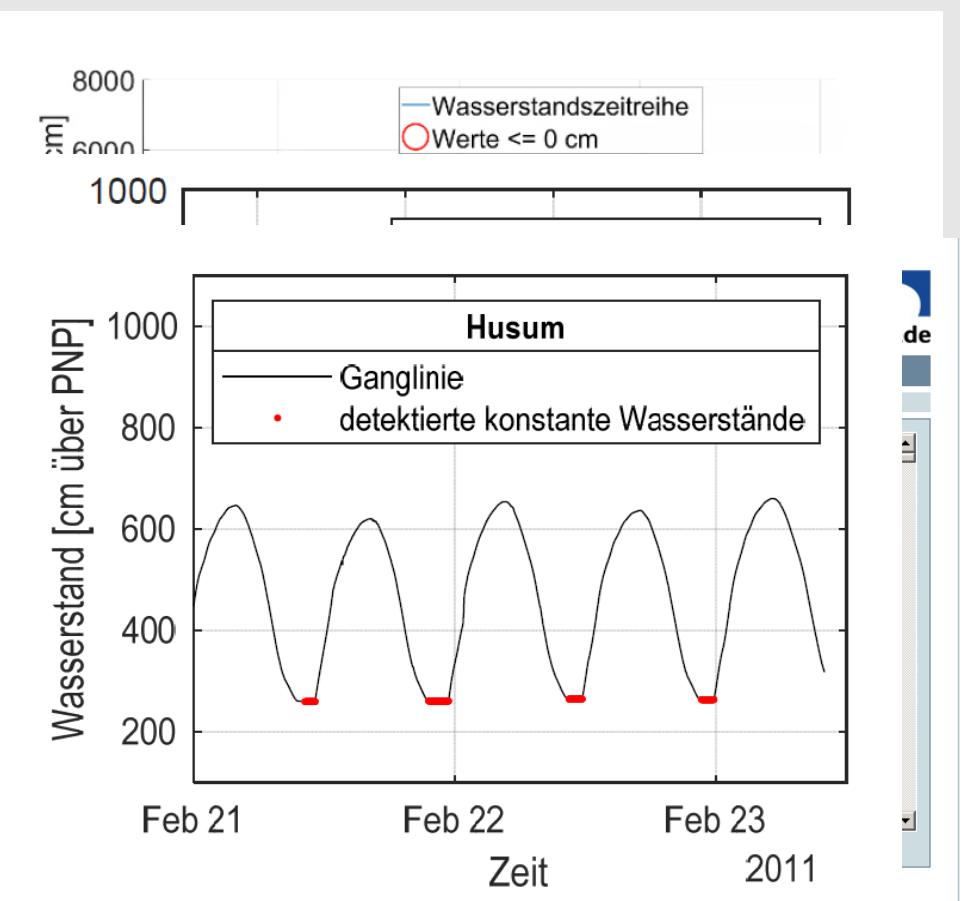
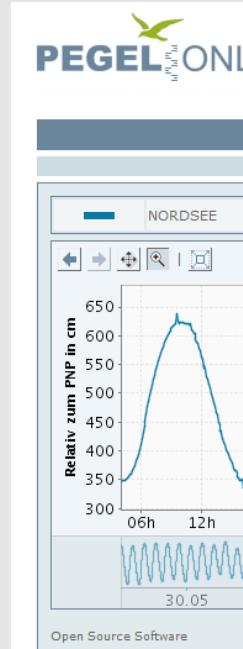
Plausibilisierung händisch
durch Gewässerkunde in
den WSÄ

Hintergrund

Mögliche Artefakte und Phänomene in Tidedaten

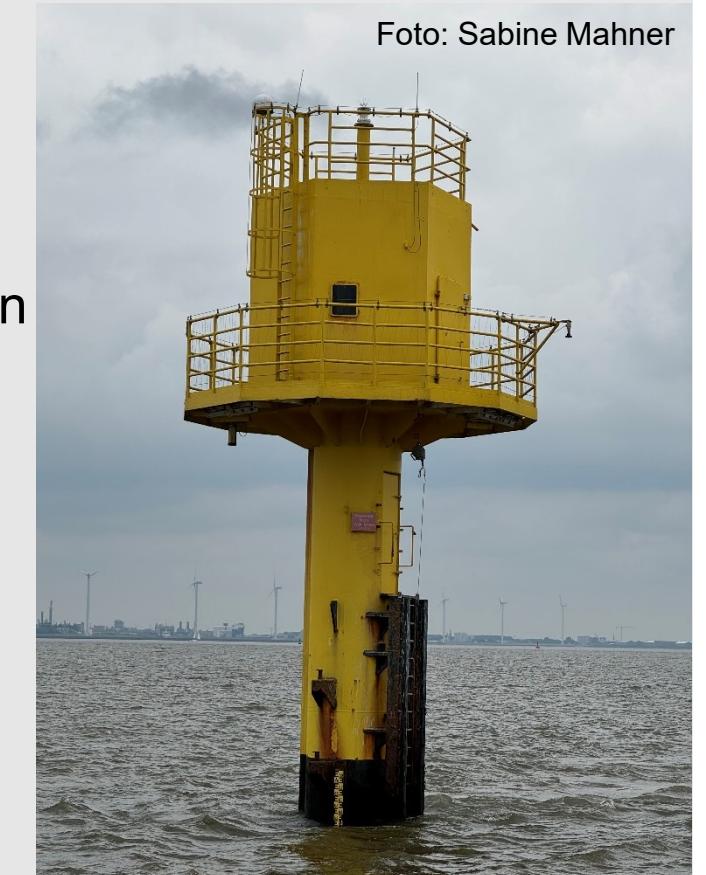
- ❖ Technische Messfehler und Übertragungsfehler
- ❖ Datenlücken
- ❖ „Hängenbleiben“ / Festsetzen des Pegelschachts
- ❖ Zusetzen / Trockenfallen des Pegels
- ❖ Eisstau
- ❖ Temporäre bauliche Veränderungen
- ❖ Sperrwerksbeeinflussung
- ❖ Schiffsbeeinflussung

Abbildungen: SOLTAU ET AL.
(noch unveröffentlicht)



Projektziele DePArT

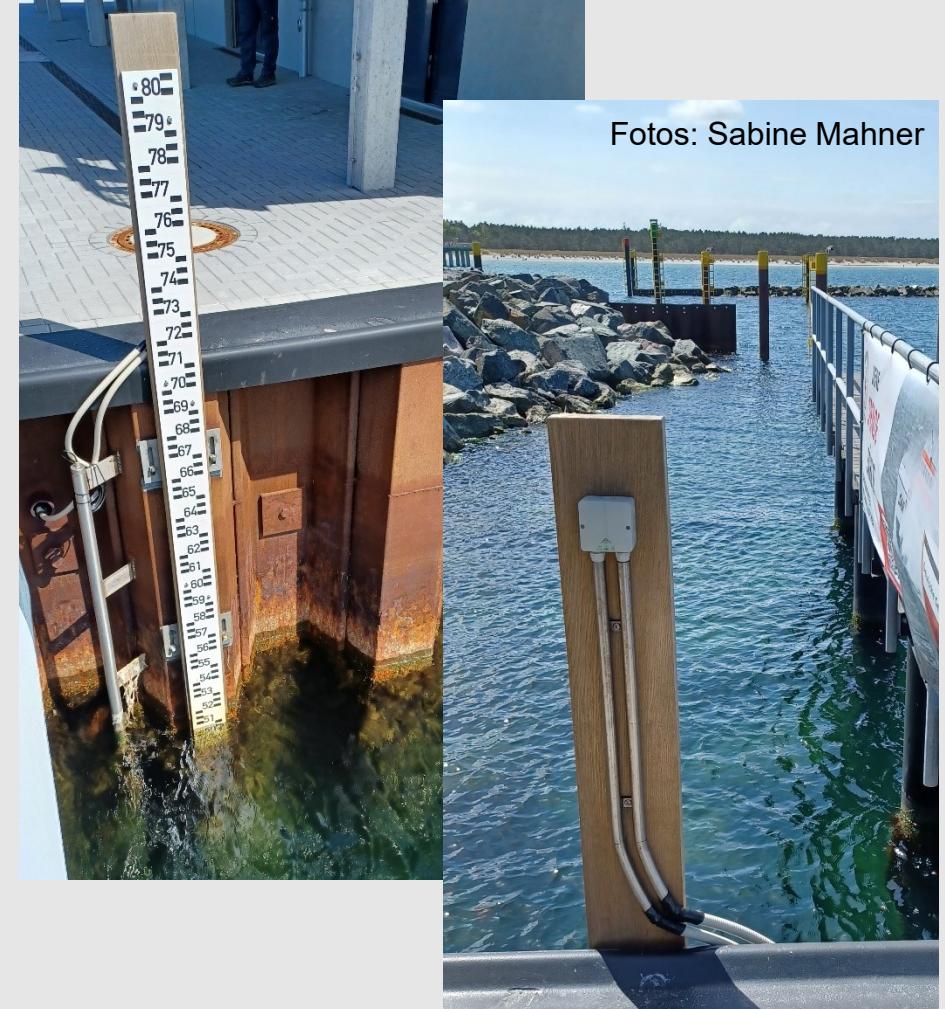
- ❖ Entwicklung mathematisch-numerischer Verfahren zur Detektion und Korrektur küstenhydrologischer Phänomene und Artefakte in Wasserstandszeitreihen
 - ❖ Automatisierte Plausibilitäts- und Qualitätskontrolle
 - ❖ Einheitliche und zeitnahe Plausibilisierung von Wasserstandsdaten
-
- **Schaffung einer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



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.

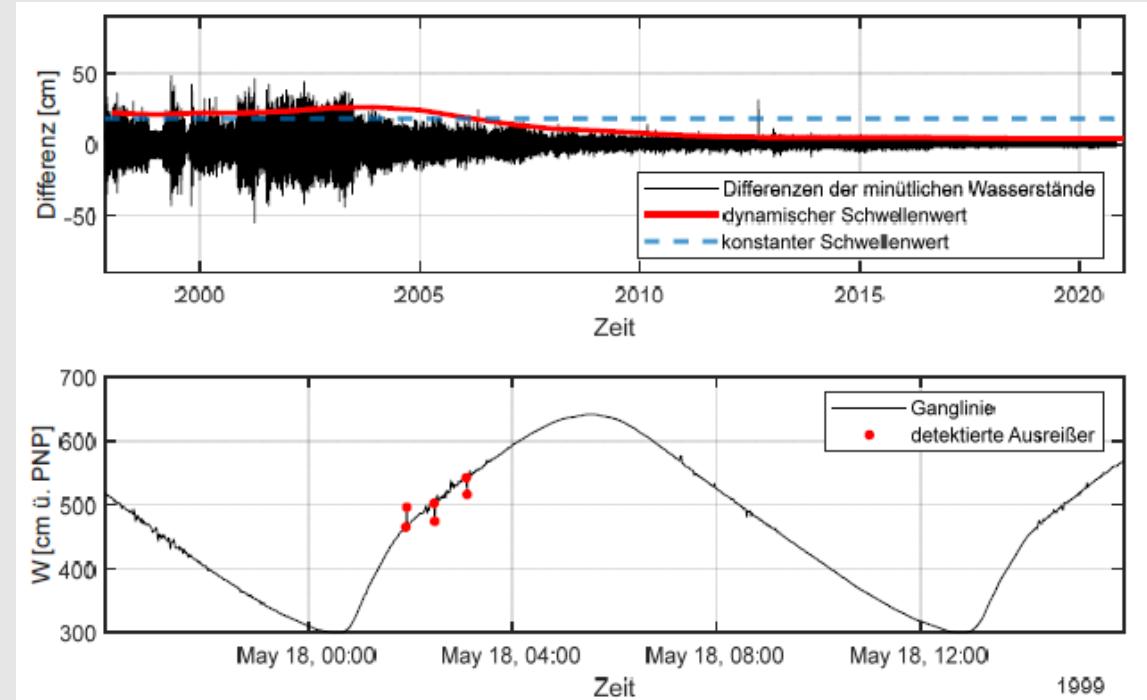


Abbildung: SOLTAU ET AL. (noch unveröffentlicht)

➤ **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.

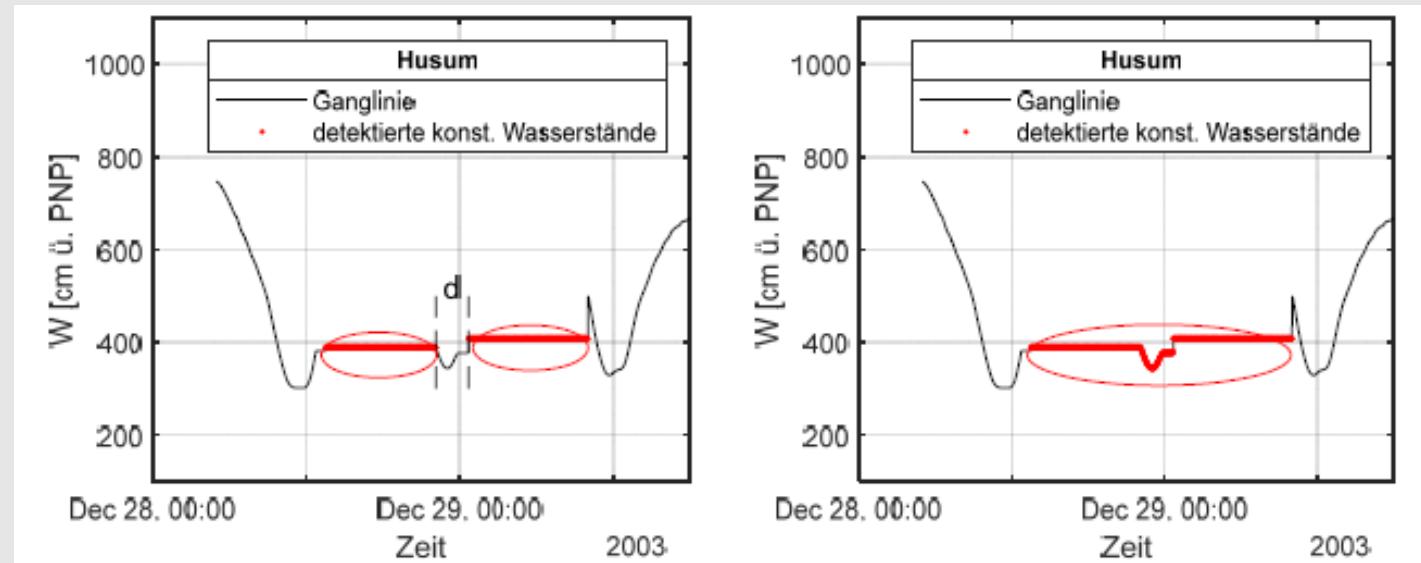


Abbildung: SOLTAU ET AL. (noch unveröffentlicht)

Projektergebnisse (vgl. SOLTAU ET AL.)

- **Automatische Detektion von Sperrwerkschließungen**
(viele Fehldetections, muss plausibilisiert werden)
 - **Automatische Lückenidentifikation**
 - **Auffüllen der Lücken**
 - Lineare Interpolation
 - Spline-Verfahren
 - Multiple Regression
→ Schätzung der Daten aufgrund unabhängiger Prädiktoren
(Nutzung des NTR-Signals von 1–2 Nachbarpegeln)
- } anwendbar bis Lückengröße von ca. 300 Min.

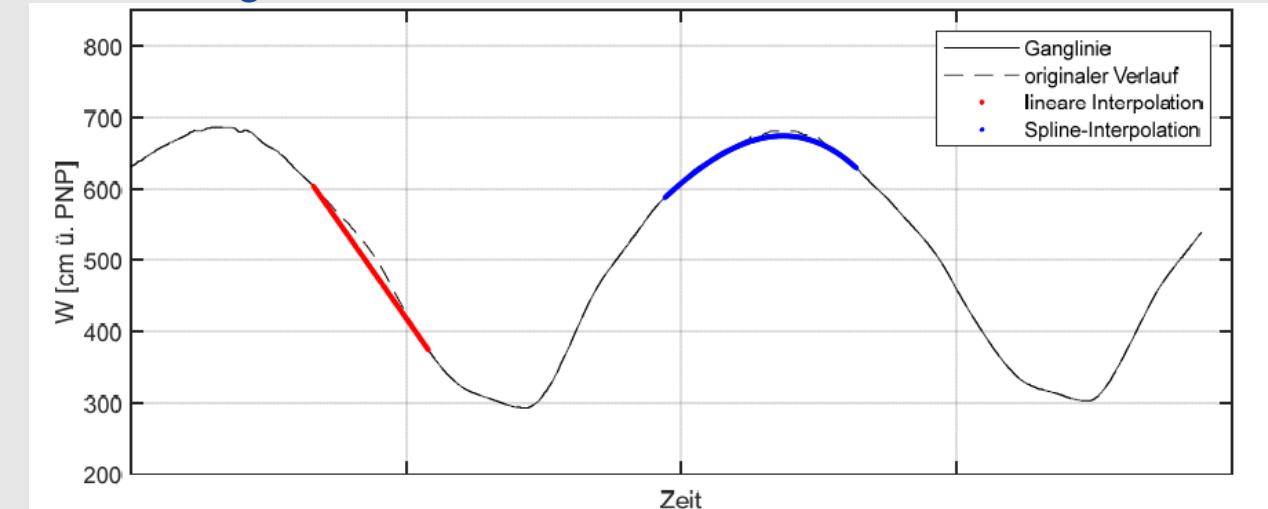


Abbildung: SOLTAU ET AL. (noch unveröffentlicht)

Projektergebnisse (vgl. SOLTAU ET AL.)

II. Komplexere Anomalien

- Detektion von langperiodischen Schwingungen

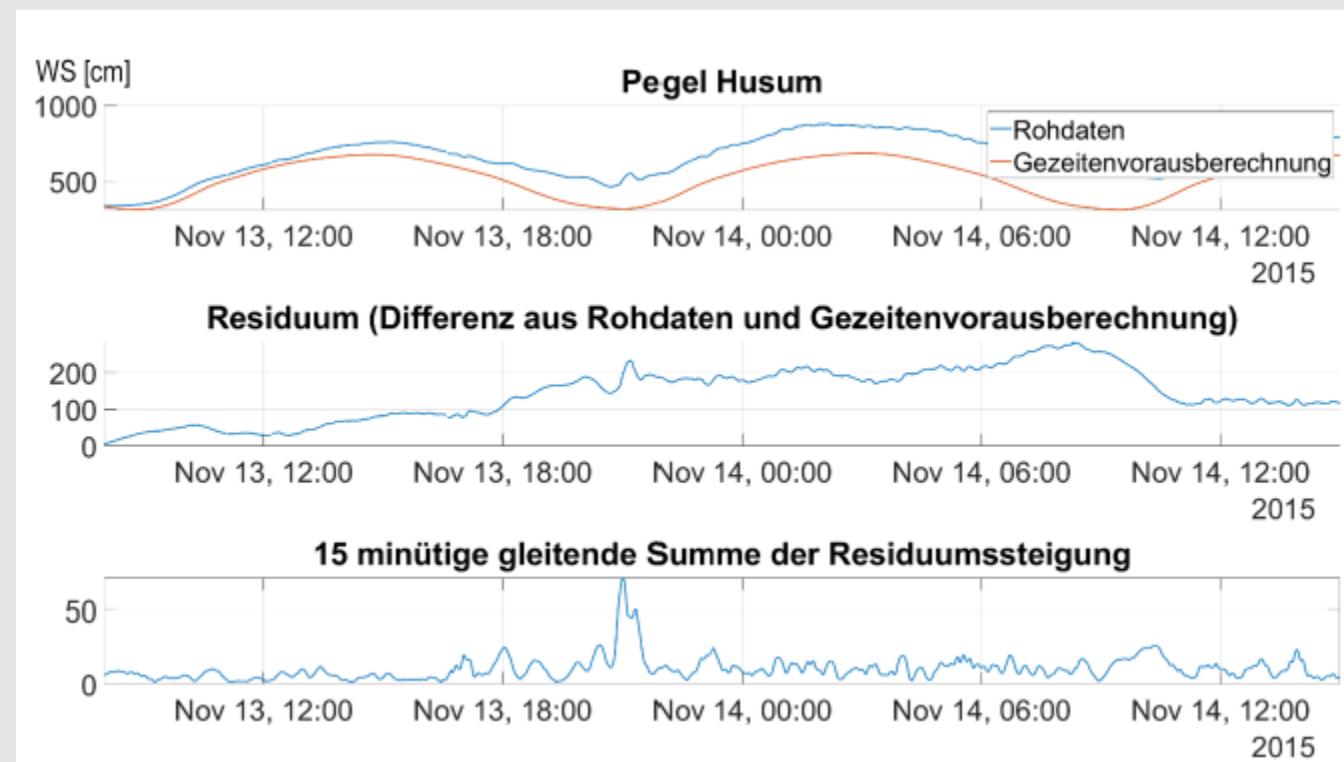
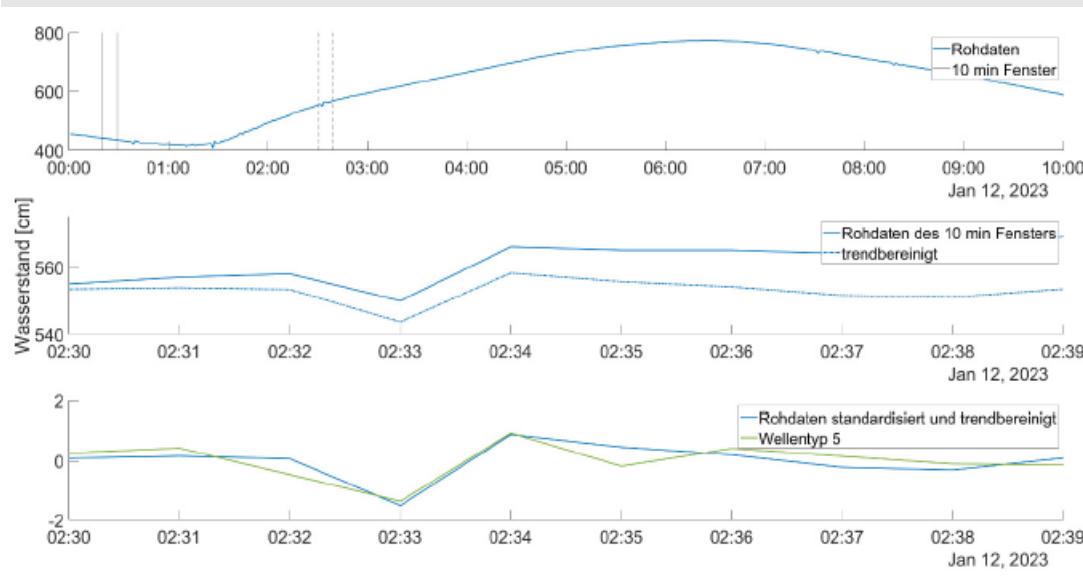


Abbildung: SOLTAU ET AL. (noch unveröffentlicht)

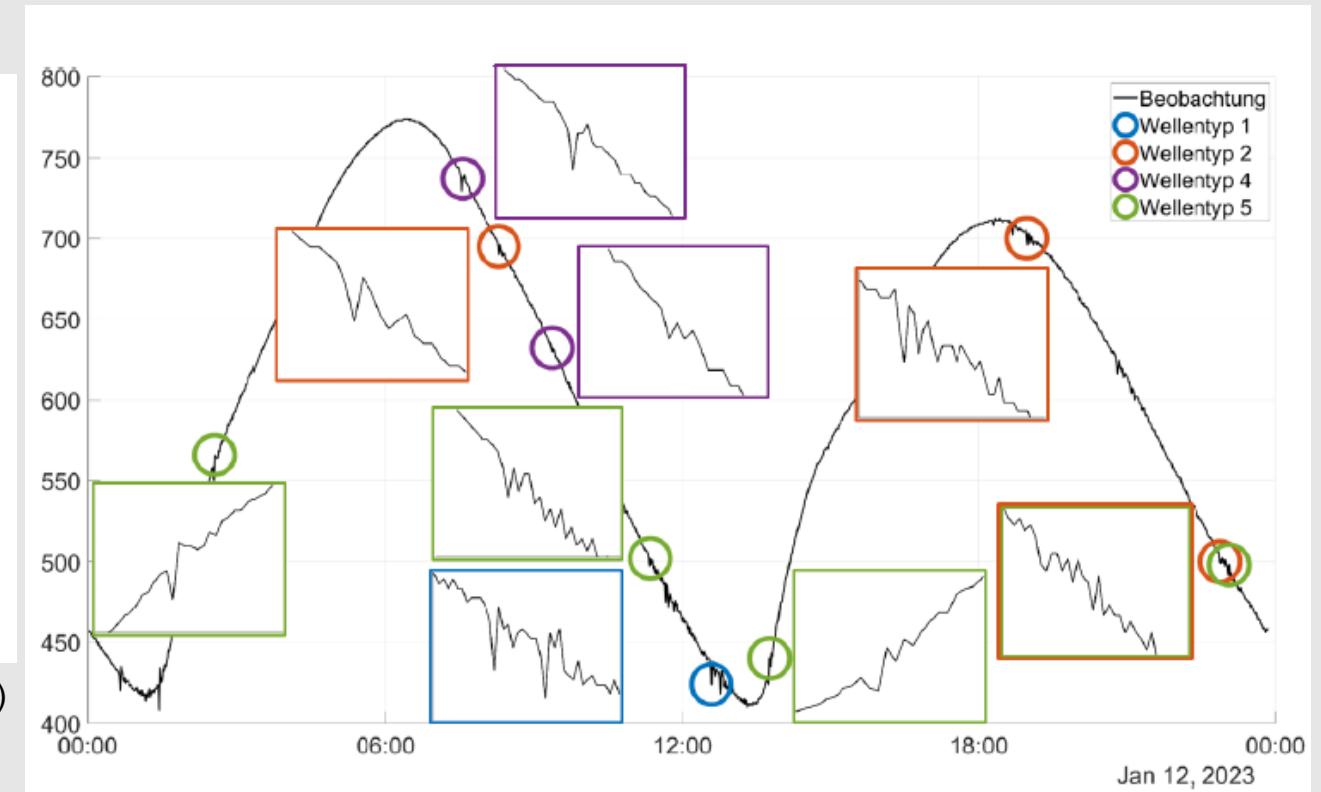
Projektergebnisse (vgl. SOLTAU ET AL.)

▪ 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

KISTERS Applications | Data Validation ▾

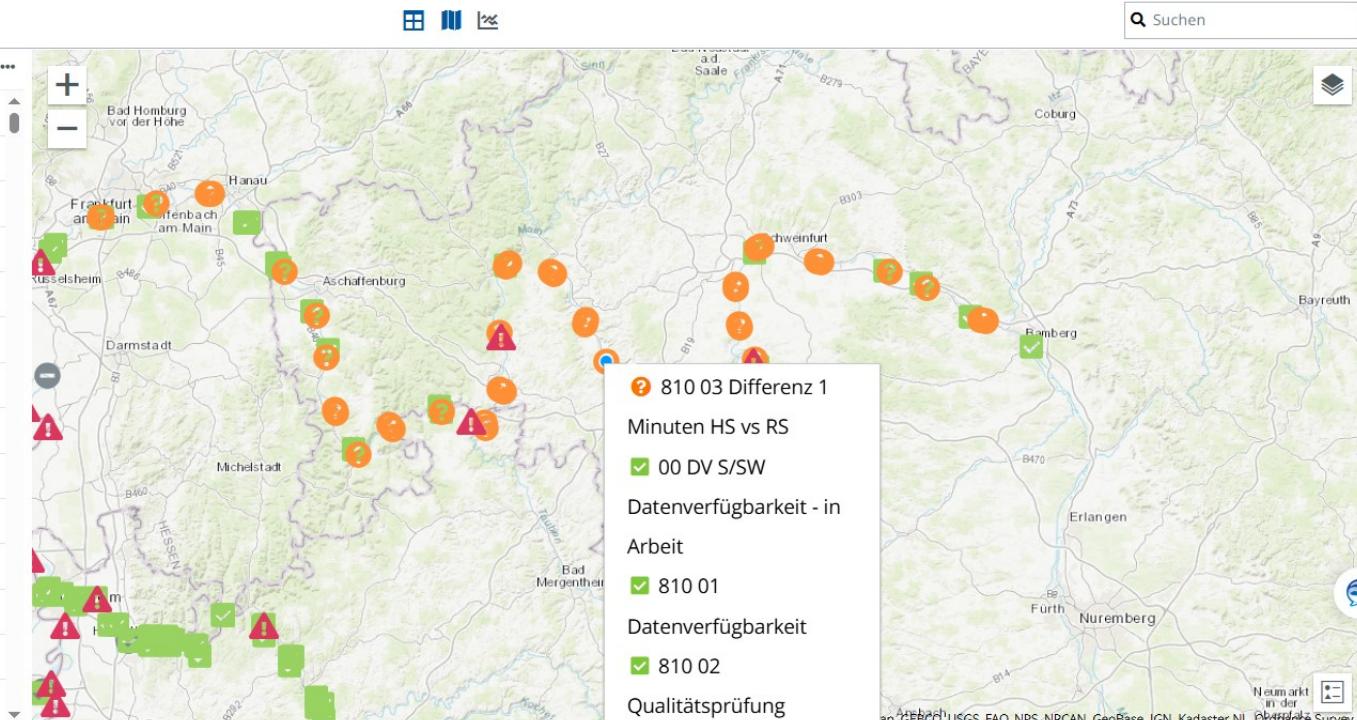
Konfiguration ▾ | Ergebnisse ▾

ValidationView

Ergebnisse nach Entitäten

Filter	Sta...	Sta...	Me...	Score
500 / 500 Stationen	Ra...	24...	810	⚠️ ⚠️ ? ✓
	Fre...	23...	807	⚠️ ⚠️ ?
	Me...	23...	807	⚠️ ⚠️ ✓
Filter zurücksetzen	So...	23...	807	⚠️ ⚠️ ✓
Messortnummer	Ho...	23...	807	⚠️ ⚠️ ✓
Alle	Bi...	25...	806	⚠️ ⚠️ ✓
Alle	Ob...	25...	806	⚠️ ⚠️ ✓
Alle	We...	27...	806	⚠️ ⚠️ ✓
Alle	Linz	27...	806	⚠️ ⚠️ ✓
Alle	Haf...	23...	807	⚠️ ? ?
Alle	Jec...	23...	807	⚠️ ? ? ✓
Alle	Wyhl	23...	807	⚠️ ? ? ✓
Alle	Illi...	23...	807	⚠️ ? ? ✓
Alle	Alt...	23...	807	⚠️ ? ? ✓

Suchen

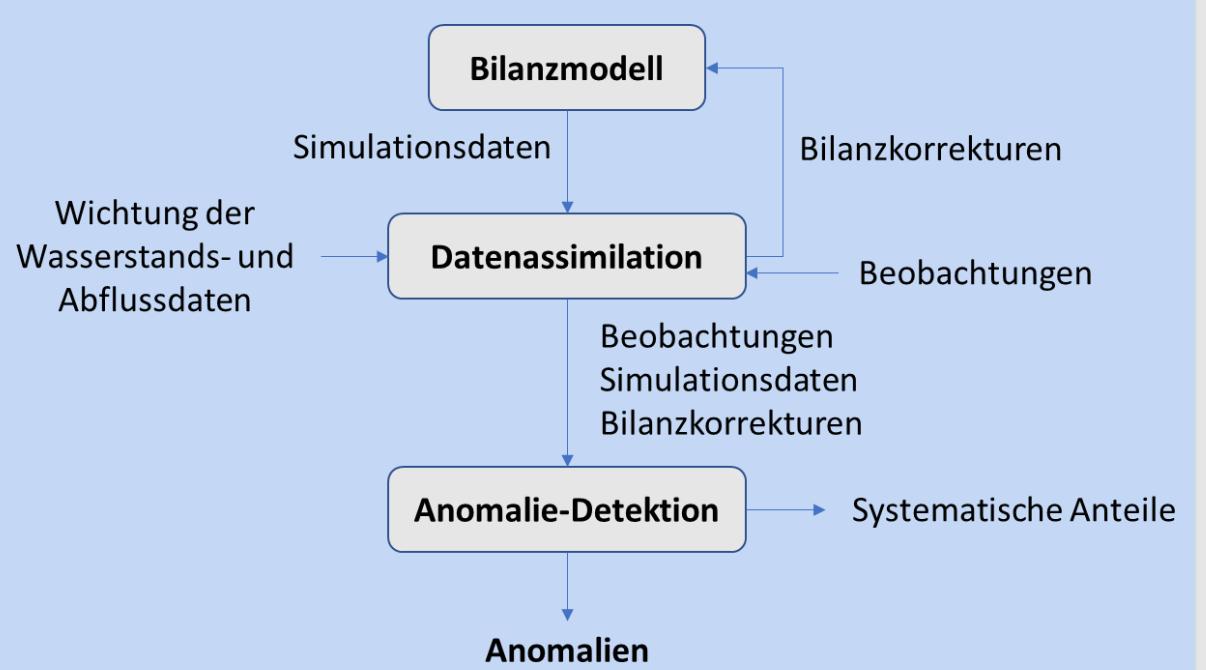
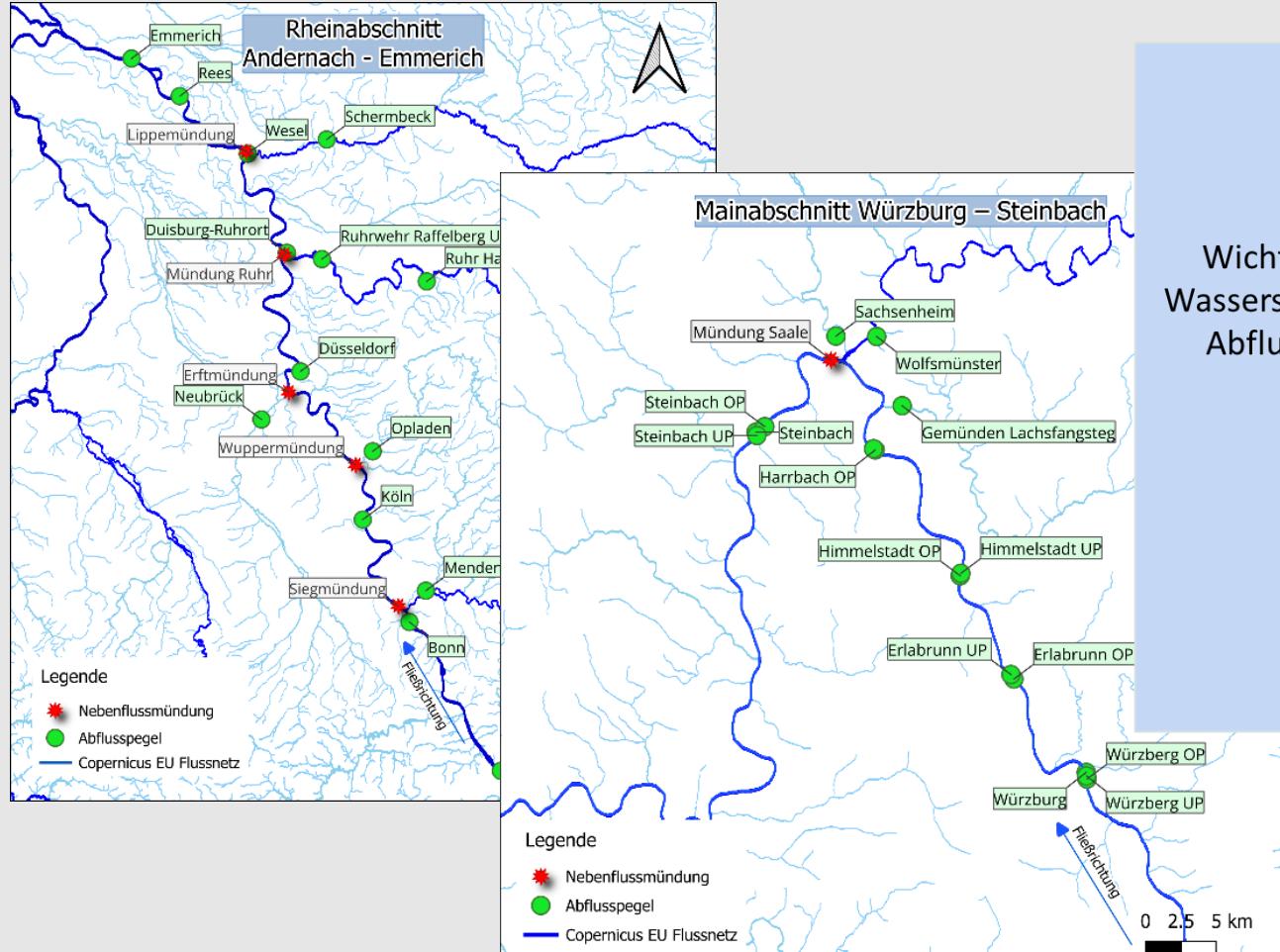


© 2025 KISTERS AG | Alle Rechte vorbehalten

Alle Zeitstempel in der Zeitzone: Europe/Berlin

Live Demo: WISKI Web – Data Validation Tool

Exkurs: Massenbilanzierung mit KI Ansatz



➤ Weitere Details:

LICHENSTERN 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 Projektbearbeitenden 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

LICHENSTERN, 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 Küstingenieurwesen an Nord- und Ostsee, Kuratorium für Forschung im Küstingenieurwesen (KFKI).