TUHH Technische Universität Hamburg WASSERBAU

HPA Hamburg Port Authority

25. KFKI Seminar

Forschungsvorhaben: RefTide-B – Resonanz

Blick vom Pegelturm St. Pauli-Landungsbrücken, eigene Aufnahme

Das Reflexions- und Resonanzverhalten Tide-dominierter Ästuare
Eine Analyse des Antwortverhaltens der Tideelbe auf die Gezeitenanregung
Teilvorhaben „Reflexion“ (TUHH)

Erste Ergebnisse

24.03.2021

Agenda

01 Ziele im Teilvorhaben „Resonanz“ (HPA)

02 Methodik

03 Untersuchungen

04 Ausblick

01

Ziele im Teilvorhaben „Resonanz“ (HPA)

Ziele des Teilvorhabens „Resonanz“

Fragestellung?

- Was sind die Bedingungen / grundlegenden Prozesse für Tideresonanz in Ästuaren?
- Welche Faktoren beeinflussen die Resonanz und Gezeitenschwingung?
- Tritt Tideresonanz im Elbe Ästuar auf?

Quelle: hamburg.de GmbH & Co. KG

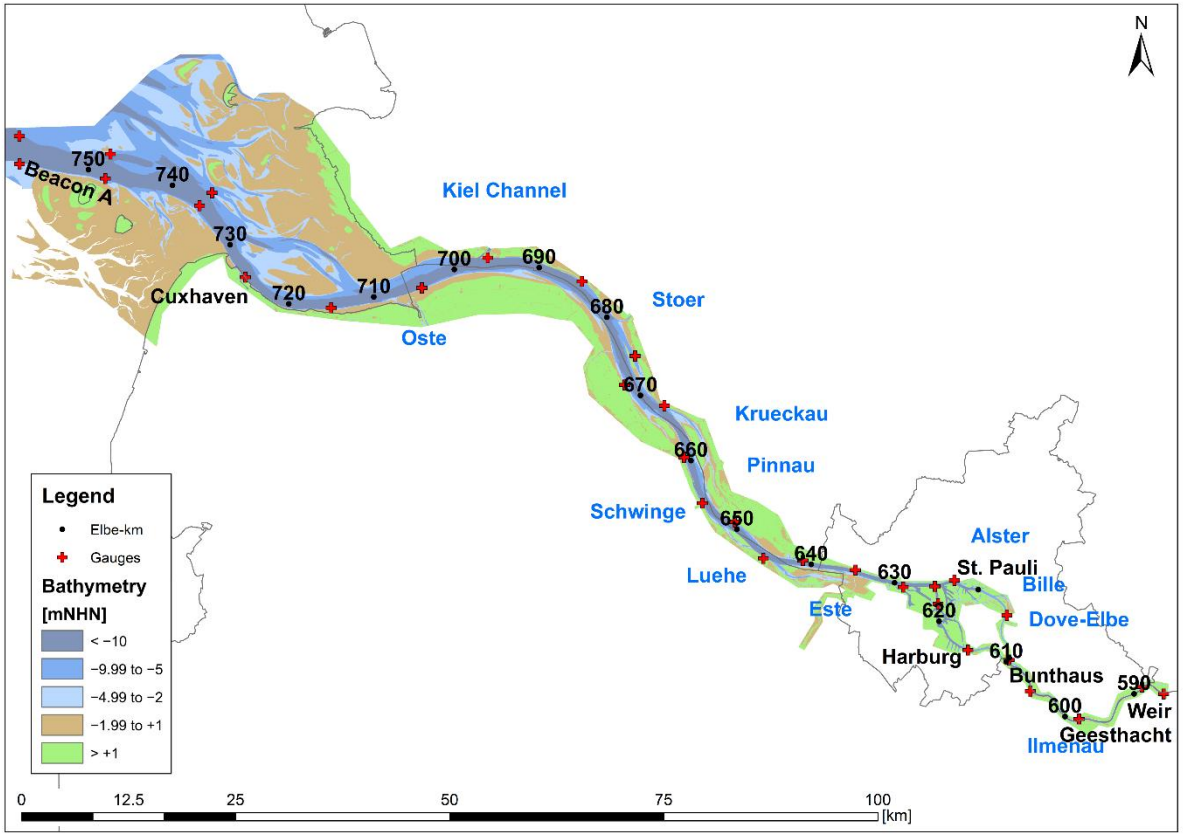
02

Methodik

Analytisch-Empirischer Ansatz

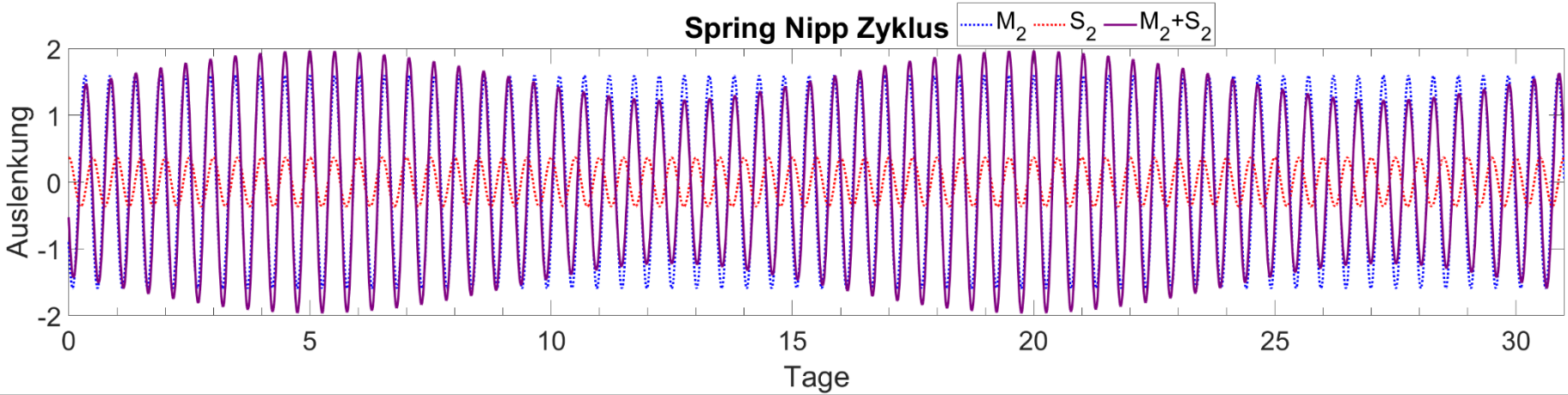
<u>Exzellente Datengrundlage</u>

- 25 Pegel liefern kontinuierliche digitale Messreihen seit GKJ 2000
  - Zeitl. Auflösung: 1/min
  - Räuml. Auflösung: 1/7 km von Mündung bis Wehr (170 km)
- Zusätzlich Strömungsdaten der Dauermessstationen



Schwingungsverhalten

- Gezeitenwellen sind das Resultat der Überlagerung von hunderten Partialtiden
  - Astronomisch bedingte Hauptpartialtiden
  - Flachwasser-Partialtiden, generiert durch nichtlinearen Flachwasser-Mechanismen
- Die Partialtiden variieren in ihrer Amplitude und Phase aufgrund nodaler Modulationen



Methoden (1)

- **HAMELS**: *Harmonic Analysis MEthod of Least Squares*
  - Multiple lineare Regression
  - Löst simultan nach allen ausgewählten Partialtiden auf
  - Ermittelt die harmonischen Konstanten (Amplituden und Phasen der Partialtiden) für welche die Summe der quadrierten Fehler minimal ist

Methoden (2)

<u>Besonderheiten unserer HAMELS</u>

- Die Winkelpositionen der Partialtiden und deren nodalen Modulationen werden für jeden Messzeitpunkt über die ursächlichen Orbitalelemente berechnet
- Nodale Modulation der Amplitude und Phase werden direkt in der Berechnung der harmonischen Konstanten berücksichtigt
  - Ermöglicht zwischen Hauptpartialtiden und Verbundtiden auf gemeinsamen Frequenzen zu differenzieren.
    - Bsp.: M_2 und KO_2

<u>Resonanzanalysen</u>

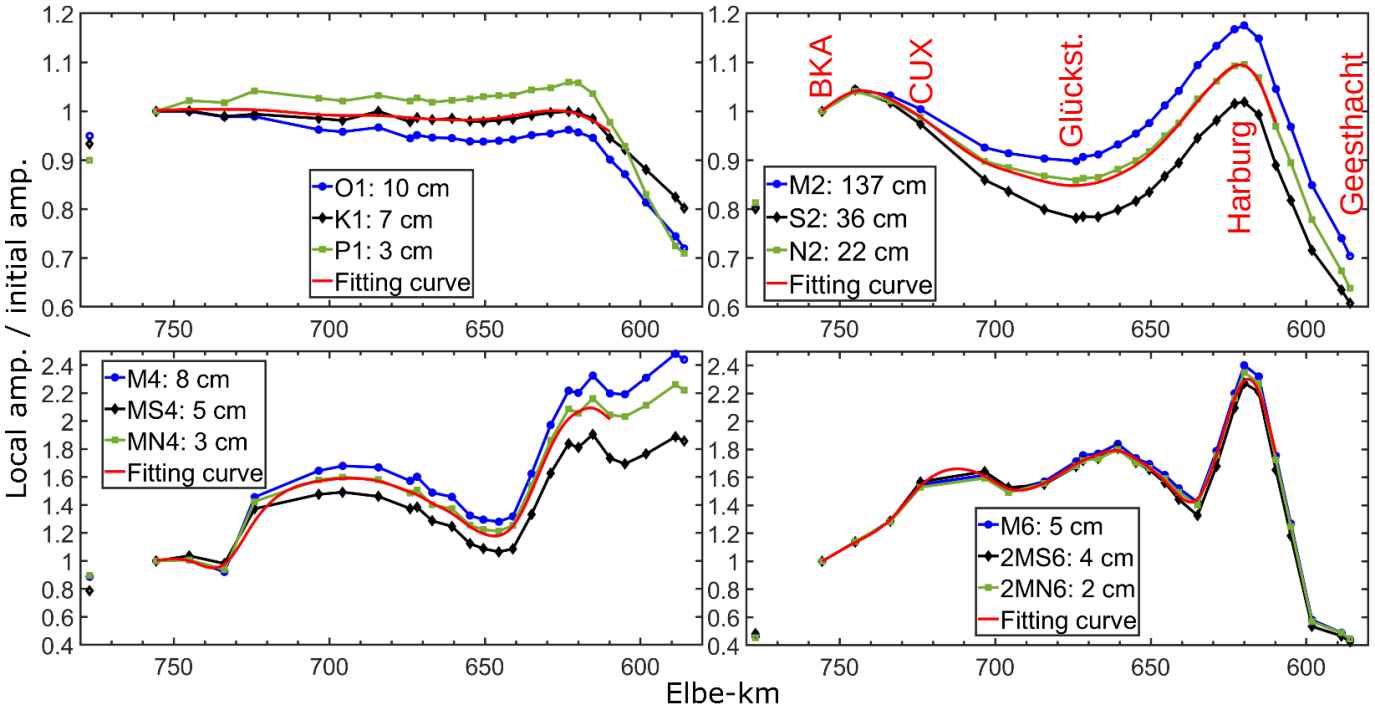
- Quarter-Wavelength Kriterium nach Proudman (1953)
- Lorentzsche Kurvenanpassung

03

Untersuchungen

Schwingungsverhalten

- Untersuchungs-zeitraum vom 01.01.2000 bis 03.08.2018 (Nodalzyklus von 18.6 Jahren)
- Gruppen-spezifische partielle Clapotis (stehende Wellen) in der Tideelbe nachgewiesen.



Resonanz – Bedingugen

- Keine Resonanz ohne Reflexion

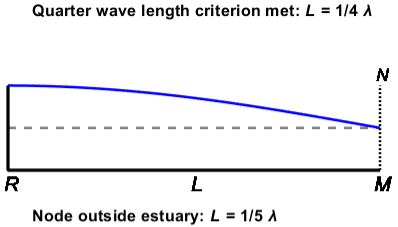
- Tideresonanz bedarf (partiell) stehender Wellen

- Jeder Schwingungsraum hat eine Raumspezifische Eigenschwingung

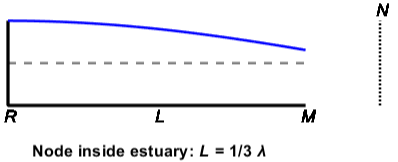
  ➔ Resonanz, wenn Eigenperiode (Tideelbe) = Erregerperiode (Tidewelle)

Resonanz – Quarter-Wavelength Kriterium

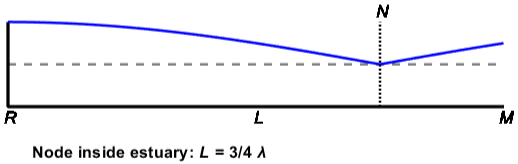
Bedingungen: Momentaufnahme, keine Dissipation, Totalreflektion



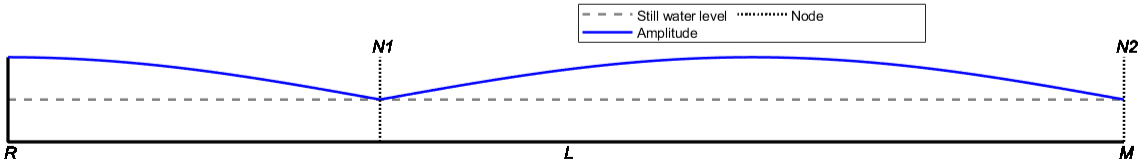
L = ¼ λ: Quarter-Wavelength Kriterium
Der Knoten liegt am offenen Ende in der Mündung
Verhältnis Thb_R zu Thb_M : ∞



L = 1/5 λ:
Knoten liegt außerhalb des Ästuars
Verhältnis Thb_R zu Thb_M : 3.24



L = 1/3 λ:
Knoten liegt innerhalb des Ästuars
Verhältnis Thb_R zu Thb_M : 2

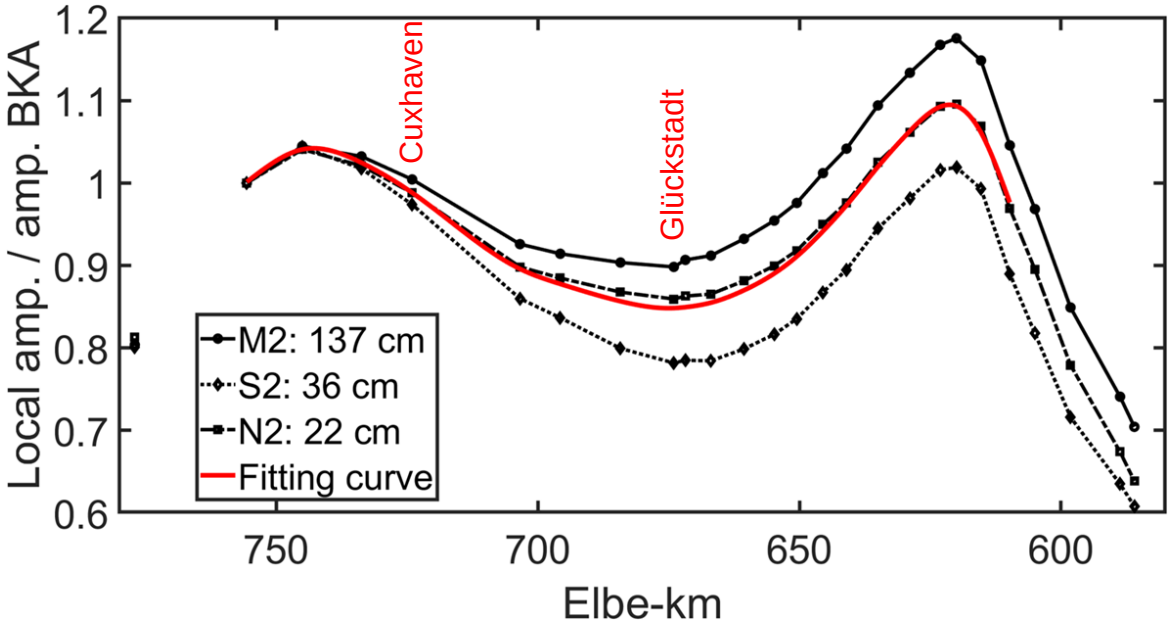


L = 3/4 λ: Quarter-Wavelength Kriterium
2. Knoten liegt in der Mündung
Verhältnis Thb_R zu Thb_M: ∞

Resonanz

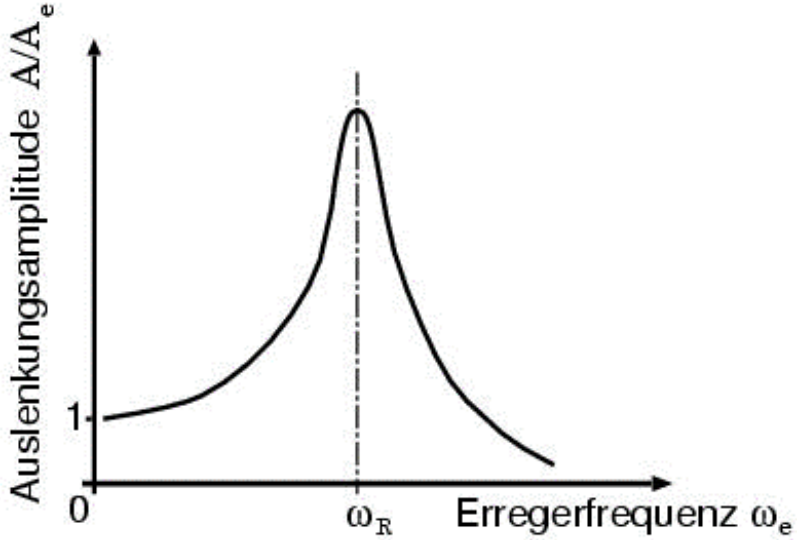
- Wie deutlich zu erkennen ist, liegt der Schwinungsknoten nicht im Mündungsgebiet.

➔ Quarter-Wavelength Kriterium nicht erfüllt.



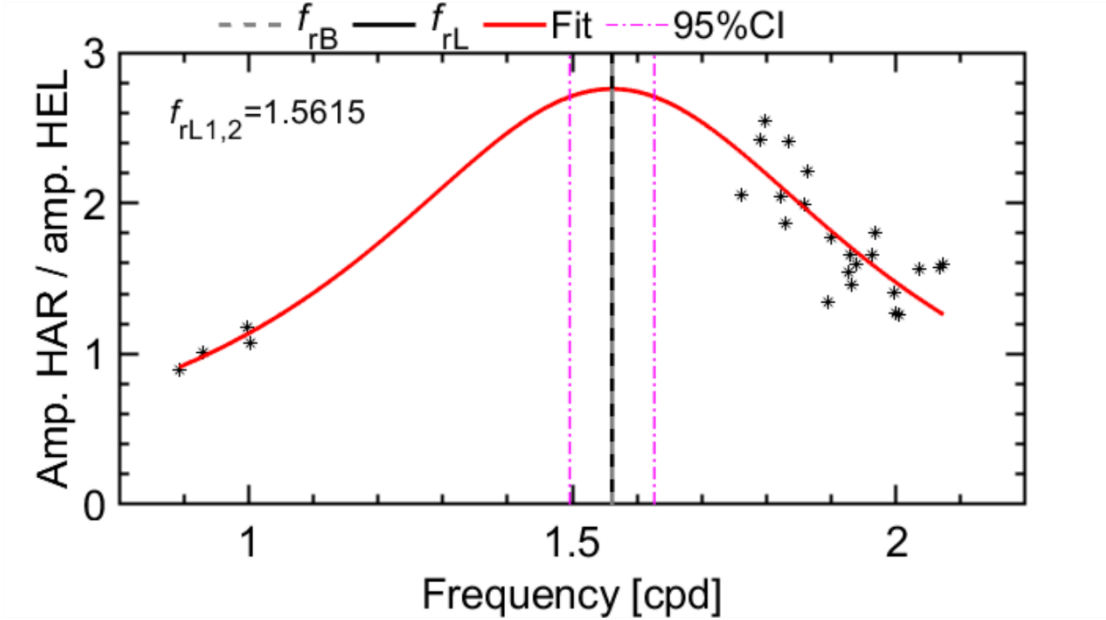
Resonanzkurve

- Das ganze ist die *Resonanzkurve*
- *Resonanzfall*: Erregerfrequenz = Eigenfrequenz
- *Resonanzkatastrophe:* Energieeintrag > Energieverlust durch Dämpfung
- *latente* Resonanz nimmt mit Nähe zur Resonanzfrequenz zu



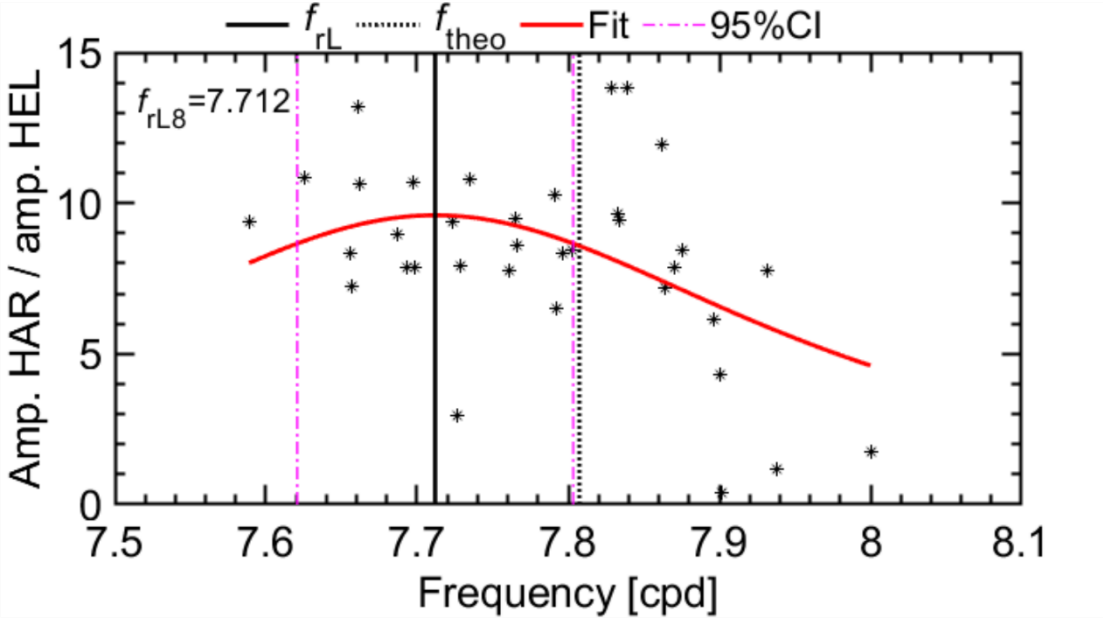
Resonanz – Tests

- 3-Parameter Lorentzfunktion zur Beschreibung der Resonanzkurve
- Resonanzfrequenz: 1.56 cpd
- Resonanzperiode: 15.37 h
- Ermittelte Resonanzperiode identisch mit der nach Backhaus (2015)



Resonanz – Tests

- L =5/4 λ - Fall liegt im Bereich der achteltägigen Partialtiden
- Zurückgerechnet auf den ¼ - Fall: 15.56 h
  - Liegt im 95%-Konfidenzintervall des L =1/4 λ - Falls



04

Zusammenfassung und Ausblick

Ausblick

<u>To-dos</u>

- Einflussfaktoren der Morphologie analysieren
- zeitlichen Veränderungen der Wellenspektren (hier nicht gezeigt) im Kontext mit den dann abgeschlossenen Einflussfaktor-Analysen interpretieren.

<u>Zukunftsprognosen</u>

- Welche Auswirkungen werden die observierbaren Trends der Einflussfaktoren haben?

<u>Oberstes Ziel</u>

- Ein Beitrag zur Verbesserung des System- und Prozessverständnisses des Tidegeschehens der Elbe

Extrembeispiel Tideresonanz: die Bay of Fundy bei Hoch- und bei Niedrigwasser.
Thb: >12 m
Quelle: de.wikipedia.org, original Fotos: Samuel Wantman

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Fragen?

Bild vom Pegelturm St. Pauli-Landungsbrücken, eigene Aufnahme

Veröffentlichungen im Projekt RefTide:

Sohrt, V.; Hein, S.S.V.; Nehlsen, E.; Strotmann, T.; Fröhle, P. Model Based Assessment of the Reflection Behavior of Tidal Waves at Bathymetric Changes in Estuaries. *Water* 2021, *13*, 489. https://doi.org/10.3390/w13040489

Hein, S.S.V.; Sohrt, V.; Nehlsen, E.; Strotmann, T.; Fröhle, P. Tidal Oscillation and Resonance in Semi-Closed Estuaries—Empirical Analyses from the Elbe Estuary, North Sea. Water 2021, 13, 848. https://doi.org/10.3390/w13060848