



Bundesanstalt für Wasserbau
Dr. Frank Kösters

Fahrrinnenanpassung von Außenweser und Unterweser (Nord) Fachbeitrag BAW

Weseranpassung - Feststellung des Untersuchungsrahmens

Bremerhaven, 11. Mai 2022

BAW Beiträge im Rahmen der Umweltverträglichkeitsuntersuchung (UVU)

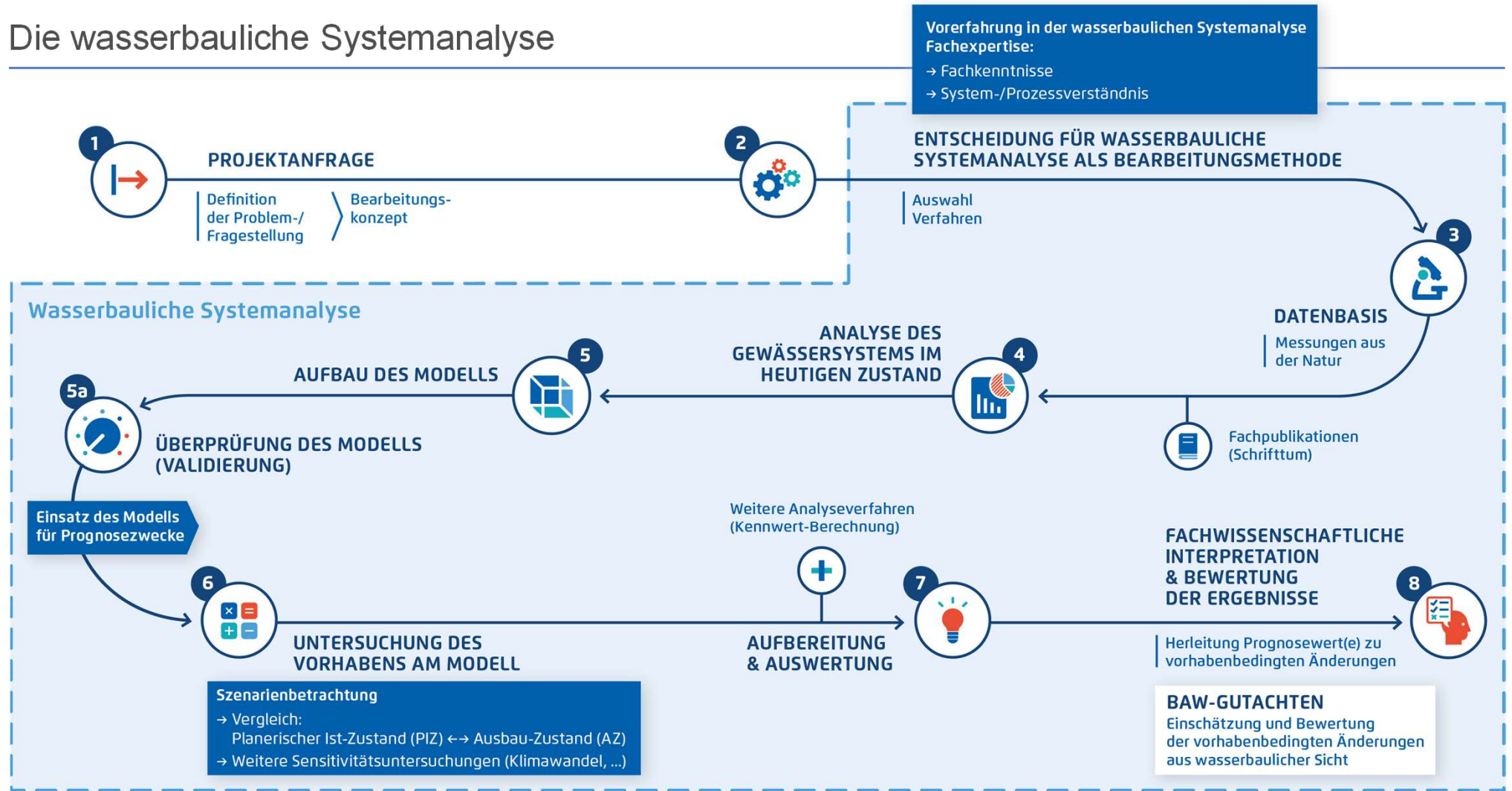
Aufgabe

- Bestimmung vorhabenbedingter Änderungen, insbesondere zu folgenden Teilaspekten des Schutzguts Wasser:
 - Hydrologie (Wasserstände und Strömungsgeschwindigkeiten, Sturmflutsicherheit)
 - Stofftransport (Salzgehalte, suspendiertes Sediment)
 - Hydromorphologie
 - Grundwasserverhältnisse
 - Schiffserzeugte Belastungen
- Mitbetrachtet werden vorhabenbedingte Änderungen in den Nebenflüssen und Rückkopplungen mit den Folgen des Klimawandels

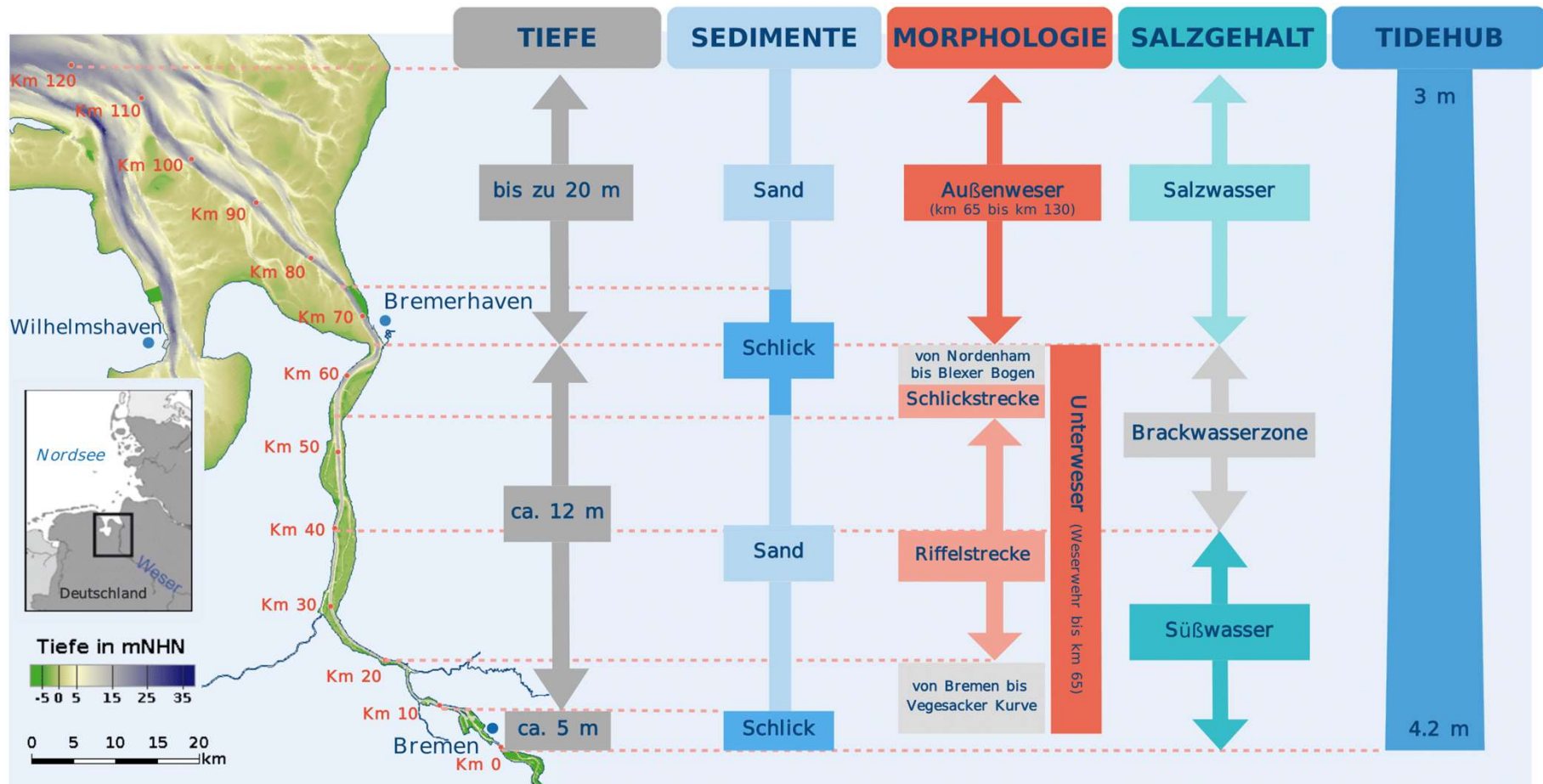
Vorgehen

- BAW erstellt wasserbauliche Systemanalysen für die Vorhaben „Außenweser“ und „Unterweser (Nord)“ sowie deren kumulative Wirkung als Grundlage für die nachfolgende Bewertung zur Umweltverträglichkeit
- Vorläufige Einschätzungen zu den Wirkungen sind durch bereits vorliegende BAW-Gutachten zu vorangegangenen Planungen einer Weseranpassung sehr belastbar möglich

Die wasserbauliche Systemanalyse



Charakterisierung des Weserästuars aus hydrodynamisch-morphologischer Sicht

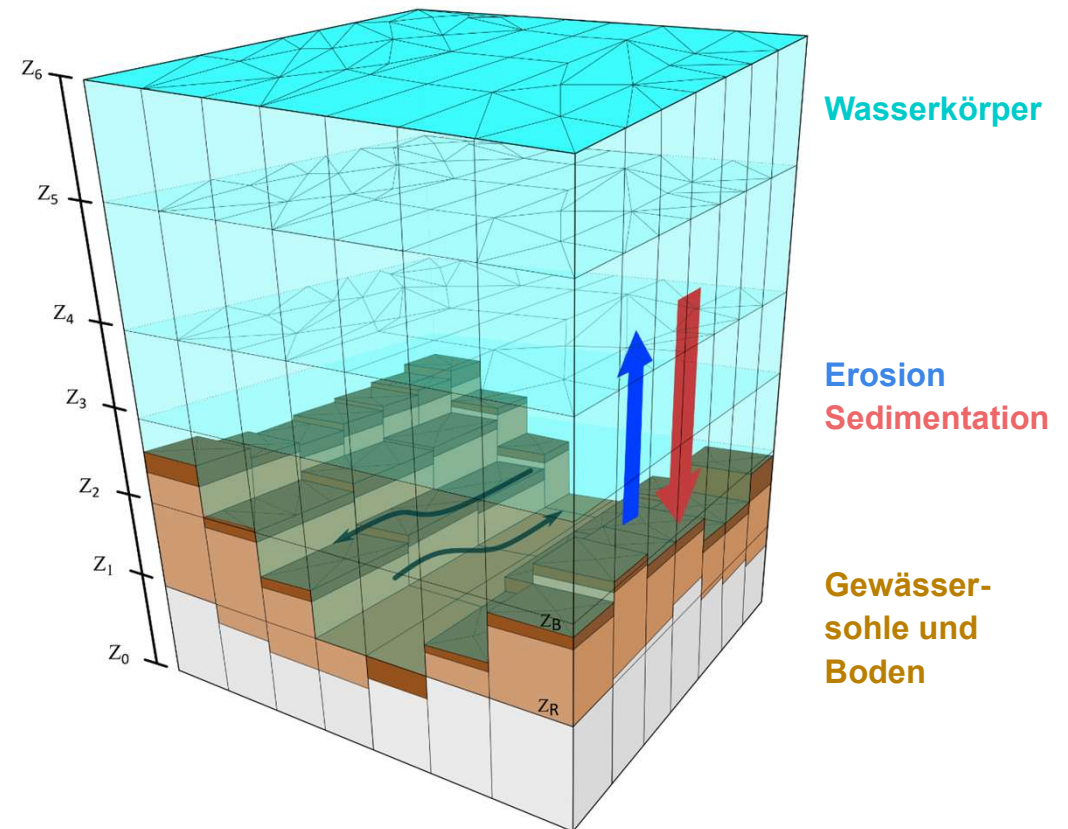


Untersuchungsmethoden der BAW - Übersicht



Beispiel: Hydronumerische Modellverfahren

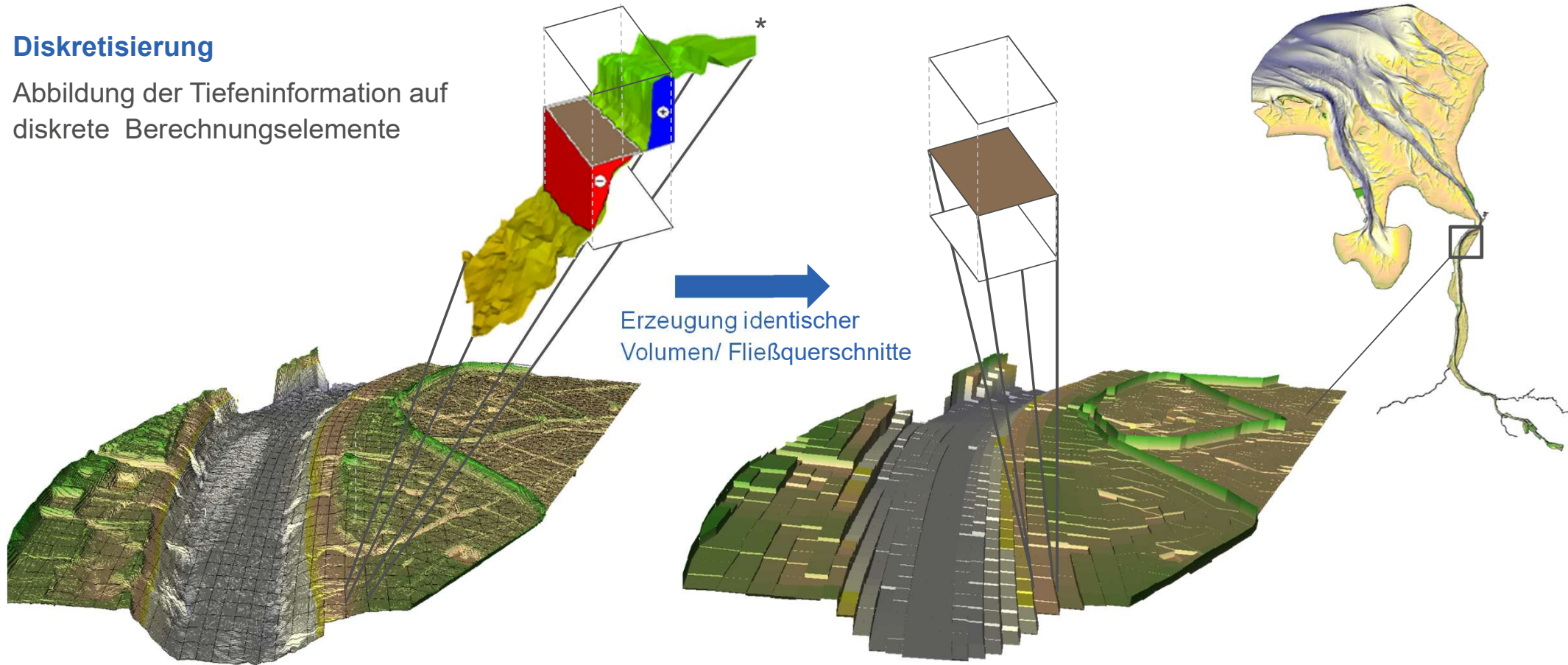
- **UnTRIM²**: ein dreidimensionales hydrodynamisch-numerisches Verfahren zur Simulation des Wasserkörpers
 - numerische Lösung der dreidimensionalen Flachwassergleichungen (Wasserstand, Strömung)
 - numerische Lösung der Transportgleichungen für Salz, suspendierte Sedimente und Wärme
- **SediMorph**: ein numerisches Verfahren zur Simulation von dreidimensionalen sedimentologischen Prozessen an der Gewässersohle
 - Berechnung von Sedimentströmen für Geschiebe und suspendierte Sedimente an der Sohle und Sohlhöhenänderungen (Morphodynamik)
- **UnK**: ein spektrales Seegangmodell zur Berechnung von Seegangparametern wie signifikante Wellenhöhe und Wellenperiode



Beispiel: Hydronumerische Modellverfahren

Diskretisierung

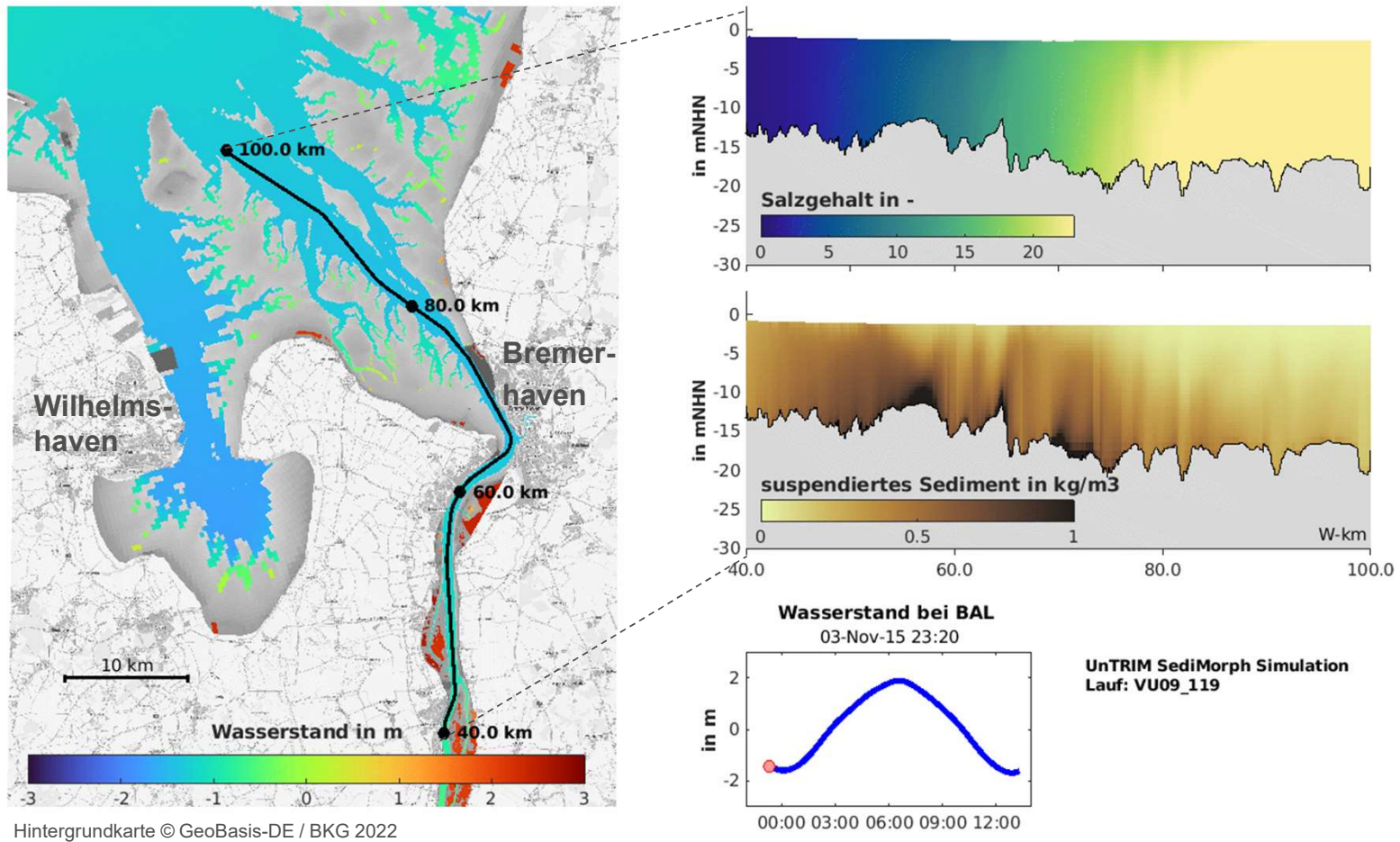
Abbildung der Tiefeninformation auf diskrete Berechnungselemente



Hochaufgelöste Datengrundlage

Volumentreues, naturähnliches Modellgitter

Beispiel: Hydronumerische Modellverfahren



BAW Beiträge im Rahmen der UVU

- **Hydrodynamik und Salztransport**
- **Sturmfluten**
- **Nebenflüsse**
- **Exkurs: Klimawandel**
- **Sedimenttransport und Morphodynamik**
- **Grundwasserverhältnisse**
- **Schiffserzeugte Belastungen**

Hydrodynamik und Salztransport

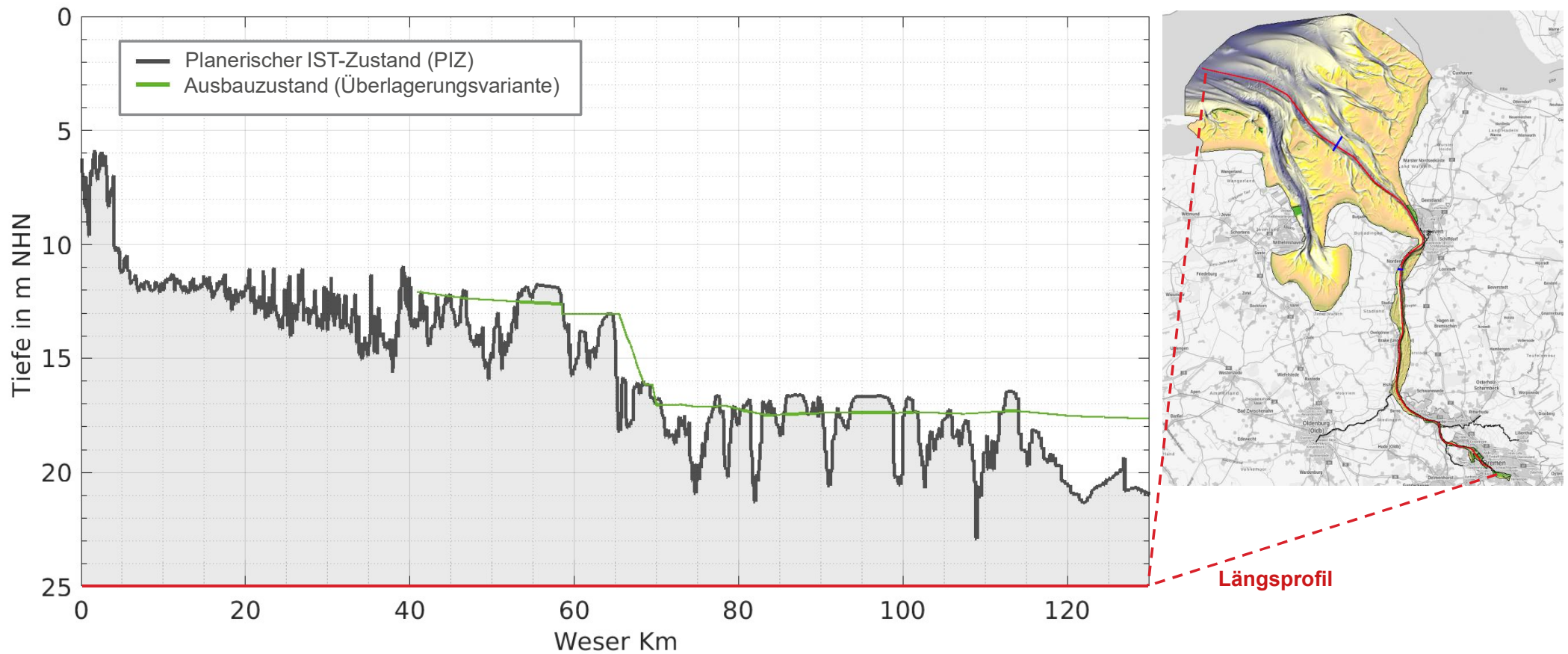
Aufgabe

- Ermitteln und Darstellen der [vorhabenbedingten Änderungen der Kenngrößen von Wasserstand, Strömungsgeschwindigkeit und Salzgehalt](#)

Untersuchungskonzept

- Simulationszeitraum 01.11.2015 – 31.10.2016 (ganzes hydrologisches Jahr)
- [Berechnung von Hydrodynamik und Salztransport](#) für den planerischen IST-Zustand und Vorhabenvarianten bei identischen hydrologischen und meteorologischen Situationen.
- Ergebnisse sind Grundlage für die Berechnung, [Analyse](#) und fachwissenschaftliche Bewertung der [vorhabenbaubedingten Änderungen der Kennwerte der Hydrodynamik und des Salzgehalts](#)
 - Wasserstand (Tidehub, Tidehoch- und Tideniedrigwasser, Tidemittelwasser)
 - mittlere und maximale Flut- und Ebbestromgeschwindigkeit
 - Salzgehalt (maximale, minimale und mittlere Salzgehalte; Lage der Brackwasserzone)

Ausbaugeometrie im numerischen Modell im **Längsprofil** (entlang der Fahrrinne)



Bildung der Prognosewerte



Numerische Simulation je Zustand

Planerischer IST-Zustand (PIZ)

Ausbauzustand (AZ)



Analyse der Ergebnisse

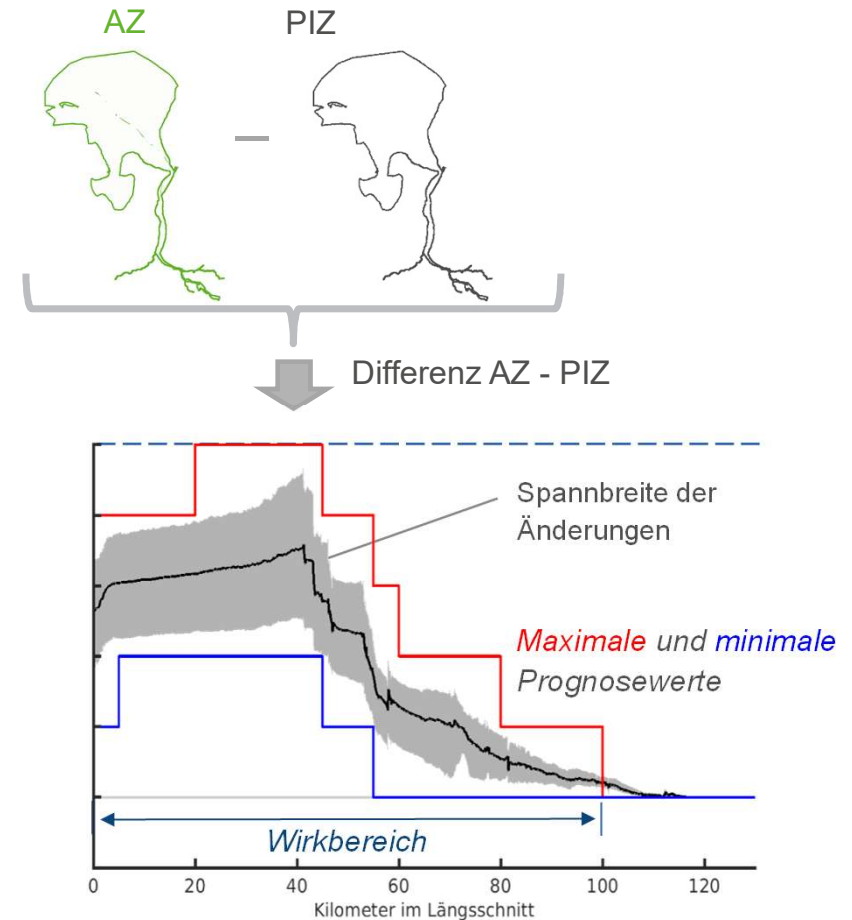
Berechnung und statistische Auswertung der Differenzen



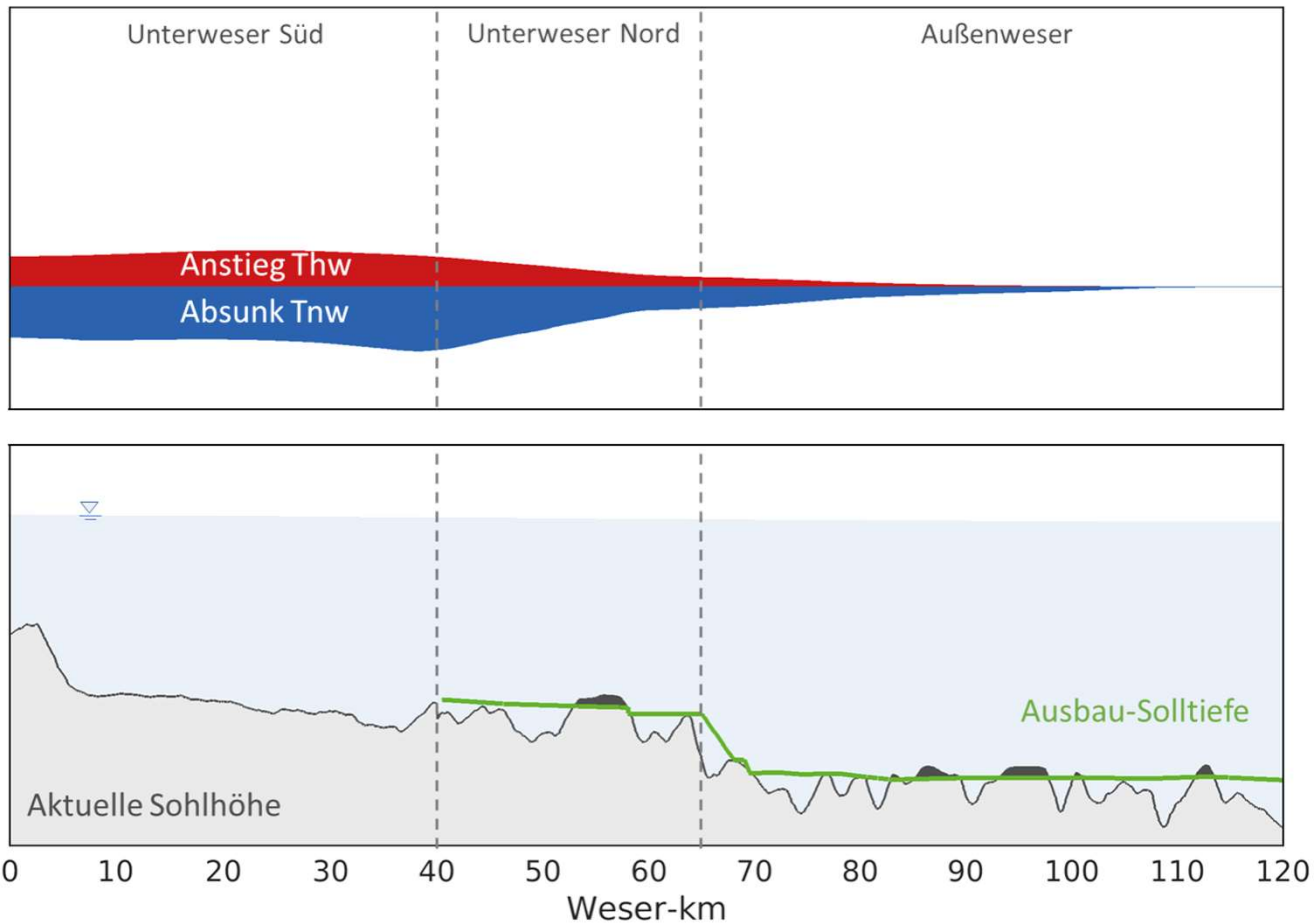
Prognosewertbildung

Natürliche Variabilität (z. B. veränderlicher Oberwasserzufluss) führt zu einer Spannbreite der vorhabenbedingten Änderungen

Ableitung von auf der sicheren Seite liegenden Prognosewerten



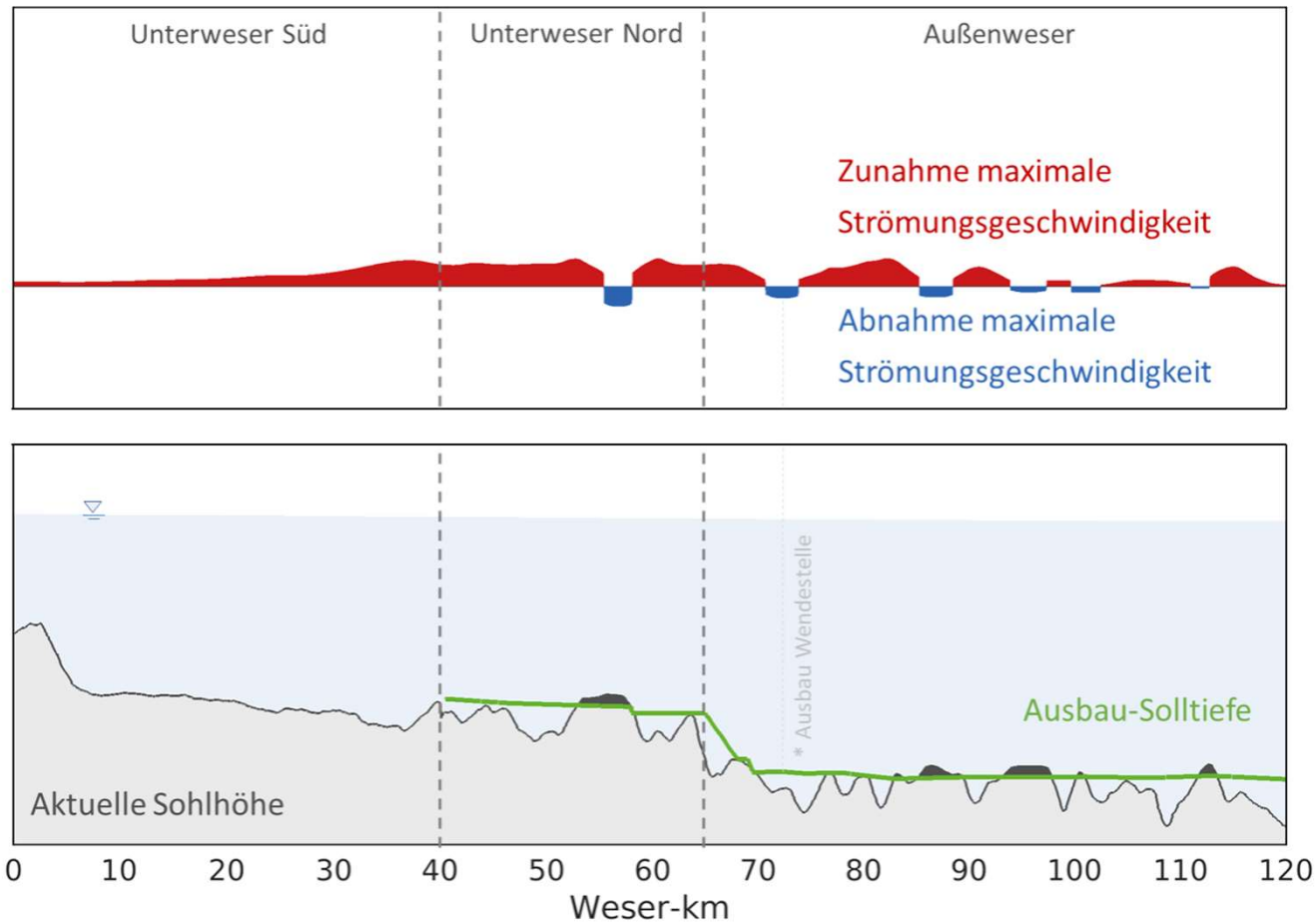
Schematische Darstellung der Wirkweise auf **Wasserstände** (nicht maßstäblich)



Erhöhung des Tidehubs:

- Geringere Abnahme der Tideenergie aufgrund Reduzierung der Rauheitswirkung
- Vorläufige Einschätzung vorhabenbedingter Änderungen
 - Max. Anstieg Thw < 0,5 dm
 - Max. Absink Tnw < 1 dm
- Maximale Änderungen am oberwasserseitig gelegenen Ende des Vorhabens

Schematische Darstellung der Wirkweise auf **max. Strömungsgeschwindigkeit** (nicht maßstäblich)



Zone 1: kein Eingriff

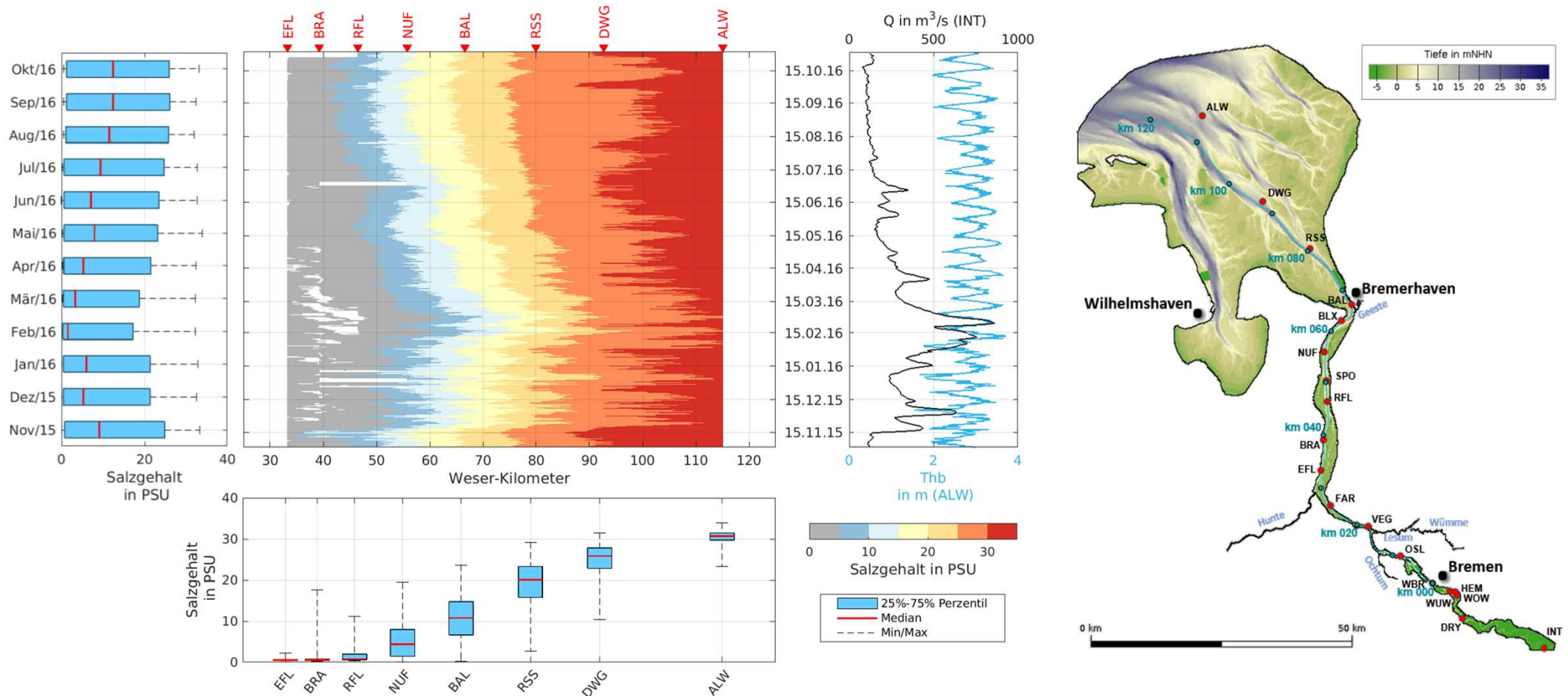
Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit proportional zur Erhöhung des Tidevolumens

Zone 2: Anpassungsbereiche

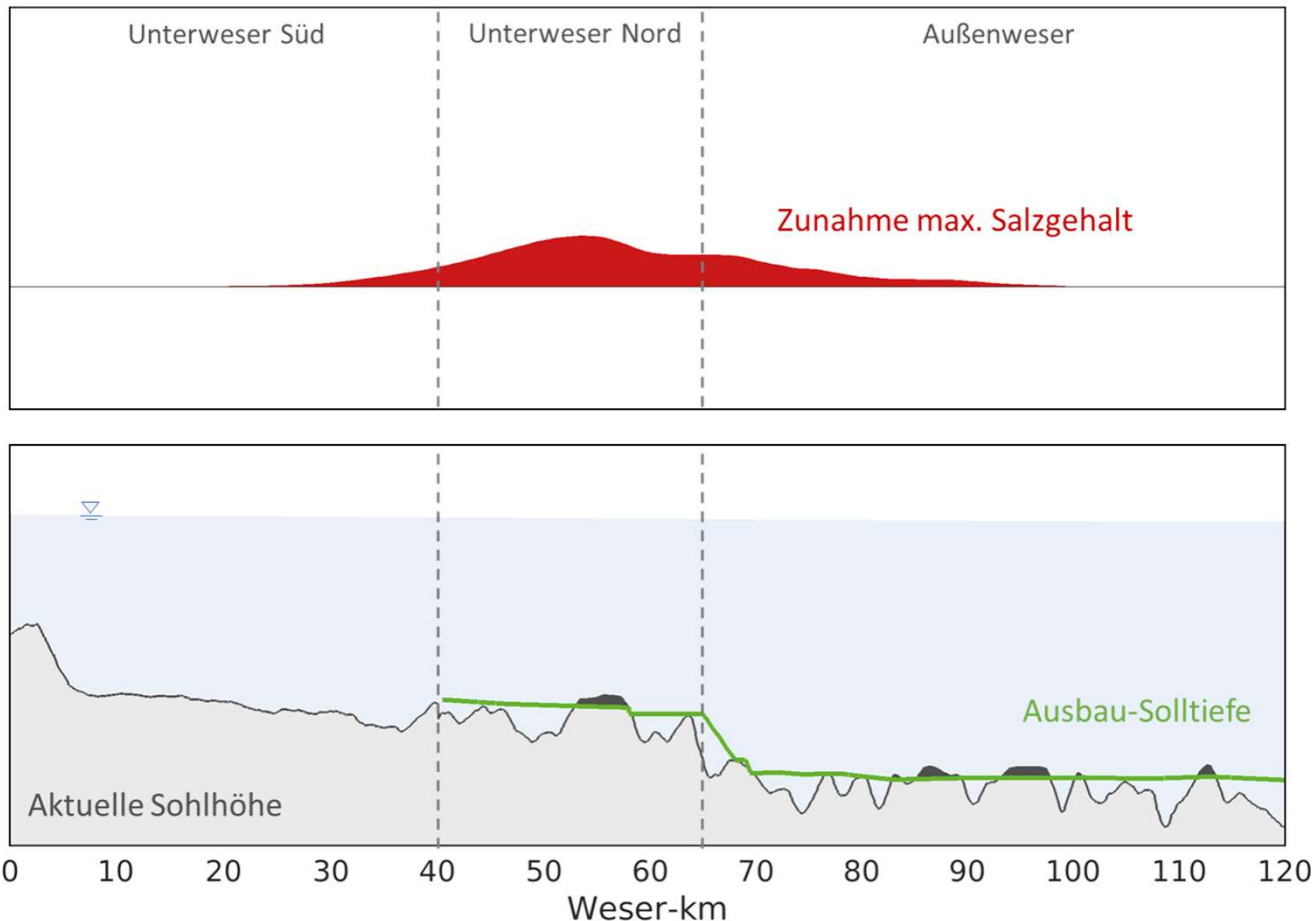
- Moderate Vergrößerung des Querschnitts
 - Konzentration auf Fahrrinne
 - Erhöhung in der Fahrrinne
 - Reduzierung in den Randbereichen
- Wesentliche Vergrößerung des Querschnitts
 - Aufweitung überprägt
 - Reduzierung im gesamten Fließquerschnitt

➔ Max. Zunahme: < 20 cm/s

Gemessener Salzgehalt im hydrologischen Jahr 2016 an Pegeln im Ästuarverlauf



Schematische Darstellung der Wirkweise auf **max. Salzgehalte** (nicht maßstäblich)



Anstieg des lokalen Salzgehaltes:

- Änderung des advektiven (strömungsbedingten) Transports durch
 - vorhabenbedingte Erhöhung des Tidevolumens
 - Erhöhung der Tidestromgeschwindigkeit
- Änderung der ästuarinen Zirkulation (z. B. Dichte getrieben) durch
 - Vertiefung im seeseitigen Teil der Brackwasserzone
 - Förderung der ästuarinen Zirkulation in Abhängigkeit der Wassertiefe

→ Maximale Zunahme: < 1 g/kg

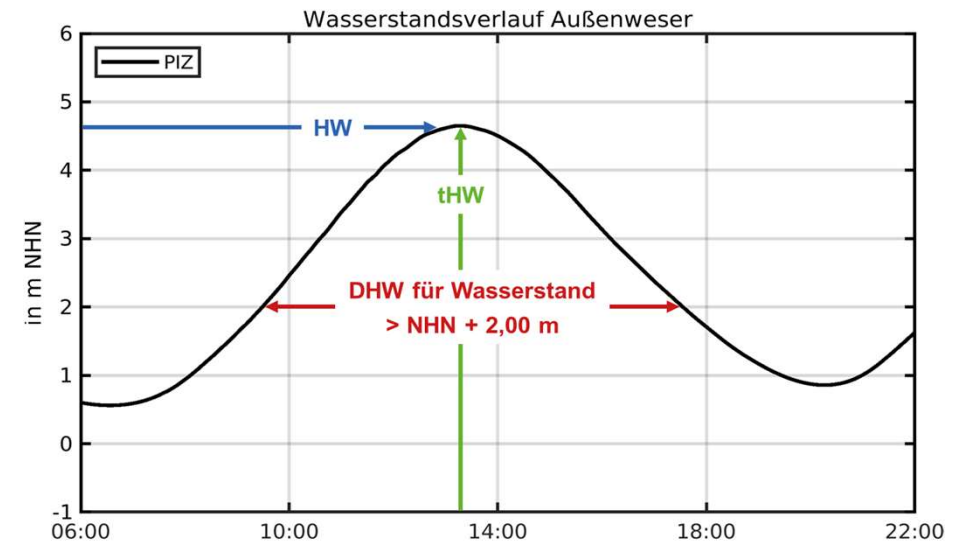
Sturmfluten

Aufgabe

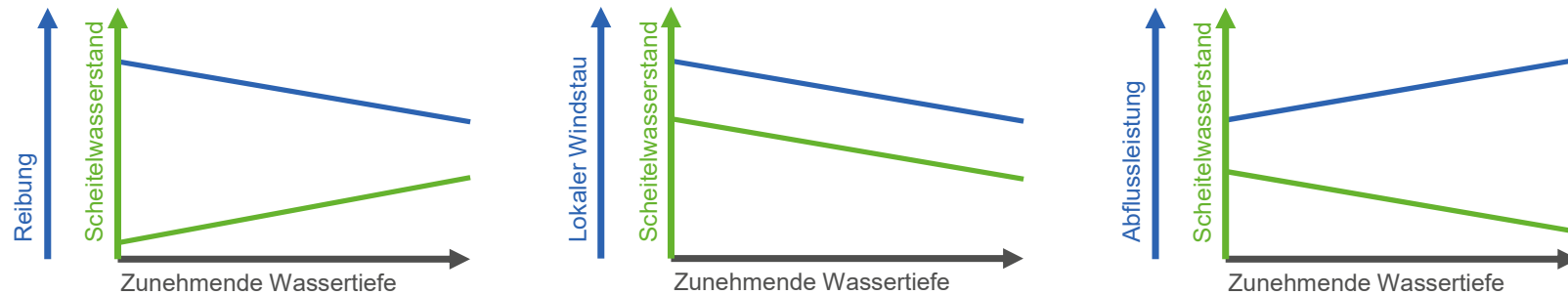
- Ermittlung und Darstellung der **vorhabenbedingten Änderungen der Sturmflutkenngößen**
 - Sturmflutscheitelwasserstand **HW**
 - Eintrittszeit des Sturmflutscheitelwasserstandes **tHW** (Laufzeit)
 - Dauer hoher Wasserstände **DHW** (Sperrzeiten Nebenflüsse, Sielzugzeiten, Überflutungsdauer des Vorlandes)

Untersuchungskonzept

- Simulationszeitraum: wenige Tage um das Sturmflutszenario herum
- Sturmflutszenarien: zwei historische Sturmfluten mit unterschiedlichen Charakteristiken (SF76 und SF94) sowie Bemessungssturmflut
- Sturmflutmodellierung für PIZ und Vorhabenvarianten bei identischen hydrologischen und meteorologischen Situationen.
- Ergebnisse sind Grundlage für die Berechnung, Analyse und fachwissenschaftliche Bewertung der **vorhabenbedingten Änderungen der Sturmflutkenngößen**.

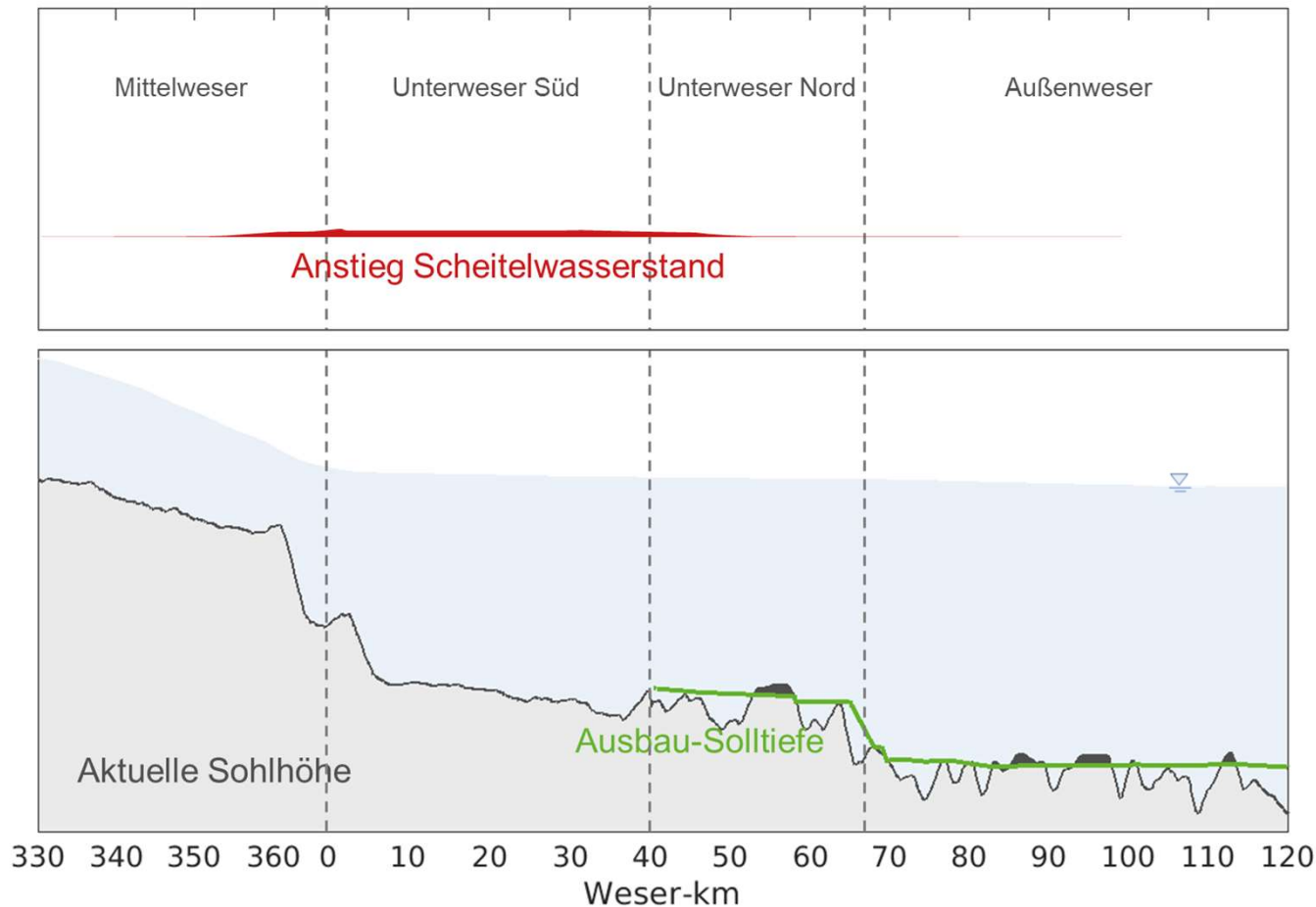


Prinzipielle Wirkmechanismen



- Höchste Wasserstände bei maximaler Windstauwirkung und hohem Tidehochwasser, Einfluss eines hohen Oberwasserzuflusses im inneren Ästuar
- Prägung der Sturmflutcharakteristik durch geometrische Gestalt des Ästuars
- Gesamtwirkung eines Ausbaus (Vertiefung und Verbreiterung) durch drei physikalische Prozesse:
 - Verringerte Wirkung der Rauheit → Scheitelwasserstand nimmt zu (links)
 - Lokaler Windstau nimmt mit zunehmender Wassertiefe ab → Scheitelwasserstand nimmt ab (Mitte)
 - Erhöhung der Abflussleistung → hohe Oberwasserzuflüsse können besser abfließen → Scheitelwasserstand nimmt ab (rechts)
- Aufgrund **komplexer gegenseitiger Beeinflussung der Prozesse** keine lineare Überlagerung für Gesamtwirkung möglich → erfordert **Untersuchung mittels hydronumerischer Modelle**

Schematische Darstellung der Wirkweise auf **Scheitelwasserstände** (nicht maßstäblich)



Vorhaben Außenweser und Unterweser (Nord) :

- Änderung Sturmflutscheitelwasserstand ≤ 3 cm
- Änderung Eintrittszeit Sturmflutscheitelwasserstand $< \pm 5$ Minuten
- Änderung Dauer hoher Wasserstände $< \pm 10$ Minuten

Nebenflüsse

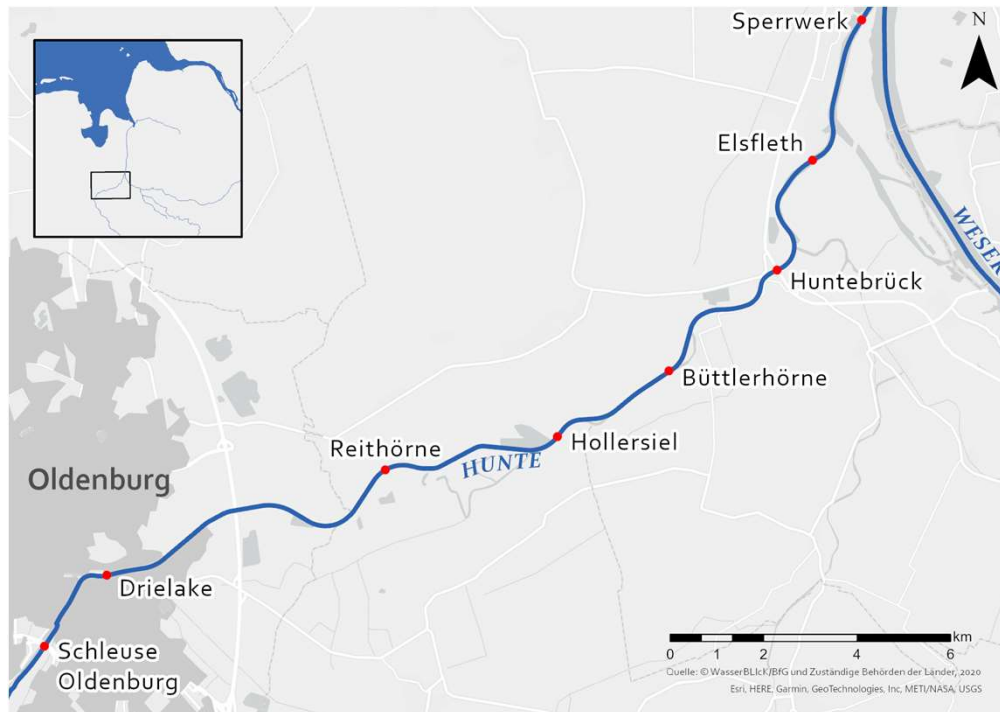
Aufgabe

- An den Mündungen der Weser-Nebenflüsse treten vorhabenbedingte Änderungen der Tidewasserstände auf. Zu betrachten sind:
 - die Ausbreitung dieser Wasserstandsänderungen in die Nebenflüsse hinein,
 - die daraus folgenden Änderungen der Strömung (berechnet),
 - die Auswirkungen auf die Morphodynamik

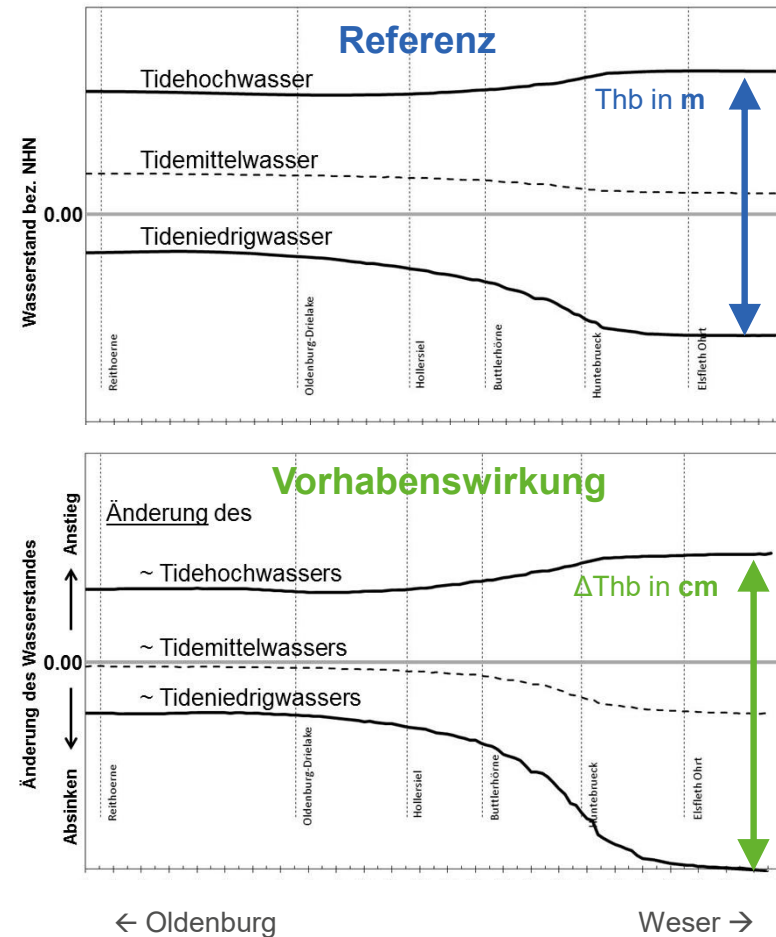
Untersuchungskonzept

- Die Vorhabenwirkungen in den Nebenflüssen sind bei geringen Oberwassermengen am größten.
 - Ausnahme: Ochtum (wegen Systemveränderung durch Stauanlagen)
- Grundsätzlich werden daher folgende hydrologische Bedingungen simuliert und analysiert:
 - Wasserstandsganglinien an der jeweiligen Mündung aus dem BAW-Wesermodell für einen sommerlichen Spring-Nipp-Zyklus
 - Oberwassermengen des Nebenflusses etwa mittlerer niedrigster Abfluss (MNQ)
- Das bedeutet: i. d. R. ein zu bewertendes hydrologisches Szenario

Beispiel: Hunte



Abklingende Wirkung des aus der Weser kommenden Eingangssignals



Methode

Vorgehen

- Wasserstandsganglinien (PIZ / AZ) an den Flussmündungen aus Jade-Weser-Modell entnehmen
- Dämpfung/Verformung entlang der Nebenflüsse ggf. berücksichtigen (HN-Modellierung)
- morphodynamische Wirkungen einschätzen und bewerten

Modellierung

- Hunte: 3D-HN-Modell UnTRIM
- Wümme: 1D-HN-Modell HEC-RAS
- Ochtum: 1D-HN-Modell HEC-RAS
- Geeste: keine Modellierung erforderlich

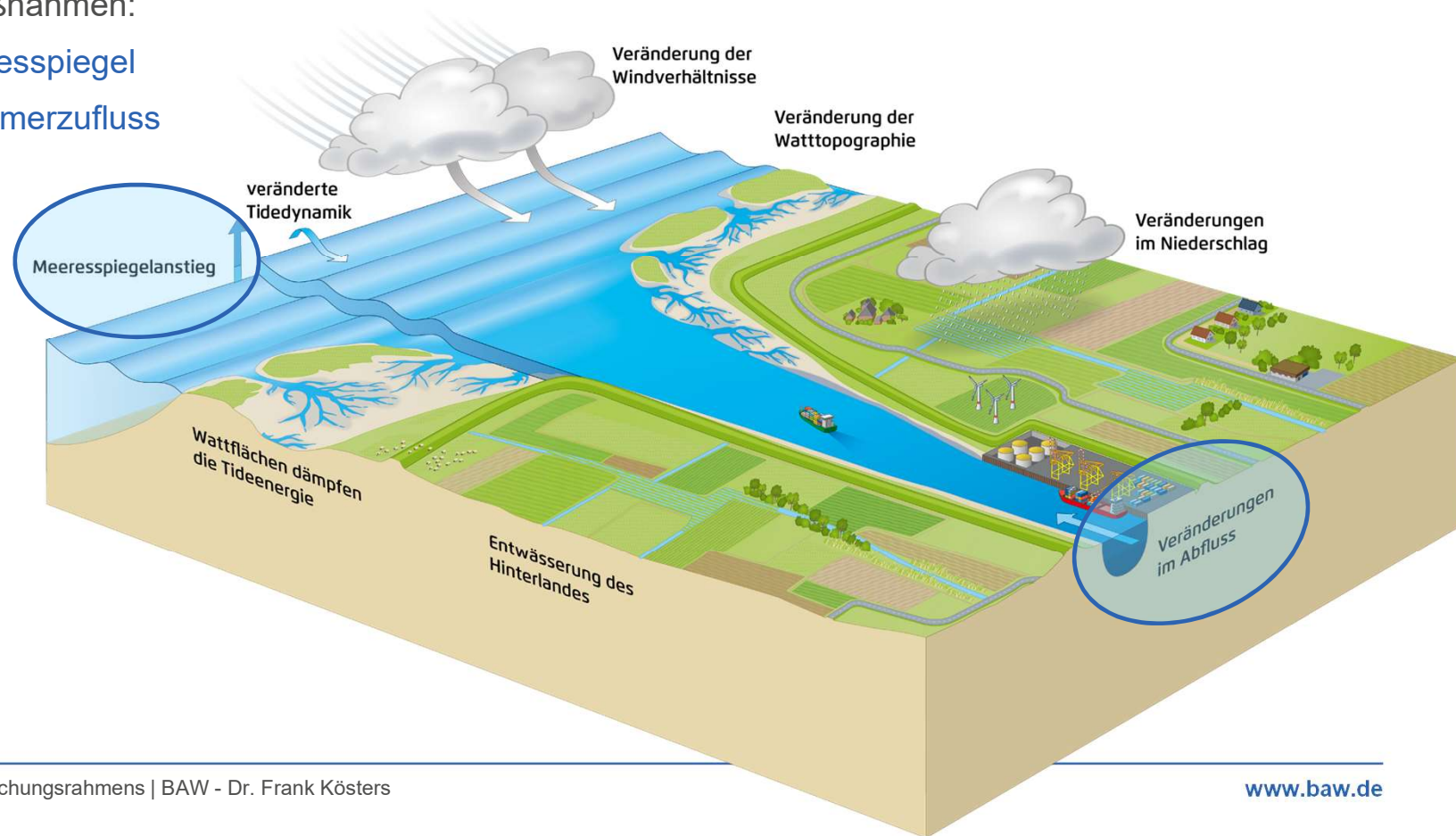
Analysezeitraum

- Spring-Nipp-Zyklus mit geringem Oberwasserzufluss

Exkurs: Klimawandel

Relevante prognostizierte mittlere Veränderung für Ästuare im Hinblick auf Ausbaumaßnahmen:

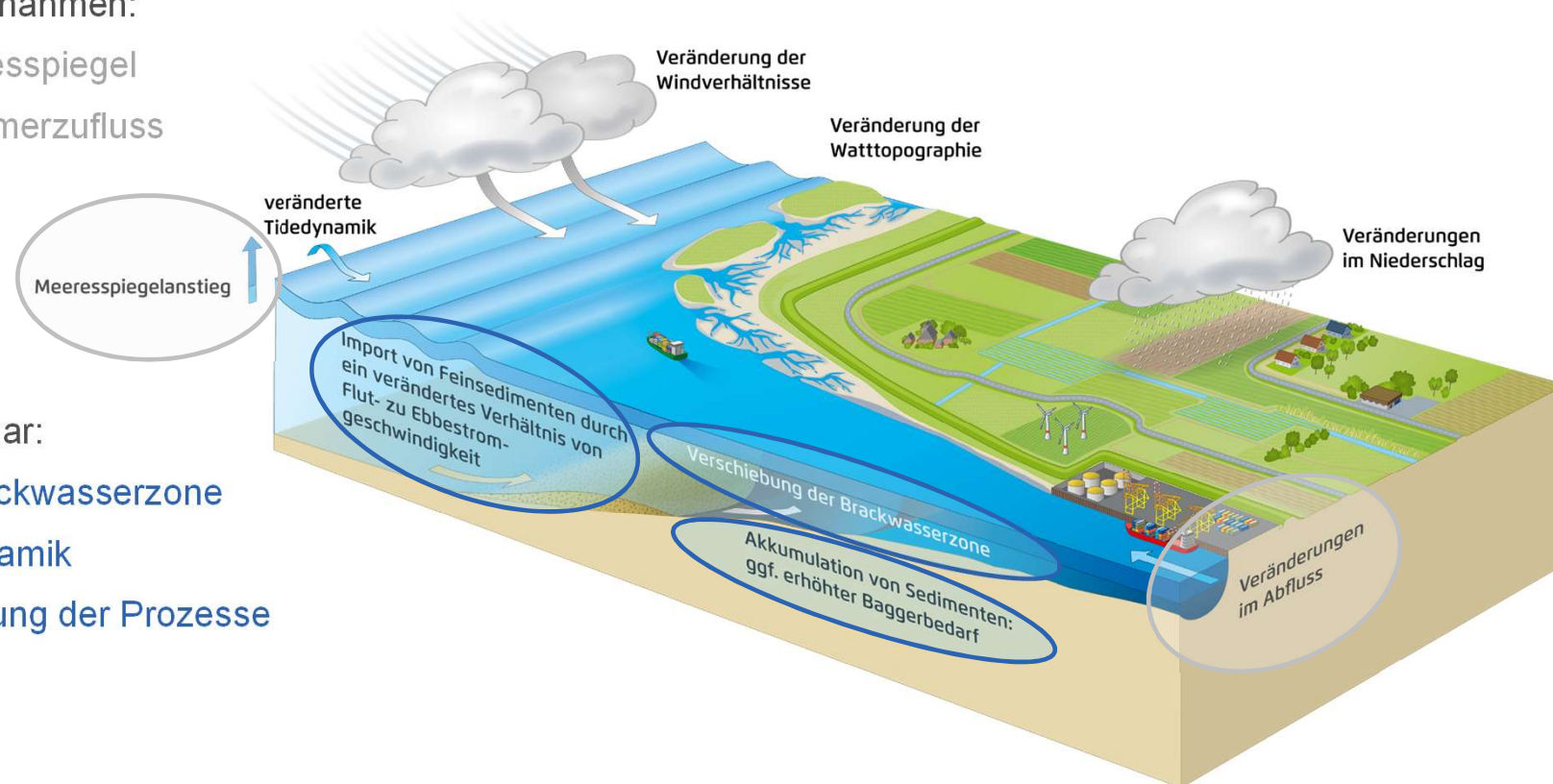
- Zunahme mittlerer Meeresspiegel
- Mögliche Abnahme Sommerzufluss



Exkurs: Klimawandel

Relevante prognostizierte mittlere Veränderung für Ästuar
im Hinblick auf Ausbaumaßnahmen:

- Zunahme mittlerer Meeresspiegel
- Mögliche Abnahme Sommerzufluss



Potentielle Wirkung im Ästuar:

- **Veränderte Lage der Brackwasserzone**
- **Veränderte Sedimentdynamik**
- **Gegenseitige Beeinflussung der Prozesse**

Sedimenttransport und Morphodynamik

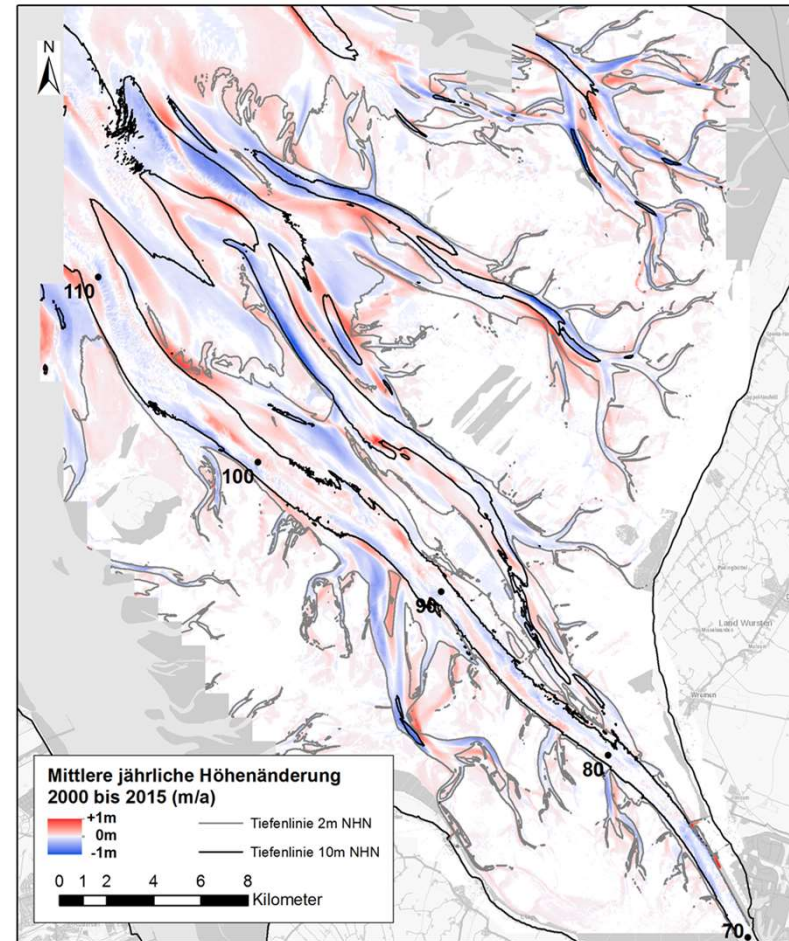
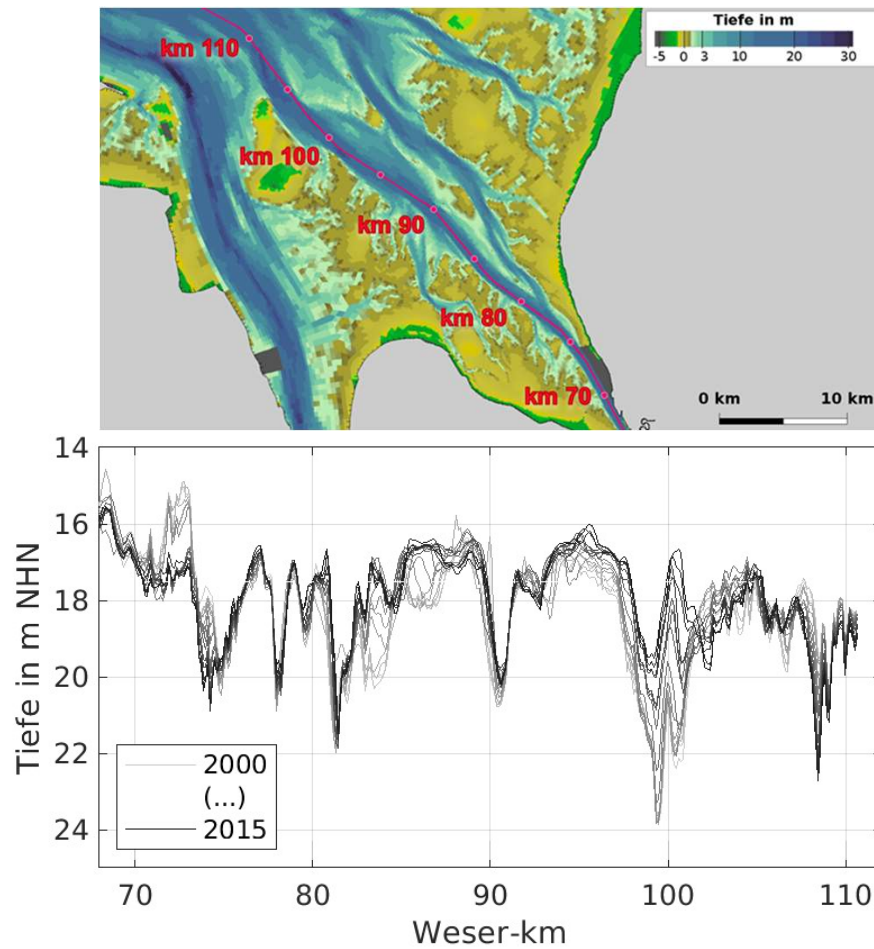
Aufgabe

- Ermittlung und Darstellung der **vorhabenbedingten Änderungen der Kenngrößen der Dynamik suspendierter Sedimente, des Sedimenttransports und der Morphodynamik**

Untersuchungskonzept

- Simulationszeitraum 01.11.2015 – 31.10.2016 (hydrologisches Jahr)
- **Berechnung von Sedimenttransport und Morphodynamik** für PIZ und Vorhabenvarianten bei identischen hydrologischen und meteorologischen Situationen.
- Ergebnisse sind Grundlage für die Berechnung, **Analyse** und fachwissenschaftliche Bewertung der **vorhabenbedingten Änderungen der Kennwerte des Sedimenttransports und der Morphodynamik**:
 - mittlere Sedimentkonzentration
 - Verschiebung des ästuarinen Trübungsmaximums
 - residueller Nettotransport
 - Erosions- und Depositionsbereiche
 - Sohlflächenänderungen

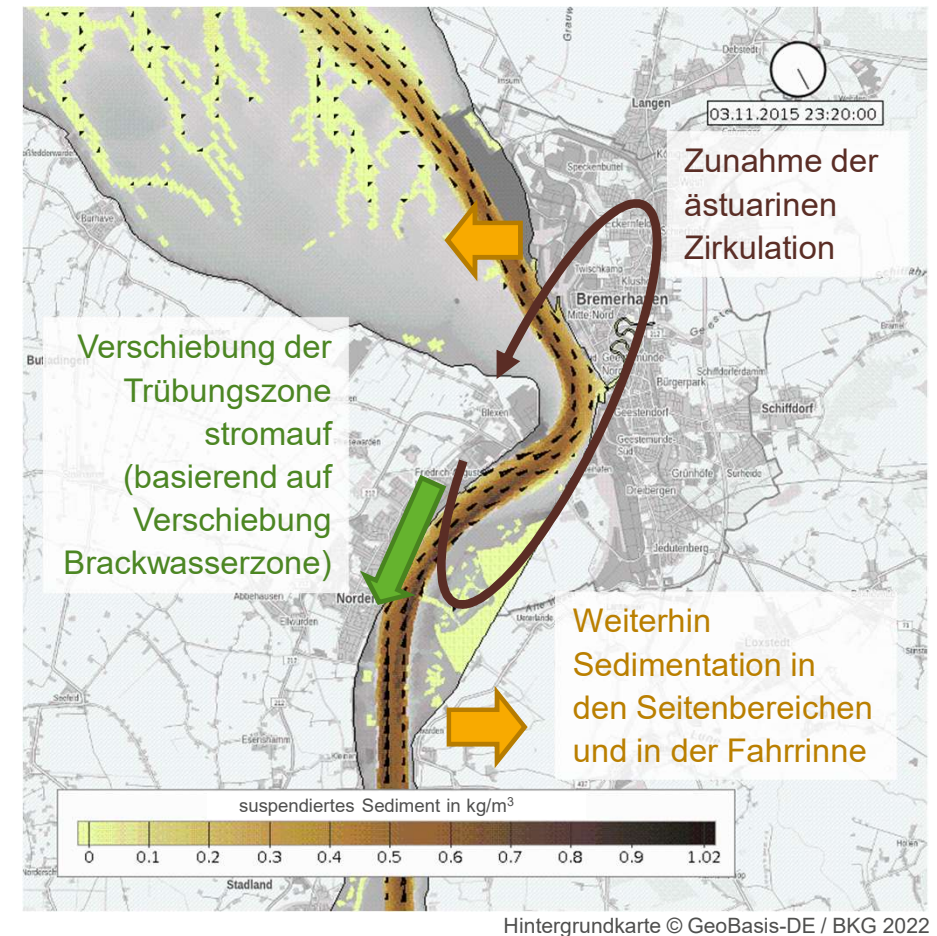
Morphologische Variabilität des Weserästuars



Voraussichtliche Vorhabenswirkung

Vorhaben Außenweser und Unterweser (Nord):

- Generell keine Änderung heute bestehender Trends
- Sedimentkonzentration
 - Schwache Erhöhung in den Eingriffsbereichen
- Inventar suspendierter Sedimente
 - Langfristige Erhöhung im Bereich der Trübungszone
- Trübungszone
 - Verschiebung stromauf (gekoppelt an Verschiebung der Brackwasserzone)
- Muster der Sohlhöhenänderungen (Depositions- und Erosionsmuster)
 - Keine grundlegende Änderung
 - Erhöhte Deposition in den Eingriffsflächen



Grundwasserverhältnisse

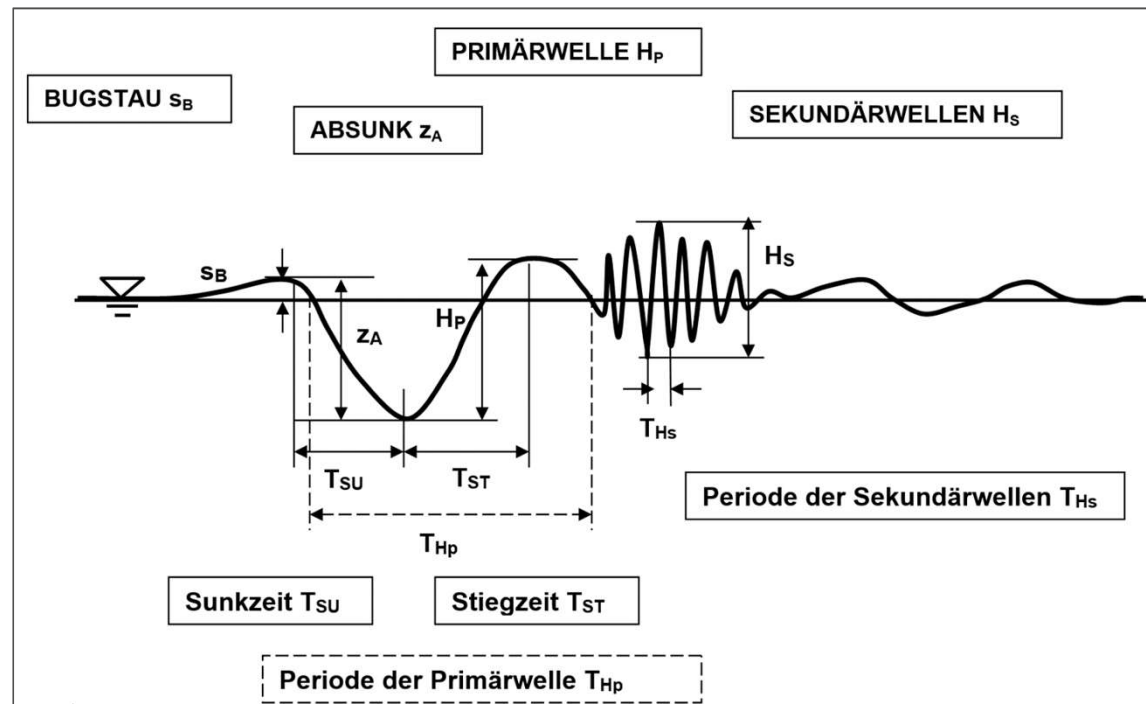
Einordnung der Betroffenheiten aus geohydraulischer Sicht

- Standsicherheit von Deichen und Bauwerken:
 - keine Auswirkungen
- Standsicherheit von Flussböschungen:
 - keine Auswirkungen
- Grundwassernutzung im Verlagerungsbereich der Brackwasserverlagerung:
 - Erhöhung der Salzkonzentration in der Vermischungszone
 - hohe geogene Salzkonzentrationen
- Grundwasserrelevante Naturfunktionen:
 - keine Auswirkungen

Schiffserzeugte Belastungen

Aufgabe

Untersucht werden betriebsbedingte Veränderungen der schiffserzeugten Belastungen:
die Zunahme von Wellenhöhe und Rückströmung



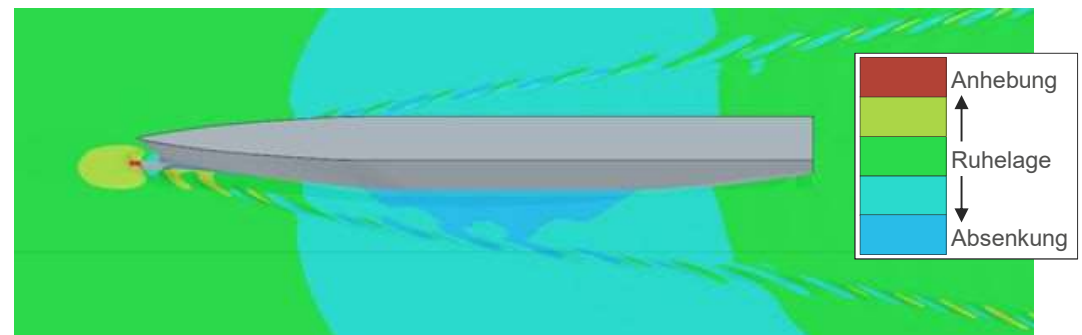
Zeitliche Abfolge der Wasserspiegelauslenkung für einen Beobachter am Ufer.

Untersuchungsmethoden

- Welche Einflussfaktoren in Bezug auf die schiffserzeugten Belastungen verändern sich?
 - Schiffe fahren tiefer abgeladen als heute
 - zukünftig können größere Schiffe den Seehafen Bremerhaven anlaufen
- Erfassung des IST-Zustandes (Messungen in der Natur, ortsspezifische Belastungsprozesse und Flottenstruktur)
- Vorhabenbedingte Veränderungen werden im maßstäblichen physikalischen und/oder numerischen Modell bestimmt



Modellschiff im maßstäblichen physikalischen Versuch im Schiffswellenbecken

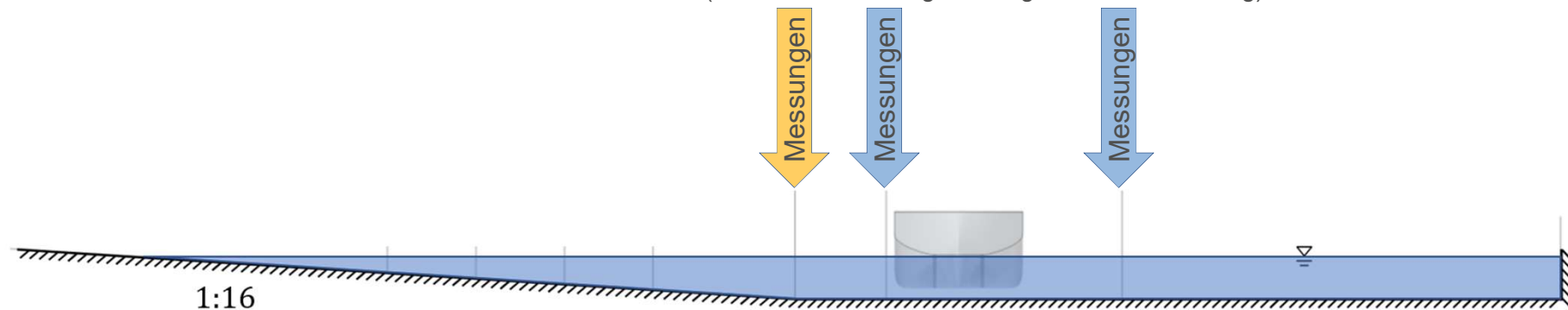


Darstellung der vertikal überhöhten Wellensysteme eines fahrenden Schiffes auf Basis einer numerischen Simulation. Farblich gekennzeichnet ist die Lage des Wasserspiegels, um das Primärwellensystem zu verdeutlichen.

Untersuchungskonzept für die Außenweser

Untersuchung von Schiffsklassen (5 Schiffe) unter **definierten Bedingungen** (Systemversuche im physikalischen und numerischen Modell):

- Schiffen können Bremerhaven einen Meter tiefer abgeladen erreichen (von 12,5 m auf 13,5 m)
- größere Schiffe können Bremerhaven erreichen
- Tideniedrigwasser und Tidehochwasser ohne Strömungen
- in einem idealisierten Querschnitt (mit ähnlichen Verhältnissen von Teilquerschnitt, Wassertiefe und Tiefgang)
- an einem durch die Geometrie unbeeinflussten Punkt (Fahrrinnenböschungsfuß, s. gelber Pfeil Abbildung)

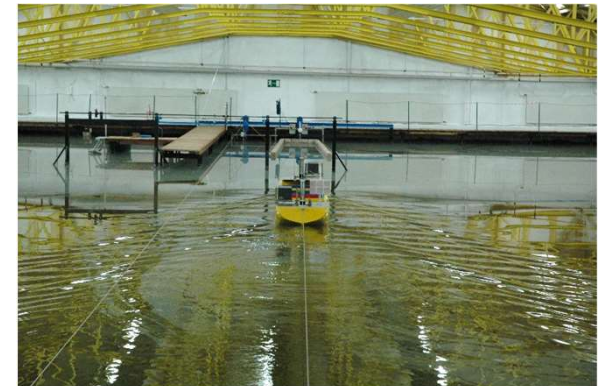


Ergebnisse: Vorhabenbedingte Änderung von Wellenhöhen und Strömungsgeschwindigkeiten in Abhängigkeit von der Schiffsgeschwindigkeit

Untersuchungskonzept für die Unterweser (Nord)

Untersuchung des aktuellen und zukünftig größtmöglichen Schiffs (Massengutschiff)

- Schiffe können die Seehäfen an der Unterweser tiefer abgeladen erreichen (von 11,9 m auf 12,8 m)
- in einem repräsentativen Abschnitt der Unterweser (Abschnitt Rechtenfleth); die Ergebnisse werden auf andere Bereiche übertragen.



Physikalisches Modell - Abschnitt Rechtenfleth (v.l.: trocken, mit Wasser gefüllt, mit Schiffsbetrieb)

Ergebnis: Einordnung der erwartbaren vorhabenbedingten Änderungen für das Massengutschiff

(MG32 t = 11,90 m zu t = 12,80 m, ca. 10 kn)

- Zunahme Primärwellenhöhe $\Delta H_P < 0,05$ m
- Zunahme Rückströmung $\Delta v_R < 0,05$ m/s

Zusammenfassung

- Umfassende Bearbeitung wasserbaulicher Fragestellungen als Beitrag zur Umweltverträglichkeitsuntersuchung
- Bestimmung vorhabenbedingter Änderungen, insbesondere zu folgenden Teilaspekten des Schutzguts Wasser:
 - Hydrologie (Wasserstände und Strömungsgeschwindigkeiten, Sturmflutsicherheit)
 - Stofftransport (Salzgehalte, suspendiertes Sediment)
 - Hydromorphologie
 - Grundwasserverhältnisse
 - Schiffserzeugte Belastungen
- Mitbetrachtet werden vorhabenbedingte Änderungen in den Nebenflüssen und Rückkopplungen mit den Folgen des Klimawandels
- Vorhabenswirkungen in den derzeit geplanten Vorhaben Außenweser und Unterweser Nord voraussichtlich geringer als in vorangegangenen Planungen

Bundesanstalt für Wasserbau
22559 Hamburg

www.baw.de