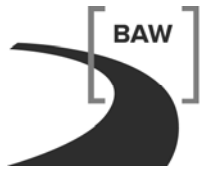


**Bundesanstalt für Wasserbau**  
Kompetenz für die Wasserstraßen

**Minimierung der Umweltauswirkungen des geplanten  
Ausbaus der Zufahrt nach Emden**

**A39550310144**



**Bundesanstalt für Wasserbau**  
Kompetenz für die Wasserstraßen

**Minimierung der Umweltauswirkungen des geplanten  
Ausbaus der Zufahrt nach Emden**

Auftraggeber: Wasser- und Schifffahrtsamt Emden

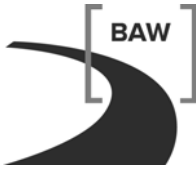
Auftrag vom: 7. Juli 2008, Az.: 2P-231.2/AuEm/9 SA4

Auftrags-Nr.: BAW-Nr. A39550310144

Aufgestellt von: Abteilung: Wasserbau im Küstenbereich  
Referat: Ästuarsysteme II (K3)  
Bearbeiter: Dipl.-Ing. (FH) J. Jürges

Hamburg, im Juli 2011

Das Gutachten darf nur ungekürzt vervielfältigt werden. Die Vervielfältigung und eine Veröffentlichung bedürfen der schriftlichen Genehmigung der BAW.



## Zusammenfassung

Der Träger des Vorhabens ist gehalten, mögliche negative Umweltauswirkungen einer Ausbaumaßnahme – hier die Vertiefung der Außenems – durch mögliche geeignete strombauliche Maßnahmen zu minimieren. Voruntersuchungen der BAW haben für die Vertiefung um bis zu einen Meter tendenziell eine Erhöhung des Schwebstoffeintrags in die Unterems ausgewiesen.

Zur Minimierung der ausbaubedingten Änderungen wurde die BAW-DH beauftragt, die geplante Wendestelle zu prüfen und gegebenenfalls zu optimieren. Außerdem sollen strombauliche Maßnahmen entwickelt sowie deren Wirkung unter Berücksichtigung des geplanten Ausbaus untersucht und bewertet werden.

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass eine Wendestelle bedingt durch eine lokale Aufweitung zu einer Abnahme der Strömungsgeschwindigkeit und damit zur Sedimentation von Material führt. Dadurch nimmt der stromaufwärts gerichteten Sedimenttransport in die Unterems ab, was positiv bewertet wird. Die Wassertiefe hat dabei einen größeren Einfluss auf diesen Prozess als die Länge der Wendestelle. In dem untersuchten Fall würde die Umsetzung der vertieften Variante zu einer Erhöhung der Erstbaggermengen von 15 %, die verlängerte Variante von 33 % führen. Der geringere Aufwand zur Herstellung wird als zusätzlicher positiver Effekt der vertieften Variante gesehen

Die Ausbildung der Wendestelle als Sedimentfang hat den Vorteil, dass sie bewirtschaftet werden kann. D. h. das sedimentierte Material könnte immer dann entnommen werden, wenn es ökonomisch oder ökologisch sinnvoll ist. Die Herstellung als Sedimentfang ist aber nur dann zweckmäßig, wenn das abgelagerte Material möglichst außerhalb des Systems verbracht wird, also an Land oder weit in Richtung Nordsee.

Durch das geplante Ausbauvorhaben wird das Tideniedrigwasser absinken und damit die Asymmetrie der Tide verstärken. In der Folge wird der Netto-Stromauftransport in die Unterems tendenziell erhöht. Die Untersuchung hat gezeigt, dass Strombaumaßnahmen diese Auswirkungen kompensieren können. Die Maßnahmen sollten im Eingangsbereich des Emders Fahrwassers platziert werden, um den positiven Effekt der Wendestelle (s. o.) nicht zu dämpfen. Für die Umsetzung der Maßnahmen wird der Umbau von vorhandenen Buhnen empfohlen. Die Buhnen können dabei so gestaltet werden, dass die für die Kompensation notwendige Wirkung auf das Tideniedrigwasser bei gleichzeitig geringen Auswirkungen auf das lokale Strömungsklima erzielt werden kann.

<b>Inhaltsverzeichnis</b>		<b>Seite</b>
1	Veranlassung und Aufgabenstellung	1
2	Unterlagen und Daten	1
3	Untersuchungskonzept	2
3.1	Das hydrodynamisch numerische Modell der Tideems	2
3.2	Modellgebiet und Berechnungsgitter	2
3.3	Modellsteuerung	4
3.4	Zustandsgrößen der Tideems 2005 (Kalibrierung)	4
3.5	Untersuchungsvarianten	6
3.6	Zustandsgrößen der Untersuchungsvarianten	8
3.7	Bestimmung der ausbaubedingten Änderung	9
3.7.1	Flächenhafte Darstellung von Analysegrößen	9
3.7.2	Darstellung Querprofil - integrierter Analysegrößen im Längsschnitt	10
4	Untersuchungen	11
4.1	Wendestelle	11
4.1.1	Prüfung der geplante Wendestelle	11
4.1.2	Optimierung der geplanten Wendestelle	16
4.1.3	Zusammenfassung	21
4.2	Strombau	22
4.2.1	Optimierte verlängerte Strombuhnen im Emden Fahrwasser	24
4.2.2	Zusammenfassung	29
5	Literaturverzeichnis	31
6	Anlagen	32

## Bildverzeichnis

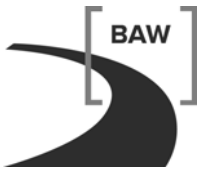
## Seite

Bild 1: Die Modelltopographie (Ist-Zustand 2005) des HN-Modells der Tideems.	3
Bild 2: Darstellung der Modellwassertiefe in Fahrrinnenmitte für den Ist-Zustand 2005.	7
Bild 3: Darstellung der Veränderung der Modellwassertiefe in Fahrrinnenmitte für den geplanten Ausbauzustand der Zufahrt nach Emden.	7
Bild 4: Darstellung der Veränderung der Modellwassertiefe für den Hauptbaggerabschnitt zwischen Emden und Knock.	7
Bild 5: Lage der im HN-Modell definierten Querprofile.	10
Bild 6: Ausbaubedingte Änderung des Tidehochwassers [m].	13
Bild 7: Ausbaubedingte Änderung des Tideniedrigwassers [m].	13
Bild 8: Ausbaubedingte Änderung der mittleren Flutstromgeschwindigkeit [m/s].	14
Bild 9: Ausbaubedingte Änderung der mittleren Ebbestromgeschwindigkeit [m/s].	14
Bild 10: Ausbaubedingte Änderung des maximalen Salzgehalts [PSU].	15
Bild 11: Ausbaubedingte Änderung des mittleren Schwebstoffgehalts [kg/m <sup>3</sup> ].	15
Bild 12: Wendestelle bei Emden.	17
Bild 13: Ausbaubedingte Änderung des Tidehochwassers [m]	18
Bild 14: Ausbaubedingte Änderung des Tideniedrigwassers [m]	18
Bild 15: Ausbaubedingte Änderung der mittleren Flutstromgeschwindigkeit [m/s]	19
Bild 16: Ausbaubedingte Änderung der mittleren Ebbestromgeschwindigkeit [m/s]	19
Bild 17: Ausbaubedingte Änderung des maximalen Salzgehalts [PSU]	20
Bild 18: Ausbaubedingte Änderung des mittleren Schwebstoffgehalts [kg/m <sup>3</sup> ]	20
Bild 19: Strombau im Emden Fahrwasser.	22
Bild 20: Ausbaubedingte Änderung des mittleren Tideniedrigwassers.	23
Bild 21: Ausbaubedingte Änderung des mittleren Schwebstofftransportes	23
Bild 22: Schematisches Querprofil der untersuchten Buhnenvarianten.	25
Bild 23: Ausbaubedingte Änderung des Tidehochwassers [m]	26
Bild 24: Ausbaubedingte Änderung des Tideniedrigwassers [m]	26
Bild 25: Ausbaubedingte Änderung des mittleren Flutstromgeschwindigkeit [m/s]	27
Bild 26: Ausbaubedingte Änderung des mittleren Ebbestromgeschwindigkeit [m/s]	27
Bild 27: Ausbaubedingte Änderung des maximalen Salzgehalts [PSU]	28
Bild 28: Ausbaubedingte Änderung des mittleren Schwebstoffgehalts [kg/m <sup>3</sup> ]	28

## Tabellenverzeichnis

## Seite

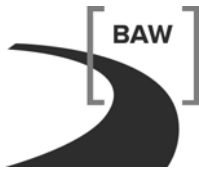
Tabelle 1: Einfluss der Ausbaukomponenten auf die ausbedingte Änderung	16
Tabelle 2: Einfluss der Dimensionierung der Wendestelle	21
Tabelle 3: Bewertung der Auswirkungen des geplanten Ausbaus mit und ohne Strombaumaßnahme	29



## Anlagenverzeichnis

## Seite

Anlage 1: Topographie (lp)	1
Anlage 2: Tidehochwasser (lp)	2
Anlage 3: Tideniedrigwasser (lp)	3
Anlage 4: Tidemittelwasser (lp)	4
Anlage 5: Tidenhub (lp)	5
Anlage 6: Maximale Flutstromgeschwindigkeit (lp)	6
Anlage 7: Maximale Ebbestromgeschwindigkeit (lp)	7
Anlage 8: Verhältnis maximaler Flutstrom : maximaler Ebbestrom (lp)	8
Anlage 9: Mittlere Flutstromgeschwindigkeit (lp)	9
Anlage 10: Mittlere Ebbestromgeschwindigkeit (lp)	10
Anlage 11: Verhältnis mittlerer Flutstrom : mittlerer Ebbestrom (lp)	11
Anlage 12: Flutstromvolumen (csi)	12
Anlage 13: Ebbestromvolumen (csi)	13
Anlage 14: Flutstromdauer (lp)	14
Anlage 15: Ebbestromdauer (lp)	15
Anlage 16: Stauwasserdauer bei Kenterung Flut (lp)	16
Anlage 17: Stauwasserdauer bei Kenterung Ebbe (lp)	17
Anlage 18: Mittlerer Salzgehalt (lp)	18
Anlage 19: Maximaler Schwebstoffgehalt (lp)	19
Anlage 20: Mittlerer Schwebstoffgehalt (lp)	20
Anlage 21: Advektiver Schwebstofftransport mit dem Flutstrom (csi)	21
Anlage 22: Advektiver Schwebstofftransport mit dem Ebbestrom (csi)	22
Anlage 23: Advektiver Rest-Schwebstofftransport (csi)	23



## 1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Der Träger des Vorhabens ist gehalten, mögliche negative Umweltauswirkungen einer Ausbaumaßnahme – hier die Vertiefung der Außenems – durch mögliche geeignete strombau-liche Maßnahmen zu minimieren. Voruntersuchungen der BAW haben für die Vertiefung um bis zu einen Meter tendenziell eine Erhöhung des Schwebstoffeintriebs in die Unterems ausgewiesen.

Zur Minimierung der ausbaubedingten Änderungen wurde die BAW-DH beauftragt, die geplante Wendestelle zu prüfen und gegebenenfalls zu optimieren. Außerdem sollen strombau-liche Maßnahmen entwickelt sowie deren Wirkung unter Berücksichtigung des geplanten Ausbaus untersucht und bewertet werden.

## 2 Unterlagen und Daten

Für diese Untersuchung wurden die folgenden Daten herangezogen:

- Konsistente Digitale Bathymetrie KoDiBa 2005 des WSA Emden (siehe auch smile consult, 2006) mit Grundlage Peilung und Befliegung 2005.
- Ausbautiefen für die Anpassungsmaßnahmen an der Unterems zur Überführung großer Werftschiffe (BAW, 2007).
- Ausbautiefen für die geplante Anpassung der Zufahrt nach Eemshaven (RWS, 2006).
- Ausbautiefen für die geplante Anpassung der Zufahrt nach Emden (WSD NW, 2007).

Zur Steuerung des HN-Modells für den Zeitraum Mai 2005 wurden folgende Daten verwendet:

- Wasserstandsentwicklung am seeseitigen Rand, berechnet und übergeben von Rijkswaterstaat (RIKZ) aus den Niederlanden.
- Gemessener Oberwasserzufluss der Ems bei Versen
- Oberwasserzufluss von Leda und Jümme
- Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch Weser/Ems 2005 (NLWKN 2008)

Zusätzlich lagen folgende Daten vor:

- Wasserstandsmessungen des Jahres 2005 an den Pegelstandorten Huibertgat (NL), Borkum/ Südstrand, Borkum/ Fischerbalje, Memmert, Emshörn, Eemshaven (NL), Dukegat, Knock, Delfzijl (NL), Emden/ Neue Seeschleuse, Nieuwe Statenzijl (NL), Pogum, Terborg, Leerort, Weener, Papenburg, Rhede, Herbrum, Ledasperrwerk (Leda), Wiltshausen (Leda) und Dreyschloot (Leda)
- Salzgehaltsmessungen des Jahres 2005 an den Pegelstandorten Knock, Emden/ Westmole, Pogum, Gandersum, Terborg, Leerort, Weener, Papenburg und Herbrum

- Oberwasserzuflussmessungen am Pegelstandort Versen/ Wehrdurchstich von Januar 1941 bis Oktober 2009
- Trübungsmessungen des Jahres 2005 an den Pegelstandorten Knock, Pogum, Gandersum, Terborg, Leerort, Weener und Papenburg
- Messungen vom Mai 2005 von der Messplattform FINO 1

### **3 Untersuchungskonzept**

Für die Untersuchung strombaulicher Maßnahmen zur Minimierung der ausbaubedingten Änderungen werden im Rahmen einer wasserbaulichen Systemanalyse die hydrodynamischen Zustandsgrößen sowohl für einen planerischen Soll-Ist-Zustand, als auch für den geplanten Ausbauzustand und für verschiedene Varianten des geplanten Ausbauzustands mit Strombau für eine gleich bleibende ausgewählte hydrologische Situation mit einem hydrodynamisch-numerischen (HN) Modell flächendeckend ermittelt. Die Ergebnisse sind die Grundlage für die Berechnung und die Analyse der Änderungen in den Ausbauzuständen.

Die Vorgabe gleicher hydrologischer und morphologischer Situationen sowohl für den planerischen Soll-Ist-Zustand als auch für die Ausbauzustände ermöglicht die eindeutige physikalische Zuordnung von Veränderungen der Hydrodynamik und des Sedimenttransports durch die zu untersuchenden Maßnahmen. Hierbei bildet der Zustand der Ems von 2005 die Grundlage für die Modellierung der Tideems. Bevor das gewählte numerische Modell für die Untersuchungen eingesetzt werden kann, muss es auf der Grundlage von in der Natur gemessenen Daten kalibriert werden. Für die dann folgenden Untersuchungen der Varianten des Ausbauzustands und des planerischen Soll-Ist-Zustands bleiben die Kalibrierungseinstellungen unverändert.

#### **3.1 Das hydrodynamisch numerische Modell der Tideems**

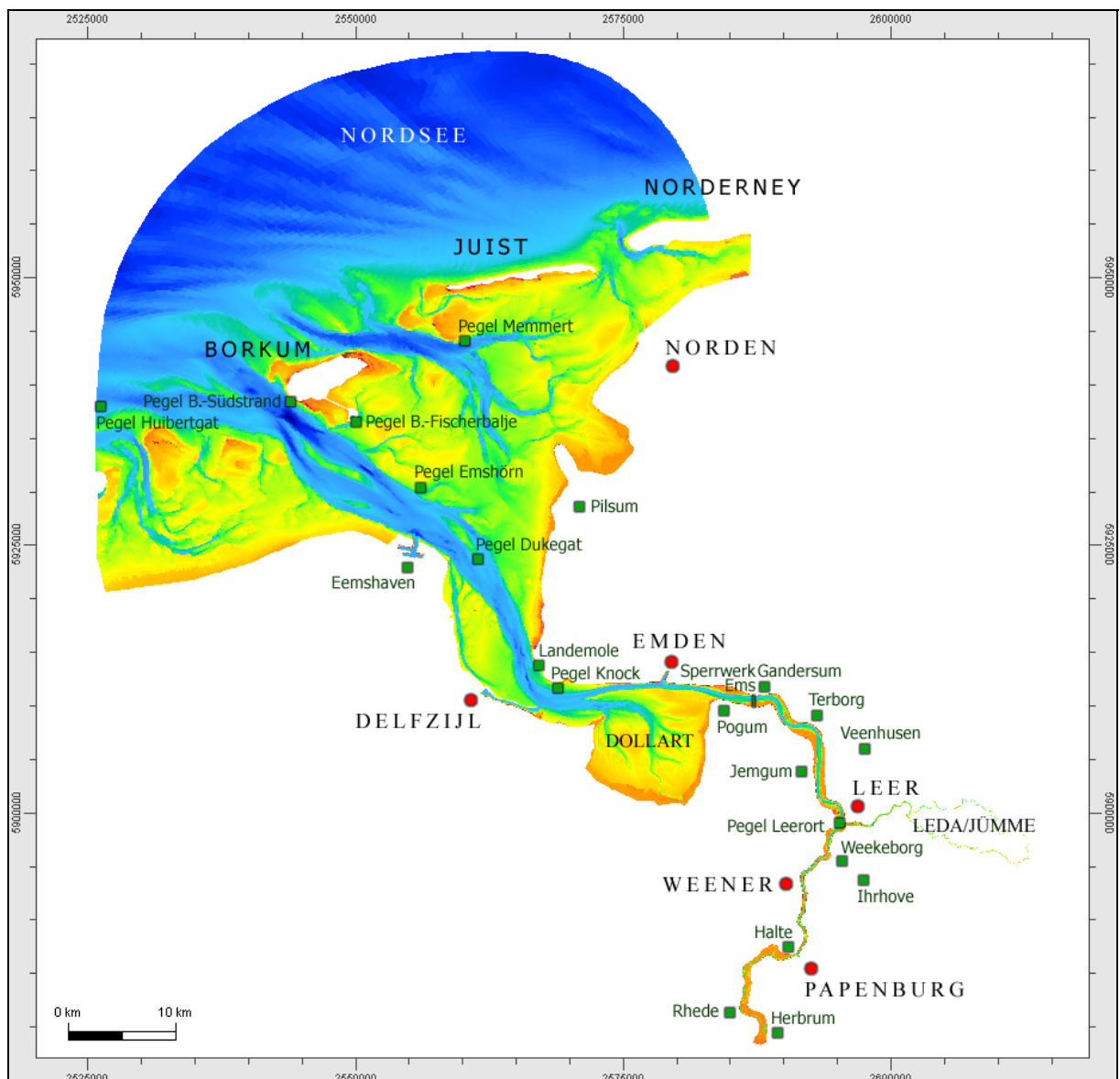
Für diese Untersuchung wird das bei der BAW-DH entwickelte HN-Modell der Tideems eingesetzt. Das Modell basiert auf dem mathematischen Verfahren *UnTRIM* (BAW 2005). Die Auswahl eines geeigneten mathematischen Verfahrens, der für den Modellbetrieb benötigten Datensätze (z.B. Rand- und Anfangswerte), die Festlegung eines für die Aufgabenstellung angemessenen Modellgebietes sowie die Wahl geeigneter Parameter für die Modellierung bestimmen die Qualität der erzielbaren Modellergebnisse und beeinflussen damit die Prognosefähigkeit des Verfahrens.

#### **3.2 Modellgebiet und Berechnungsgitter**

Das Gebiet des verwendeten HN-Modells ist so gewählt worden, dass die maßgebenden physikalischen Prozesse (hier Tidedynamik, Salz- und Schwebstofftransport bei Normaltiden) hinsichtlich der Auswirkungen der geplanten Ausbauvarianten simuliert werden können.



Das Modellgebiet umfasst einen Bereich zwischen den Gauß-Krüger-Koordinaten 2525739 / 5971147 im Nordwesten (Deutsche Bucht nördlich Borkum) und 2598521 / 5878518 im Südosten (südlich Wehr Herbrum). Der seeseitige Rand liegt nördlich der Inselkette Simonszand – Borkum – Juist – Norderney (Bild 1).



**Bild 1: Die Modelltopographie (Ist-Zustand 2005) des HN-Modells der Tideems von der Nordsee bis zum Wehr Herbrum inklusive die Nebenflüsse Leda und Jümme bis zum Dreenschloot.**

Das Gebiet ist mit einem unregelmäßigen Dreiecks- und Vierecksnetz überzogen, das eine an die Topographiegradienten angepasste Auflösung erlaubt und so einen wirtschaftlichen Umgang mit Speicherplatz und Rechenzeit ermöglicht. Die Gesamtanzahl der Elemente beträgt in der horizontalen 220.613, was bei der vertikalen Auflösung von 1 m zu über einer

Million Elementen führt. Die Kantenlängen des Netzes variieren von ca. 10 m im Bereich der Fahrrinne des Dortmund-Ems-Kanals bis zu 1 km am seeseitigen Modellrand. Die häufigste Kantenlänge der Elemente beträgt ca. 30 m. Die Fläche der Elemente variiert dabei von 33 m<sup>2</sup> bis zu 0,5 km<sup>2</sup>, wobei die häufigste Elementfläche ca. 200 m<sup>2</sup> beträgt.

### 3.3 Modellsteuerung

Ästuarmodelle sind immer nur Ausschnittsmodelle, an deren offenen Rändern zeitabhängige Randwerte für den Wasserstand oder die Strömungsgeschwindigkeit und für die transportierten Substanzen vorgegeben werden müssen. In der Regel wird ein Ästuarmodell seeseitig durch Vorgabe der Wasserspiegelauslenkung und an der oberstromseitigen Grenze durch die Vorgabe eines Zuflusses gesteuert, der über den aktuellen Wasserstand in Strömungsgeschwindigkeiten umgerechnet wird. An diesen Rändern müssen auch Massenkonzentrationen für Salz und alle Schwebstofffraktionen vorgegeben werden.

Für das gesamte Modellgebiet müssen auch Anfangsbedingungen vorgegeben werden. Wasserspiegelauslenkungen und Strömungsgeschwindigkeiten können in der Regel mit „0“ initialisiert werden, da diese Größen im ganzen Modellgebiet schnell vom Modell selbst geprägt werden, und nicht mehr vom Anfangszustand. Für die Verteilung von Salz wird eine an Messungen orientierte räumliche Verteilung vorgegeben, da der Transport von Salz wesentlich „träger“ ist, und somit ein naturnaher Anfangszustand von großer praktischer Bedeutung für das Modell ist.

Bei Sedimenttransportuntersuchungen wird das modellierte Sedimentverhalten entscheidend durch die Anfangsverteilung des Sedimentinventars bestimmt. Gegenwärtig wird das Sedimentinventar auf der Grundlage von 1816 Sedimentproben beschrieben, die vom RIKZ für das Gebiet der Außenems und des Dollarts analysiert wurden. Aus diesen Daten wurde für die Modellrechnungen dieser Untersuchung ein Datensatz konstruiert, der das Sedimentinventar flächenhaft mittels 2 Fraktionen für die Geschiebefracht (Grobsand  $\varnothing$  500  $\mu$ m und Feinsand  $\varnothing$  125  $\mu$ m) und einer Fraktion für den Transport in Suspension (schluffiges Material  $\varnothing$  23,5  $\mu$ m, Sinkgeschwindigkeit ca. 0.5 mm/s) beschreibt. Die Sedimentdichte beträgt einheitlich 2650 kg/m<sup>3</sup>.

Für die Steuerung des Modells der Tideems werden Randwerte verwendet, die hinsichtlich der Tidedynamik einen charakteristischen Systemzustand im Ästuar repräsentieren und den Zeitraum eines Nipp-Spring-Zyklus abdecken.

### 3.4 Zustandsgrößen der Tideems 2005 (Kalibrierung)

Die für die Kalibrierung benötigten hydrodynamischen Zustandsgrößen (Wasserstand, Strömungsvektor, Salzgehalt und Schwebstoffgehalt in diskreten Tiefen) werden mit dem dreidimensionalen HN-Modell UnTRIM, welches mit dem morphodynamischen Modell SediMorph

gekoppelt ist, für das Emsästuar für einen ausgewählten Zeitraum ermittelt. Die ersten zwei Simulationswochen werden für das Einschwingen des Modells veranschlagt; diese Dauer ist insbesondere wegen des Salzgehalts notwendig. Im Einzelnen wird zur Ermittlung der relevanten Größen wie folgt vorgegangen:

1. Erzeugung der Modelltopographie des Ist-Zustands 2005 für die Kalibrierung unter Vorgabe der Konsistenten Digitalen Bathymetrie (KoDiBa) 2005 des WSA Emden (smile consult, 2006) mit Grundlage der Peilung 2005;
2. Die Simulation wird für den Zeitraum vom 1.5.2005 01:30 MEZ bis 30.5.2005 18:40 MEZ durchgeführt.
3. Die Auswertung der Tidekennwerte der Hydrodynamik erfolgt für den Untersuchungszeitraum vom 15.5.2005 18:50 MEZ bis 30.5.2005 15:30 MEZ.

Zur Steuerung des HN-Modells während des Zeitraums Mai 2005 werden folgende Daten verwendet:

- Wasserstandsentwicklung am seeseitigen Rand, berechnet und übergeben von Rijkswaterstaat (RIKZ) aus den Niederlanden
- Salzgehaltsvorgabe am seeseitigen Rand im Tidezyklus variabel zwischen 31 PSU und 32 PSU
- Vorgabe der Suspensionskonzentration von konstant 0,01 kg/m<sup>3</sup> am seeseitigen Rand
- Vorgabe des Oberwasserzuflusses der Ems bei Herbrum (Messwerte Versen mit Faktor 1,1 beaufschlagt um die Zuflüsse von Versen bis Herbrum zu berücksichtigen) und angepassten Salzgehalten von 0,38 PSU, keinem Sedimenteintrag
- konstanter Oberwasserzufluss von Leda und Jümme: Monatsmittelwert für Mai 2005 24,0 m<sup>3</sup>/s (NLWKN, 2006) mit Salzgehaltsvorgabe von 0,38 PSU, keinem Schwebstoffeintrag

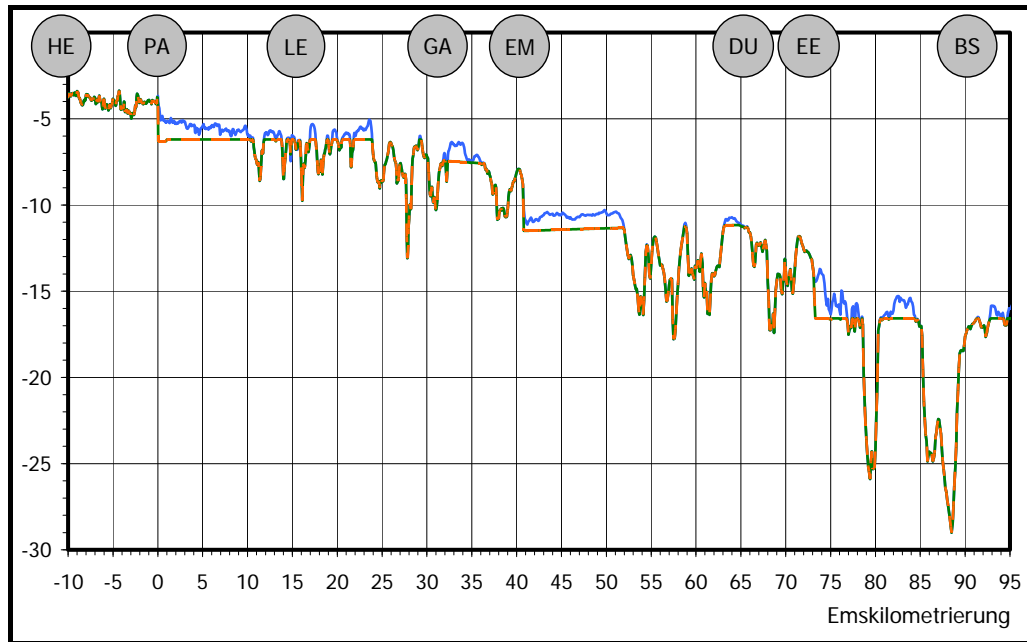
Die Ergebnisse der Schwebstoffdynamik und Morphodynamik sind abhängig von der Vorgabe des Sedimentinventars für den Beginn der Simulation. Dies wurde für Modellrechnungen konstruiert auf Basis von 1816 analysierten Sedimentproben vom RIKZ für das Gebiet der Außenems und des Dollarts.

Das Sedimentinventar wird flächenhaft durch zwei Sand-Fractionen für die Geschiebefracht und einer schluffigen Fraktion für den Transport in Suspension bestimmt. Die Sand-Fractionen haben einen mittleren Korndurchmesser von 500 µm (Grobsand) und 125 µm (Feinsand), der schluffigen Fraktion wird ein mittlerer Korndurchmesser von 23,5 µm zugewiesen. Die Mächtigkeit des erodierbaren Bodens ist global arbiträr mit 25 cm vorgegeben.

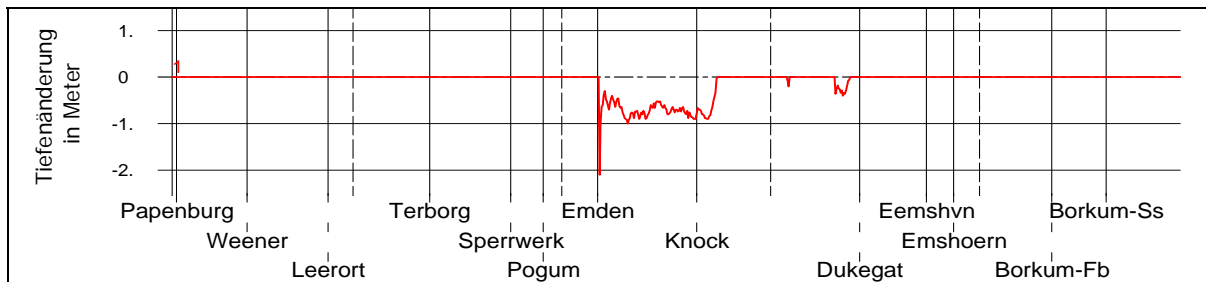
### 3.5 Untersuchungsvarianten

Der geplante Ausbauzustand der Zufahrt nach Emden wird auf der Grundlage des Ist-Zustandes 2005 erstellt. Dafür werden im ersten Schritt planfestgestellte, bzw. genehmigte und im zweiten Schritt weitere parallel geplante Vorhaben (Stand 2009) berücksichtigt. Im dritten Schritt wird der geplante Ausbauzustand der Zufahrt nach Emden erzeugt.

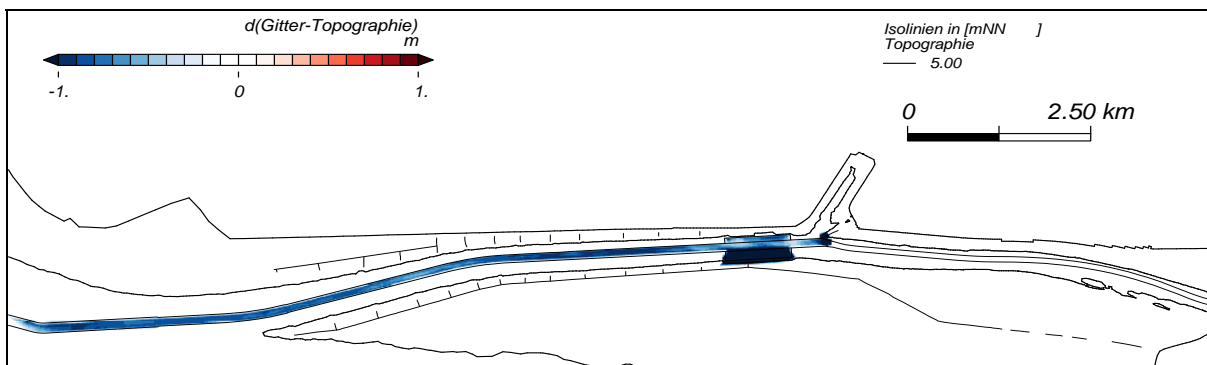
1. Schritt beinhaltet die folgenden Maßnahmen und wird im weiteren Verlauf „planerischer Soll-Ist-Zustand 1“ (PS1) bezeichnet:
  - Herstellung der planfestgestellten, maximalen Tiefe in der Fahrrinne zwischen Papenburg und der Nordsee, sofern im Zustand 2005 eine geringere Tiefe vorhanden ist
  - Herstellung der planfestgestellten, maximalen Tiefe in den Hafenbecken von Eemshaven, sofern im Zustand 2005 eine geringere Tiefe vorhanden ist
  - Hinzunahme der erlaubten Sole-Einleitungen entlang der Ems:
    - E.ON: 900 m<sup>3</sup>/h auf Höhe der Landemole
    - EWE: 900 m<sup>3</sup>/h stromab des Emssperrwerks
2. Schritt berücksichtigt die folgenden parallel geplanten Vorhaben und wird im weiteren Verlauf „planerischer Soll-Ist-Zustand 2“ (PS2) bezeichnet:
  - Herstellung des von niederländischer Seite geplanten Ausbaus der Zufahrt nach Eemshaven (RWS, 2006)
  - Herstellung der geplanten Hafenbecken für Eemshaven
  - Herstellung der Ausbautiefen für die Anpassungsmaßnahmen an der Unterems zur Überführung großer Werftschiffe (BAW, 2007)
  - Hinzunahme der geplanten Sole-Einleitungen auf Höhe der Landemole:
    - WINGAS + EWE: 4200 m<sup>3</sup>/h
    - E.ON: 2700 m<sup>3</sup>/h
3. Schritt berücksichtigt den geplanten Ausbauzustand der Zufahrt nach Emden, im folgenden AZ1 genannt. AZ1 setzt sich aus der Vertiefung der Fahrrinne von Emden bis Ems-km 74,6 um bis zu einen Meter und einer Wendestelle bei Emden zusammen (Bild 2 bis Bild 4). Zur Minimierung möglicher negative Umweltauswirkungen der geplanten Ausbaumaßnahme werden Ausbauvarianten auf der Grundlage von AZ1 entwickelt und untersucht. Die Beschreibung der Varianten erfolgt im Untersuchungskapitel dieses Dokumentes.



**Bild 2:** Darstellung der Modellwassertiefe in Fahrrinnenmitte für den Ist-Zustand 2005 (blaue Linie) und für den Ausbauzustand AZ1 (grün-orangefarbene Linie).



**Bild 3:** Darstellung der Veränderung der Modellwassertiefe in Fahrrinnenmitte für den geplanten Ausbauzustand der Zufahrt nach Emden bezogen auf den Zustand PS2.



**Bild 4:** Darstellung der Veränderung der Modellwassertiefe für den Hauptbaggerabschnitt zwischen Emden und Knock für den geplanten Ausbauzustand AZ1 bezogen auf den Zustand PS2.

### 3.6 Zustandsgrößen der Untersuchungsvarianten

Zur Steuerung des HN-Modells während des Zeitraums Mai 2005 werden folgende Daten verwendet:

- Wasserstandsentwicklung am seeseitigen Rand, berechnet und übergeben von Rijkswaterstaat (RIKZ) aus den Niederlanden.
- Konstantwerte für den Salzgehalt (32 PSU), die Schwebstoffkonzentration ( $0,01 \text{ kg/m}^3$ ) am seeseitigen Rand.
- Konstanter Oberwasserzufluss der Ems bei Herbrum von  $44 \text{ m}^3/\text{s}$ . Dieser Wert entspricht dem häufigsten Oberwasserzufluss der Ems bei Versen für den Zeitraum November 1999 bis Oktober 2009 ( $40 \text{ m}^3/\text{s}$ ), multipliziert mit 1,1, um die Zuflüsse zwischen Versen und der oberen Modellgrenze bei Herbrum berücksichtigen zu können.
- Konstanter Oberwasserzufluss von Leda und Jümme von  $11,4 \text{ m}^3/\text{s}$ . Dieser Wert entspricht der Hälfte des mittleren Abflusses des Pegels Leer für die Jahre 1993 bis 2002 (NLWKN, 2006). Die Hälfte deshalb, weil für den Abfluss der Ems bei Versen das Verhältnis aus langjährigem Mittelwert und häufigstem Abflusswert etwa 2 zu 1 beträgt.
- Alle Oberwasserzuflüsse werden mit einem konstanten Salzgehalt von 0,32 PSU und ohne Schwebstoffeintrag eingesteuert.

Die für die Untersuchungsvarianten benötigten hydrodynamischen Zustandsgrößen (Wasserstand, Strömungsvektor, Salzgehalt und Schwebstoffgehalt) in diskreten Tiefen und die morphodynamischen Zustandsgrößen (Tiefenerosion, zeitvariable Topographie) werden mit dem dreidimensionalen HN-Modell UnTRIM, welches mit dem morphodynamischen Modell SediMorph gekoppelt ist, für das Emsästuar im ausgewählten Zeitraum Mai 2005 berechnet. Es werden dieselben Parametereinstellungen, sowie auch Sedimentverteilung und Sedimentmächtigkeit am Boden, wie in der Kalibrierung verwendet. In der Untersuchung der Varianten werden auch die ersten zwei Simulationswochen für das Einschwingen des Modells berücksichtigt. Im Einzelnen wird zur Ermittlung der relevanten Größen wie folgt vorgegangen:

- Die Modelltopographie der zu untersuchenden Ausbauvariante wird auf Basis des Zustands PS2 erzeugt.
- Die Simulation für die Untersuchungsvariante wird für den Zeitraum vom 1.5.2005 01:30 MEZ bis 30.5.2005 18:40 MEZ durchgeführt.
- Die Auswertung der Tidekennwerte der Hydrodynamik und der tideunabhängigen Kennwerte der Topographie erfolgt für den Untersuchungszeitraum vom 15.5.2005 18:50 MEZ bis 30.5.2005 15:30 MEZ.

### 3.7 Bestimmung der ausbaubedingten Änderung

Aus den von dem HN-Modell berechneten Zustandsgrößen werden die Tidekennwerte des Wasserstands, der Strömung, des Salz- und des Schwebstoffgehaltes sowie der zugehörigen Salz-, Schwebstoff- und Wärmetransportgrößen, des Geschiebetransportes und der effektiven Bodenschubspannungen errechnet, um die Wirkungen der zu untersuchenden Variante zu quantifizieren. Die Analyseverfahren und -parameter sind ausführlich im BAW-Mitteilungsblatt Nr. 86 (Lang, 2003) und auf den Internetseiten der BAW dokumentiert:

[Analyse der Berechnungsergebnisse – BAW-Methoden-Wiki.](#)

Für die Bestimmung der Änderungen durch eine Ausbauvariante werden zunächst getrennt für die Ausbauvariante und für einen Vergleichszustand die Tidekennwerte für alle Gitterpunkte im Modellgebiet analysiert. Danach erfolgt die Differenzbildung zwischen der Ausbauvariante und dem Vergleichszustand ebenfalls für alle Gitterpunkte im Modellgebiet.

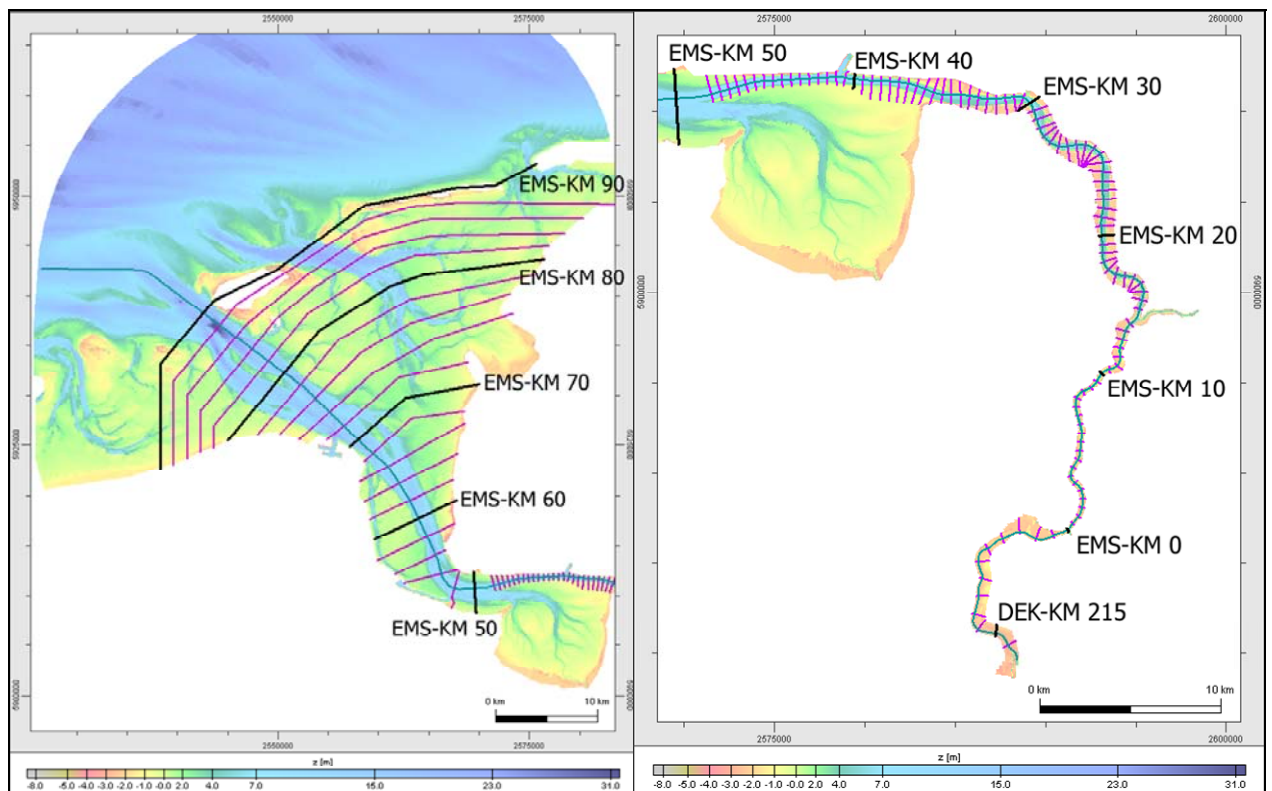
Die Rechenwerte aus der Modellsimulation und -analyse bedürfen der fachwissenschaftlichen Interpretation („wasserbauliches Expertenwissen“), um fundierte Prognosen über veränderte Wirkungen abzugeben. Die Berechnungsergebnisse sind somit nicht die alleinige Grundlage der gutachterlichen Aussagen, weil sowohl die gewässerkundlichen Erkenntnisse über das Untersuchungsgebiet, als auch die revier- und methodenspezifischen Erfahrungen des Gutachters in der wasserbaulichen Systemanalyse mit in die Bewertung einfließen müssen.

#### 3.7.1 Flächenhafte Darstellung von Analysegrößen

Für Vergleiche mit Beobachtungen oder zur Veranschaulichung von Veränderungen werden ausgewählte Zustandsgrößen, z.B. Schwebstoffgehalt, Strömungsgeschwindigkeit oder Tiefenerosion, flächenhaft dargestellt. Zusätzlich können für die dargestellten Größen auch die Differenzen zum Vergleichszustand graphisch visualisiert werden. In der flächenhaften Darstellung werden die Werte zu Bereichsklassen zusammengefasst und farblich kodiert dargestellt. Werte außerhalb des Wertebereichs werden separat mit den Farbwerten eingefärbt, die in den beiden Dreiecken am Anfang und Ende der Farblegende dargestellt sind. Ein Teil dieser Abbildungen enthalten eine mit Topographie (Watt) bezeichnete und mit unterschiedlichen Grauwerten aufgefüllte Legende von NN -3 m bis NN +3 m. In der flächenhaften Darstellung ist diese Topographie nur sichtbar, wo die Werte der eigentlich darzustellenden physikalischen Größe nicht zu sehen sind, also in den höher gelegenen Gebieten des Ästuars, typischerweise den Wattgebieten. Die Abbildungen enthalten zusätzlich die Linie gleicher Wassertiefe für NHN-5 m und ausgewählte Strukturlinien (Fahrwassergrenze, Wendestelle und Leitdämme und Buhnen im Bereich des Emders Fahrwassers). So können z.B. Wattflächen und die tiefen Rinnen identifiziert werden.

### 3.7.2 Darstellung Querprofil - integrierter Analysegrößen im Längsschnitt

Im HN-Modell sind quer zur Fahrrinnenrichtung Profile definiert (s.a. Bild 5, Schwarz und Magenta). Auf jedem dieser Querprofile werden die Analysegrößen im Abstand von 15 bis 50 m abgelegt (15 m Punktabstand im Dortmund-Ems-Kanal, 20 m in der Unterems bis Emden, 35 m im Emden Fahrwasser und 50 m ab Knock bis zur Nordsee). Diese Werte werden für jedes Querprofil integriert, so dass nach der Integration für jedes Querprofil und jede Tide nur noch genau ein Datenwert pro Tidekennwert vorhanden ist. Diese verdichteten Tidekennwerte aller Querprofile können für jede Tide im Längsschnitt entlang der Fahrrinne dargestellt werden.



**Bild 5: Lage der im HN-Modell definierten Querprofile. Der Abstand in Fahrrinnenrichtung zwischen zwei Querprofilen beträgt in der Außenems 2 km, im Emden Fahrwasser und in der Unterems 500 m und im Dortmund-Ems-Kanal 1 km.**



## **4 Untersuchungen**

Der Träger des Vorhabens ist gehalten, mögliche negative Umweltauswirkungen der geplanten Vertiefung der Zufahrt nach Emden mit einer Wendestelle zu minimieren. Voruntersuchungen der BAW haben für die Vertiefung um bis zu einem Meter tendenzielle Erhöhungen des Schwebstoffeintrags in die Unterems ausgewiesen.

Zur Minimierung der ausbaubedingten Änderungen wurde die BAW-DH beauftragt, die geplante Wendestelle zu prüfen und gegebenenfalls zu optimieren. Außerdem sollen strombauartige Maßnahmen entwickelt sowie deren Wirkung unter Berücksichtigung des geplanten Ausbaus untersucht und bewertet werden.

### **4.1 Wendestelle**

Zur Herstellung der geplanten Wendestelle (WS) wird zwischen Ems-km 41,2 und 42,1 die vorhandene, 120 m breite Fahrrinne um 80 m nach Norden und 140 m nach Süden erweitert. Die geplante Solltiefe der Wendestelle entspricht der geplanten Ausbautiefe der Fahrrinne für diesen Abschnitt. Ca. 0,8 Mio. m<sup>3</sup> müssen der Modelltopographie für die Herstellung der Wendestelle entnommen werden, was ungefähr 40 % des gesamten Ausbauvorhabens ausmacht.

Zuerst soll in diesem Teil der Untersuchung die Wirkung der Wendestelle (Bild 4) geprüft werden. Anschließend soll durch Variation der Dimensionierung das Optimierungspotential dieser Ausbaukomponente auch im Hinblick auf die Nutzung als Sedimentfang ermittelt werden.

#### **4.1.1 Prüfung der geplanten Wendestelle**

Zunächst soll geprüft werden, welchen Anteil die geplante Wendestelle (WS) bei Emden auf die ausbaubedingte Änderung von Hydrodynamik, Salz- und Schwebstoffgehalt hat. Dazu werden 3 Simulationen durchgeführt:

1. geplante Vertiefung der Zufahrt nach Emden mit Wendestelle bei Emden (AZ1)
2. nur die geplante Vertiefung der Zufahrt nach Emden (AZ1-OWS)
3. nur die geplante Wendestelle bei Emden (AZ1-NWS).

Die Ergebnisse werden anschließend analysiert und mit den analysierten Tidekennwerten des planerischen Soll-Ist-Zustands 2 (PS2) verglichen. Aus den jeweiligen Differenzen bezogen auf den Vergleichszustand können dann die entsprechenden Anteile der beiden Ausbaukomponenten an den Veränderungen bestimmt werden. Dafür werden Differenzen in

Fahrrinnenmitte als Längsschnitt von Papenburg bis Borkum-Südstrand für folgende Tidekennwerte von Bild 6 bis Bild 11 dargestellt:

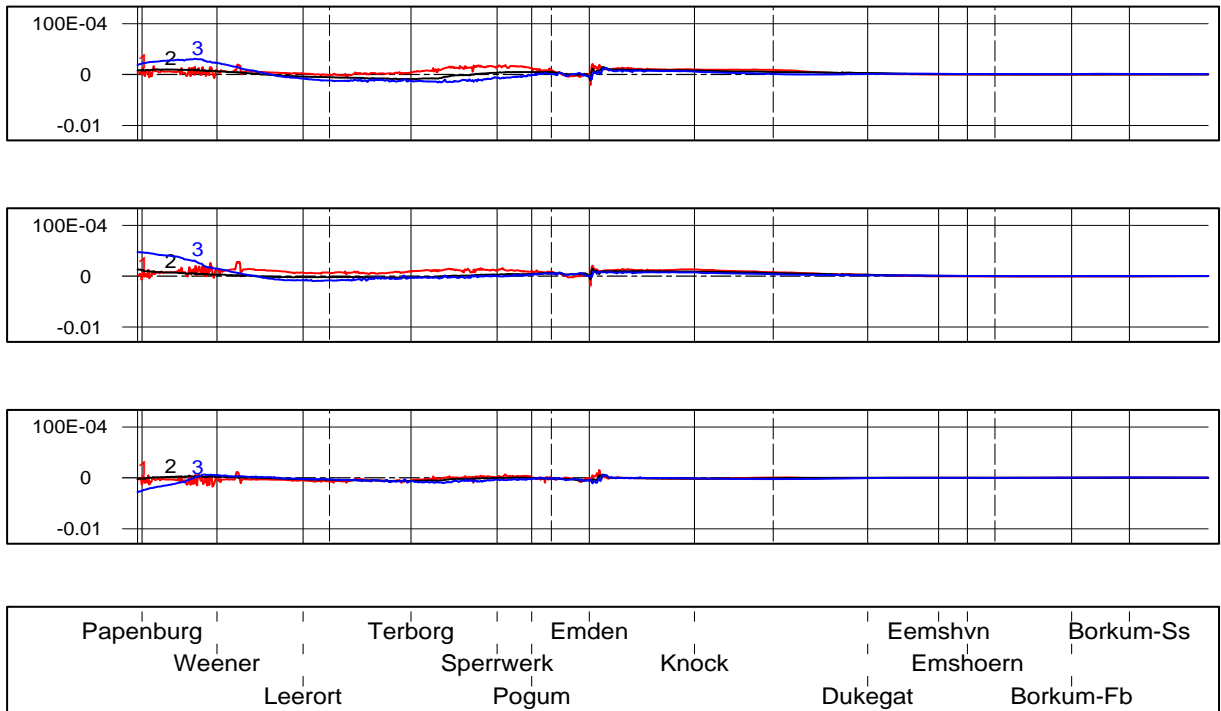
1. Tidehochwasser (Thw),
2. Tideniedrigwasser (Tnw),
3. mittlere Flutstromgeschwindigkeit ( $V_{F \text{ mit.}}$ ),
4. mittlere Ebbestromgeschwindigkeit ( $V_{E \text{ mit.}}$ ),
5. maximaler Salzgehalt ( $S_{\text{max.}}$ ) sowie
6. mittlerer Schwebstoffgehalt ( $SPM_{\text{mit.}}$ ).

In den Bildern stellt die rote Kurve die Differenz des Maximums des jeweiligen Tidekennwertes über den Analysezeitraum dar, die schwarze die des Mittelwertes und die blaue die des Minimums. Die Bilder zeigen:

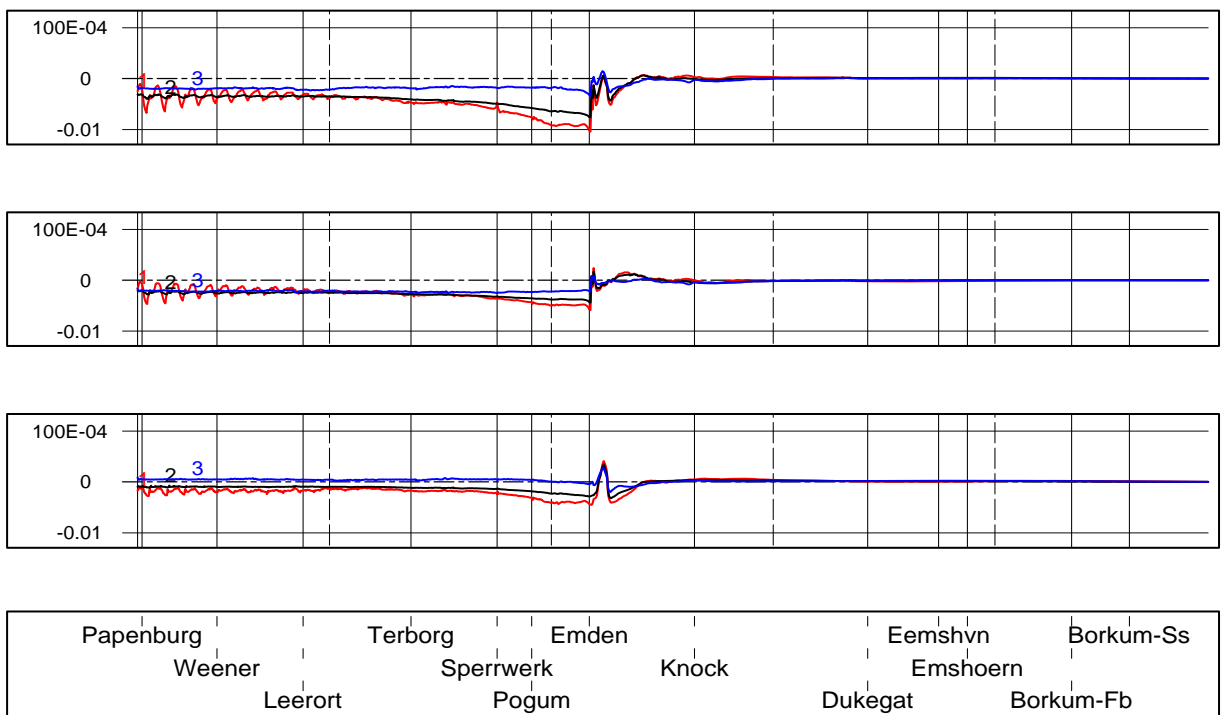
Oben: Die Differenz zwischen der geplanten Vertiefung mit Wendestelle und dem planerischen Soll-Ist-Zustand 2 (AZ1 – PS2),

Mitte: die Differenz zwischen geplanter Vertiefung und planerischem Soll-Ist-Zustand 2 (AZ1-OWS – PS2) und

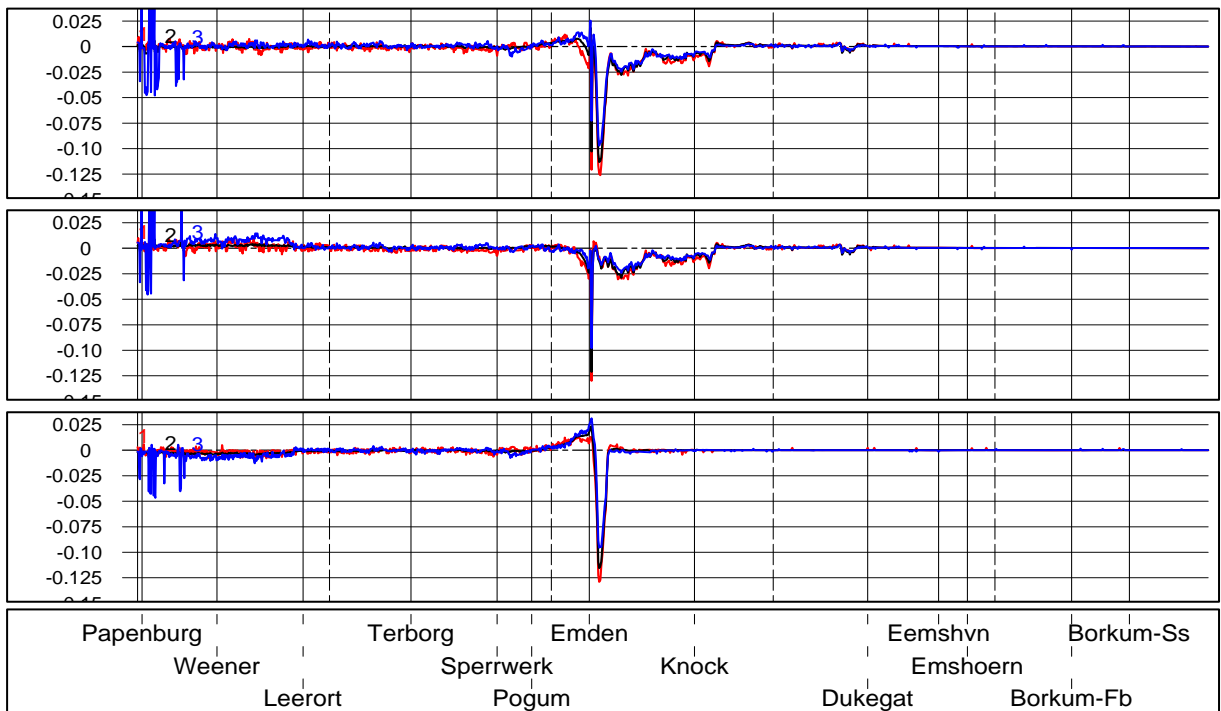
Unten: die Differenz zwischen geplanter Wendestelle und planerischem Soll-Ist-Zustand 2 (AZ1-NWS – PS2).



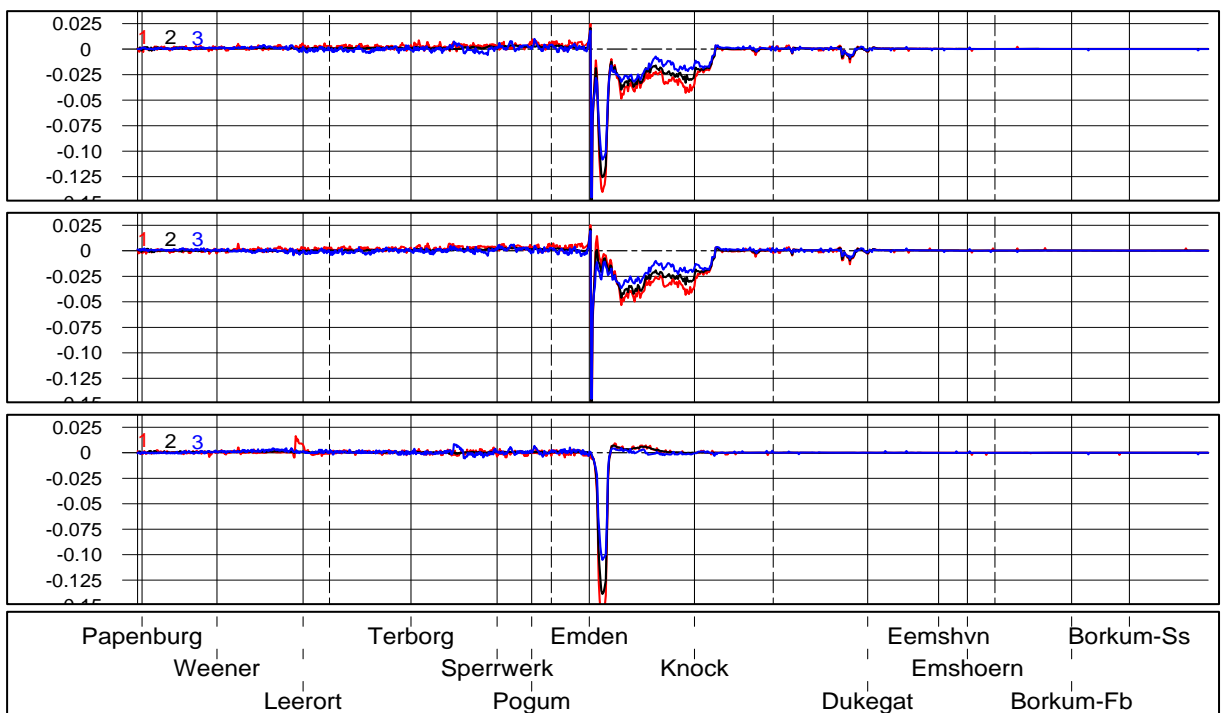
**Bild 6: Ausbaubedingte Änderung des Tidehochwassers [m].**



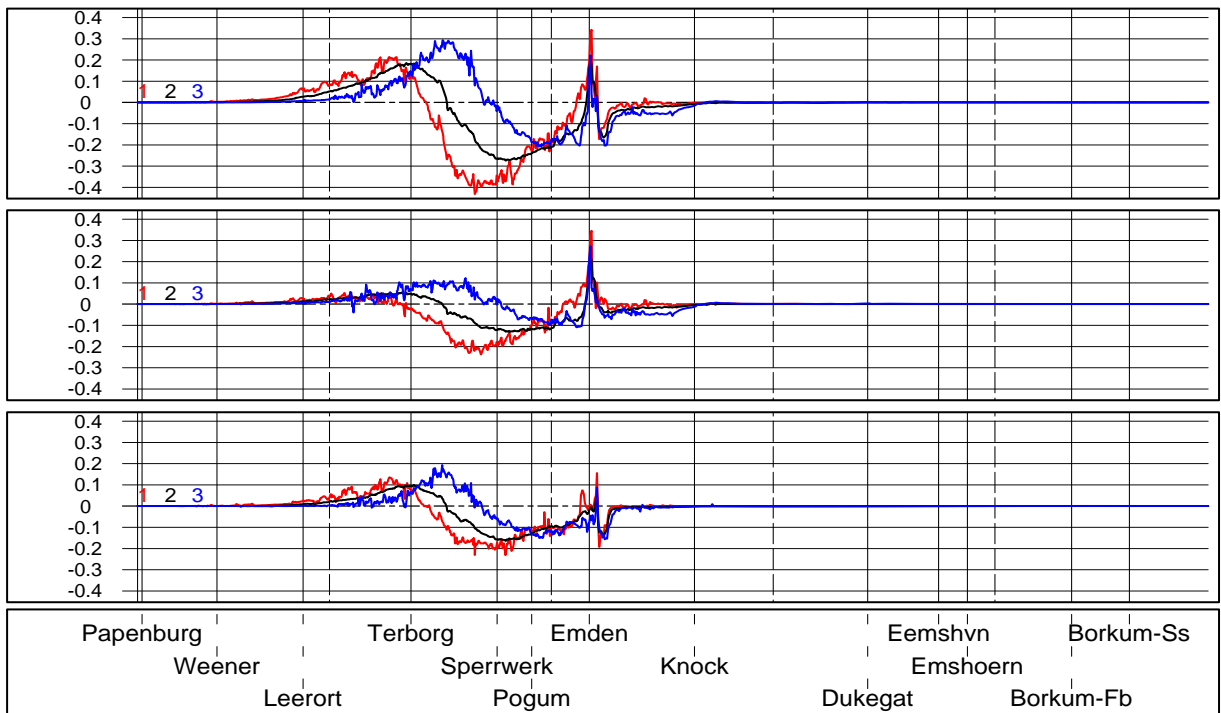
**Bild 7: Ausbaubedingte Änderung des Tideniedrigwassers [m].**



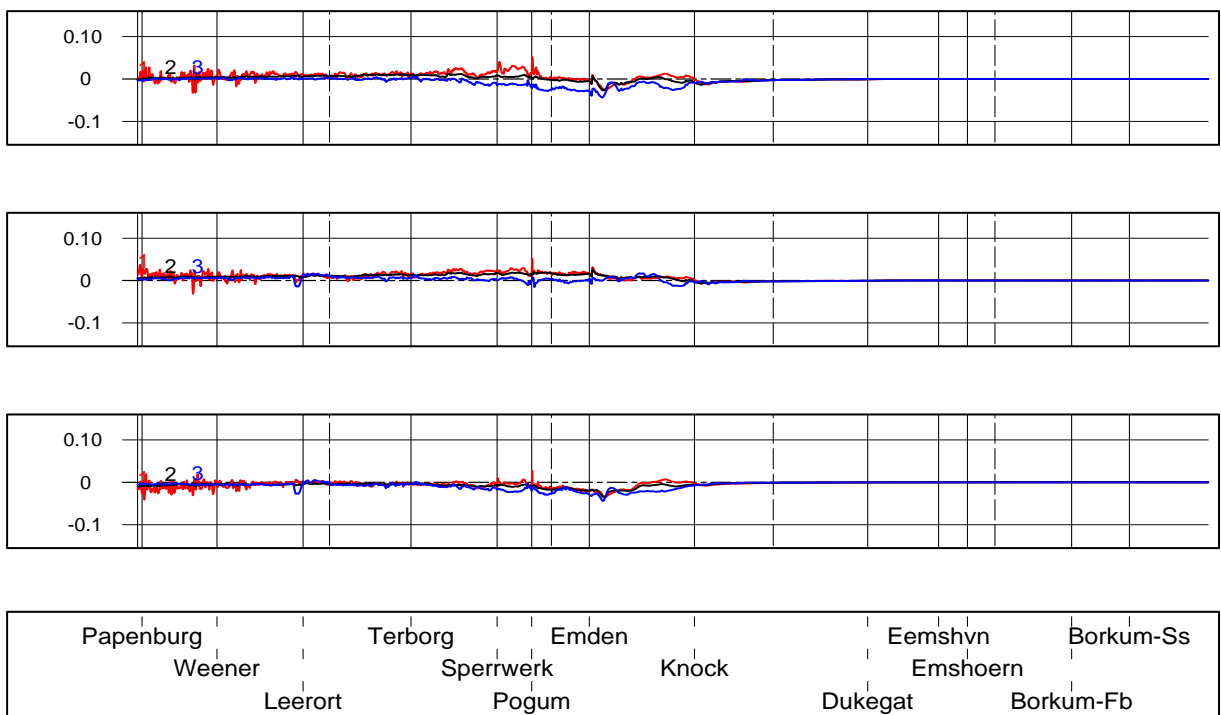
**Bild 8: Ausbaubedingte Änderung der mittleren Flutstromgeschwindigkeit [m/s].**



**Bild 9: Ausbaubedingte Änderung der mittleren Ebbestromgeschwindigkeit [m/s].**



**Bild 10: Ausbaubedingte Änderung des maximalen Salzgehalts [PSU].**



**Bild 11: Ausbaubedingte Änderung des mittleren Schwebstoffgehalts [kg/m³].**

Mit dieser Analyse kann die Wirkung der Wendestelle mit ihren geplanten Dimensionen gegenüber der Fahrrinnenvertiefung, die sich teilweise in einem minimalen Bereich bewegen verglichen werden. Der Einfluss der jeweiligen Ausbaukomponenten auf die oben dargestellten Tidekennwerte ist in der Tabelle 1 zusammengefasst worden.

Parameter	Wendestelle (AZ1-NWS)	Fahrwasservertiefung (AZ1-OWS)
$\Delta Thw$ (Bild 6)	Nahezu kein Einfluss	erkennbarer Einfluss, aber insgesamt minimal
$\Delta Tnw$ (Bild 7)	Absenkung im WS-Bereich sowie Unterems	im Bereich der Vertiefung leicht angehoben, ansonsten abgesenkt; gleicher Einfluss wie WS
$\Delta V_{F \text{ mit.}}$ (Bild 8)	Abnahme im WS-Bereich; Erhöhung Emden - Pogum	Abnahmen zwischen Emden und Knock
$\Delta V_{E \text{ mit.}}$ (Bild 9)	Abnahme im WS-Bereich; Erhöhung Emden - Knock	Abnahmen zwischen Emden und Knock
$\Delta S_{\text{max}}$ (Bild 10)	Veränderungen nur oberhalb WS; stärker als Vertiefung	Veränderungen nur oberhalb der Vertiefung; schwächer als WS
$\Delta SPM_{\text{mit}}$ (Bild 11)	Abnahmen von Terborg bis Knock	Erhöhung stromauf von Emden

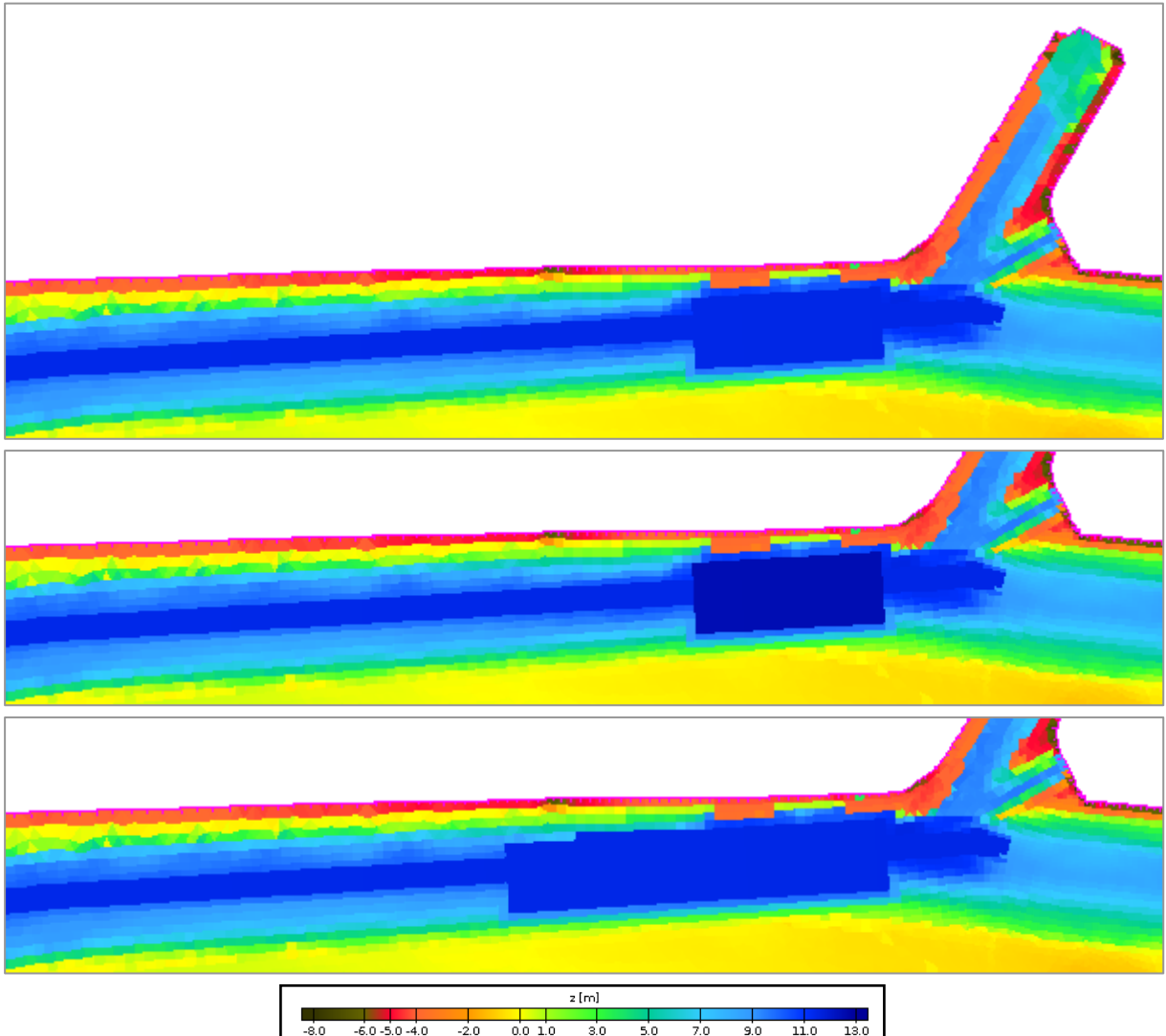
**Tabelle 1: Einfluss der Ausbaukomponenten auf die ausbedingte Änderung**

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass durch den Bau der Wendestelle bei Emden eine lokale Aufweitung hergestellt wird, die zu einer lokalen Abnahme der Strömungsgeschwindigkeit führt. Als Folge dieser Unstetigkeit nimmt der Schwebstoffgehalt bei der Wendestelle ab, was auf eine verstärkte Sedimentation in diesem Umfeld hinweist. Die geplante Vertiefung der Zufahrt nach Emden dagegen führt stromauf zu einer Erhöhung der Schwebstoffgehalte. Durch die Kombination mit der Wendestelle kann die Auswirkung der Vertiefung gedämpft werden (Bild 11).

#### 4.1.2 Optimierung der geplanten Wendestelle

Der positive Effekt der geplanten Wendestelle auf die Auswirkungen der geplanten Vertiefung der Zufahrt nach Emden weist auf ein Optimierungspotential hin. Darum soll der Einfluss der Dimensionierung der Wendestelle auch im Hinblick auf die Nutzung als Sedimentfang näher untersucht werden. Hierfür sind 2 Varianten der Wendestelle konstruiert worden:

1. eine um 1 Meter zusätzlich vertiefte Wendestelle (Bild 12 Mitte) und
2. eine mit 1800 m doppelt lange Wendestelle (Bild 12 unten).



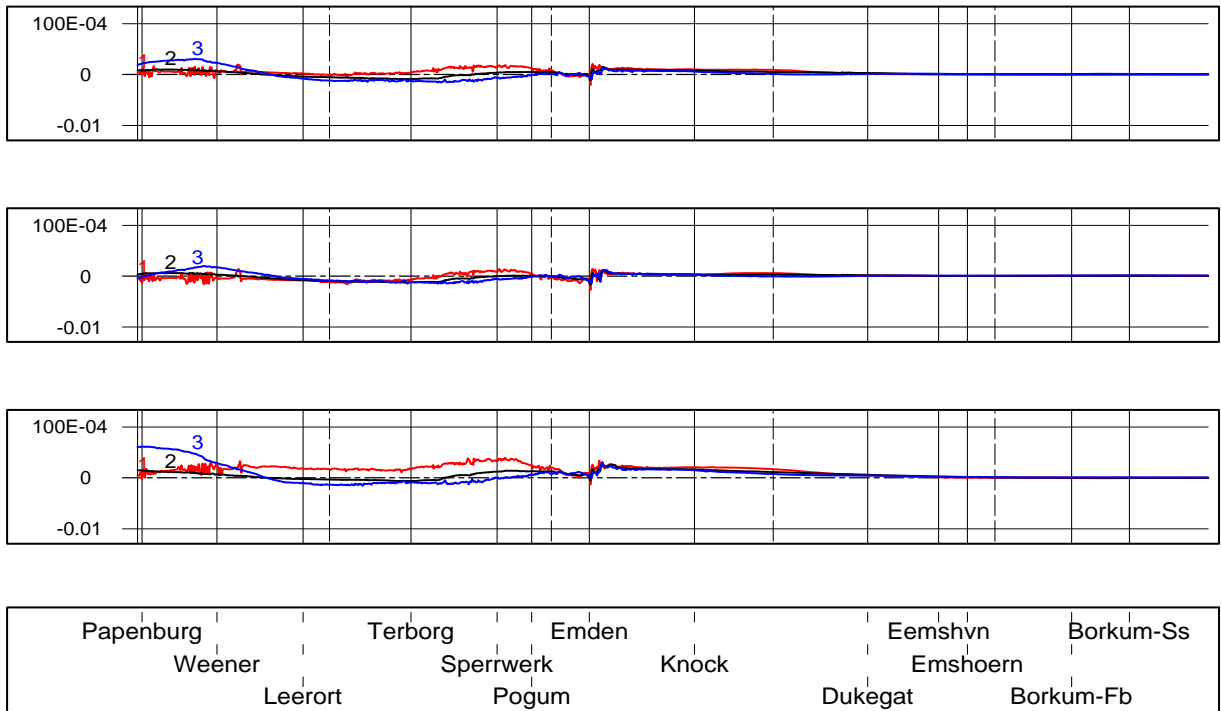
**Bild 12: Wendestelle bei Emden. Bild oben die geplante Variante. Bildmitte die um 1 Meter vertiefte Variante. Bild unten die doppelt lange Wendestelle.**

Die Untersuchung, Analyse und Darstellung im Rahmen dieser Untersuchung erfolgt analog zur Prüfung der Wendestelle (s. o.). Als Vergleichszustand dient bei dieser Untersuchung aber der geplante Ausbauzustand AZ1. Die folgenden Bilder zeigen:

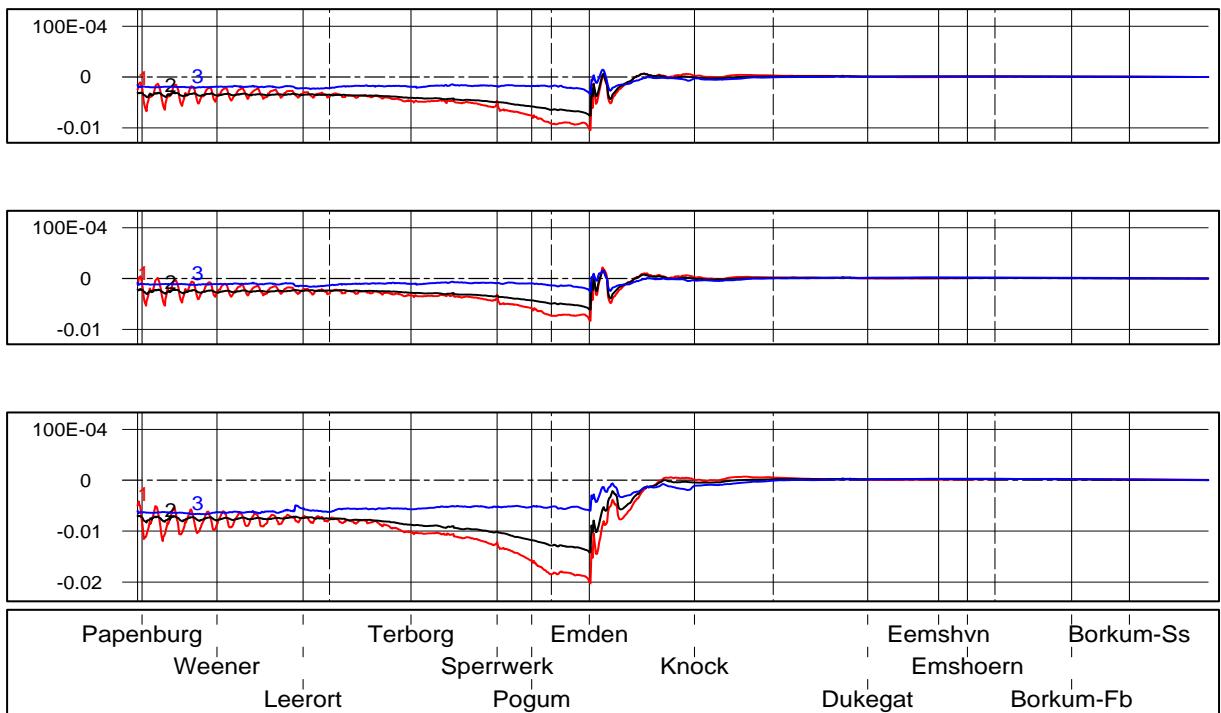
Oben: Die Differenz zwischen der geplanten Vertiefung mit Wendestelle und dem planerischen Soll-Ist-Zustand 2 (AZ1 – PS2),

Mitte: Die Differenz zwischen geplanter Vertiefung mit einen Meter tieferer Wendestelle und planerischem Soll-Ist-Zustand 2 (AZ1-1TWS – PS2) und

Unten: Die Differenz zwischen geplanter Wendestelle mit doppelt langer Wendestelle und planerischem Soll-Ist-Zustand 2 (AZ1-DLWS – PS2).

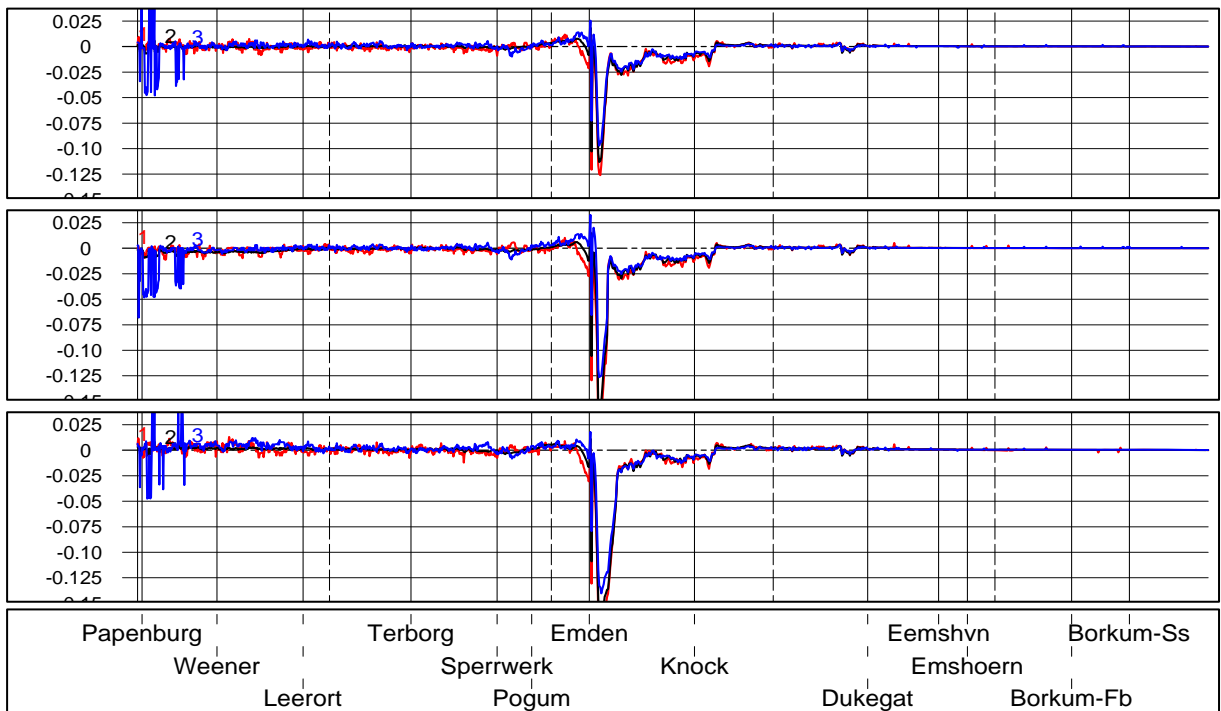


**Bild 13: Ausbaubedingte Änderung des Tidehochwassers [m]**

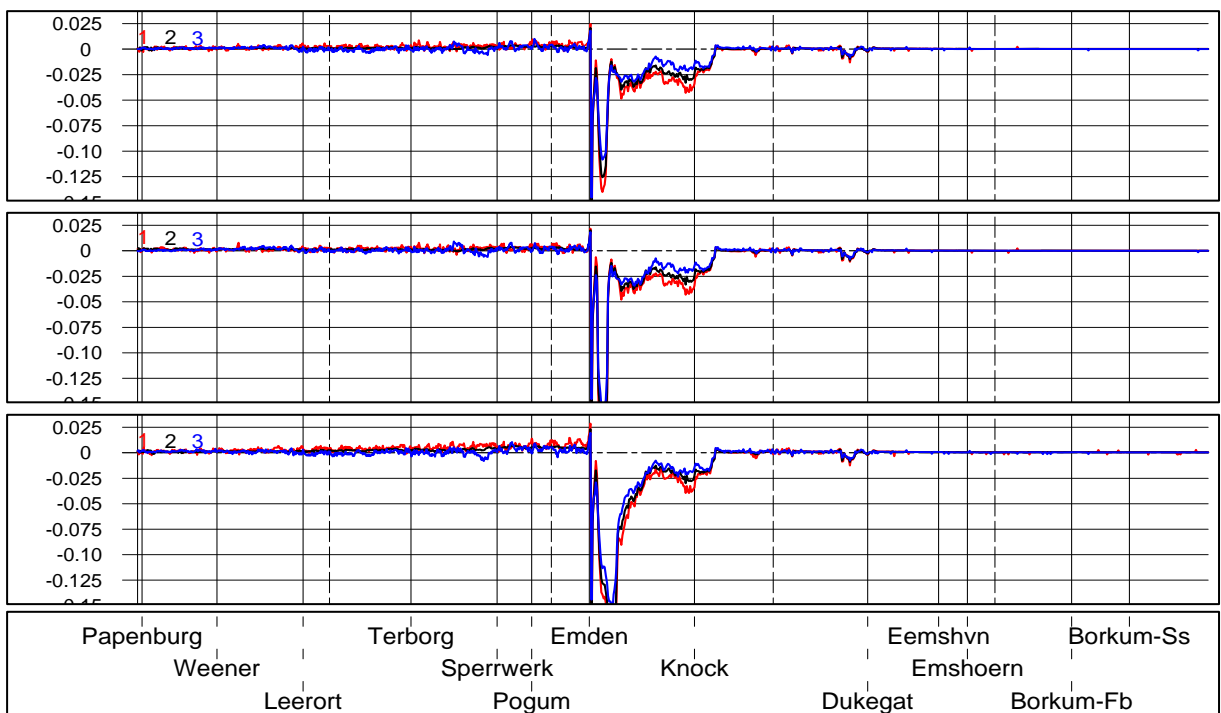


**Bild 14: Ausbaubedingte Änderung des Tideniedrigwassers [m]**

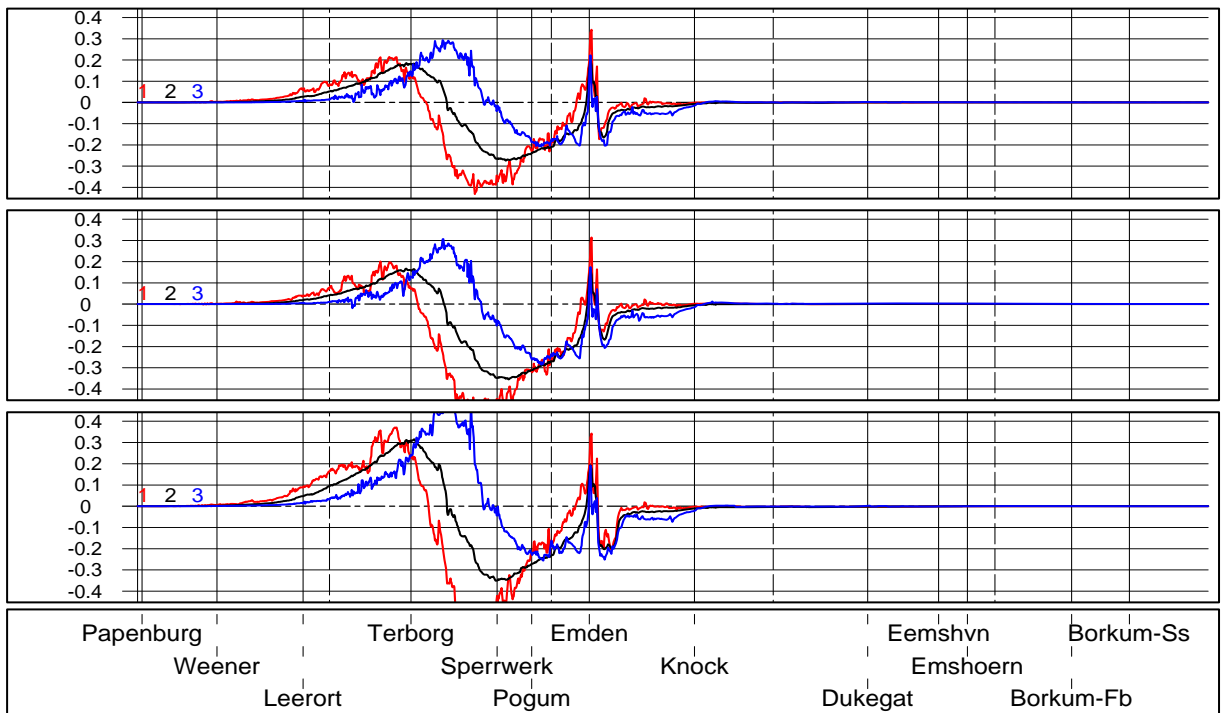




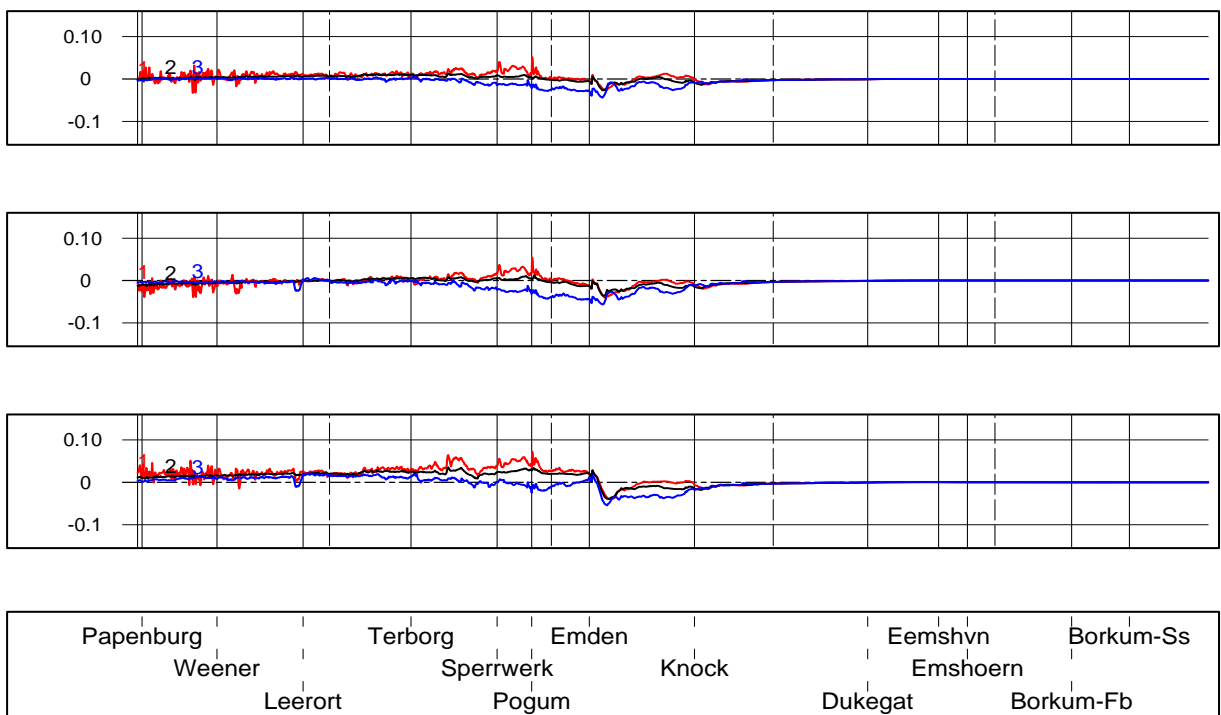
**Bild 15: Ausbaubedingte Änderung der mittleren Flutstromgeschwindigkeit [m/s]**



**Bild 16: Ausbaubedingte Änderung der mittleren Ebbestromgeschwindigkeit [m/s]**



**Bild 17: Ausbaubedingte Änderung des maximalen Salzgehalts [PSU]**



**Bild 18: Ausbaubedingte Änderung des mittleren Schwebstoffgehalts [kg/m³]**

Der Einfluss der Dimensionierung der geplanten Wendestelle auf die oben dargestellten Tidekennwerte ist in der Tabelle 2 zusammengefasst worden.

Parameter	1 m tiefere Wendestelle (1TWS)	Doppeltlange Wendestelle (DLWS)
$\Delta Thw$ (Bild 13)	Nahezu kein Einfluss	Zunahmen der ausbaubedingte Änderung
$\Delta Tnw$ (Bild 14)	Nahezu kein Einfluss	Verdoppelt die ausbaubedingte Änderung
$\Delta V_{F \text{ mit.}}$ (Bild 15)	Stärkere Abnahme im WS-Bereich	Stärkere Abnahme im WS-Bereich
$\Delta V_{E \text{ mit.}}$ (Bild 16)	Stärkere Abnahme im WS-Bereich	Stärkere Abnahme im WS-Bereich; Einfluss nach oberstrom
$\Delta S_{\text{max}}$ (Bild 17)	Geringer Einfluss	Zunahmen der ausbaubedingten Änderung oberhalb des Emssperrwerks
$\Delta SPM_{\text{mit}}$ (Bild 18)	Tendenzielle Verbesserungen	Abnahmen im Emden Fahrwasser; Zunahmen stromauf von Emden

**Tabelle 2: Einfluss der Dimensionierung der Wendestelle**

Die Ergebnisse zeigen, dass eine Verlängerung der Wendestelle weniger Potential birgt als eine Vertiefung. Teilweise führt die verlängerte Variante sogar zu einer Verschlechterung der Auswirkungen. Durch das Absinken des Tideniedrigwassers wird die Asymmetrie der Tidekurve verstärkt. Dies hat zur Folge, dass der Salz- und Schwebstoffgehalt in der Unterems durch die Verlängerung der Wendestelle zusätzlich erhöht wird.

Die vertiefte Variante bewirkt eine Zunahme der Sedimentation im Bereich der Wendestelle, was zu einer zusätzlichen Verringerung des Schwebstoffgehalts in der Unterems führt.

#### 4.1.3 Zusammenfassung

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass eine Wendestelle bedingt durch eine lokale Aufweitung zu einer Abnahme der Strömungsgeschwindigkeit und damit zur Sedimentation von Material führt. Dadurch nimmt der stromaufwärts gerichteten Sedimenttransport in die Unterems ab, was als positiver Einfluss gewertet wird. Die Wassertiefe hat dabei einen größeren Einfluss auf diesen Prozess als die Wendestellenlänge. In dem untersuchten Fall würde die Umsetzung der vertieften Variante zu einer Erhöhung der Erstbaggermengen von 15 %, die verlängerte Variante von 33 % führen. Der geringere Aufwand zur Herstellung wird als zusätzlicher positiver Effekt der vertieften Variante gesehen.

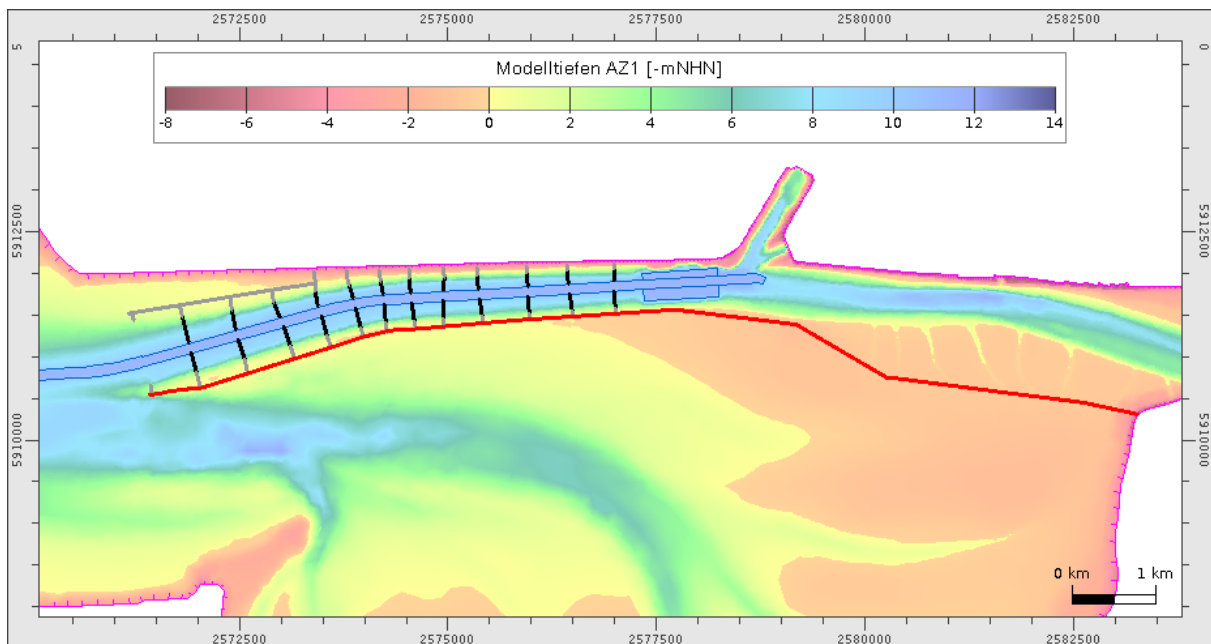
Die Ausbildung der Wendestelle als Sedimentfang hat den Vorteil, dass sie bewirtschaftet werden kann. D. h. das sedimentierte Material könnte immer dann entnommen werden,

wenn es ökonomisch oder ökologisch sinnvoll ist. Die Herstellung als Sedimentfang ist aber nur dann zweckmäßig, wenn das abgelagerte Material möglichst außerhalb des Systems verbracht wird, also an Land oder weit in Richtung Nordsee.

## 4.2 Strombau

Strombaumaßnahmen sollen ebenfalls untersucht werden, um mögliche negative Umweltauswirkungen der geplanten Vertiefung der Zufahrt nach Emden mit einer Wendestelle zu minimieren. Dafür werden für eine Grundsatzuntersuchung 2 unterschiedliche Maßnahmen in die Topographie des geplanten Ausbaus eingebaut, die schon Gegenstand der Untersuchung zur Anpassung des Emders Fahrwassers (BAW 1999) waren:

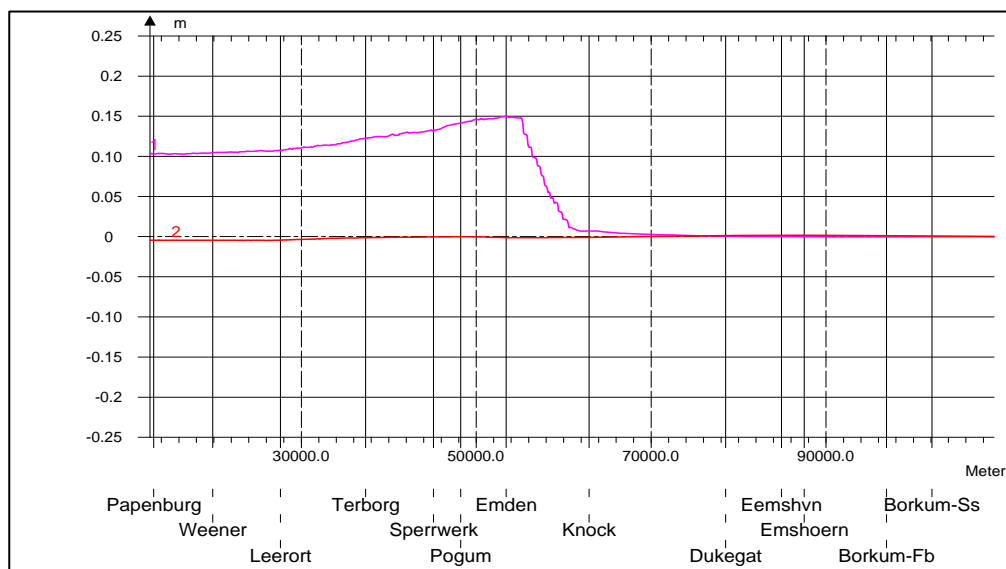
1. Der Geiseleitdamm wird auf ganzer Länge von der Geisespitze im Westen bis zum Deichanschluss bei Pogum auf eine Höhe gezogen, so dass ein Wasseraustausch zwischen Emders Fahrwasser und Unterems im Norden und Dollart im Süden zu jeder Tidephase unterbunden ist (südliche rote Linie in Bild 19).
2. Querschnittseinengung im Bereich des Emders Fahrwasser durch Verlängerung der Fahrwasserbuhnen (schwarze Linien in Bild 19).



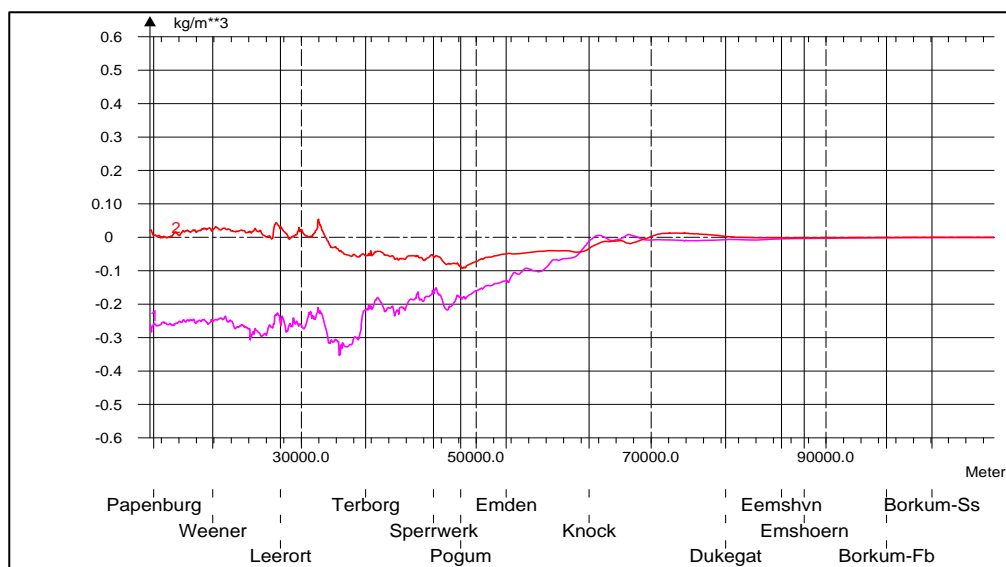
**Bild 19: Strombau im Emders Fahrwasser. Die rote Linie stellt den geschlossenen Geiseleitdamm dar und die schwarzen Linien die den Fließquerschnitt einengende verlängerten Buhnen.**

Bei der Maßnahme geschlossener Geiseleitdamm „GLD zu“ ist die Höhe des Geiseleitdamms im Modell auf NHN +8 m gesetzt und das Material als undurchströmbar definiert. Für die zweite Strombauvariante wurden die im Emders Fahrwasser vorhandenen Buhnen vom ursprünglichen Buhnenkopf bis zur Fahrrinnenbegrenzung verlängert. Dabei ist die Buhnen-

wurzel auf NHN +1 m und der Bühnenkopf auf NHN -8 m bemessen und linear verbunden worden. Für die Modellsimulationen sind beiden Strombaumaßnahmen in den geplanten Ausbauzustand AZ1 integriert worden. Die Ergebnisse aus der Simulation dieser Ausbauvarianten sind mit den Ergebnissen aus der Simulation des planerischen Soll-Ist-Zustands PS2 (Vergleichszustand) wie in 4.1.1 verglichen und dargestellt worden. Exemplarisch werden die ausbaubedingten Änderungen des Tideniedrigwassers in Bild 20 und in Bild 21 die des mittleren Schwebstoffgehaltes dargestellt. Die rote Kurve zeigt die Differenzen zwischen der Variante mit einem geschlossenen Geiseleitdamm und dem Vergleichszustand sowie in Magenta die Differenzen zwischen der Variante mit den verlängerten Fahrwasserbuhnen.



**Bild 20: Ausbaubedingte Änderung des mittleren Tideniedrigwassers.**



**Bild 21: Ausbaubedingte Änderung des mittleren Schwebstofftransportes**

Die Ergebnisse aus der Simulation mit einem geschlossenen Geiseleitdamm zeigen, dass der ausbaubedingt, tendenziell erhöhte Stromauftransport von Schwebstoffen erhalten bleibt und das Tideniedrigwasser nicht gestützt wird.

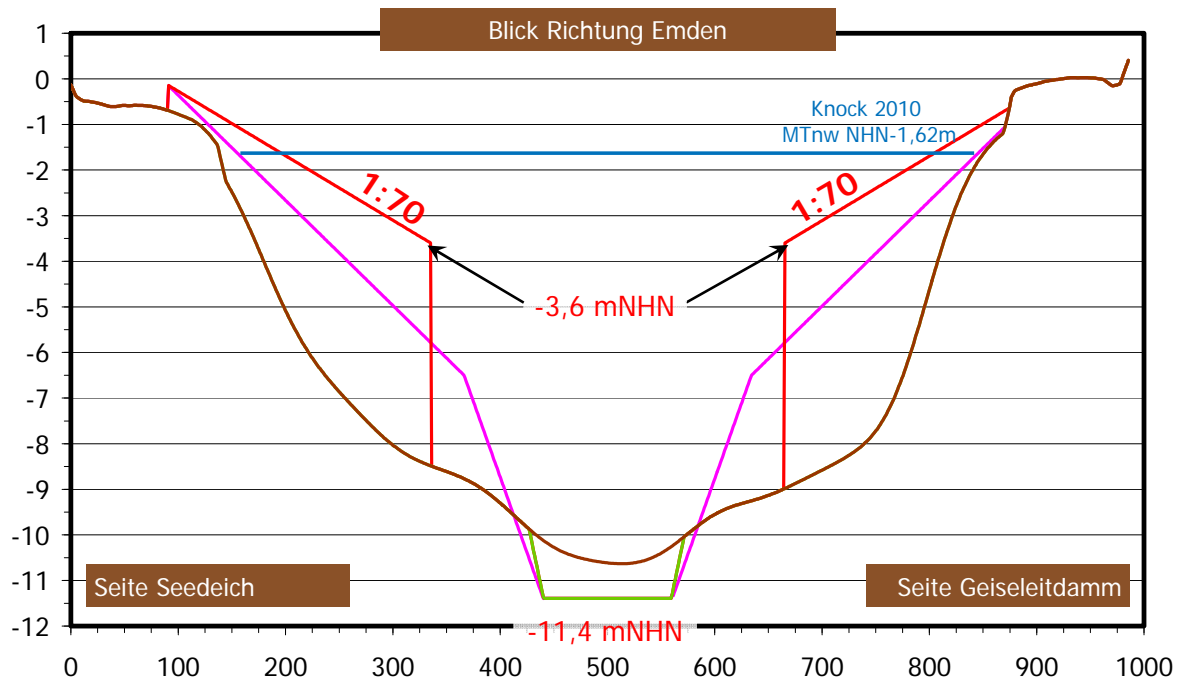
Dagegen führt die Verlängerung der Fahrwasserbuhnen zu einer Anhebung des Tideniedrigwassers um bis zu 15 cm bei Emden. Dadurch wird das Strömungsklima in der Unterems gedämpft. Insgesamt führt dies zu einer deutlichen Reduzierung des Schwebstoffeintrages in die Unterems. Die ausbaubedingte Verschlechterung in der Unterems würde mit dieser Maßnahme mehr als kompensiert.

Buhnen die bis an das Fahrwasser heranreichen sowie die daraus resultierenden hohen Strömungsgeschwindigkeiten werden aus nautischer und wasserbaulicher Sicht (Erosion an Buhnen) jedoch als problematisch bewertet. In der Idee der Querschnittseinengung („Bremsbacken“) wird aber die Möglichkeit gesehen, die zu erwartenden Umweltauswirkungen bezogen auf die Unterems zu minimieren oder sogar zu kompensieren. Deshalb sollen wasserbaulich schwächer ausgeprägte Varianten weiter untersucht werden.

#### **4.2.1 Optimierte verlängerte Strombuhnen im Emden Fahrwasser**

Da mit dem Strombau die Auswirkungen des Ausbaus nicht überkompensiert werden sollen, wird die Anzahl der verlängerten Fahrwasserbuhnen auf ein Paar reduziert, die im Westen am Eingang zum Emden Fahrwasser platziert werden. Dabei hat sich die vorliegende Untersuchung auf 2 Varianten konzentriert:

1. Die kleine wasserbaulich optimierte Variante (AZ1-SK): Die Buhnen haben von der Buhnenwurzel bis zum Buhnenkopf eine Böschungsneigung von 1:43. Die Höhe des Buhnenkopfes liegt bei NHN -6,5 m. Die Böschungsneigung vom Buhnenkopf in Richtung Fahrrinne ist 1:15 (in Magenta Bild 22).
2. Die kurze nautisch optimierte Variante (AZ1-SN2xs): Die Buhnen haben von der Buhnenwurzel bis zum Buhnenkopf eine Böschungsneigung von 1:70. Die Höhe des Buhnenkopfes liegt bei NHN -3,6 m. Die vorgegebene Böschungsneigung vom Buhnenkopf zum Buhnenfuß von 1:3 ist im Modell bei gegebener horizontaler Auflösung des Gitternetzes nicht realisierbar, so dass der Buhnenfußpunkt im Modell einen Abstand von ca. 86 m zum Tonnenstrich hat. Der vorgegebene Abstand beträgt 50 m. Damit ist die im Modell hergestellte Querschnittseinengung etwas geringer als die, die sich durch Vorgabe eingestellt hätte (in Rot Bild 22).

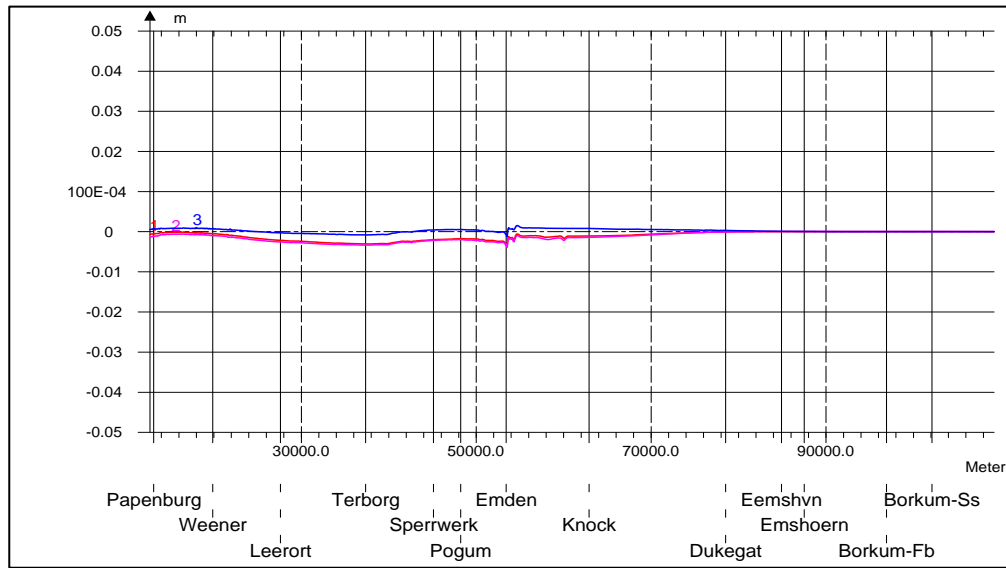


**Bild 22: Schematisches Querprofil der untersuchten Buhnenvarianten: die wasserbaulich optimierte Variante in Magenta und in Rot die nautisch optimierte Variante. Die braune Linie ist die Wassertiefe aus dem DGM 2005 und die grüne die geplante Vertiefung der Zufahrt nach Emden. Auf der x-Achse ist die Profillänge in Metern angegeben und auf der y-Achse die Wassertiefe in m NHN.**

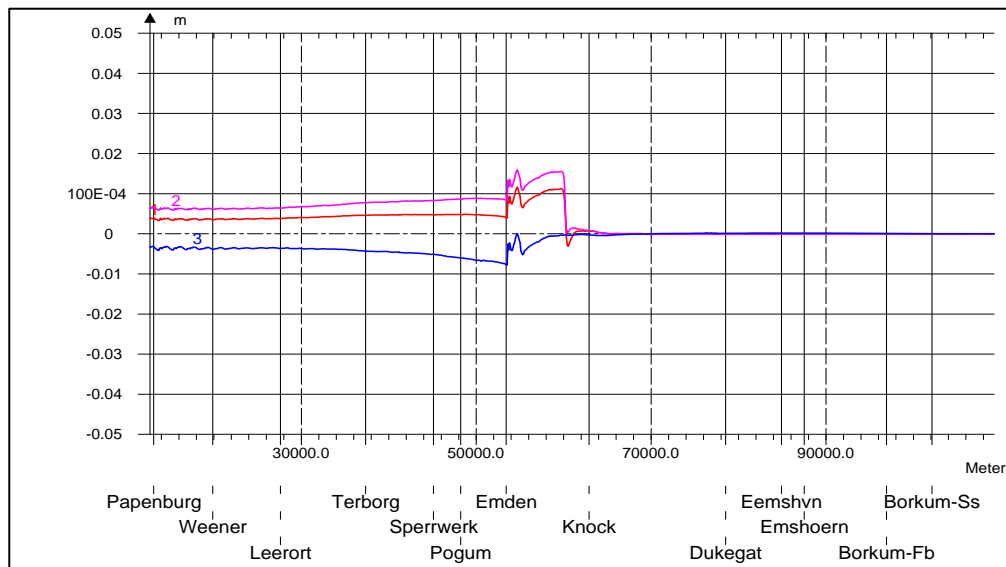
Für die Untersuchung werden diese beiden Strombauvarianten in die Modelltopographie des geplanten Ausbauszustands AZ1 eingebaut. Die Simulationen werden so wie in Kapitel 3.6 beschrieben durchgeführt. Die anschließende Analyse und Darstellung der Ergebnisse erfolgt analog zu der in Kapitel 4.1.1.

Von Bild 23 bis Bild 28 ist die Differenz des Mittelwertes über den Analysezeitraum des jeweiligen Tidekennwertes bezogen auf den planerischen Soll-Ist-Zustand PS2 dargestellt:

- in Blau die Differenz zwischen Ausbauszustand und dem planerischen Soll-Ist-Zustand 2 (AZ1 – PS2),
- in Magenta die Differenz zwischen Ausbauszustand mit wasserbaulich optimierten Strombau und planerischem Soll-Ist-Zustand 2 (AZ1-SK – PS2) und
- in Rot die Differenz zwischen Ausbauszustand mit nautisch optimierten Strombau und planerischem Soll-Ist-Zustand 2 (AZ1-SN2xs – PS2).

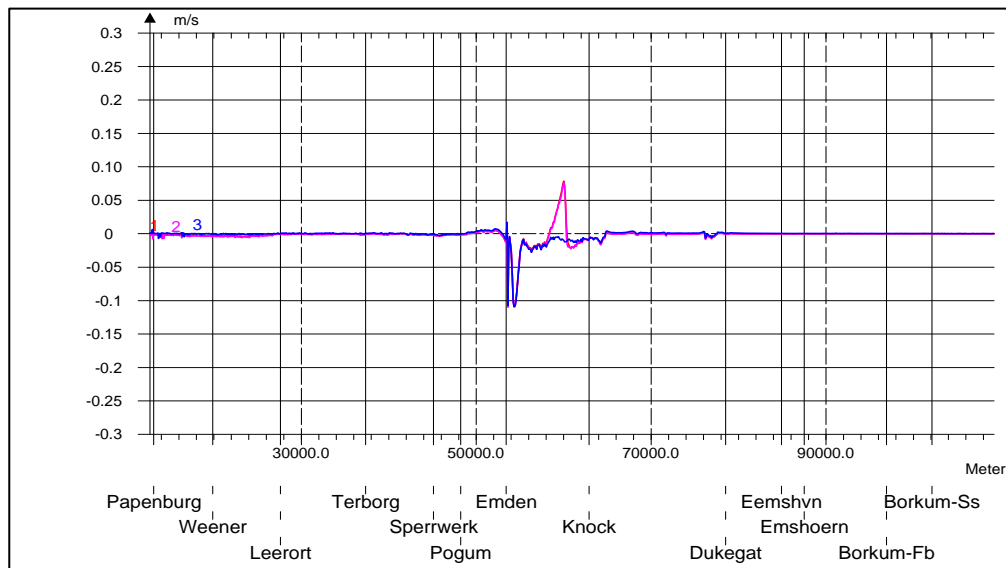


**Bild 23: Ausbaubedingte Änderung des Tidehochwassers [m]**

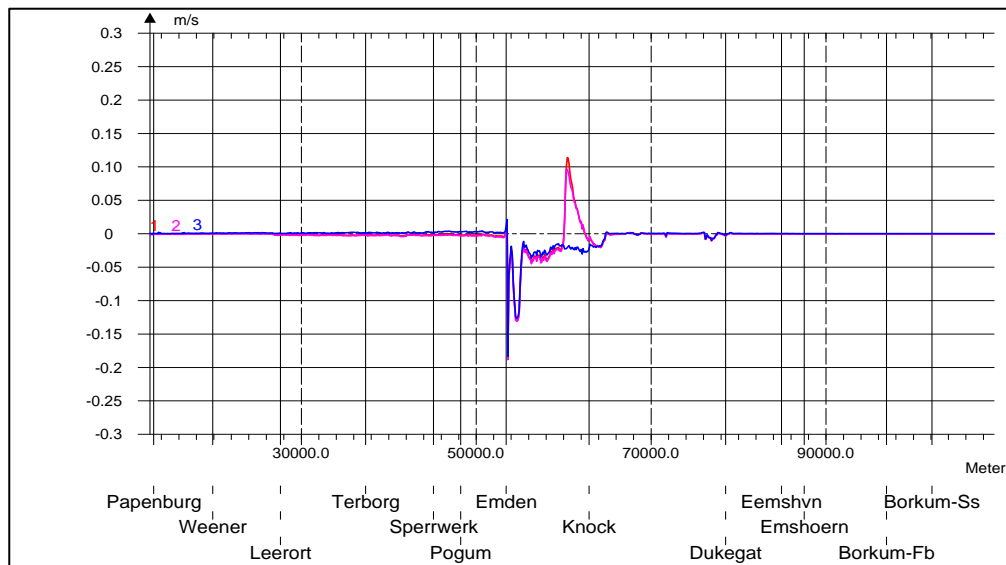


**Bild 24: Ausbaubedingte Änderung des Tideniedrigwassers [m]**

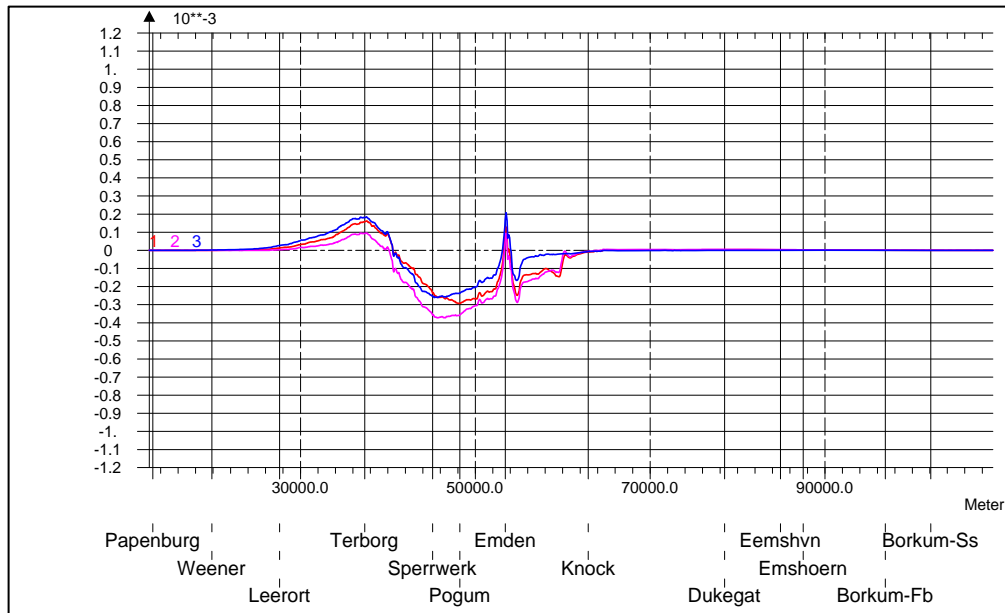




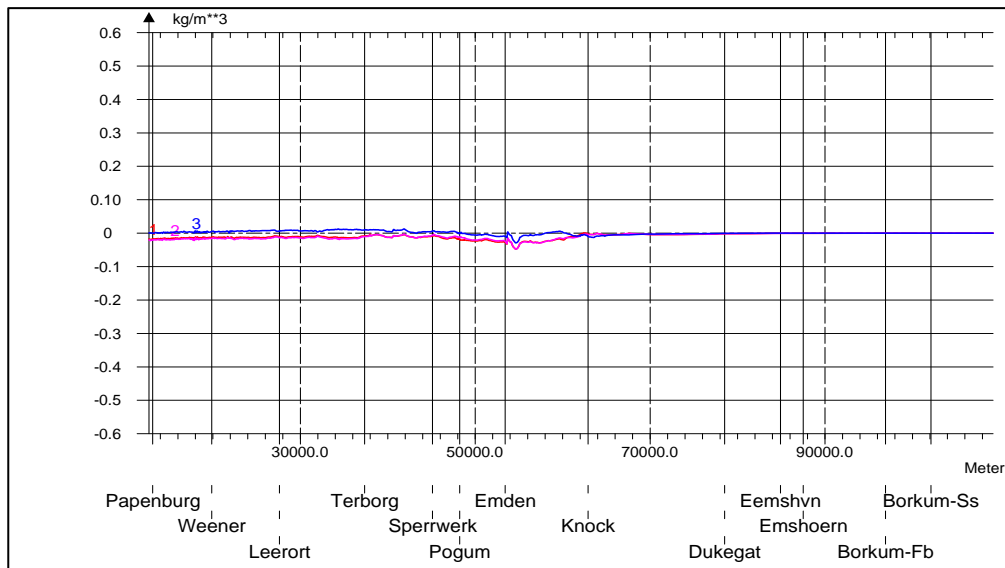
**Bild 25: Ausbaubedingte Änderung des mittleren Flutstromgeschwindigkeit [m/s]**



**Bild 26: Ausbaubedingte Änderung des mittleren Ebbestromgeschwindigkeit [m/s]**



**Bild 27: Ausbaubedingte Änderung des maximalen Salzgehalts [PSU]**



**Bild 28: Ausbaubedingte Änderung des mittleren Schwebstoffgehalts [kg/m³]**

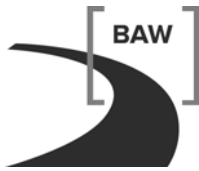
Neben den von Bild 23 bis Bild 28 dargestellten Differenzen stehen noch weitere Abbildungen von zusätzlichen Tidekennwerten in der Anlage (Kapitel 6) zur Verfügung. Diese Informationen bilden die Grundlage für die in der Tabelle 3 dargestellte Bewertung des geplanten Ausbaus mit (AZ1-S) und ohne Strombaumaßnahme (AZ1) hinsichtlich der Wirkung auf die Unterems. Die Bewertung der beiden Buhnenvarianten konnte zusammen in einer Spalte (AZ1-S) erfolgen, da sie sich qualitativ kaum voneinander unterscheidet. Getrennt wurde aber die Bewertung für die Abschnitte der Unterems Emden – Leer (Em-Le) und Leer – Papenburg (Le-Pa) abgegeben. Eine negative Bewertung wird in der Tabelle 3 durch ein „-“ dargestellt, eine positive durch ein „+“ und eine neutrale durch ein „o“.

	AZ1		AZ1-S	
	Em-Le	Le-Pa	Em-Le	Le-Pa
Thw / Tnw / Tmw	o / - / -		+ / + / -	
Max. / Mittl. Flutstromgeschwindigkeiten	o / o		+ / o	
Max. / Mittl. Ebbestromgeschwindigkeiten	+ / o	o / o	- / -	- / o
Verhältnis max. Flut:Ebbe-Stromgeschwindigkeiten	+	o	+	-
Verhältnis mittl. Flut:Ebbe-Stromgeschwindigkeiten	o	+	-	+
Flut- und Ebbestromvolumen	-	o	+	o
Flut- und Ebbestromdauer	o	+	-	+
Stauwasserdauern Kf und Ke	o / o		+ / o	
Max. / Mittl. Schwebstoffgehalt	- / -		+ / +	
Advektiver Schwebstofftransport Flut- und Ebbestrom	-		+	
Advektiver Rest-Schwebstofftransport	+	o	+	+

**Tabelle 3: Bewertung der Auswirkungen des geplanten Ausbaus mit und ohne Strombaumaßnahme**

#### 4.2.2 Zusammenfassung

Allgemein kann festgestellt werden, dass ausbaubedingt das Tideniedrigwasser absinkt und damit die Asymmetrie der Tide verstärkt wird. In der Folge wird der Netto-Stromauftransport in die Unterems tendenziell erhöht. Beide in dieser Untersuchung dargestellten Strombaumaßnahmen können diese Auswirkungen kompensieren. Wobei die wasserbaulich optimierte Variante (AZ1-SK) das Tideniedrigwasser stärker anhebt als die Variante (AZ1-SNxS). Dabei sind aber die Auswirkungen auf das lokale Strömungsklima im Umfeld der untersuchten Buhnen (AZ1-SK) geringer als bei der nautisch optimierten Maßnahme (AZ1-SNxS).



Bundesanstalt für Wasserbau – Dienststelle Hamburg  
Hamburg, 25. Juli 2011

Im Auftrag

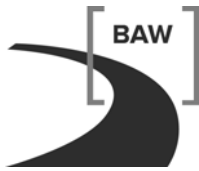
Bearbeiter

gez. Winkel

gez. Jürges

Dr. N. Winkel  
(Regierungsdirektor)

Dipl.-Ing. (FH) J. Jürges  
(Tech. Angestellter)



## 5 Literaturverzeichnis

BAW (1999): *Anpassung des Emders Fahrwassers – Schritt I. Gutachten BAW 98 53 3455*, Bundesanstalt für Wasserbau – Dienststelle Hamburg, Wedeler Landstraße 157, 22559 Hamburg. Unveröffentlicht.

BAW (2005): *SediMorph Validierungsdokument* – Technischer Bericht, Bundesanstalt für Wasserbau – Dienststelle Hamburg, Wedeler Landstraße 157, 22559 Hamburg.

BAW (2007): *Anpassungsmaßnahmen an der Unterems zur Überführung großer Werftschiffe* – Gutachten zur Untersuchung der Auswirkung einer bereichsweisen Anpassung der Unterems und des Dortmund-Ems-Kanals. Gutachten BAW A3955 03 10095, Bundesanstalt für Wasserbau – Dienststelle Hamburg, Wedeler Landstraße 157, 22559 Hamburg. Unveröffentlicht.

Lang, G. (2003): *Analyse von HN-Modellergebnissen im Tidegebiet* – BAW Mitteilungsblatt Nr. 86, Bundesanstalt für Wasserbau, Kußmaulstraße 17, 76187 Karlsruhe.

NLWKN (2008). *Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch – Weser- und Emsgebiet – 2005*. Bericht, Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küste- und Naturschutz.

RWS (2006). *Startnotiz zur Verbesserung des Fahrwassers Eemshaven - Nordsee*. Rijkswaterstaat Noord-Nederland, 11. Oktober 2006.

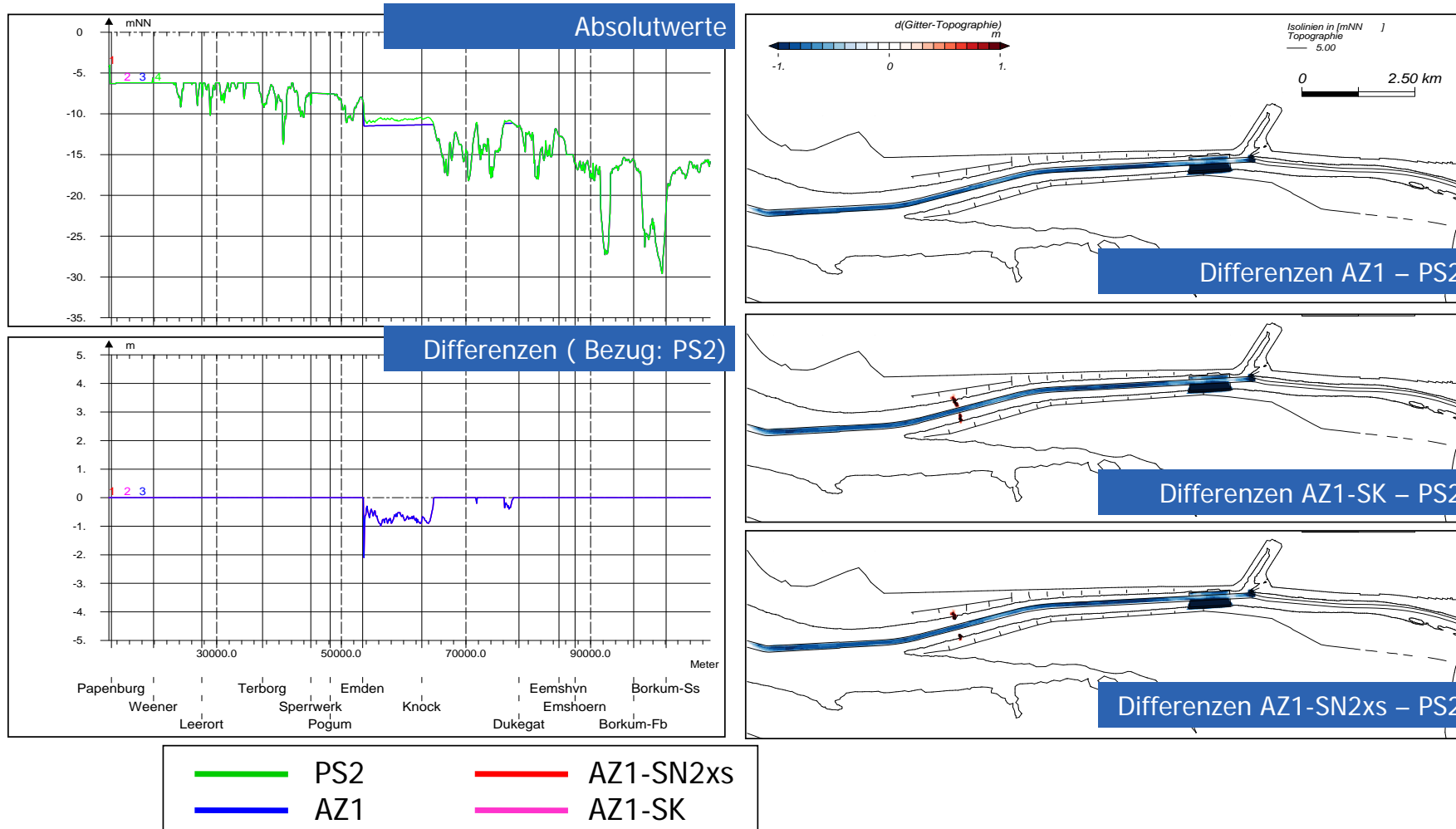
## 6 Anlagen

Diese Anlage enthält die in Kapitel 4.2.1 für die Bewertung der Strombaumaßnahmen zusätzliche Informationen. Dargestellt werden ausgewählte Tidekennwerte für den

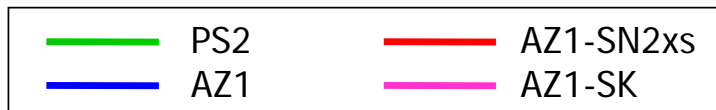
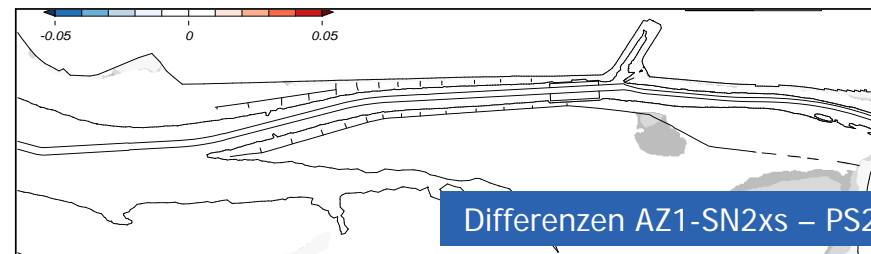
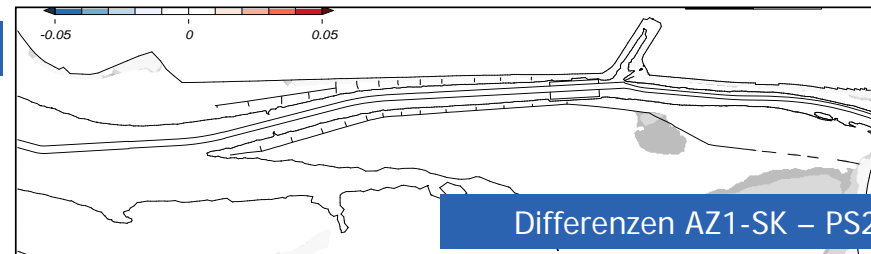
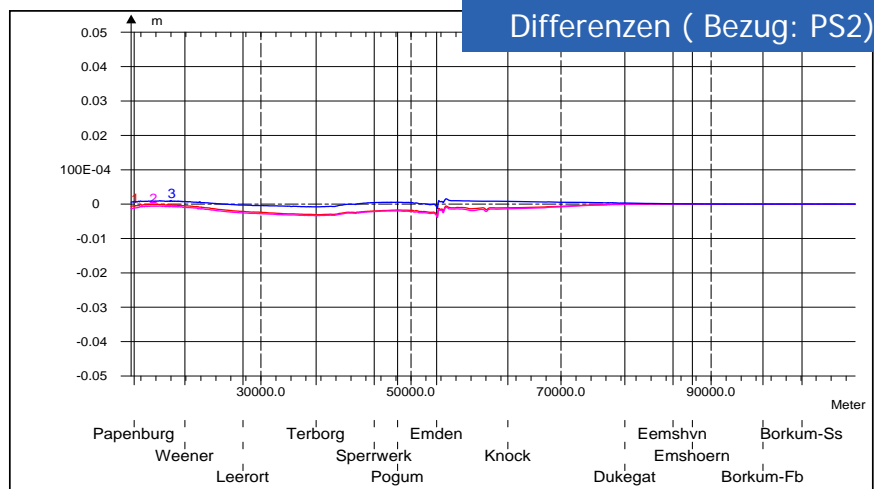
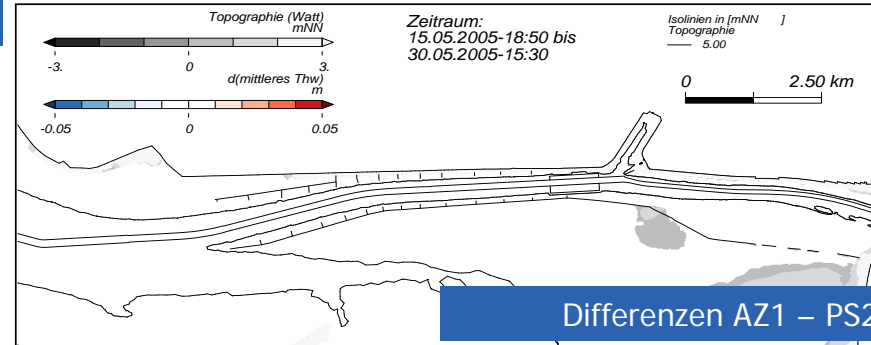
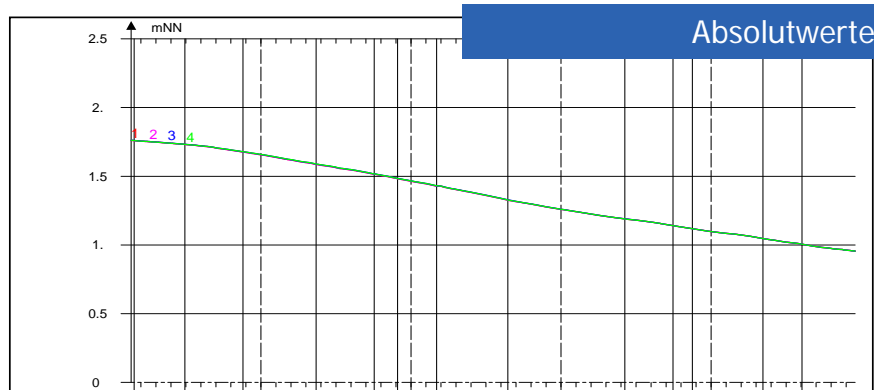
- Planerische Soll-Ist-Zustand 2 (PS2 siehe Kapitel 3.5-2),
- Ausbauzustand (AZ1 siehe Kapitel 3.5-3),
- Kurze nautisch optimierte Variante (AZ1-SN2xs siehe Kapitel 4.2-2) und
- Kleine wasserbaulich optimierte Variante (AZ1-SK siehe Kapitel 4.2-1)

Auf der linken Seite jeder Anlage sind die Tidekennwerte im Längsschnitt und flächenhaft auf der rechten Seite zu sehen. Für 4 untersuchte Zustände befinden sich oben links die Abbildungen der Absolutwerte, darunter die der Differenzen. In Grün für PS2, in Blau für AZ1, in Rot für AZ1-SN2xs sowie in Magenta für AZ1-SK und entsprechend die Differenzen mit Bezug auf PS2. Die Werte sind in Fahrrinnenmitte als Längsschnitt von Papenburg bis Borkum-Südstrand aufgetragen. Wenn die dargestellten Werte direkt aus der Fahrrinnenmitte abgegriffen worden sind, ist die Bildunterschrift mit (lp) gekennzeichnet. Sind diese integrale Werte über den Querschnitt (siehe Kapitel 3.7.2), ist der Hinweis (csi) in der Unterschrift zu finden.

Auf der rechten Seite der Anlage werden die Differenzen auch flächenhaft für den Bereich des Emdener Fahrwassers gezeigt. Die Visualisierung erfolgte wie in Kapitel 3.7.1 beschrieben.

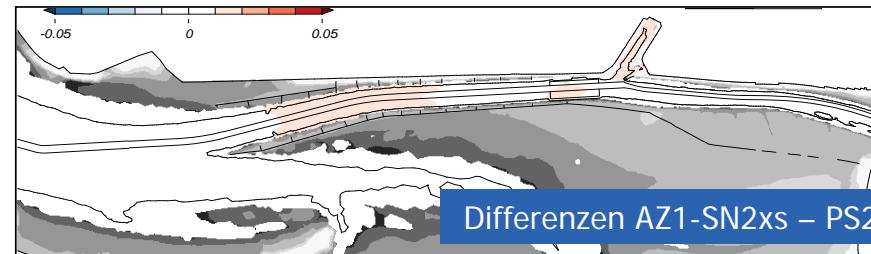
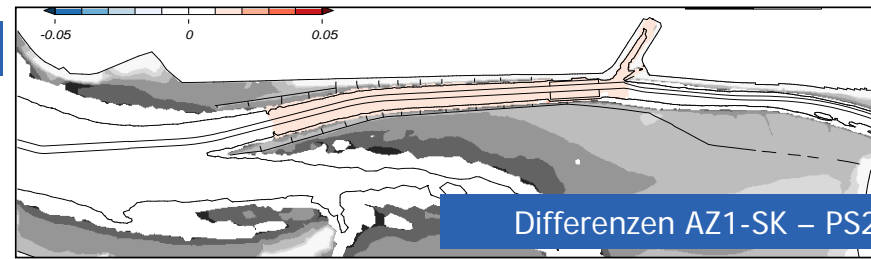
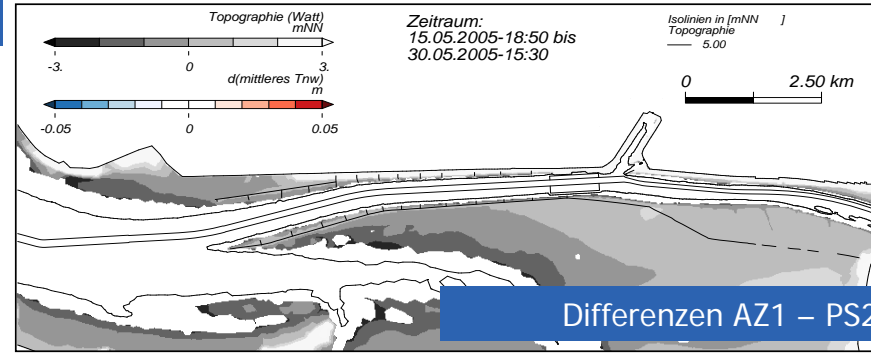
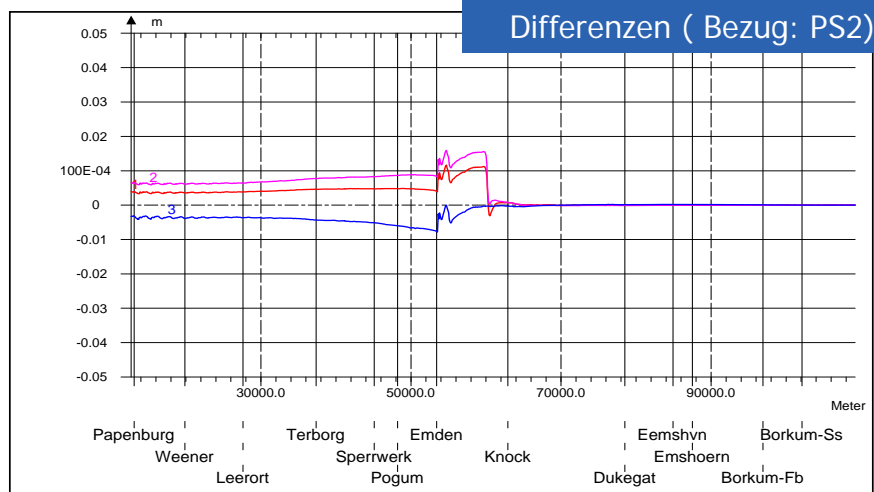
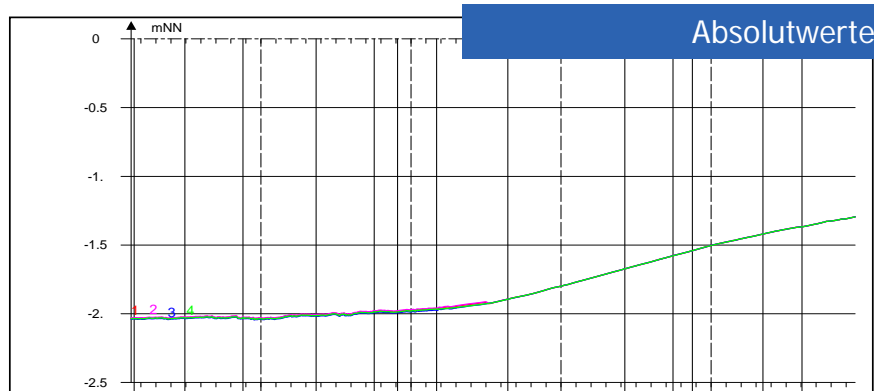


Anlage 1: Topographie (lp)

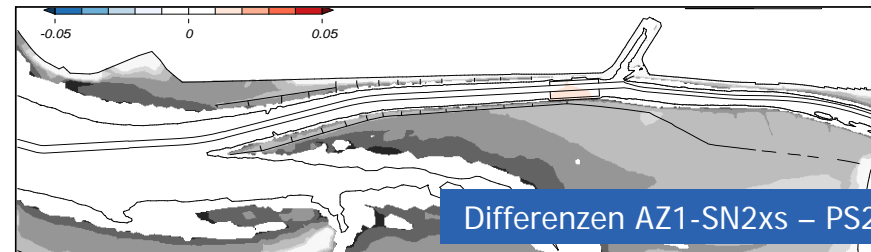
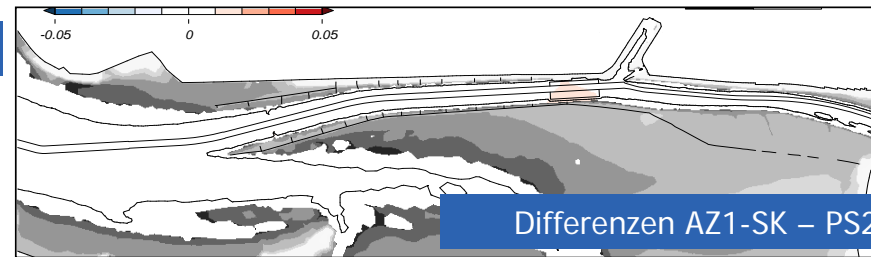
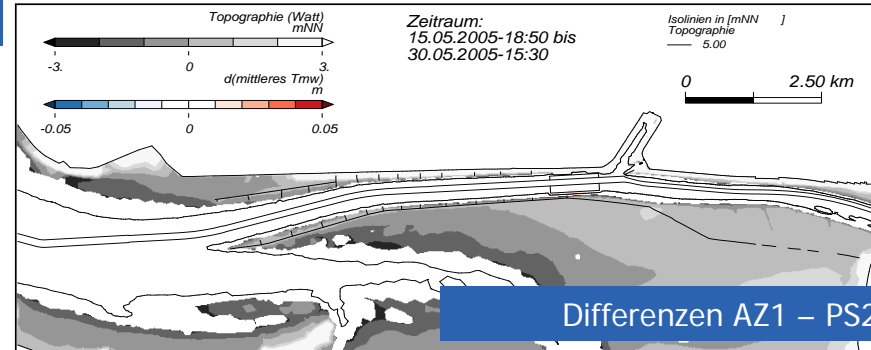
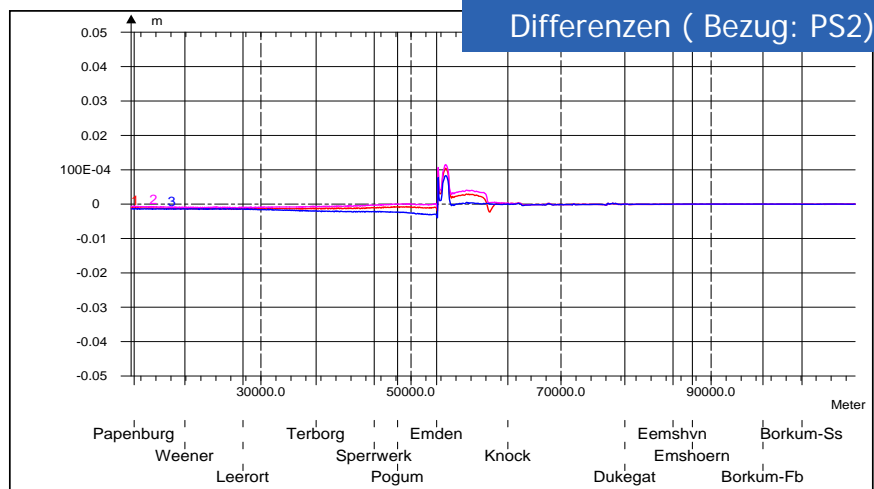
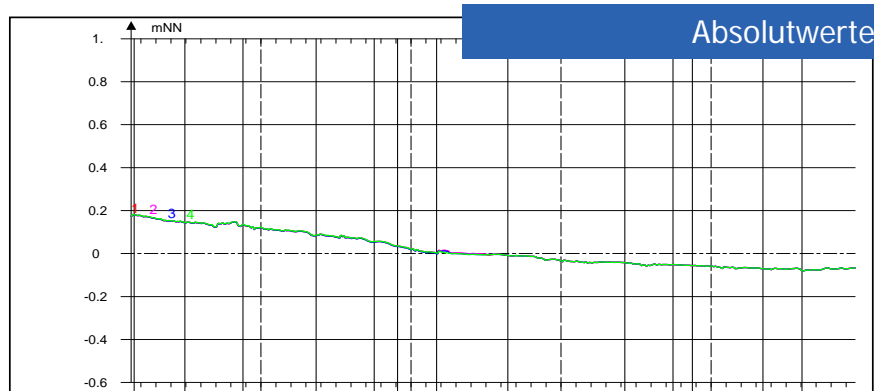


**Anlage 2: Tidehochwasser (lp)**

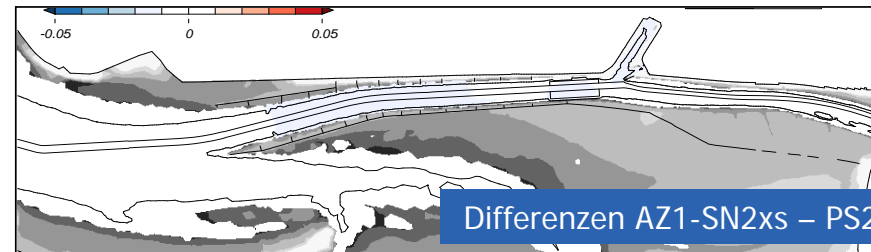
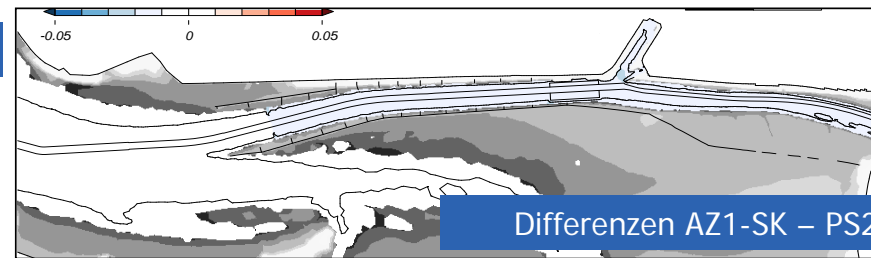
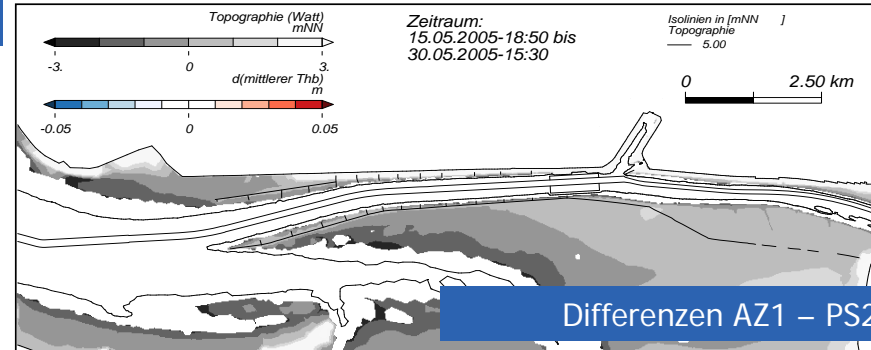
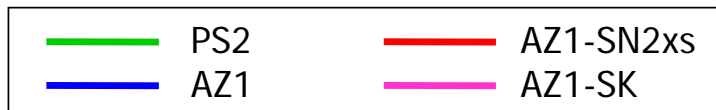
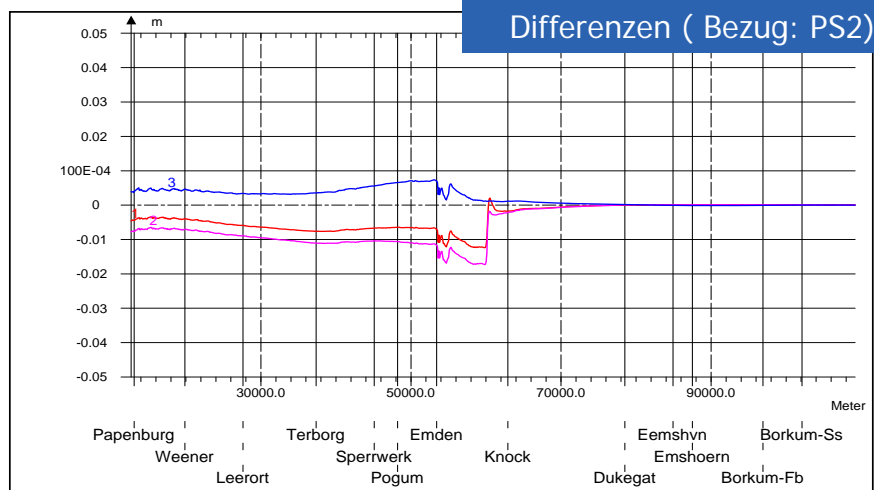
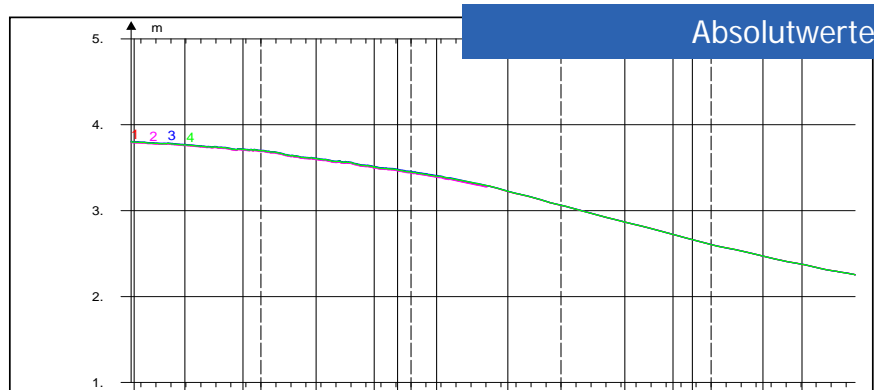




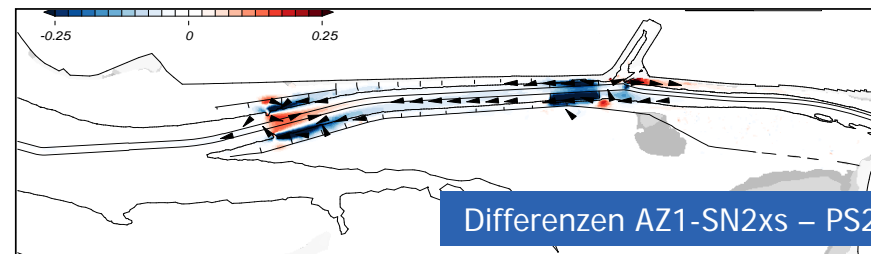
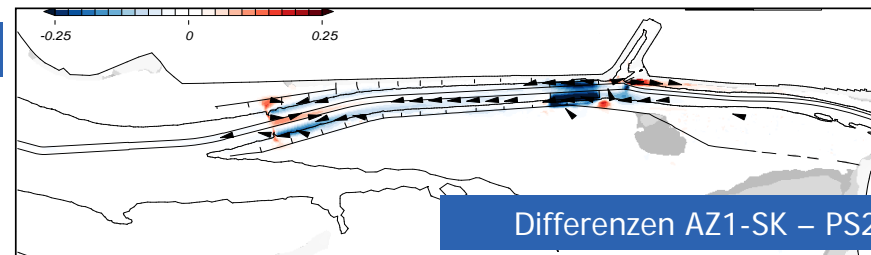
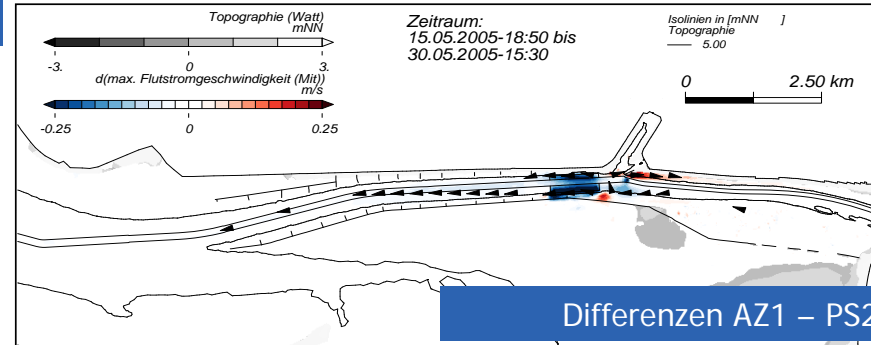
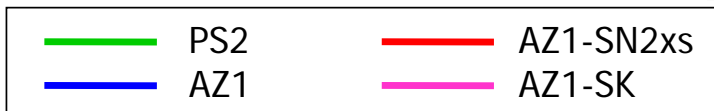
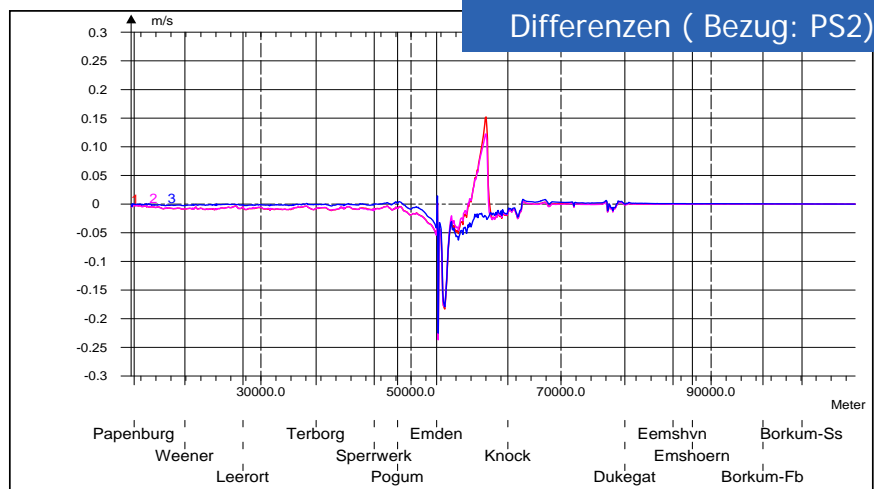
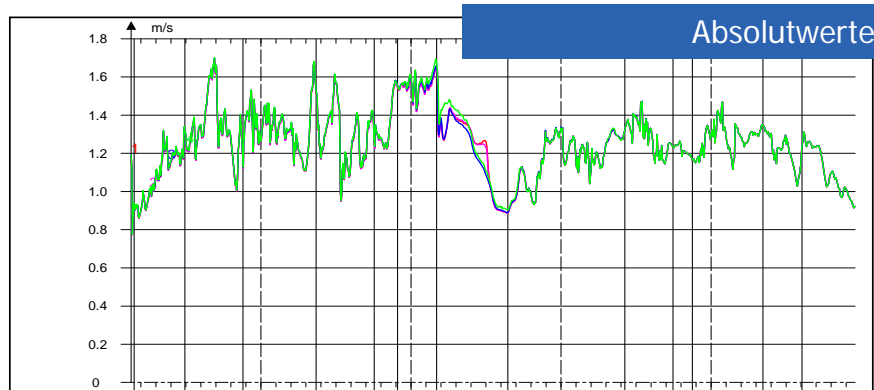
**Anlage 3: Tideniedrigwasser (lp)**



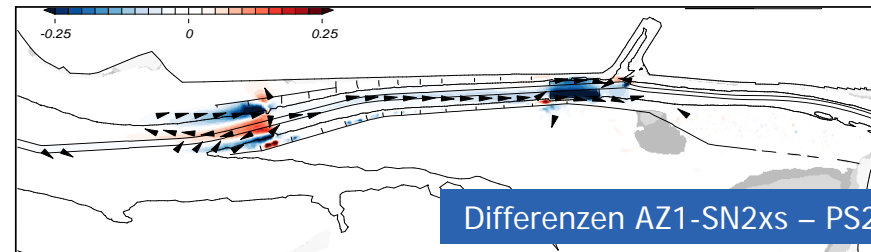
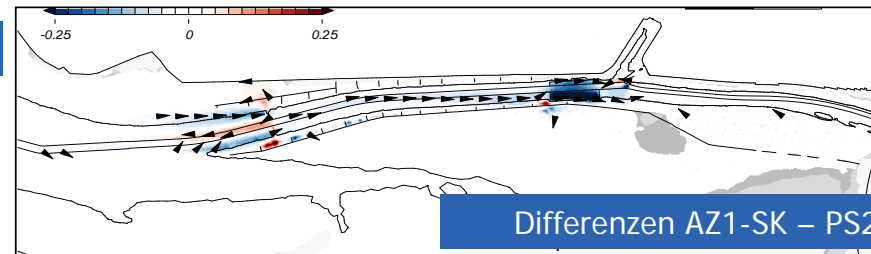
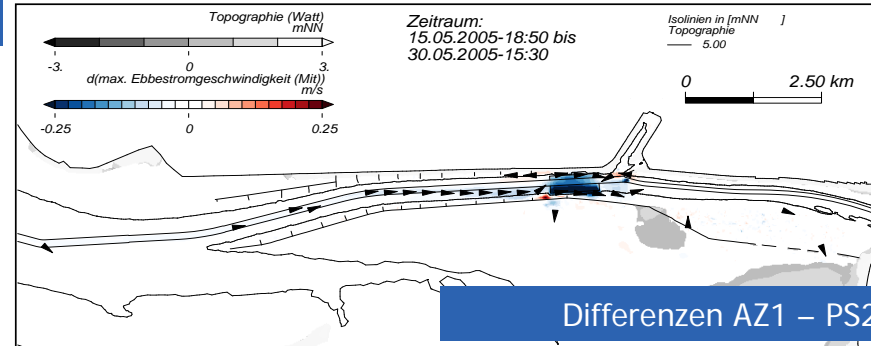
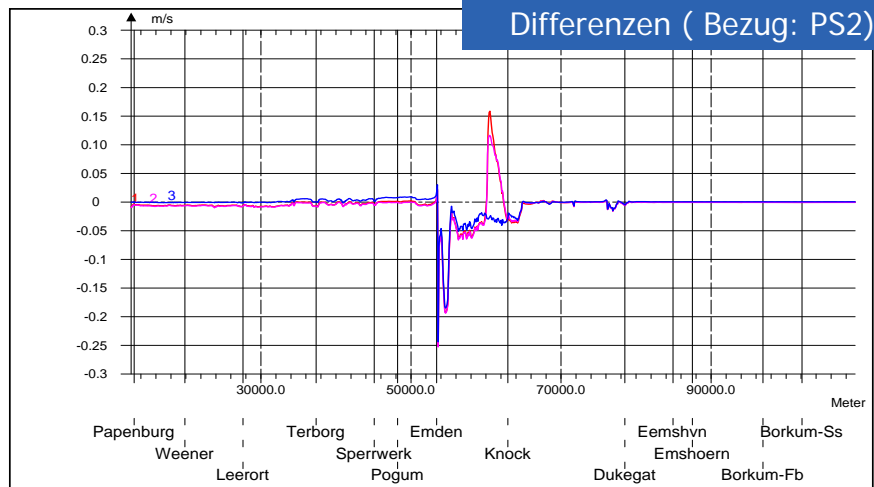
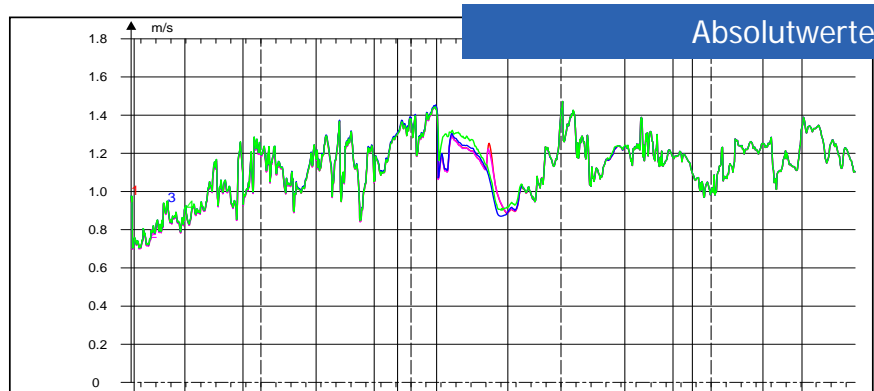
Anlage 4: Tidemittelwasser (lp)



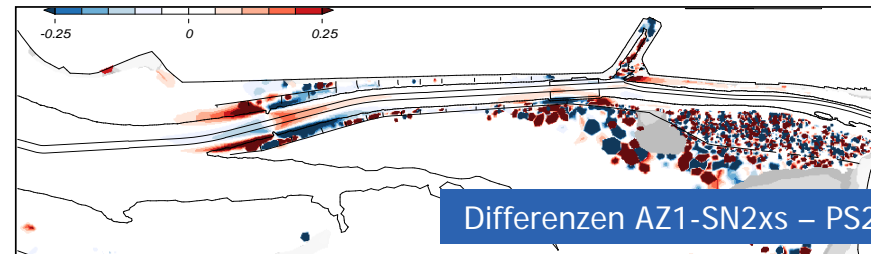
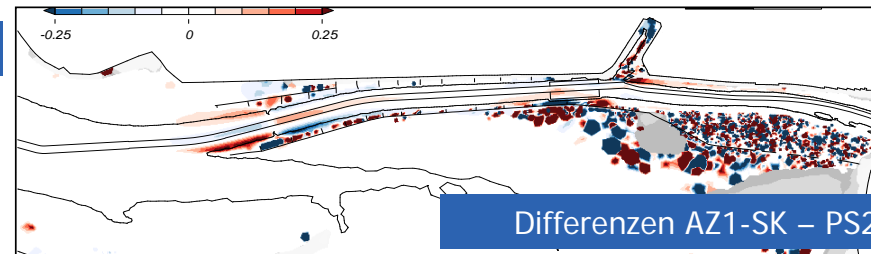
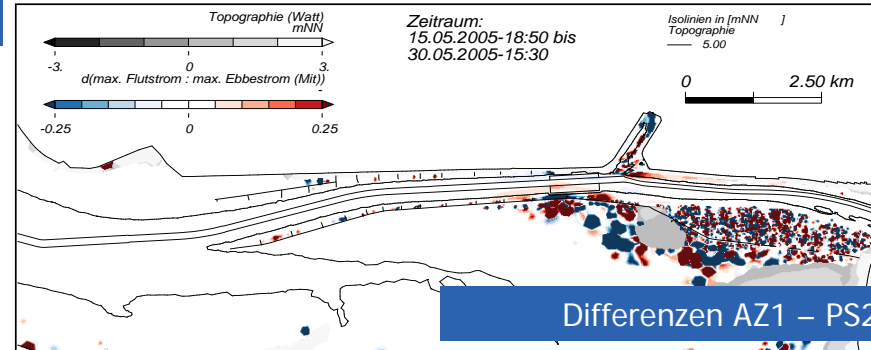
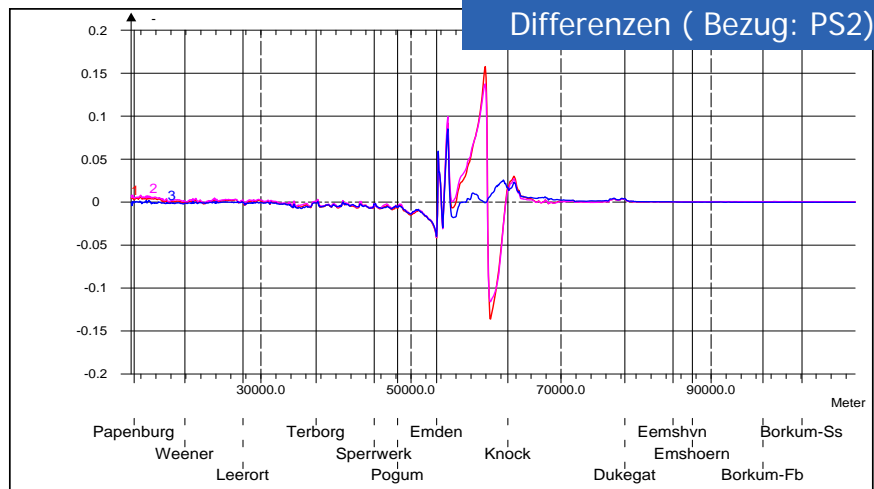
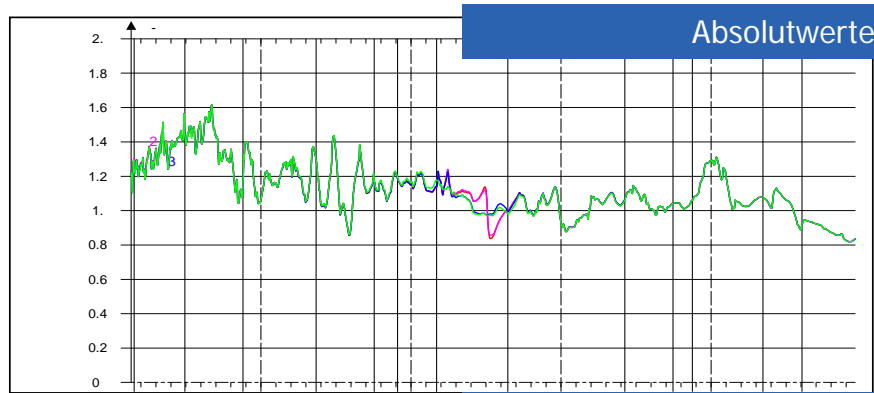
Anlage 5: Tidenhub (lp)



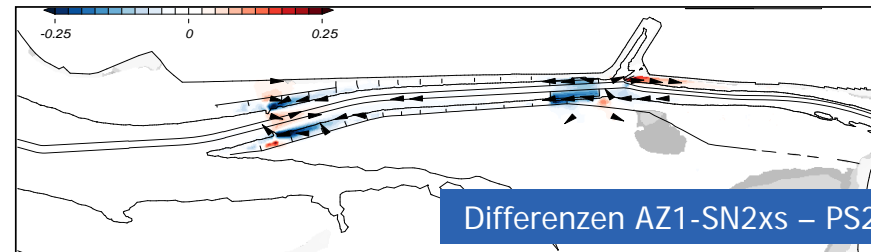
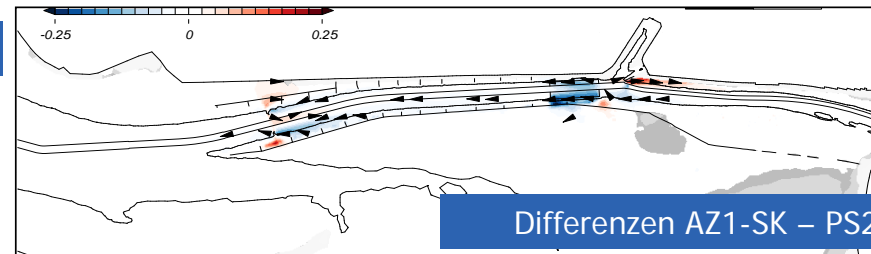
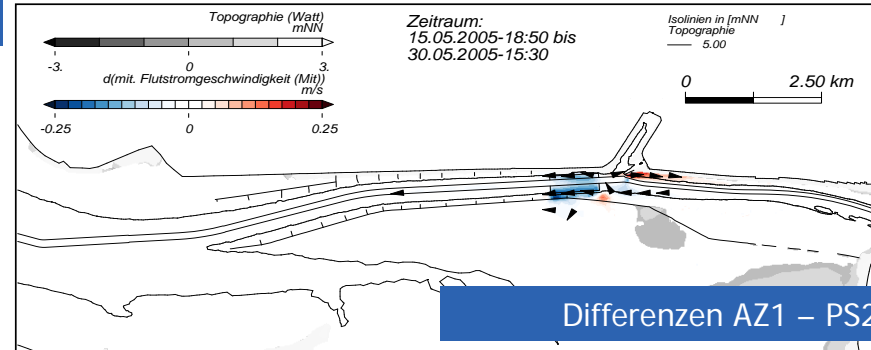
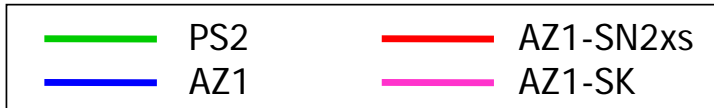
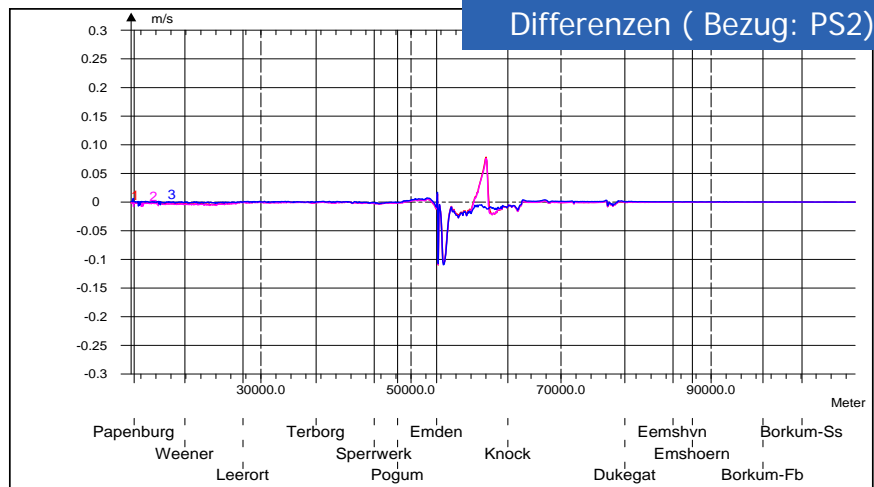
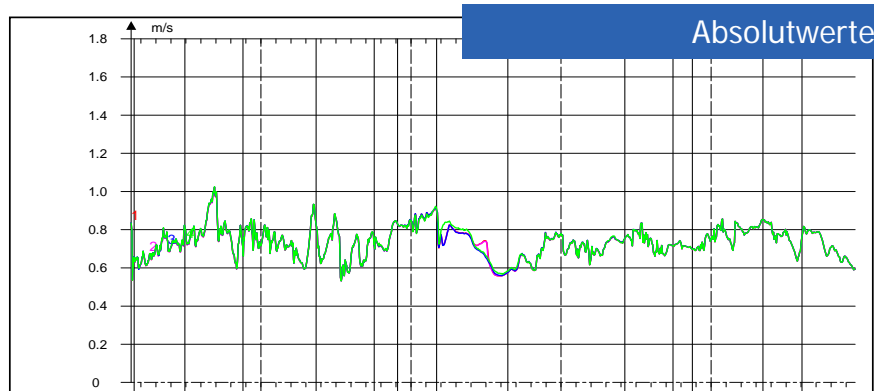
Anlage 6: Maximale Flutstromgeschwindigkeit (Ip)



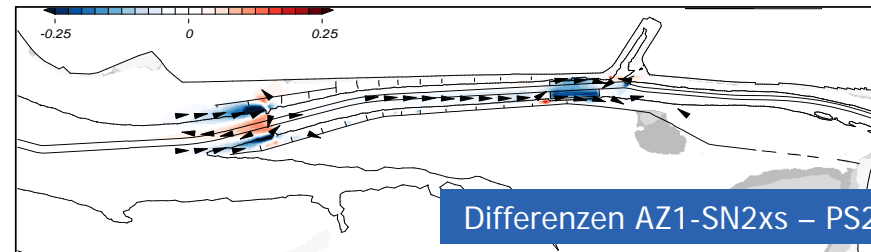
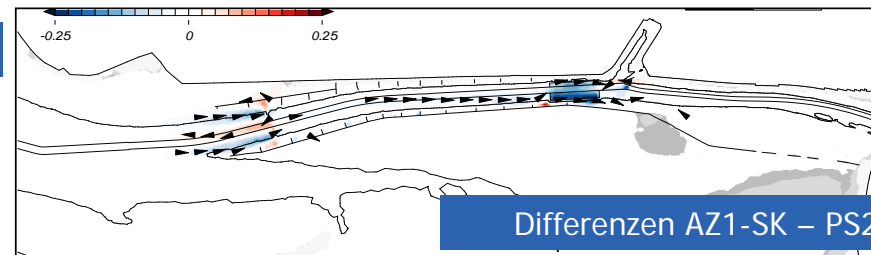
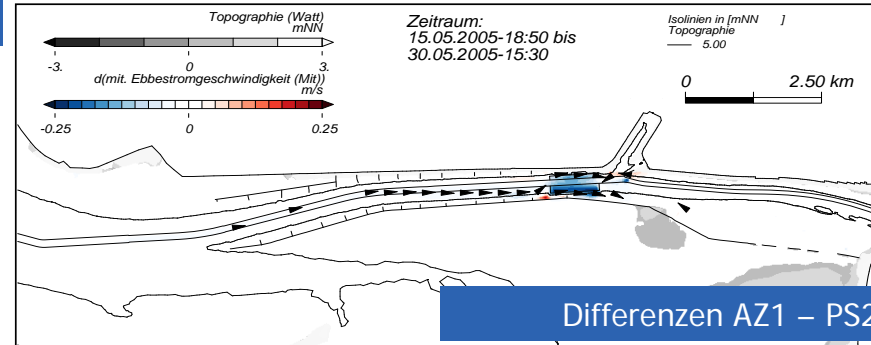
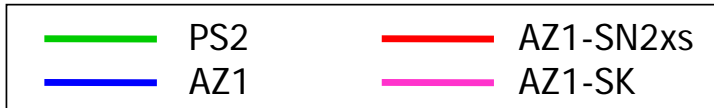
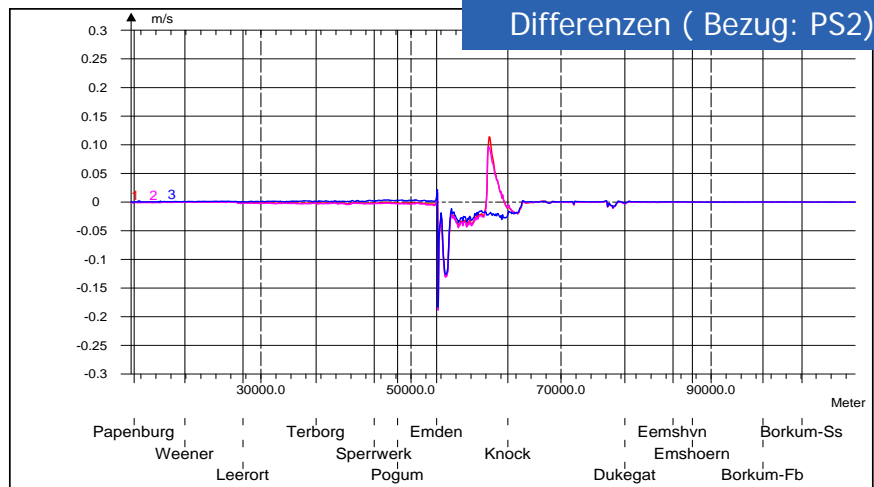
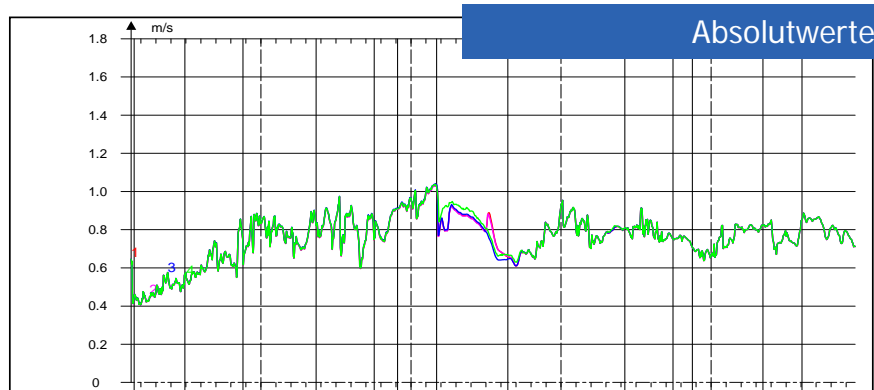
Anlage 7: Maximale Ebbestromgeschwindigkeit (Ip)



Anlage 8: Verhältnis maximaler Flutstrom : maximaler Ebbestrom ( $I_p$ )

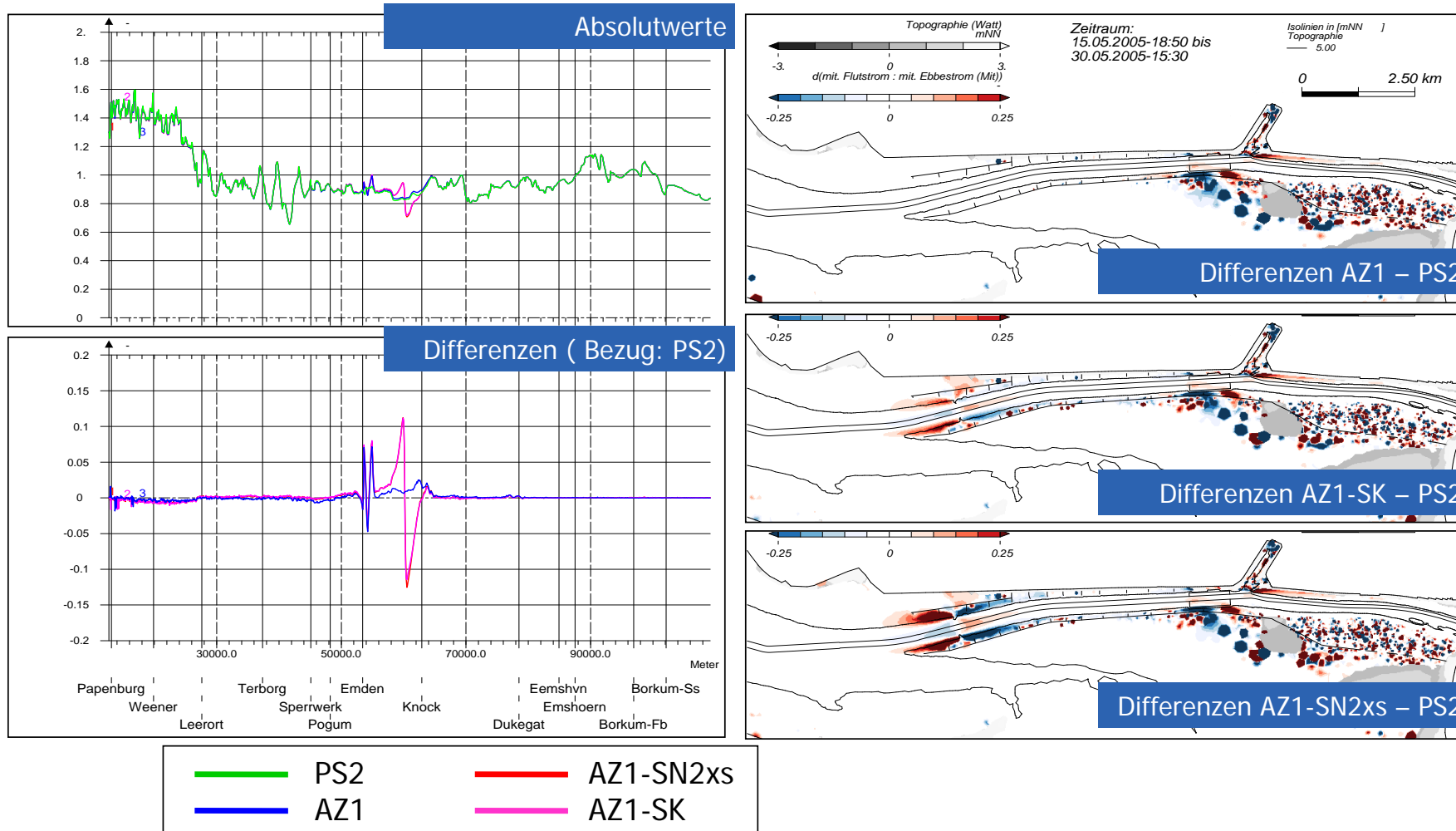


Anlage 9: Mittlere Flutstromgeschwindigkeit (Ip)

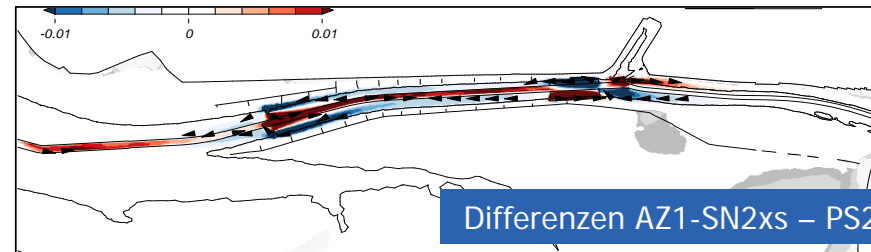
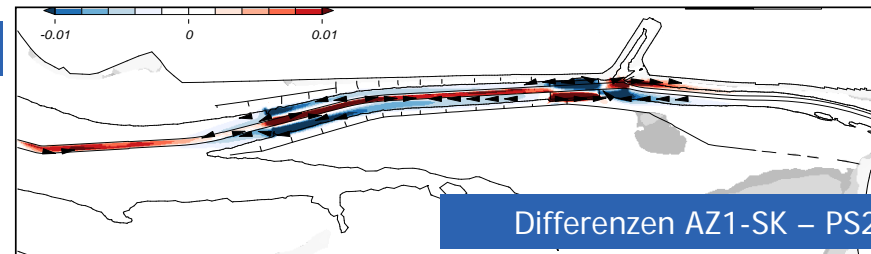
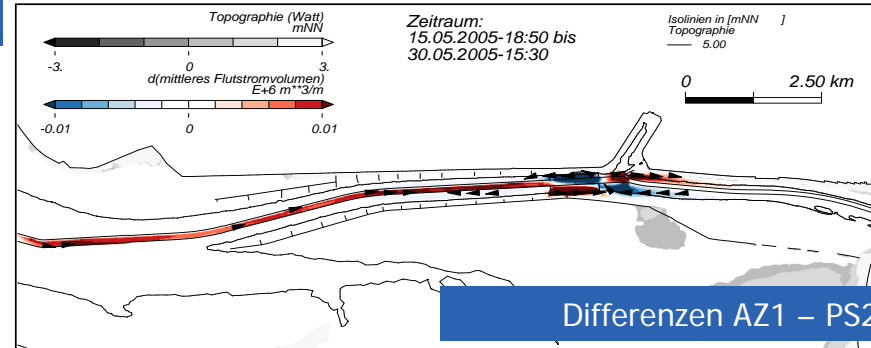
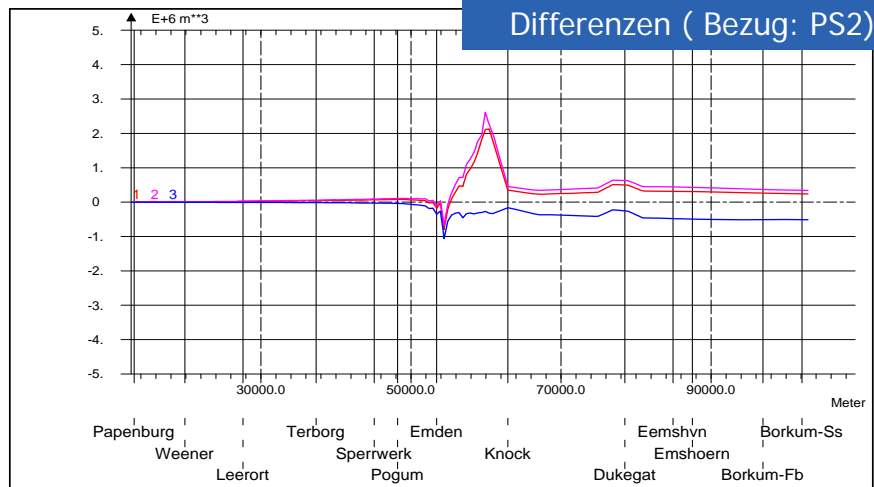
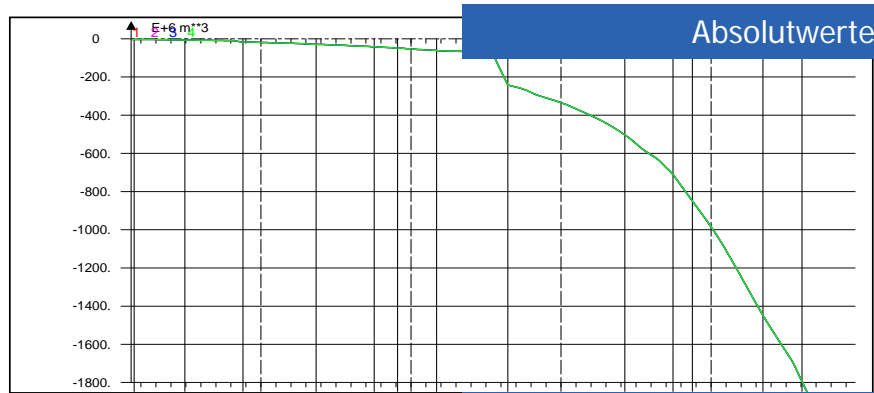


Anlage 10: Mittlere Ebbestromgeschwindigkeit (Ip)

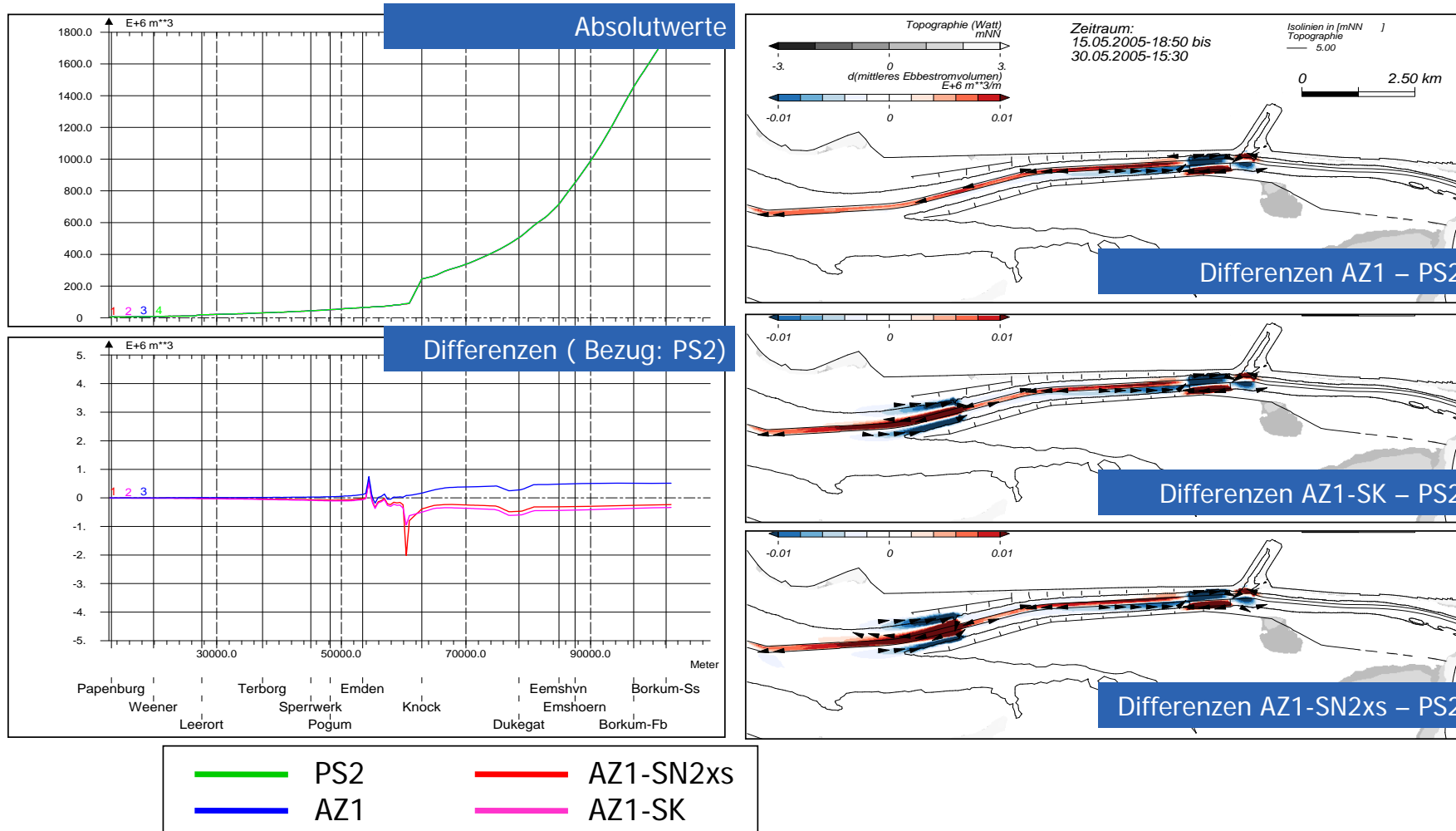




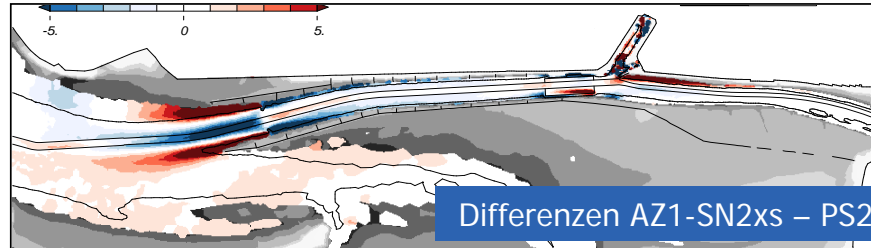
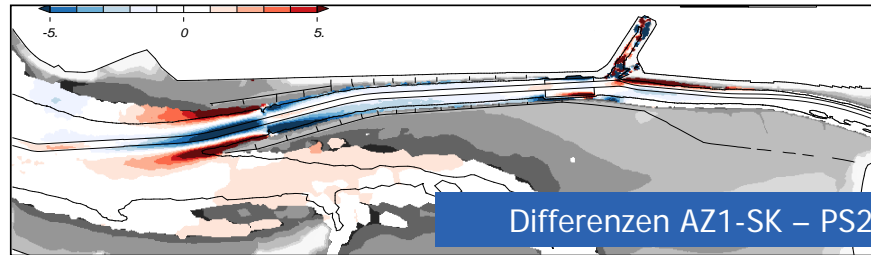
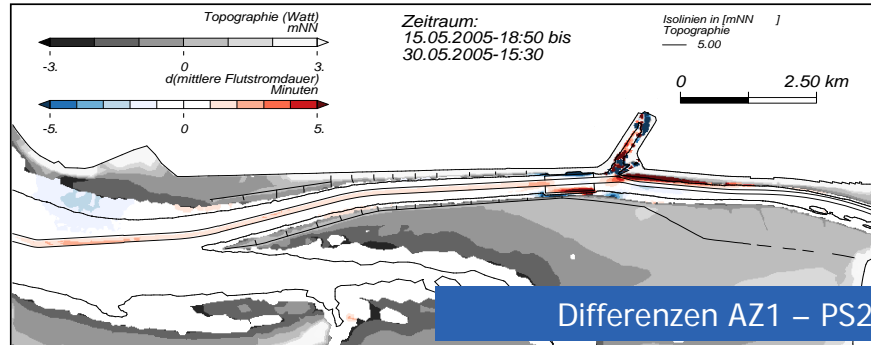
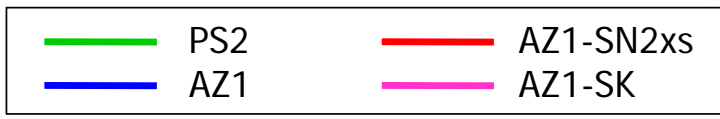
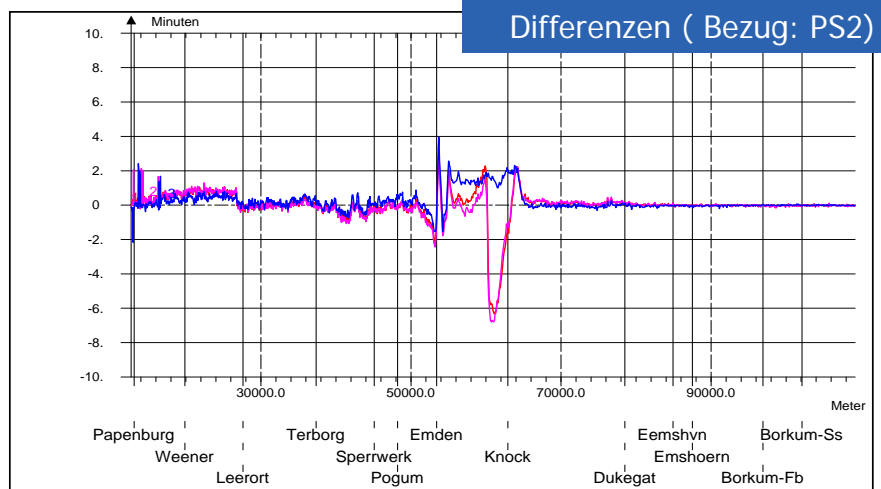
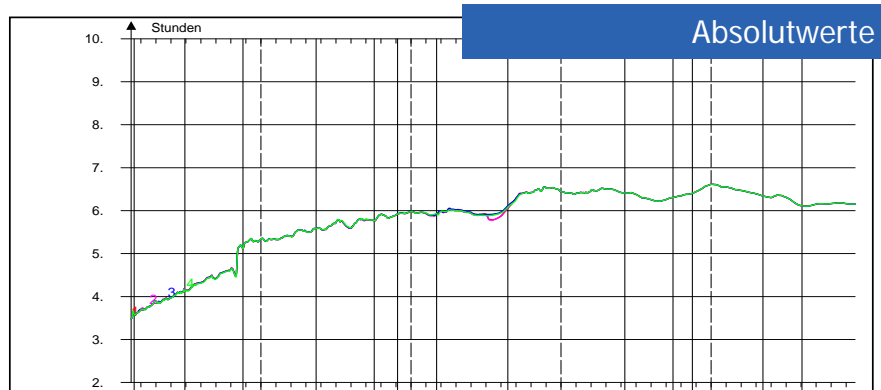
Anlage 11: Verhältnis mittlerer Flutstrom : mittlerer Ebbestrom (Ip)



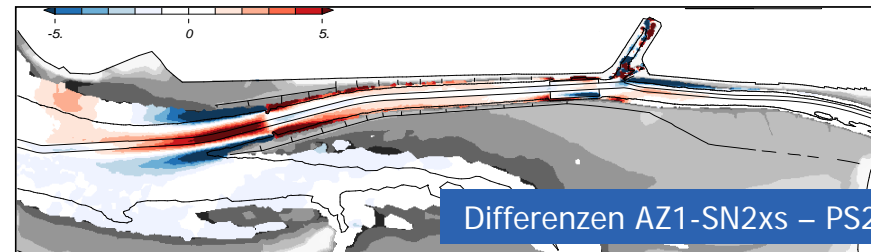
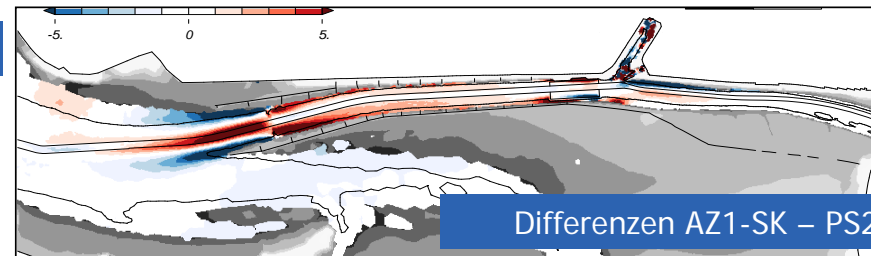
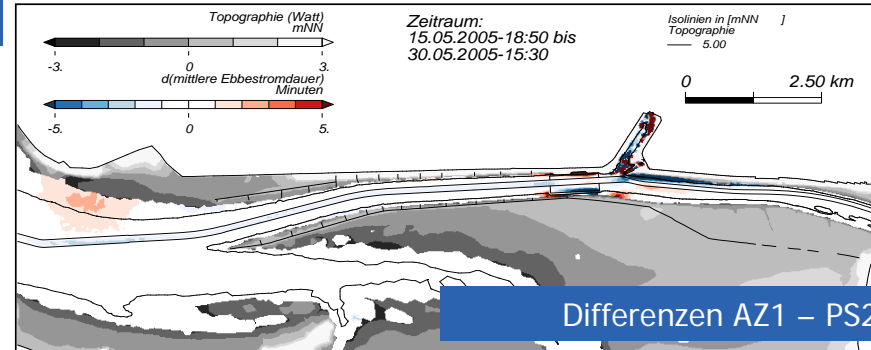
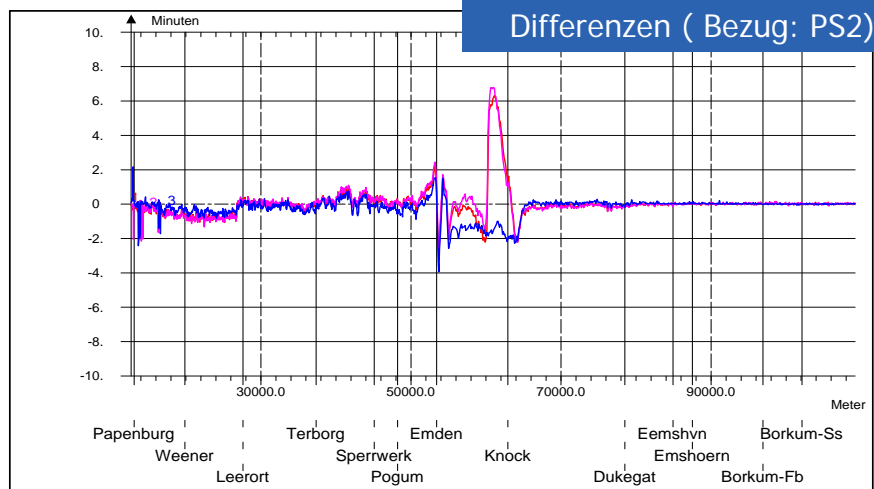
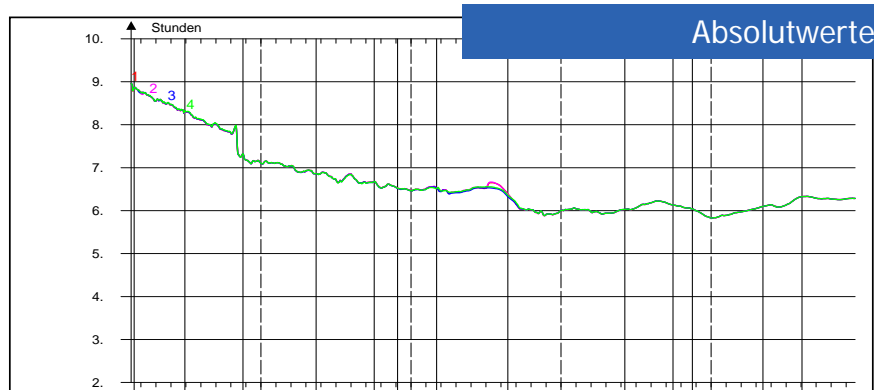
Anlage 12: Flutstromvolumen (csi)



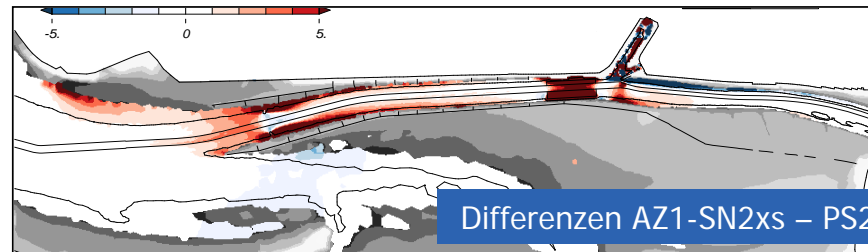
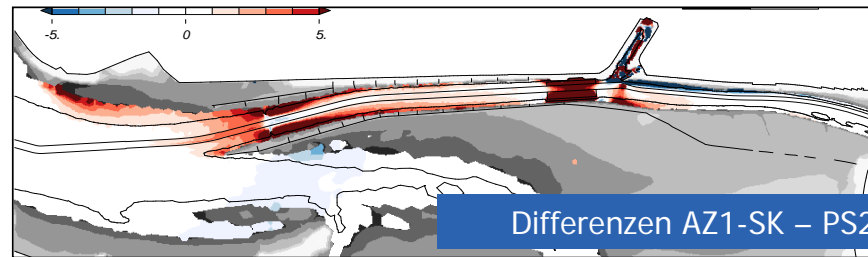
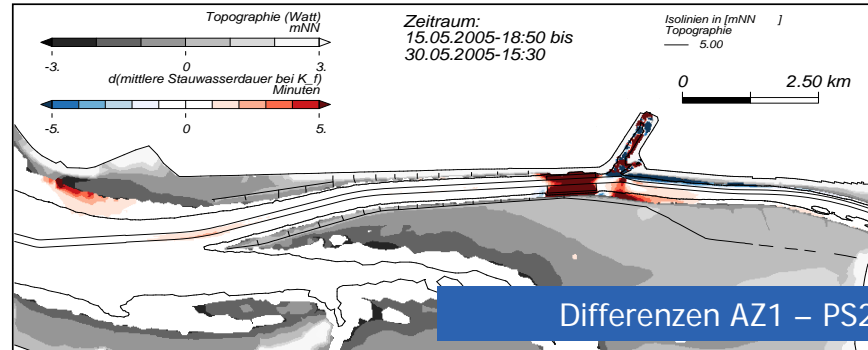
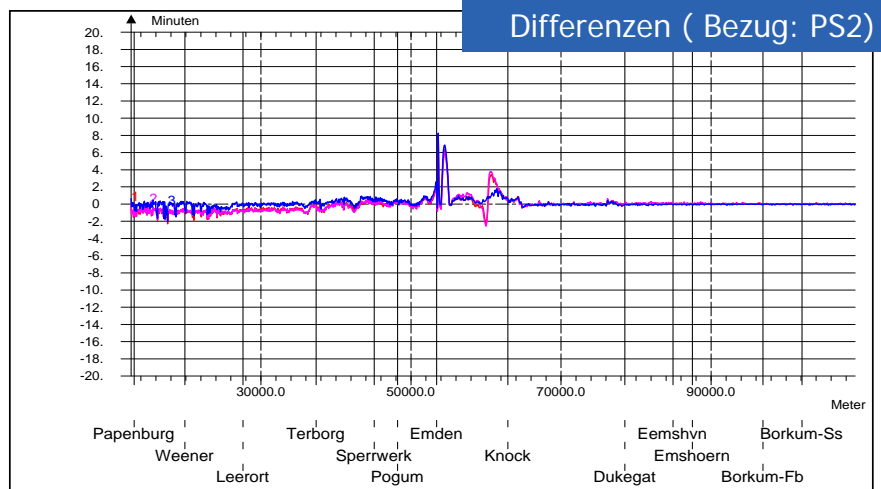
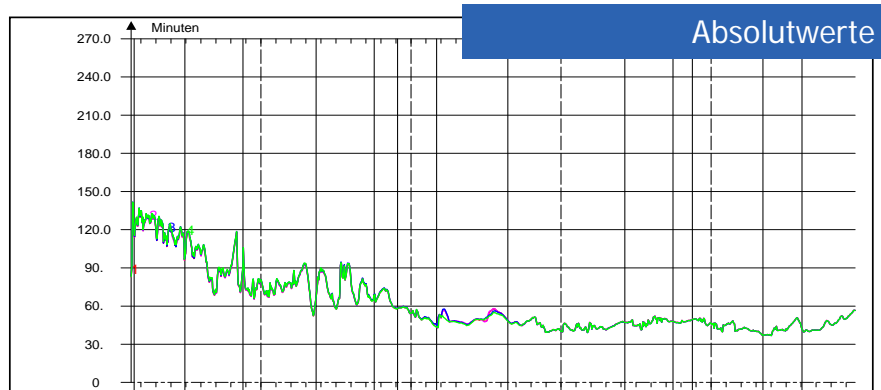
Anlage 13: Ebbestromvolumen (csi)



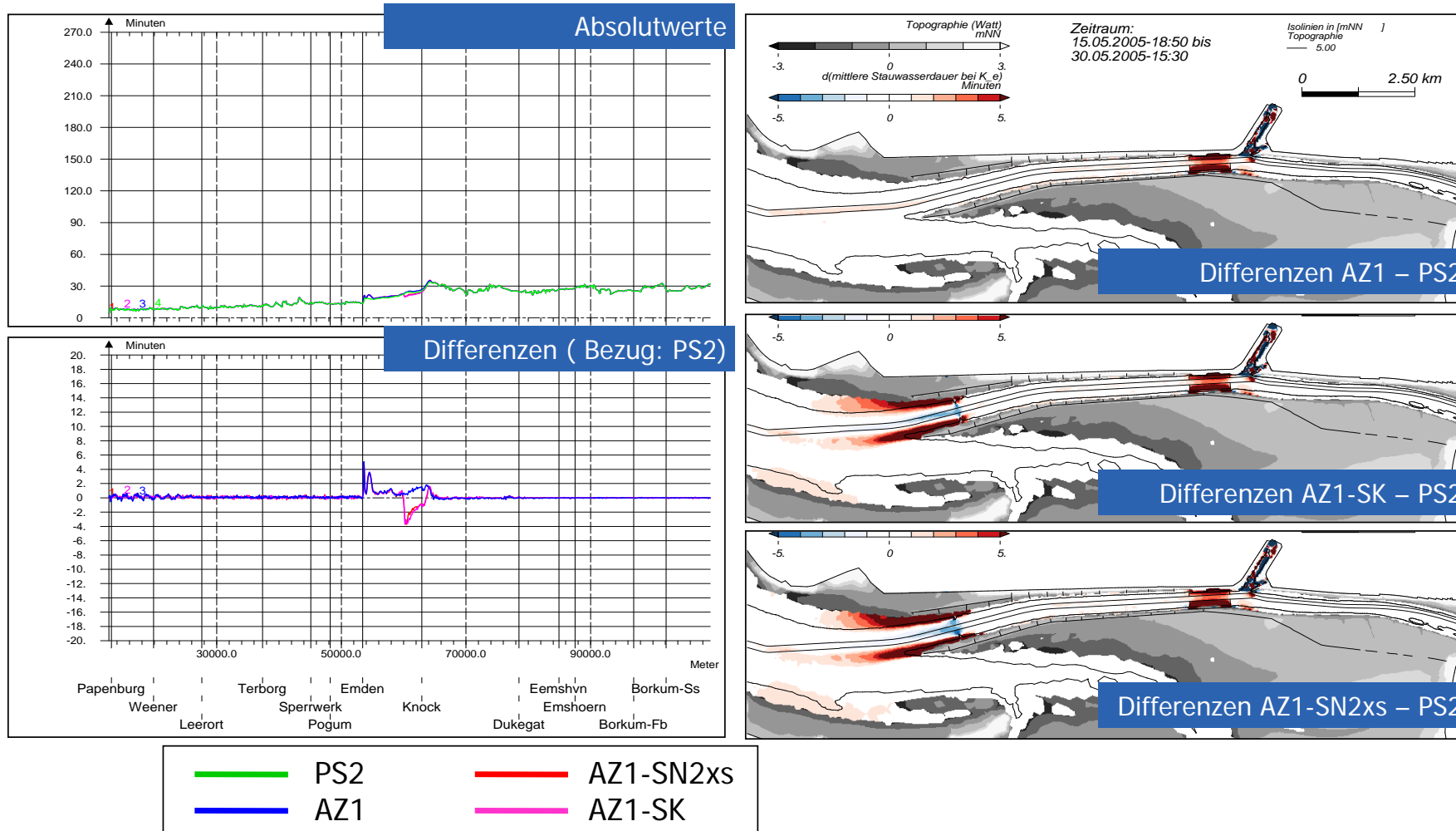
**Anlage 14: Flutstromdauer (lp)**



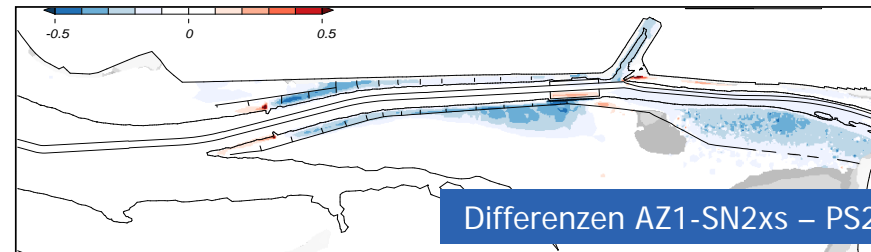
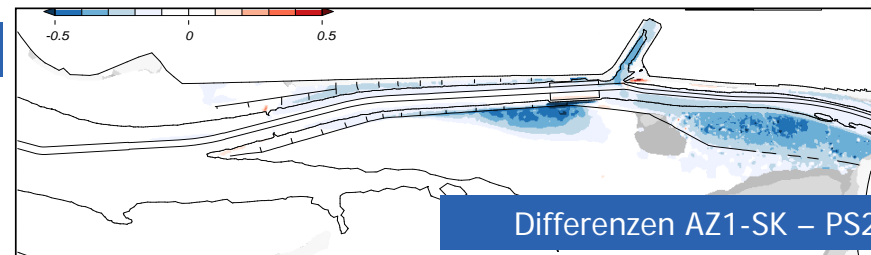
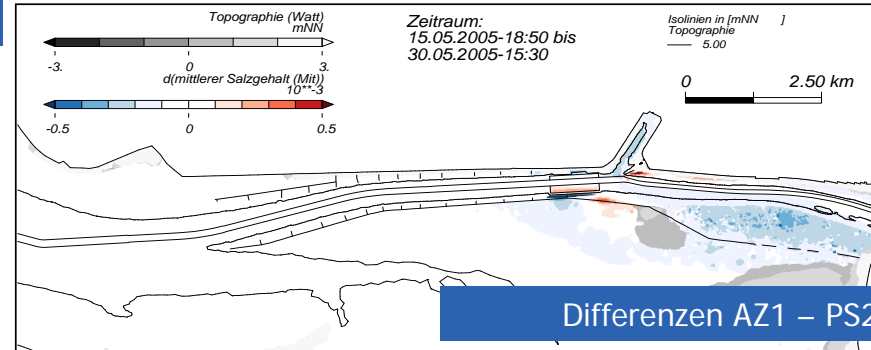
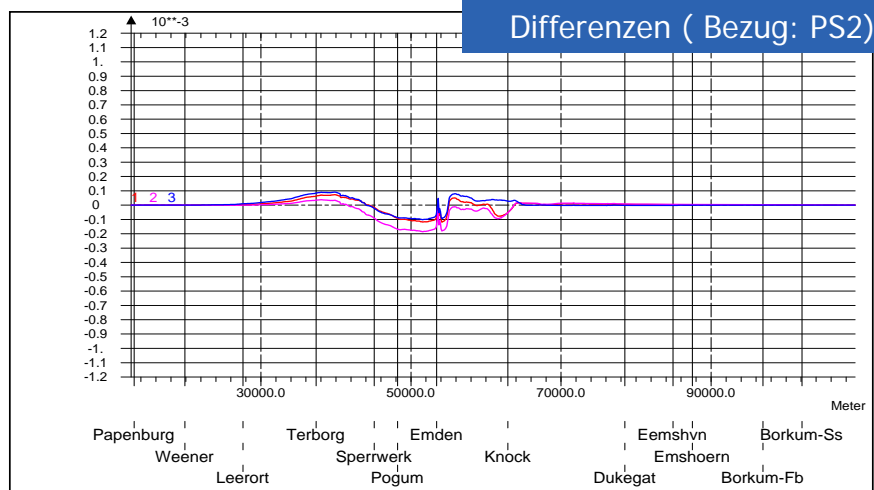
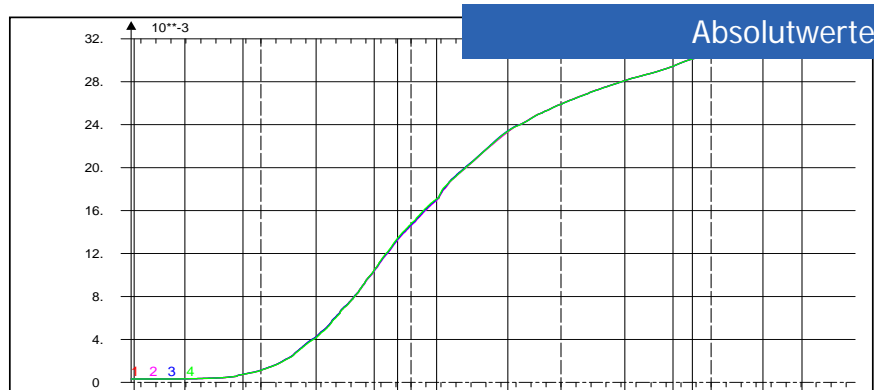
Anlage 15: Ebbestromdauer (Ip)



Anlage 16: Stauwasserdauer bei Kenterung Flut (lp)

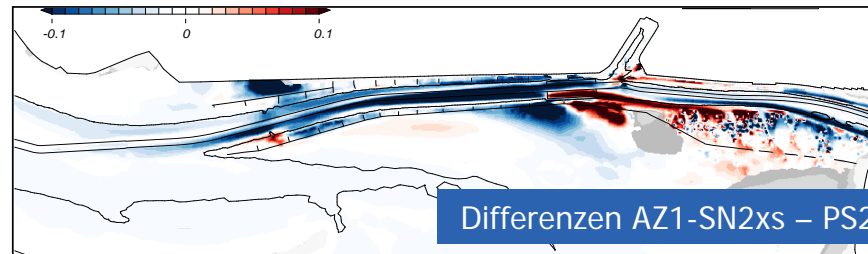
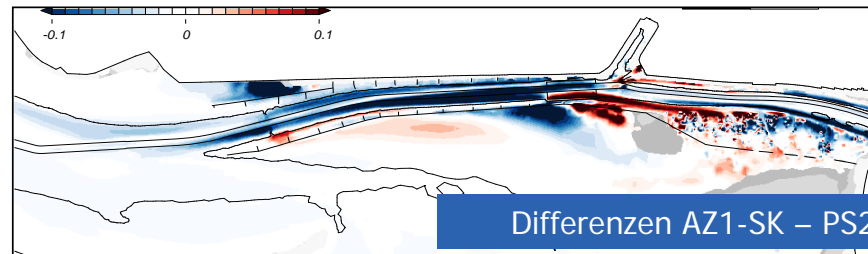
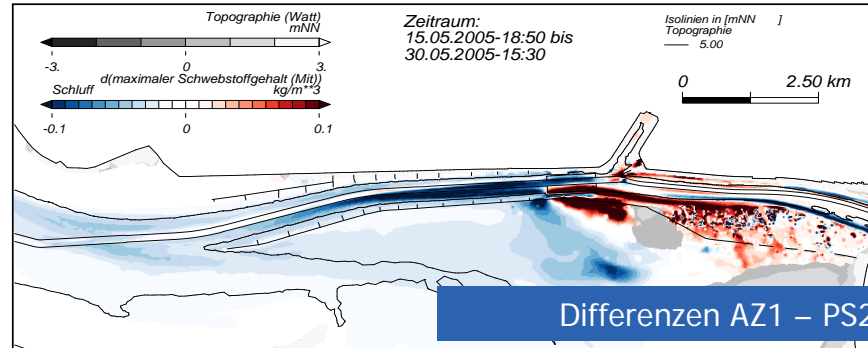
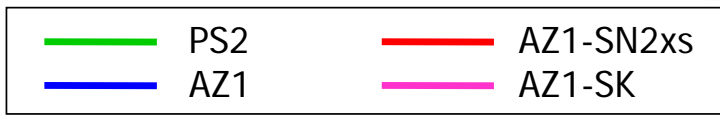
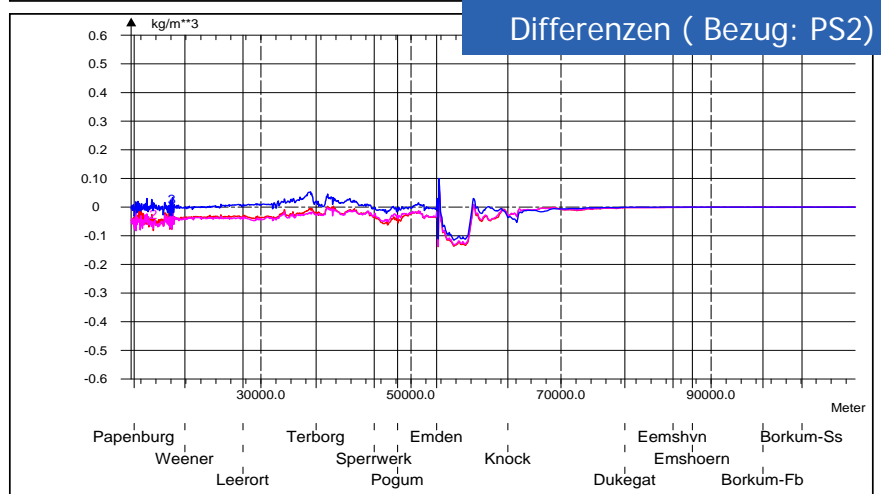
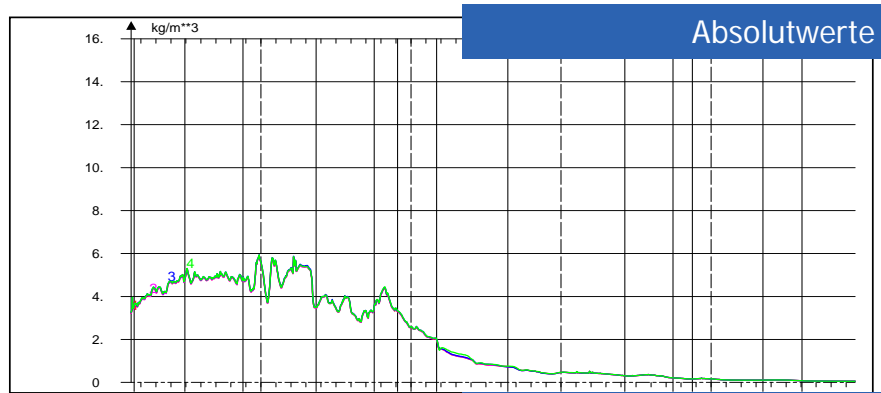


Anlage 17: Stauwasserdauer bei Kenterung Ebbe (Ip)

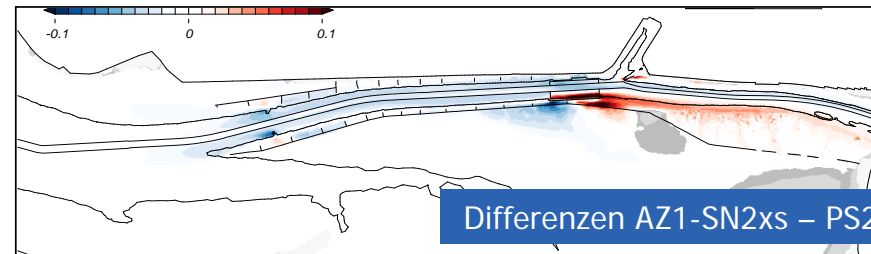
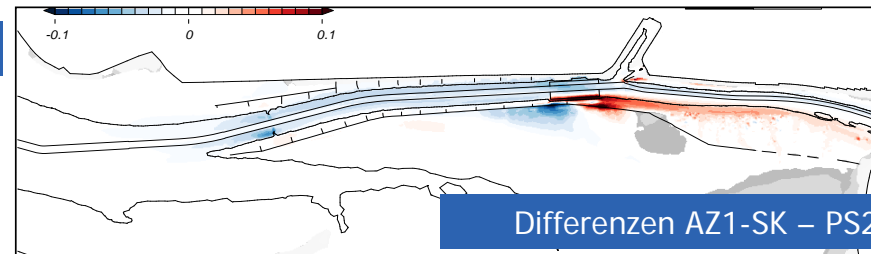
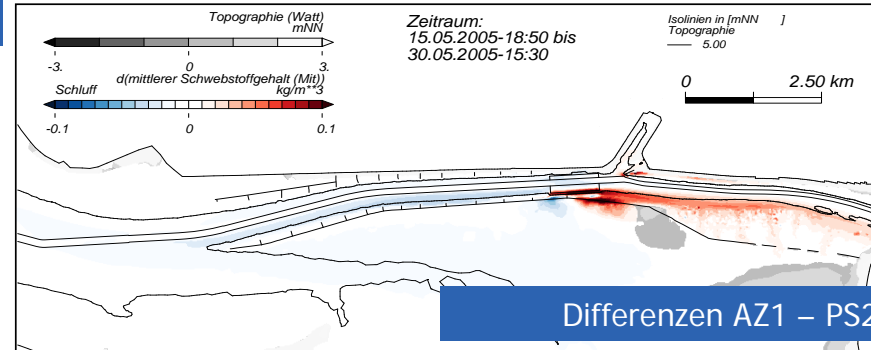
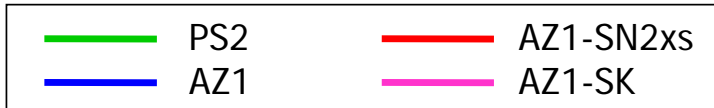
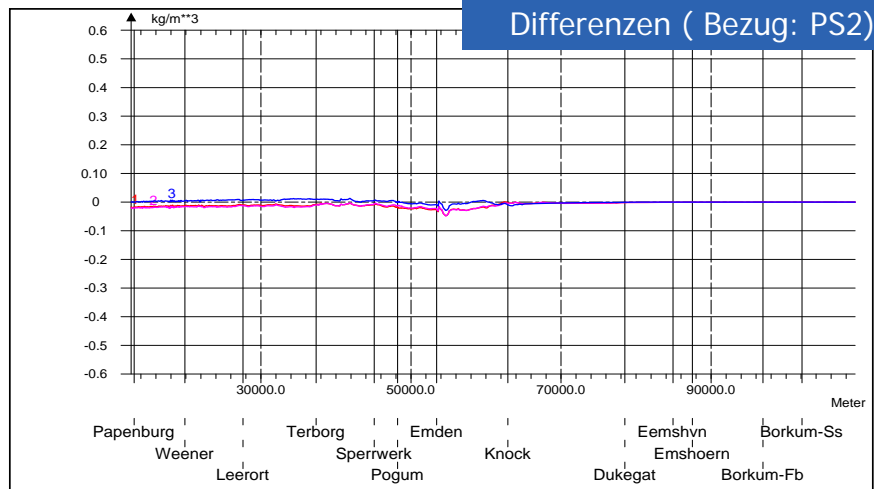
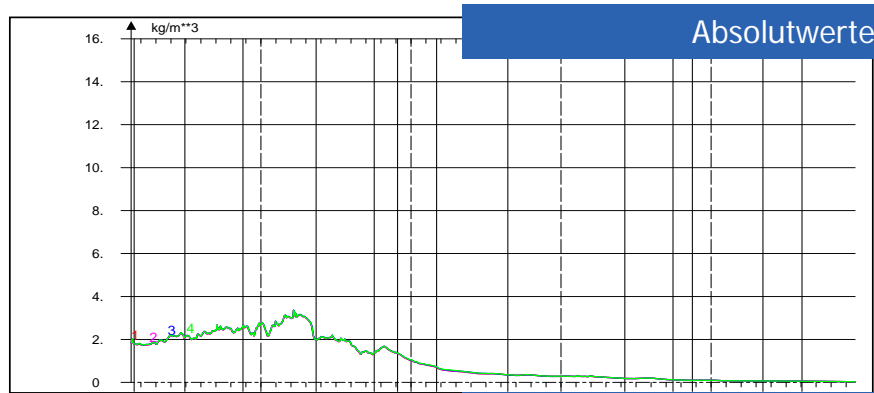


Anlage 18: Mittlerer Salzgehalt (Ip)

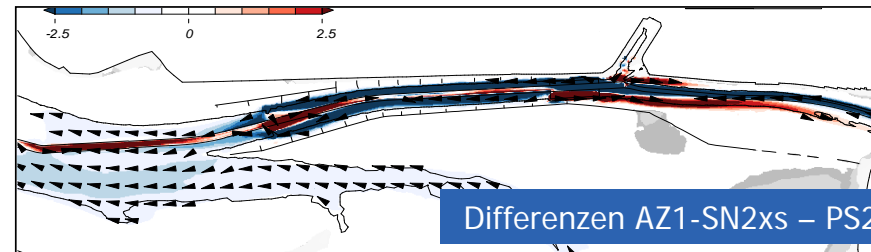
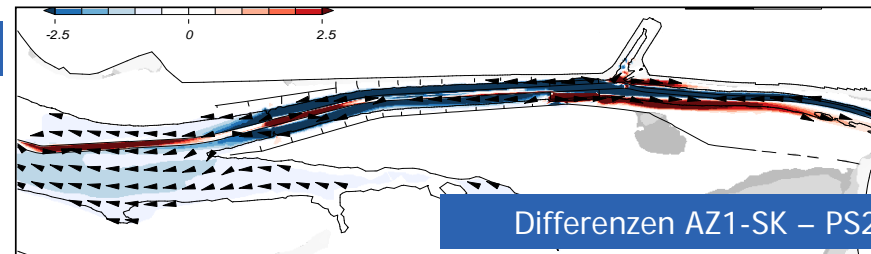
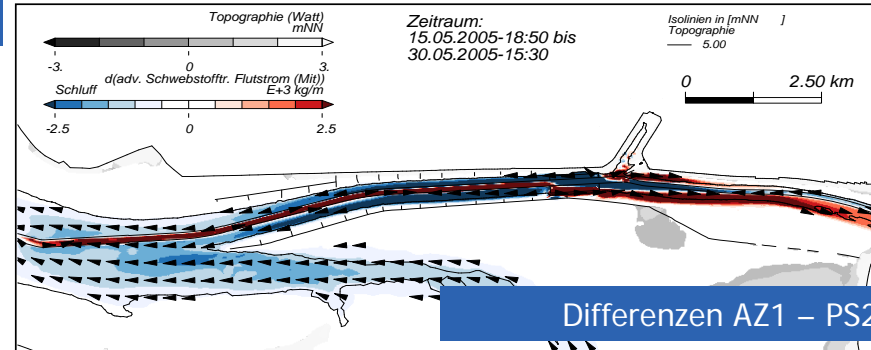
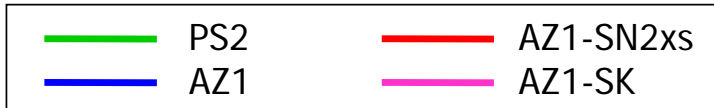
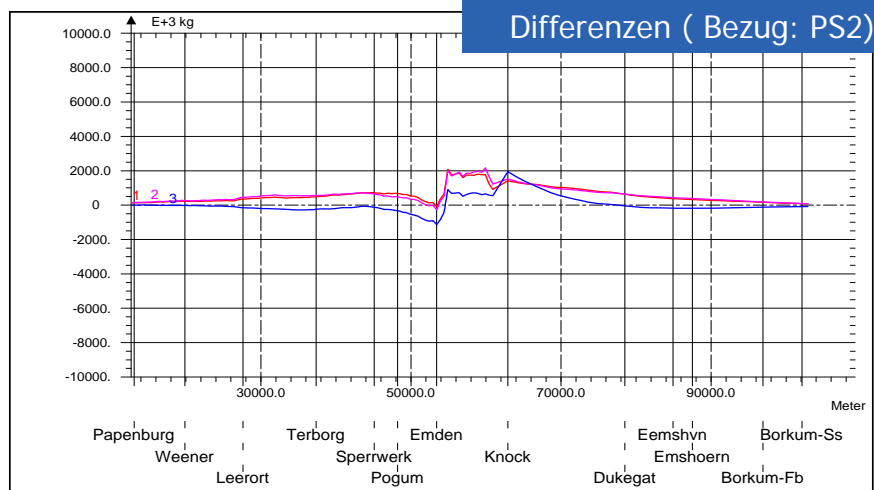
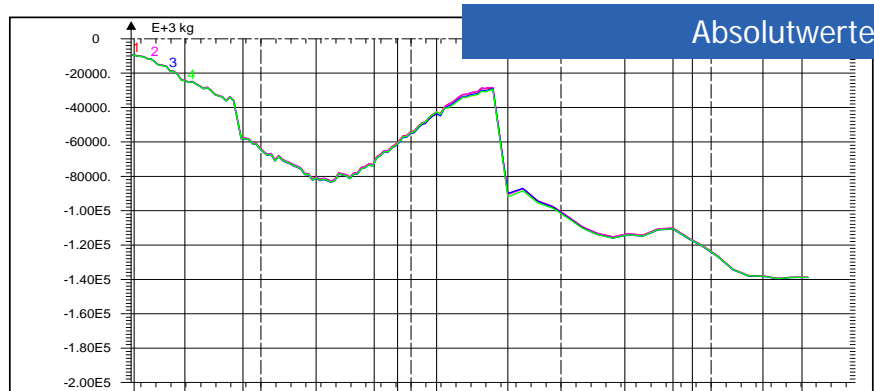




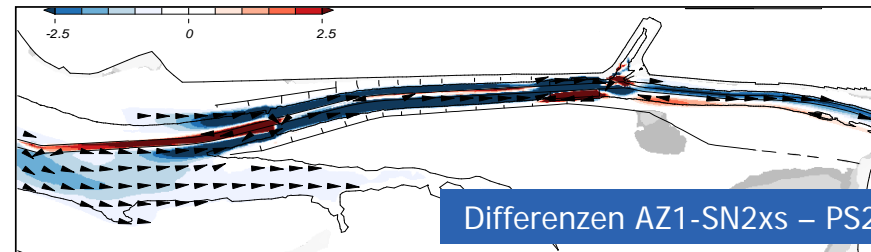
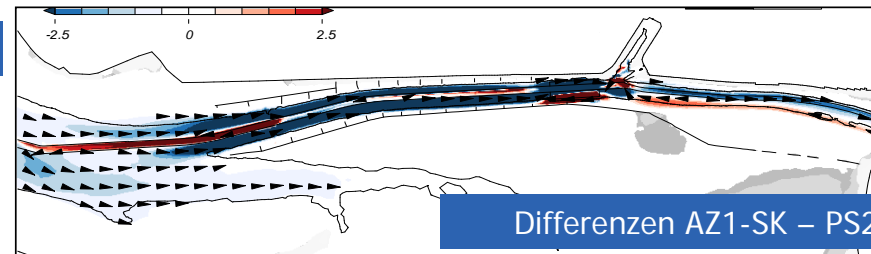
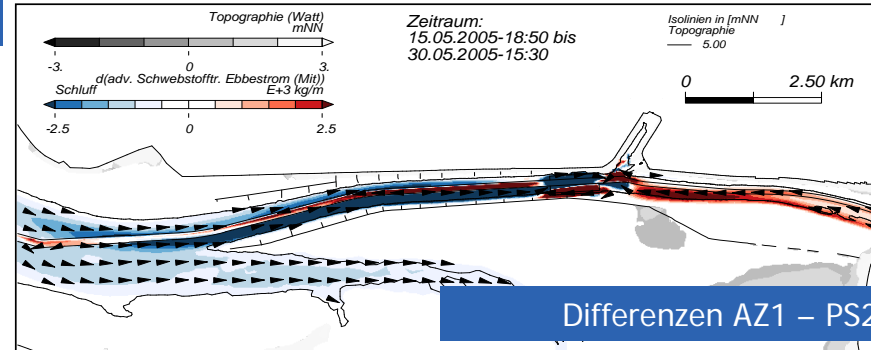
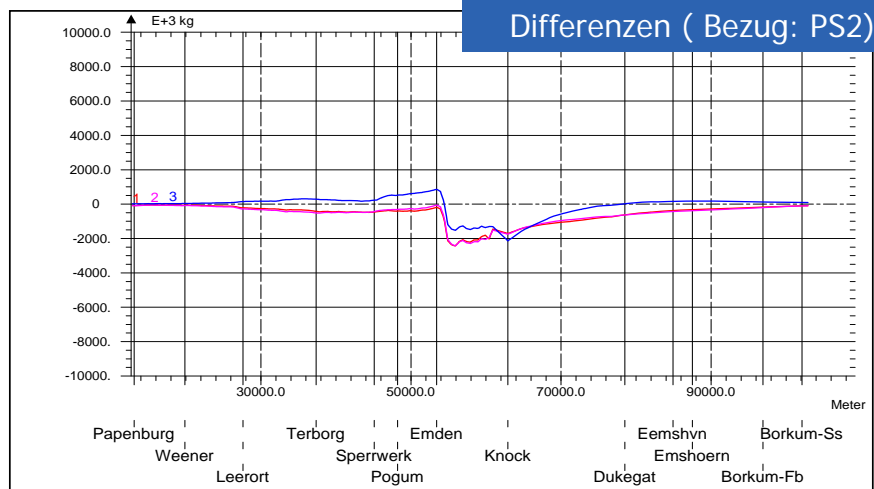
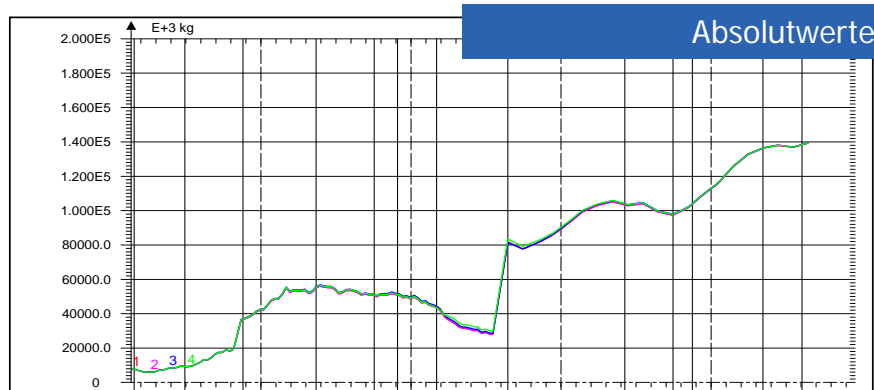
**Anlage 19: Maximaler Schwebstoffgehalt (Ip)**



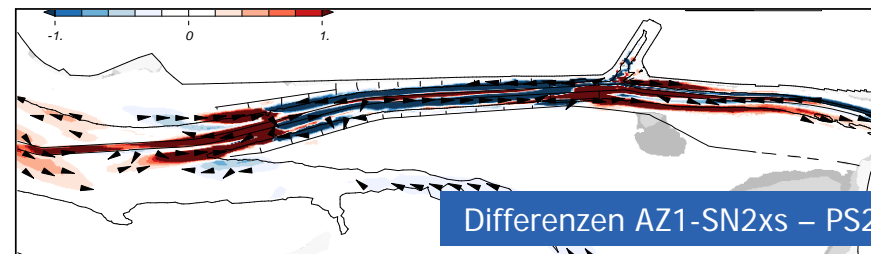
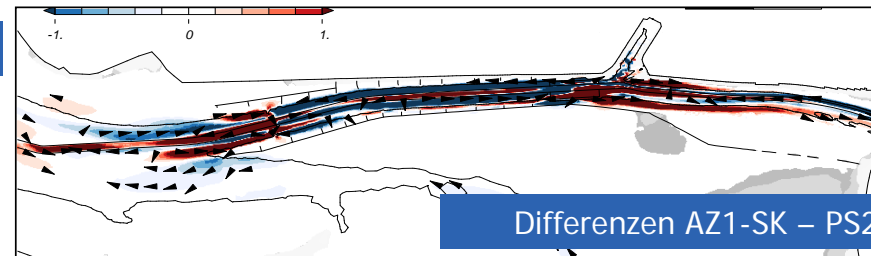
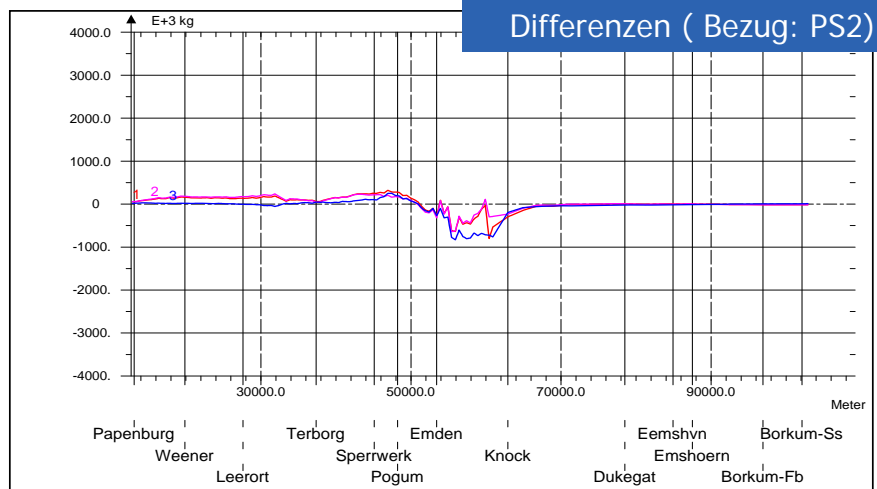
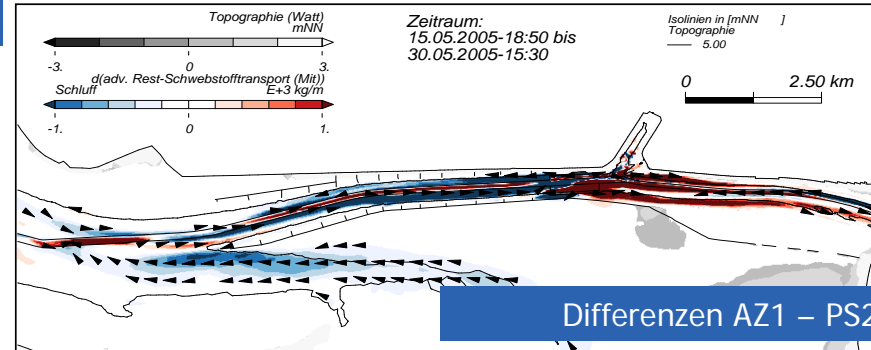
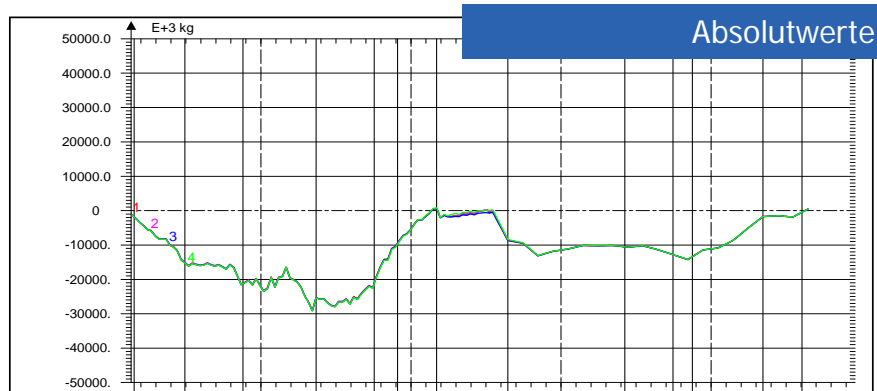
**Anlage 20: Mittlerer Schwebstoffgehalt (Ip)**



Anlage 21: Advektiver Schwebstofftransport mit dem Flutstrom (csi)



Anlage 22: Advektiver Schwebstofftransport mit dem Ebbestrom (csi)



**Anlage 23: Advektiver Rest-Schwebstofftransport (csi)**