

## **Anpassung der Fahrrinne von Unter- und Außenelbe an die Containerschifffahrt**

### **Gutachten zu Planänderung 2 Neues Ufersicherungskonzept für den Altenbrucher Bogen**

<b>1</b>	<b>VERANLASSUNG UND AUFGABENSTELLUNG .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>TOPOGRAPHISCHE UND HYDROLOGISCHE RANDBEDINGUNGEN.....</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>ERGEBNISSE DER UNTERSUCHUNGEN FÜR DIE PLANÄNDERUNG 2.....</b>	<b>5</b>
3.1	EINFÜHRUNG .....	5
3.2	AUSBAUBEDINGTE ÄNDERUNG DER KENNZEICHNENDEN WASSERSTÄNDE.....	6
3.3	AUSBAUBEDINGTE ÄNDERUNG DER STRÖMUNGSKENNWERTE .....	6
3.3.1	<i>Änderung der Strömungen in Fahrrinnenmitte .....</i>	<i>6</i>
3.3.2	<i>Erfordernisse für eine differenziert flächenhafte Betrachtung .....</i>	<i>7</i>
3.3.3	<i>Flächenhafte Analyse der mittleren Ebbestromgeschwindigkeiten .....</i>	<i>9</i>
3.3.4	<i>Flächenhafte Analyse der mittleren Flutstromgeschwindigkeiten.....</i>	<i>12</i>
3.3.5	<i>Flächenhafte Analyse der maximalen Ebbestromgeschwindigkeiten.....</i>	<i>15</i>
3.3.6	<i>Flächenhafte Analyse der maximalen Flutstromgeschwindigkeiten .....</i>	<i>18</i>
3.3.7	<i>Ausbaubedingte Änderung der Strömungen an den Stombauwerken.....</i>	<i>21</i>
3.4	AUSBAUBEDINGTE ÄNDERUNGEN DES SALZGEHALTS .....	23
3.5	AUSBAUBEDINGTE ÄNDERUNGEN DES SEDIMENTTRANSPORTS .....	23
<b>4</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNG .....</b>	<b>25</b>

Abbildung 1: Topographie des Ausbauzustands (AZ_10)	4
Abbildung 2: Differenztopographie: Ausbauzustand (AZ_10) – planerische Ist-Zustand (PIZ_02)	4
Abbildung 3: Differenztopographie PIZ_02 – PIZ: Abnahmen der Wassertiefen sind rot und Zunahmen blau kodiert.	8
Abbildung 4: Mittlere Ebbestromgeschwindigkeit im planerischen Ist-Zustand (PIZ)	10
Abbildung 5: Mittlere Ebbestromgeschwindigkeit im planerischen Ist-Zustand (PIZ_02)	10
Abbildung 6: Ausbaubedingte Änderung der mittlere Ebbestromgeschwindigkeit (AZ385S – PIZ)	11
Abbildung 7: Ausbaubedingte Änderung der mittlere Ebbestromgeschwindigkeit (AZ_10 – PIZ_02)	11
Abbildung 8: Mittlere Flutstromgeschwindigkeit im planerischen Ist-Zustand (PIZ)	13
Abbildung 9: Mittlere Flutstromgeschwindigkeit im planerischen Ist-Zustand (PIZ_02)	13
Abbildung 10: Ausbaubedingte Änderung der mittlere Flutstromgeschwindigkeit (AZ385S – PIZ)	14
Abbildung 11: Ausbaubedingte Änderung der mittlere Flutstromgeschwindigkeit (AZ_10 – PIZ_02)	14
Abbildung 12: Maximale Ebbestromgeschwindigkeit im planerischen Ist-Zustand (PIZ)	16
Abbildung 13: Maximale Ebbestromgeschwindigkeit im planerischen Ist-Zustand (PIZ_02)	16
Abbildung 14: Ausbaubedingte Änderung der maximalen Ebbestromgeschwindigkeit (AZ385S – PIZ)	17
Abbildung 15: Ausbaubedingte Änderung der maximalen Ebbestromgeschwindigkeit (AZ_10 – PIZ_02)	17
Abbildung 16: Maximale Flutstromgeschwindigkeit im planerischen Ist-Zustand (PIZ)	19
Abbildung 17: Maximale Flutstromgeschwindigkeit im planerischen Ist-Zustand (PIZ_02)	19
Abbildung 18: Ausbaubedingte Änderung der maximalen Flutstromgeschwindigkeit (AZ385S – PIZ)	20
Abbildung 19: Ausbaubedingte Änderung der maximalen Flutstromgeschwindigkeit (AZ_10 – PIZ_02)	20
Abbildung 20: Änderung der Strömungskennwerte (AZ_10 – PIZ_02) im Umfeld der Bauwerke	22
Abbildung 21: Ausbaubedingte Änderung des Schwebstofftransports mit dem Flutstrom (AZ_10 – PIZ_02)	24
Abbildung 22: Ausbaubedingte Änderung des Schwebstofftransports mit dem Ebbestrom (AZ_10 – PIZ_02)	25

## 1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Das für die Fahrrinnenanpassung zuständige Projektbüro benötigt für eine erneute Planänderung gemäß Planänderungsunterlage 2 (Eingang per E-mail am 12. Nov. 2009 bei der BAW) ein Gutachten, das primär auf die lokalen Auswirkungen der Maßnahme eingeht. Die Planänderung basiert auf einem Konzept, das von der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung mit Vertretern Niedersachsens (*Arbeitsgruppe Ufersicherungskonzept Altenbrucher Bogen, Optimierung bisheriger Unterhaltungsstrategien*) zur Ufersicherung im Altenbrucher Bogen ausgearbeitet wurde. Nach der neuen Planung ist im Abschnitt stromauf von Glameyer Stack die Kombination aus sechs in der Länge variierenden Buhnen (als Otterndorfer Stacks bezeichnet) mit einer in der Fläche und damit auch im Volumen im Vergleich zur Planänderung 1 (September 2008) reduzierten Unterwasserablagerungsfläche vorgesehen. Stromab Glameyer Stack wird die bisher als Ufer- und Böschungsschutz geplante Unterwasserablagerungsfläche aufgegeben und durch 18 in der Länge intermittierende Buhnen ersetzt.

Voruntersuchungen der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) ergaben, dass die bezeichneten Strombauelemente zu einer erheblichen Strömungszunahme im Bereich des stromabwärts gelegenen Prallhangs führen können. Zur Reduktion der zusätzlichen ausbaubedingten Strömungszunahme ist deshalb als weiterer Bestandteil des Vorhabens eine Initialbaggerung am nördlichen Fahrrinnenrand (unmittelbar gegenüber der Kombinationslösung mit Buhnen und Unterwasserablagerungsfläche) vorgesehen. Hier soll durch Baggerungen von maximal 1,5 Mio. m<sup>3</sup> der heute vorhandene Gesamtquerschnitt vergrößert werden, um so die erheblichen Strömungszunahmen zu vermeiden.

Alle durch die Planänderung 2 vorgesehenen Maßnahmen sind integraler Bestandteil der Gesamtplanung zur Fahrrinnenanpassung. Die Begutachtung der lokalen Auswirkungen muss deshalb auf Grundlage der Gesamtmaßnahme mit den neuen Planungselementen durchgeführt werden. Es ist deshalb erforderlich, auch die Planänderung 2 im Gesamt-Simulationsmodell für die Tideelbe zu untersuchen.

Da bereits im Rahmen der von April bis Juni 2009 stattgefundenen Erörterungstermine nachdrücklich Wert darauf gelegt wurde, ergänzende Untersuchungen mit neueren topographischen Daten durchzuführen, wurde die Gesamtmaßnahme mit den neuen Elementen der Planänderung 2 auf der Grundlage der zwischenzeitlich aufbereiteten Topographie für das Jahr 2006 untersucht.

Aufgrund des Wechsels in der Topographie (von 2003 auf 2006) für den planerischen Ist-Zustand war es zur Absicherung der gutachterlichen Einschätzungen für die Planänderung 2 auch erforderlich, zuerst allein den Einfluss der topographischen Entwicklungen (die sich

insbesondere sehr intensiv im Mündungstrichter der Elbe, namentlich in der Medemrinne und dem Klotzenloch zeigten) auf die bisher in den ausgelegten Gutachten und in der Stellungnahme zur Planänderung 1 der BAW dargestellten ausbaubedingten Veränderungen zu untersuchen. Im Gesamtergebnis ist hierzu der folgende Sachverhalt festzustellen:

Auf Grundlage von Analysen der Untersuchungsergebnisse (Tidekennwerte für die Wasserstände, Strömungen, Salzgehalte und suspendierten Sedimenttransporte) für die geplanten Fahrrinnenanpassung von Unter- und Außenelbe gemäß Planänderung 1 und dem Vergleich mit den Untersuchungsergebnissen der im Frühjahr 2007 ausgelegten Gutachten der BAW kann nachgewiesen werden, dass sich bei Verwendung einer neueren Topographie des Jahres 2006 keine neuen Erkenntnisse für die in den ausgelegten Gutachten ermittelten ausbaubedingten Veränderungen ergeben. Die Ergebnisse der im Frühjahr 2007 ausgelegten Gutachten haben somit weiterhin Bestand, insbesondere weil sie hinsichtlich der prognostizierten Wasserstandsänderungen auf der „sicheren Seite“ liegen.

Das hiermit vorgelegte Gutachten für die Planänderung 2 kann die lokalen Veränderungen im Umfeld der Ufersicherungsmaßnahme im Altenbrucher Bogen mit der oben dargestellten Erkenntnis somit im Vergleich zu den Ergebnissen der im Frühjahr 2007 ausgelegten Gutachten vergleichend einordnen, so dass dieses Gutachten als eine ergänzende Unterlage zu den bisher ausgelegten Gutachten anzusehen ist. Zur Stützung dieses Vorgehens werden hierzu auch direkte Vergleiche graphisch dargestellter Tidekennwerte herangezogen. Diese Vorgehensweise schafft eine strukturierte Transparenz im Hinblick auf die Ergebnisse zu den einzelnen Planänderungsstufen.

Die BAW geht davon aus, dass alle zusätzlichen Ergebnisse zu den verschiedenen Planänderungen auch von den Umweltgutachtern im Kontext der bisher vorgelegten und auch erörterten Gutachten eingeordnet werden können.

## **2 Topographische und hydrologische Randbedingungen**

Für die Gesamtmaßnahme mit der Planänderung 2 werden folgende Bezeichnungen verwendet:

- PIZ\_02            Planerischer Ist-Zustand mit Topographie aus dem Jahre 2006 einschließlich der folgenden topografischen Elemente:
- Rückdeichung Spadenländer Spitze
  - Deichrückverlegung Wilhelmsburg (liegt über MThw)
  - Zufahrt Vorhafen / Restverfüllung Kohlenschiffhafen
  - Norderweiterung Nordwestkai Stade/Bützfleth
  - 8. Liegeplatz Cuxhaven „Offshore-Basis-Hafen“ 1. Bauabschnitt
  - Liegeplätze Waltershofer Hafen

- Verlängerung Europakai CTT LP 5
- Rückbau Roßhöft

AZ\_10 Berücksichtigung der Sollgeometrie des Ausbauzustandes im PIZ\_02 einschließlich der neuen Planungselemente für den Altenbrucher Bogen: Bühnen westlich vom Glameyer Stack und Bühnen in Kombination mit einer UWA östlich vom Glameyer Stack gemäß Planänderung 2. Um ungünstige ausbaubedingte Strömungszunahmen zu vermeiden, wird nördlich der Fahrrinne am Medemgrund die tiefe Rinne durch eine Initialbaggerung (1,5 Mio. m<sup>3</sup>) aufgeweitet.

Die im Modell realisierte Ausbauvariante AZ\_10 basiert weiterhin auf der aktualisierten Vorhabensbeschreibung (Technische Planung) für die Planänderung 1 des Projektbüros Fahrrinnenanpassung von Unter- und Außenelbe. Sie beinhaltet folgende Veränderungen gegenüber der ursprünglichen Vorhabensbeschreibung (Unterlage B.2), die Grundlage der im Frühjahr 2007 ausgelegten Gutachten war:

- Geringfügige Modifikation der Begegnungsstrecke
- Bisher auf der nördlichen Elbseite geplanten Ufervorspülungen werden nicht mehr realisiert. Durch Aufgabe dieser Vorspülungen sollen nun am Neuen Luechtergrund 7,5 Mio. m<sup>3</sup> Ausbaubaggergut umgelagert werden. Diese Ablagerungen wurden in der Ausbauvariante AZ\_10 berücksichtigt.

Für die Untersuchung der Variante AZ\_10 wurden zusätzlich (im Vergleich zur Variante AZ385S, die Grundlage der ausgelegten Gutachten war) die folgenden Nebenflüsse der Tideelbe in die 3D-Simulationsrechnungen einbezogen:

- Freiburger Hafenpriel
- Wischhafener Süderelbe
- Gauensieker Schleusenfleth, Gauensieker Süderelbe, Ruthenstrom
- Schwinge, Lühe, Este
- Ilmenau
- Krückau
- Pinnau
- Wedeler Au

Abbildung 1 zeigt die Topographie des Ausbauzustandes AZ\_10 im Gebiet der Elbmündung und die Abbildung 2 verdeutlicht die topographischen Veränderungen zum planerischen Ist-Zustand PIZ\_02 zwischen Cuxhaven und Brunsbüttel.

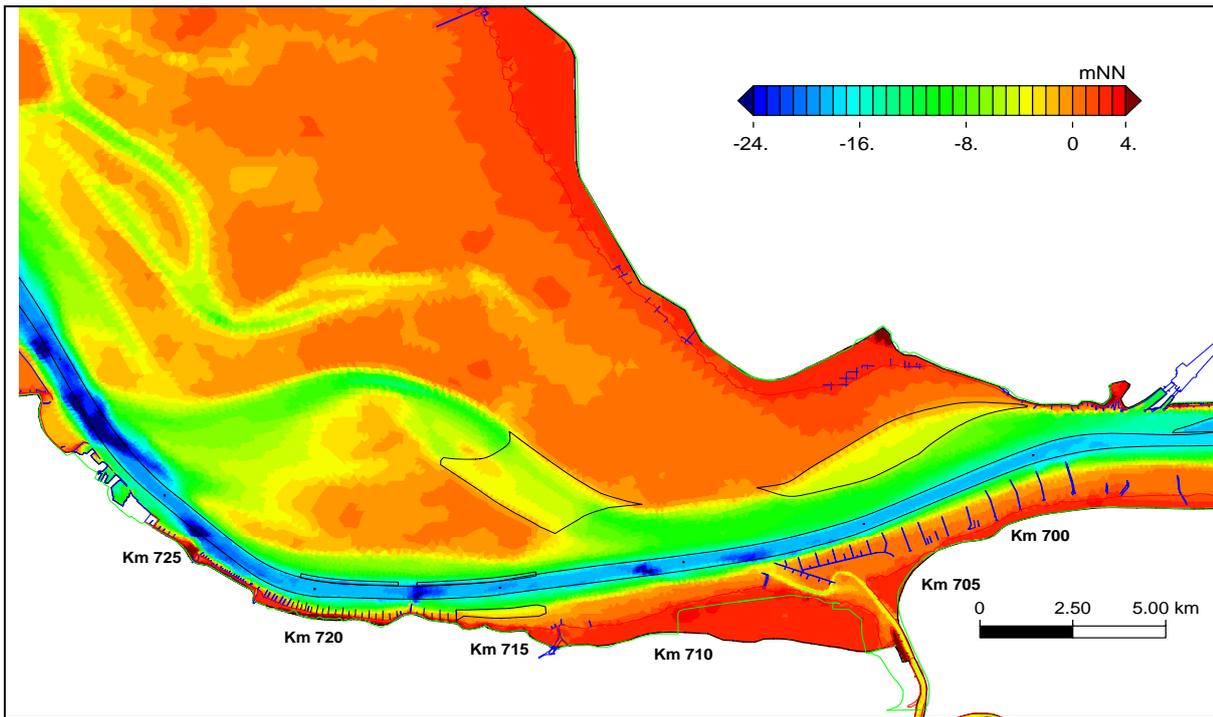


Abbildung 1: Topographie des Ausbauzustands (AZ\_10)

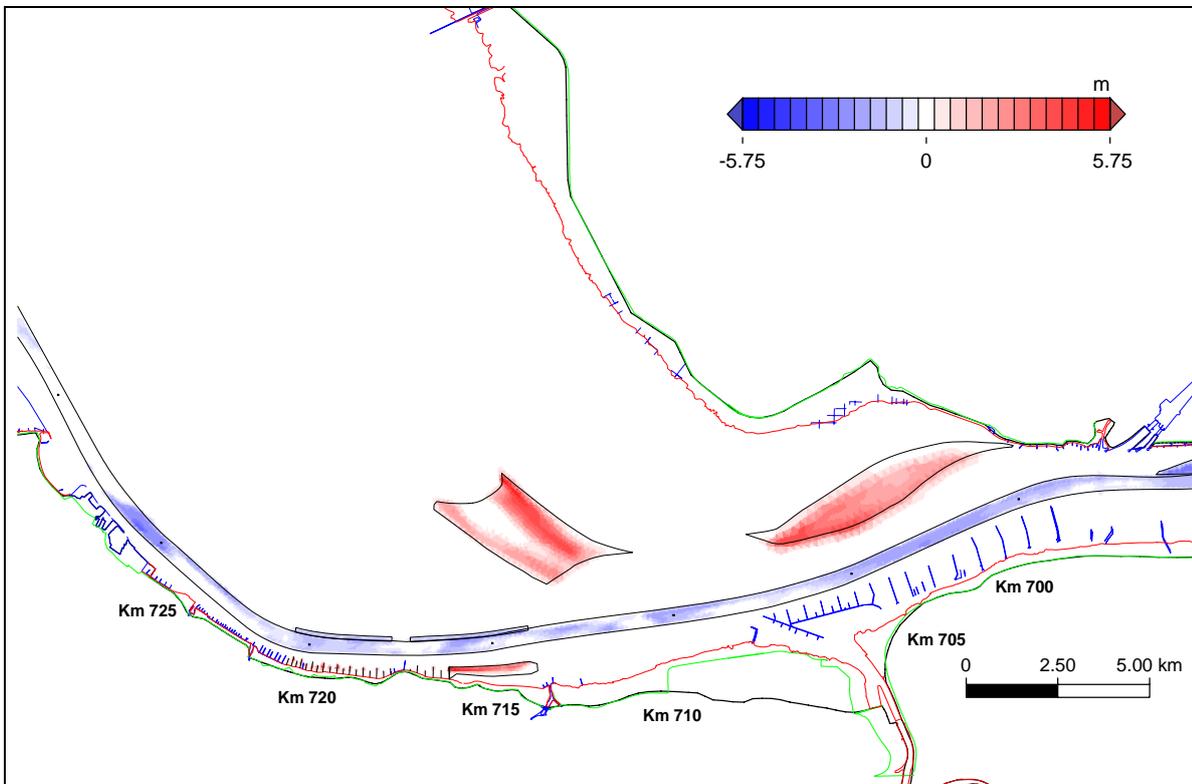


Abbildung 2: Differenztopographie: Ausbauzustand (AZ\_10) – planerische Ist-Zustand (PIZ\_02)



Zu den im Frühjahr 2007 ausgelegten Gutachten gingen mehrere Einwendungen zur modellierten Ausbreitung der Brackwasserzone ein. Es wurde zum Ausdruck gebracht, dass es aufgrund bestehender Unsicherheiten sinnvoll ist, eine „worst-case“ Analyse durchzuführen, weil der Salzgehalt der Brackwasserzone bei lang anhaltenden, sehr geringen Oberwassermengen am weitesten stromauf transportiert wird. Die BAW hat diese Forderungen aufgenommen und für die oben beschriebenen Varianten PIZ\_02 und AZ\_10 Modelluntersuchungen mit folgenden „worst-case“ Randwerten durchgeführt:

- Oberwassermenge konstant                      180 m<sup>3</sup>/s
- Seeseitiger Salzgehalt konstant              32 PSU

Diese „worst-case“ Randwerte wirken sich auch auf den Transport der Sedimente aus. Je kleiner die Oberwassermenge ist, desto geringer ist ihre Spülwirkung auf die stromauf transportierten Sedimente.

Die im Frühjahr 2007 ausgelegten Gutachten basieren nicht auf diesen „worst-case“ Randwerten. Als Vergleichsgrundlage werden in diesem Gutachten die Ergebnisse dargestellt, die sich aus den folgenden Randwerten ergeben:

- Oberwassermenge konstant                      350 m<sup>3</sup>/s
- Seeseitiger Salzgehalt konstant              30 PSU

Zur Möglichkeit einer grundlegenden Einordnung und Herstellung einer Vergleichbarkeit der Ergebnisse (Vergleich der Ergebnisse zur Panänderung 2 mit den bisher ausgelegten Gutachten) wurden die Randwerte zur Steuerung für die Wasserstände am seeseitigen Rand identisch gewählt. Die einlaufende Tidewelle bildet die dominierende Anregung des Systems. Deshalb wurde der ursprünglich gewählte Spring-Nipp Zyklus aus dem Mai 2002 auch für die vorliegende Untersuchung beibehalten.

### **3 Ergebnisse der Untersuchungen für die Planänderung 2**

#### **3.1 Einführung**

Die Simulationsergebnisse, die sich unter Berücksichtigung der oben angegebenen topographischen Elemente und der vollständig im hoch auflösenden 3D-Modell berücksichtigten Nebenflüsse mit den „worst-case“ Randwerten (siehe Kapitel 2) für die Planänderung 2 ergeben, werden nachfolgend (wo aus Sicht der BAW erforderlich im Vergleich zu den Ergebnissen für die bisherige Variante AZ385S der im Frühjahr 2007 ausgelegten Gutachten) dargestellt.

Die bisher gültigen Ergebnisse für die Kennwerte des Wasserstands, der Strömung, des Salzgehalts und des Sedimenttransports sind in den im Frühjahr 2007 ausgelegten Gutach-

ten BAW (2006) dargestellt: *Anpassung der Fahrrinne von Unter- und Außenelbe an die Containerschiffahrt – Gutachten zur ausbaubedingten Änderung von Tidedynamik und Salzgehalt*, Gutachten BAW-Nr. A39550310062-H.1a und *Anpassung der Fahrrinne von Unter- und Außenelbe an die Containerschiffahrt – Gutachten zur ausbaubedingten Änderung der morphodynamischen Prozesse*, Gutachten BAW-Nr. A39550310062-H.1c.

Es werden die lokalen ausbaubedingten Änderungen für das Gebiet zwischen der Kugelbake und Brunsbüttel für die Variante AZ\_10 (Planänderung 2) beschrieben.

### **3.2 Ausbaubedingte Änderung der kennzeichnenden Wasserstände**

Die ausbaubedingten Änderungen der Kennwerte des Wasserstands in der Fahrrinne (Umfeld der Ufersicherungsmaßnahme) lassen sich wie folgt einordnen:

- Im Bereich des Altenbrucher Bogens verändert sich das MThw in etwa wie in den ausgelegten Gutachten. Es fällt geringfügig weiter ab ( $< 1\text{cm}$ ).
- Im Bereich der Ufersicherungsmaßnahme entsprechen die Veränderungen des MThw denen der ausgelegten Gutachten.
- Auch die Thb-Veränderungen sind vergleichbar zu denen der ausgelegten Gutachten.

Insgesamt (bezogen auf Thb-Änderungen in der Fahrrinne zwischen der Elbemündung und Hamburg) nimmt der Tidehub nur noch maximal um  $+0,02\text{ m}$  bei Elbe-Km 630 zu. Dies Ergebnis (geringere Thb-Änderung als in den ausgelegten Gutachten) kann nicht der Planänderung 2 zugeschrieben werden. Es muss vor allem im Zusammenhang mit dem zusätzlichen Flutraum interpretiert werden, der durch die Anbindung der oben genannten weiteren Nebenflüsse gegeben ist. Dieser zusätzliche Flutraum führt zu einer Dämpfung der ausbaubedingten Änderungen der Wasserstände.

### **3.3 Ausbaubedingte Änderung der Strömungskennwerte**

#### **3.3.1 Änderung der Strömungen in Fahrrinnenmitte**

Die ausbaubedingten Änderungen der Strömungskennwerte in der Fahrrinnenmitte (im Abschnitt der Ufersicherungsmaßnahme) lassen sich wie folgt einordnen:

- Mittlere Ebbestromgeschwindigkeiten in Fahrrinnenmitte  
Im Abschnitt der neuen Strombauelemente der Planänderung 2 sind die ausbaubedingten Änderungen nahezu identisch mit denen der bisher ausgelegten Gutachten.
- Mittlere Flutstromgeschwindigkeiten in Fahrrinnenmitte  
Auf Höhe Glameyer Stack ergeben sich für diesen Kennwert keine größeren Belastungen als in den ausgelegten Gutachten (in der Tendenz sind diese geringer). Stromauf von Glameyer Stack sind die Zunahmen etwas kleiner (bis zu  $0,05\text{ m/s}$  kleiner) als in den

ausgelegten Gutachten. Stromab von Glameyer Stack sind die Zunahmen etwas größer (bis zu 0,03 m/s größer) als in den ausgelegten Gutachten.

— Maximale Ebbestromgeschwindigkeiten in Fahrrinnenmitte

In Fahrrinnenmitte des Altenbrucher Bogens ergeben sich im Vergleich zum ausgelegten Gutachten keine neuen oder größeren Spitzen in der Strömungszunahme. Dies ist insbesondere auf die Initialbaggerung zurück zu führen, die eine Zunahme der ausbaubedingten Strömungsspitzen verhindert.

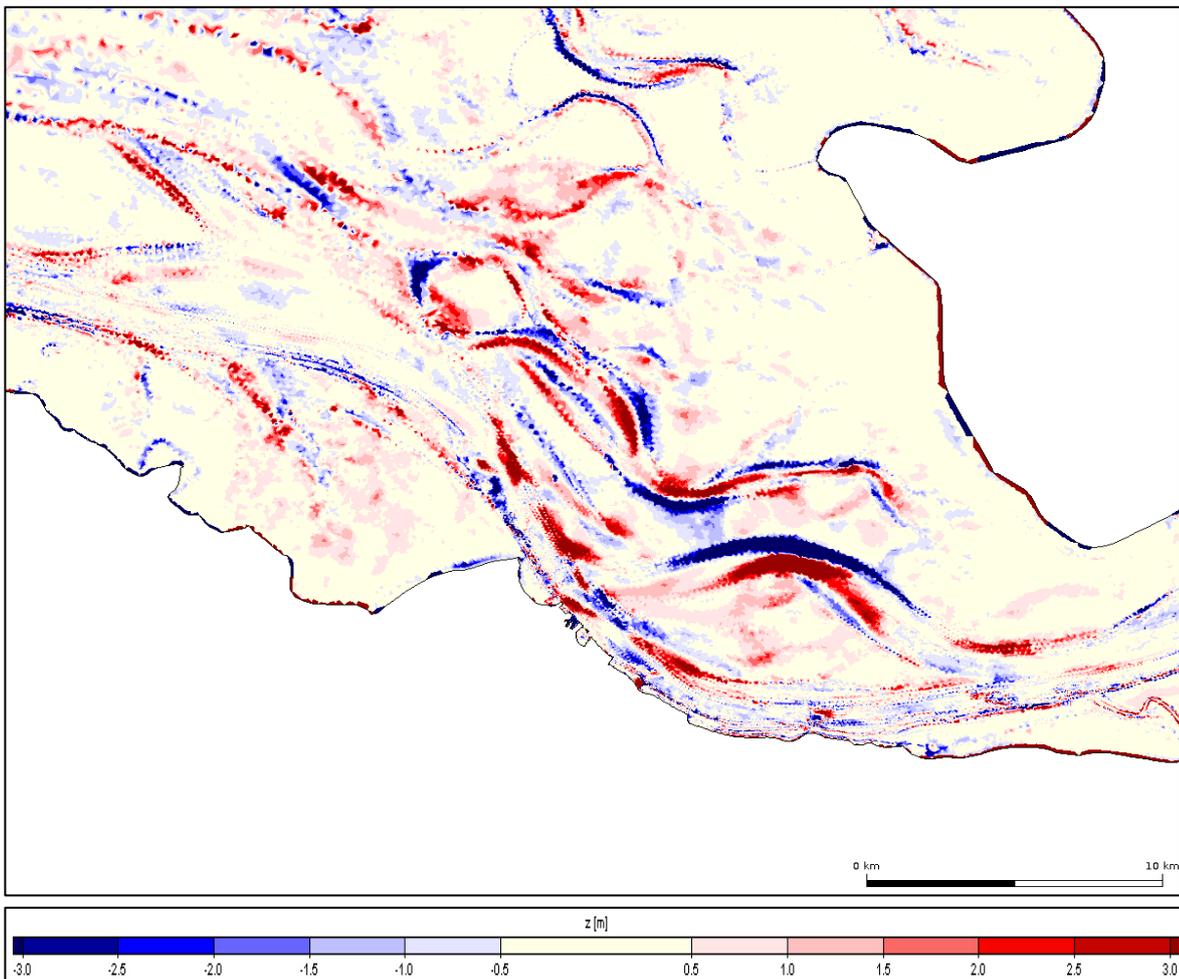
— Maximale Flutstromgeschwindigkeiten in Fahrrinnenmitte

Auf Höhe Glameyer Stack ergeben sich für diesen Kennwert in der Tendenz größere Belastungen als in den ausgelegten Gutachten. Stromauf von Glameyer Stack sind die Belastungen etwas geringer und stromab etwas größer. Insgesamt können die Veränderungen nicht als erheblich eingestuft werden.

### 3.3.2 Erfordernisse für eine differenziert flächenhafte Betrachtung

Die in Kapitel 3.2.1 beschriebenen Veränderungen der Strömungskennwerte in Fahrrinnenmitte können bezogen auf die Strombau- und Ufersicherungsmaßnahme nicht als ausreichend für eine umfassende Analyse angesehen werden. Da sich die Bauwerke und auch die Initialbaggerung in den Randbereichen der tiefen Rinne befinden, ist eine flächenhafte lokale Betrachtung im Umfeld der Strombaumaßnahme erforderlich. Die Strömungen im Umfeld der neu geplanten Strombaumaßnahme sollen hier deshalb einer gesonderten Analyse unterzogen werden, weil sich ausbaubedingte Veränderungen der lokalen Strömungsfelder räumlich differenziert anders ausprägen können, als in den bisher vorgelegten Untersuchungsergebnissen. Interne Vorarbeiten in der BAW hatten auf dieser Grundlage bereits zu einem Optimierungsprozess geführt, der das Erfordernis einer Initialbaggerung zur Aufweitung der tiefen Rinne offenbarte. Die Aufweitung wurde den geplanten Strombauwerken gegenüber liegend vorgesehen. Sie verhindert eine weitere Zunahme insbesondere der maximalen Ebbestromung entlang der vorhandenen Bühnenstrecke vor Altenbruch.

Zur Einordnung der neuen Ergebnisse für die Planänderung 2 wird eine detaillierte Analyse der flächenhaften Darstellungen der Kennwerte der Strömungsgeschwindigkeiten im Bereich Altenbrucher Bogen den Ergebnissen in den ausgelegten Gutachten gegenüber gestellt und interpretiert. Im Rahmen dieser Interpretation ist zu beachten, dass sich veränderte Strömungen im Umfeld der Planänderung 2 nicht allein durch die neuen Strombauelemente ergeben, sondern auch durch die morphologischen Veränderungen, die zwischen den topografischen Zuständen der Jahre 2003 und 2006 eingetreten sind. Die Unterschiede in der Modelltopographie zeigt die Abbildung 3. Hier sind für die Zeitspanne von 2003 bis 2006 die Zunahmen (blau) und die Abnahmen (rot) der Wassertiefen dargestellt, die sich ergeben wenn von den Wassertiefen des planerischen Ist-Zustands PIZ\_02 die des PIZ subtrahiert werden. Auffällig sind dabei die Verlagerungen der Medemrinne nach Norden und die des Klotzenloches nach Süden.



**Abbildung 3: Differenztopographie PIZ\_02 – PIZ: Abnahmen der Wassertiefen sind rot und Zunahmen blau kodiert.**

Es werden im Folgenden die mittleren und maximalen Flut- und Ebbestromgeschwindigkeiten als Absolutwerte für die planerischen Ist-Zustände (PIZ, PIZ\_02) sowie die ausbaubedingten Änderungen dieser Strömungskennwerte als Differenzwerte dargestellt.

Die über den Analysezeitraum gemittelten Werte werden in Klassen eingeteilt und farblich kodiert in einer Isofarbflächengrafik aufgetragen. Werte unterhalb der kleinsten und oberhalb der größten Klassenbegrenzung werden separat mit den Farbwerten eingefärbt, die in den beiden Dreiecken am Anfang und Ende der Farblegende verwendet worden sind. Die Absolutwerte der Strömungsgeschwindigkeiten werden von 0 bis 2,6 m/s in 13 Klassen eingeteilt, so dass jede Farbe eine Klassenbreite von 0,2 m/s repräsentiert. Die Differenzen werden ebenfalls in 13 Klassen eingeteilt, wobei Zunahmen in roten Farbstufen und Abnahmen in blauen Farbstufen kodiert sind und jede Farbe eine Klassenbreite von 0,05 m/s repräsentiert. Änderungen, die dem Betrage nach kleiner sind als der Schwellenwert von 2,5 cm/s, sind weiß. Die trocken gefallenen Wattflächen werden in Graustufen dargestellt.

### 3.3.3 Flächenhafte Analyse der mittleren Ebbestromgeschwindigkeiten

Ein Vergleich der mittleren Ebbestromgeschwindigkeiten für die beiden planerischen Ist-Zustände PIZ (Topographie 2003) in Abbildung 4 und PIZ\_02 (Topographie 2006) in Abbildung 5 zeigt folgende Erscheinungen:

- Außerhalb der Fahrrinne ergeben sich im PIZ\_02 am niedersächsischen Ufer entlang der Bühnenstrecke bei Altenbruch geringfügig größere Kennwerte als im PIZ.
- Im PIZ\_02 ist der Scheitel der Medemrinne weiter nach Norden verschoben, so dass der Ebbestrom in dieser Rinne eine längere Strecke zurücklegen muss, um in den seewärtigen Mündungsbereich zu gelangen. Auch die Mündung der Medemrinne in die Hauptrinne hat sich ein wenig stromabwärts verschoben.
- Durch Zunahme der Krümmung des Medemrinnenscheitels ergibt sich eine stärkere Strömungsumlenkung, verbunden mit einer lokalen Zunahme der Strömungsgeschwindigkeit in diesem Scheitel.
- Im Gebiet der östlichen Medemrinne hat sich die Breite des Strömungsbandes bei gleich bleibender Strömungsintensität verringert. Dies deutet darauf hin, dass hier die Leistungsfähigkeit der Rinne abnimmt. Diese natürliche Entwicklung kommt der dort geplanten UWA entgegen.

Da die Dissipation der Strömungsenergie in der Medemrinne zugenommen hat, ergeben sich im PIZ\_02 in der Hauptrinne die dargestellten geringfügigen Zunahmen. Diese Zunahmen werden aber auch durch das mit den angeschlossenen Nebenflüssen vergrößerte Ebbestromvolumen verursacht.

Ein Vergleich der ausbaubedingten Änderungen der beiden Ausbauzustände (Abbildung 6 und Abbildung 7) zeigt für diesen Kennwert auch flächenhaft keine signifikant abweichenden Ergebnisse. Die UWA Medemrinne zeigt in der Tendenz im AZ\_10 eine geringfügig stärkere Wirkung als im AZ385S.

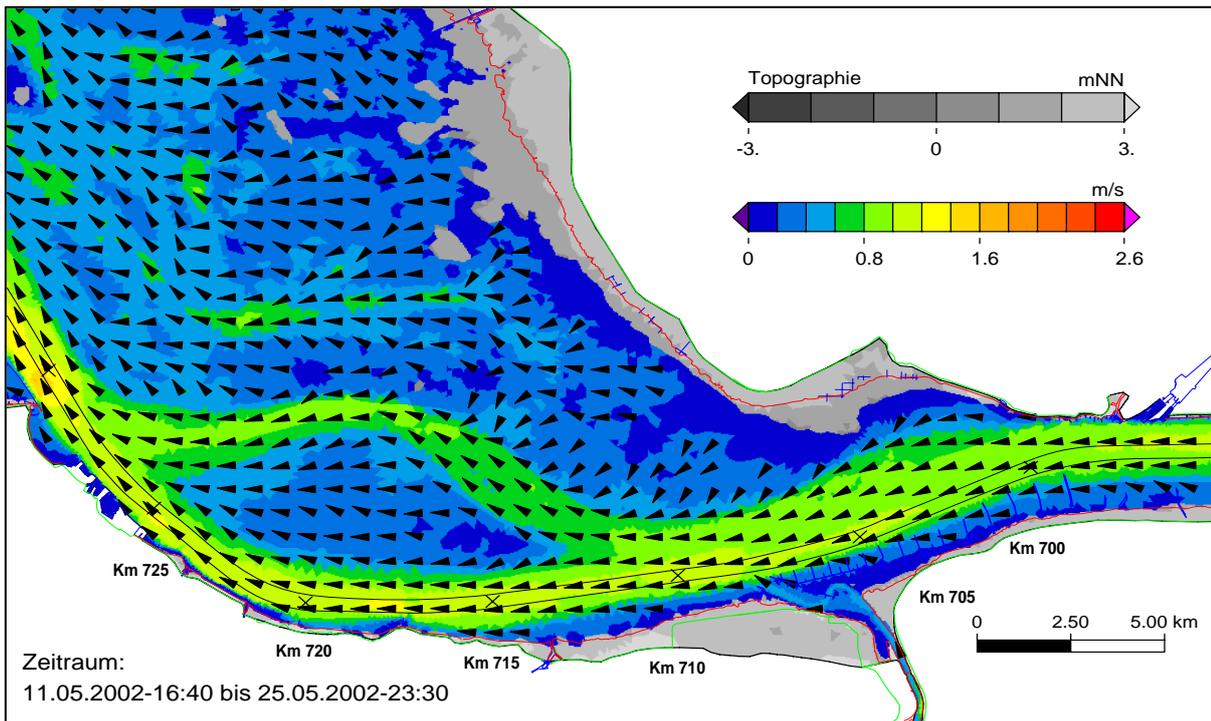


Abbildung 4: Mittlere Ebbestromgeschwindigkeit im planerischen Ist-Zustand (PIZ)

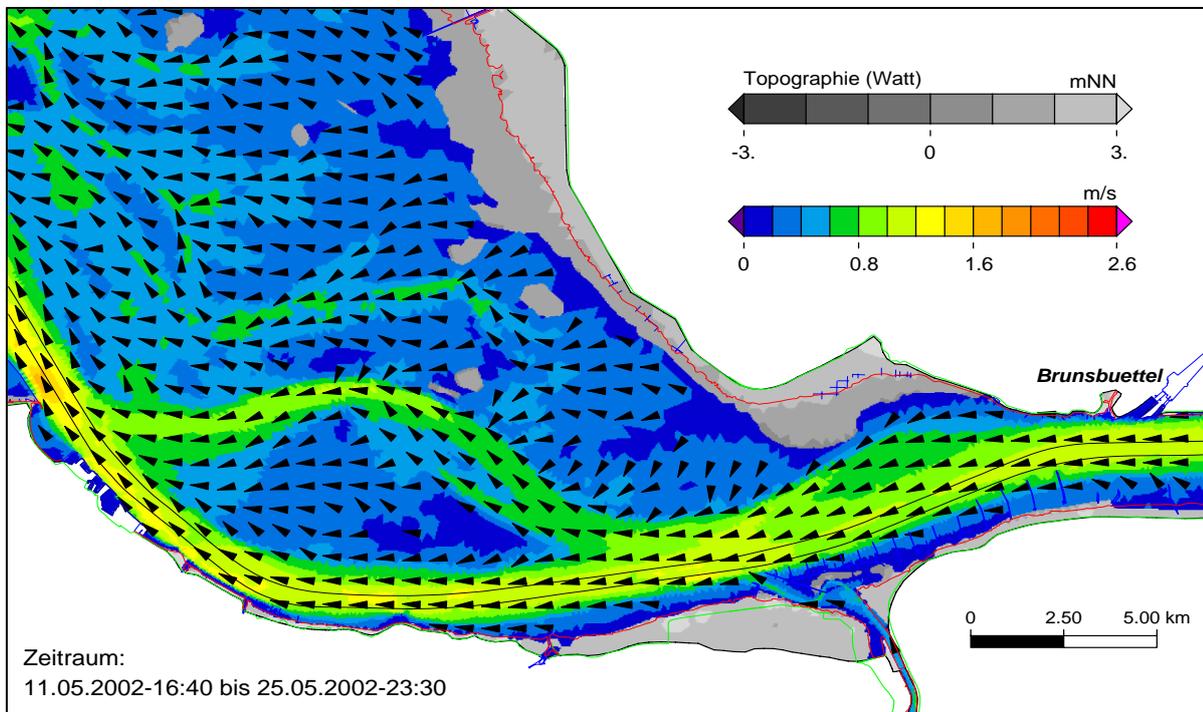
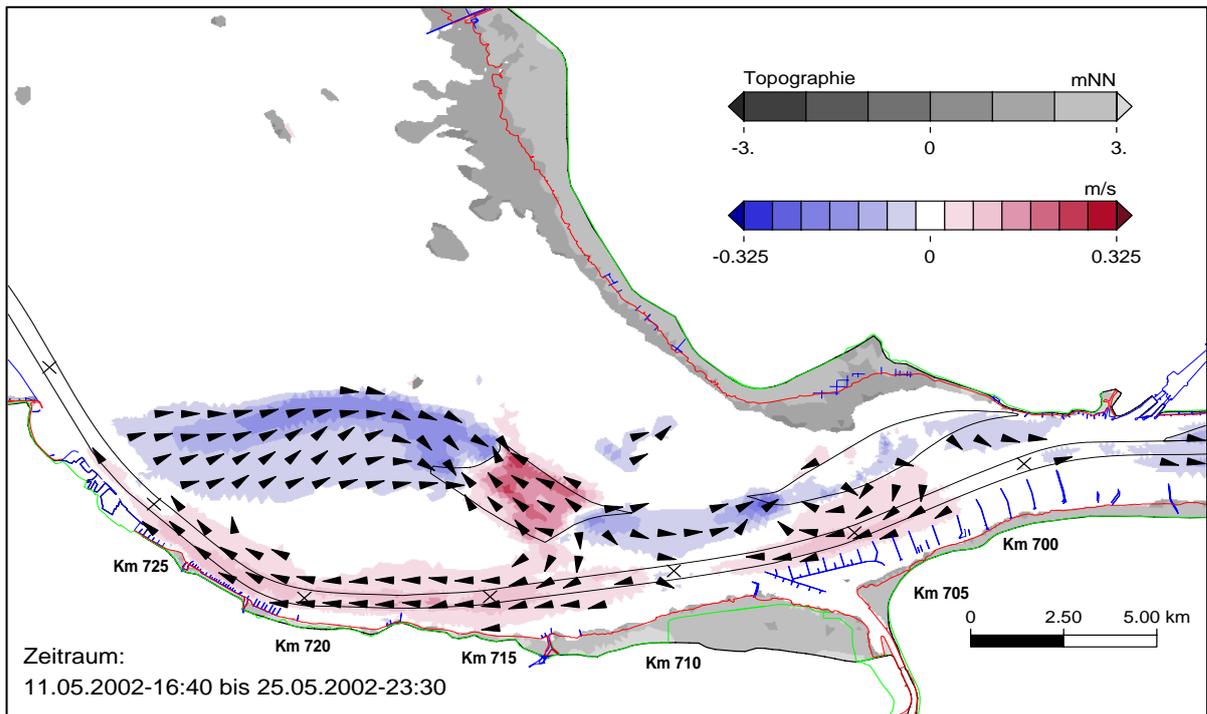
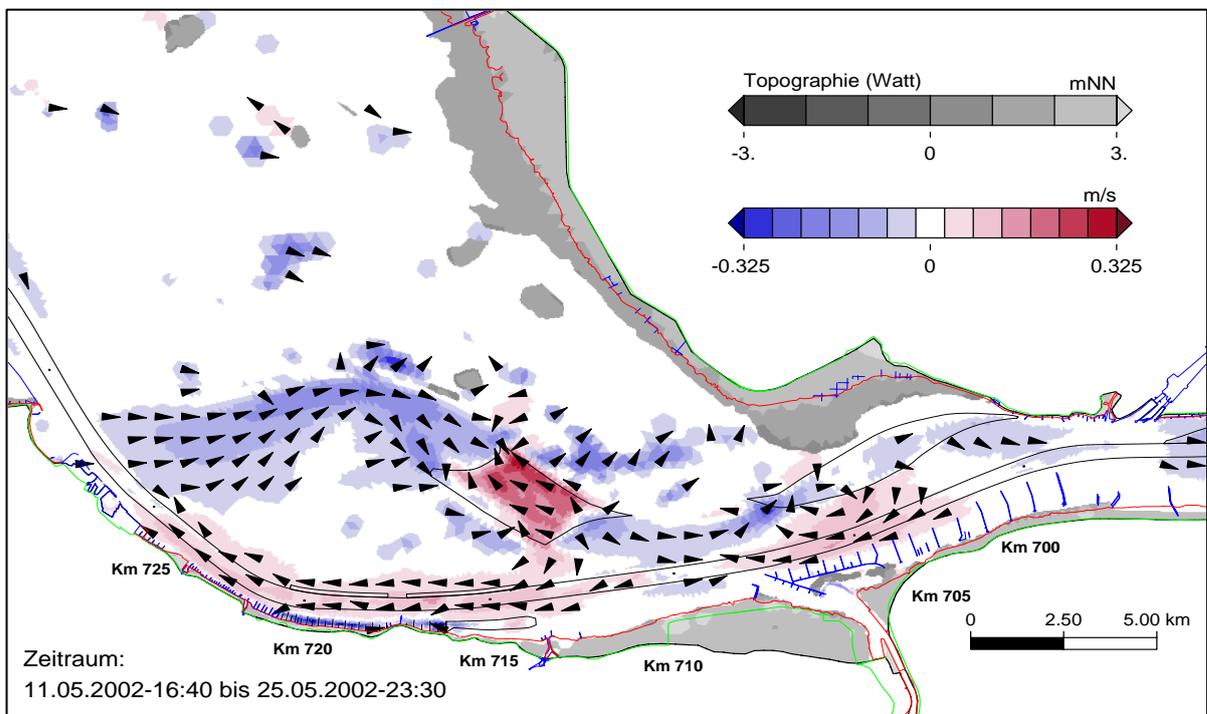


Abbildung 5: Mittlere Ebbestromgeschwindigkeit im planerischen Ist-Zustand (PIZ\_02)



**Abbildung 6: Ausbaubedingte Änderung der mittlere Ebbestromgeschwindigkeit (AZ385S – PIZ)**



**Abbildung 7: Ausbaubedingte Änderung der mittlere Ebbestromgeschwindigkeit (AZ\_10 – PIZ\_02)**

### 3.3.4 Flächenhafte Analyse der mittleren Flutstromgeschwindigkeiten

Ein Vergleich der mittleren Flutstromgeschwindigkeiten für die beiden planerischen Ist-Zustände PIZ (Topographie 2003) in Abbildung 8 und PIZ\_02 (Topographie 2006) in Abbildung 9 zeigt folgende Erscheinungen:

- In der tiefen Rinne sind im PIZ\_02 verschiedene Strömungszunahmen sichtbar. Diese lassen sich nicht nur durch Veränderung der Topographie sondern auch durch die Berücksichtigung aller Nebenflüsse (größeres einströmendes Flutstromvolumen) erklären. Besonders hingewiesen sei aber auf die buhnenfreie Strecke westlich vom Glameyer Stack. Hier ergeben sich ufernah im PIZ\_02 leicht erhöhte Flutströmungen.
- Im PIZ\_02 ist der Scheitel der Medemrinne weiter nach Norden verschoben. Die von Nordwesten in das Klotzenloch vordringenden Flutstromwassermengen können in der Topographie 2006 mit verstärkter Intensität und Menge über den Watrückten zur Medemrinne strömen. Hierdurch wird im Ostteil der Medemrinne die Strömung in einem schmalen Band intensiviert.
- Auch im oberen nach Osten weisenden Abschnitt des Klotzenloches nimmt die Strömung im PIZ\_02 zu.

Es wird empfohlen, die Entwicklungen des Wasseraustauschs zwischen dem Klotzenloch und der Medemrinne bis zur Realisierung der Ausbaumaßnahme von der BAW fachlich begleiten zu lassen, um bei Realisierung der UWA Medemrinne Ost ggf. Kosten sparen zu können.

Ein Vergleich der ausbaubedingten Änderungen der beiden Ausbauzustände (Abbildung 10 und Abbildung 11) zeigt für diesen Kennwert signifikant abweichende Ergebnisse im Hinblick auf die Dämpfungswirkung der UWA Medemrinne. Mit der Ausbauvariante AZ\_10 entfaltet die UWA in der Medemrinne eine stärkere Wirkung als im AZ385S.

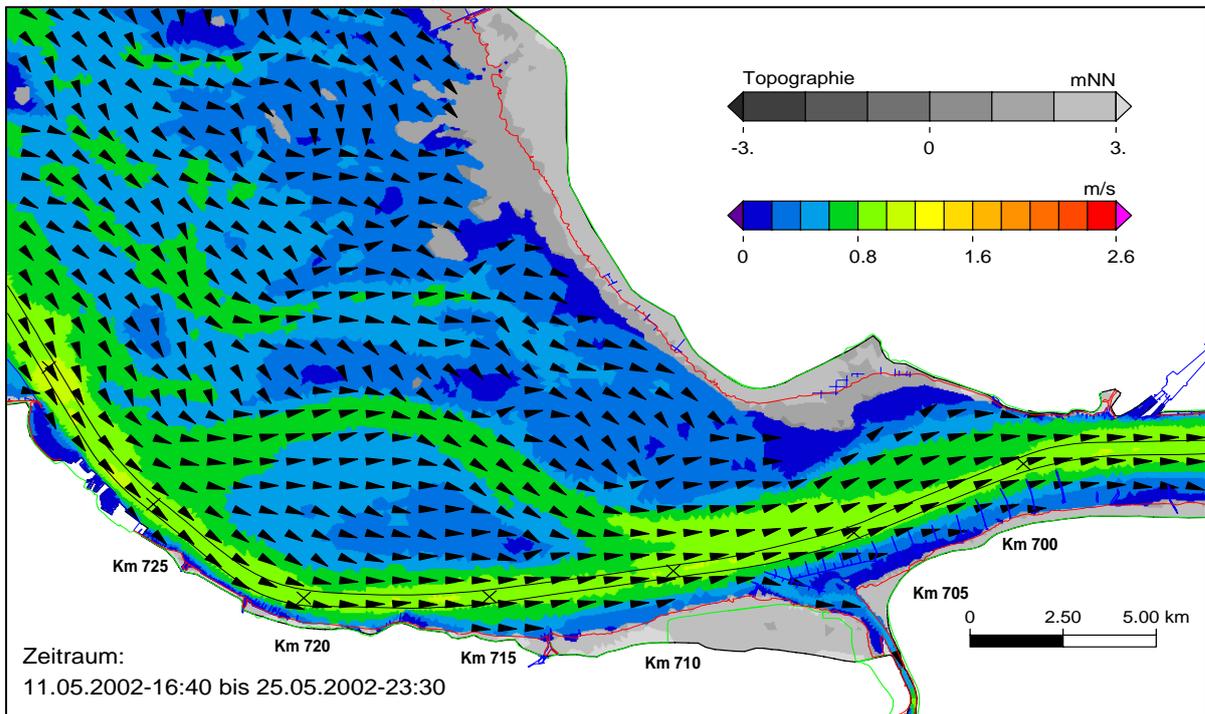


Abbildung 8: Mittlere Flutstromgeschwindigkeit im planerischen Ist-Zustand (PIZ)

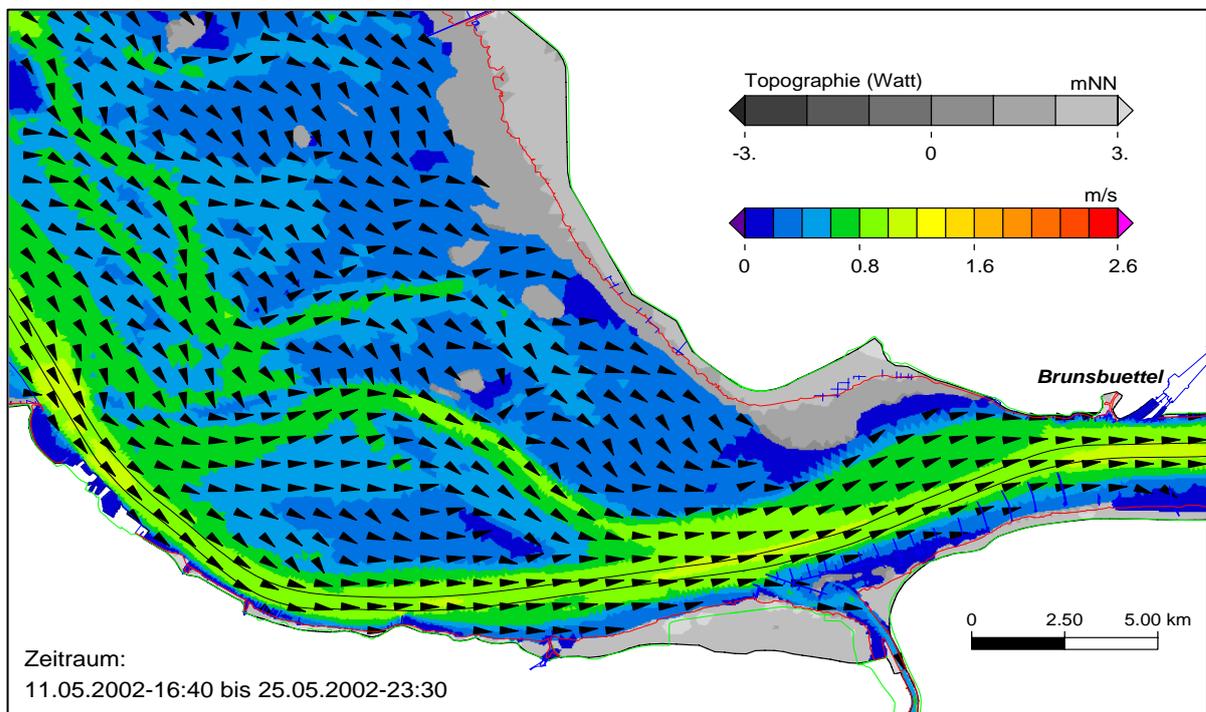
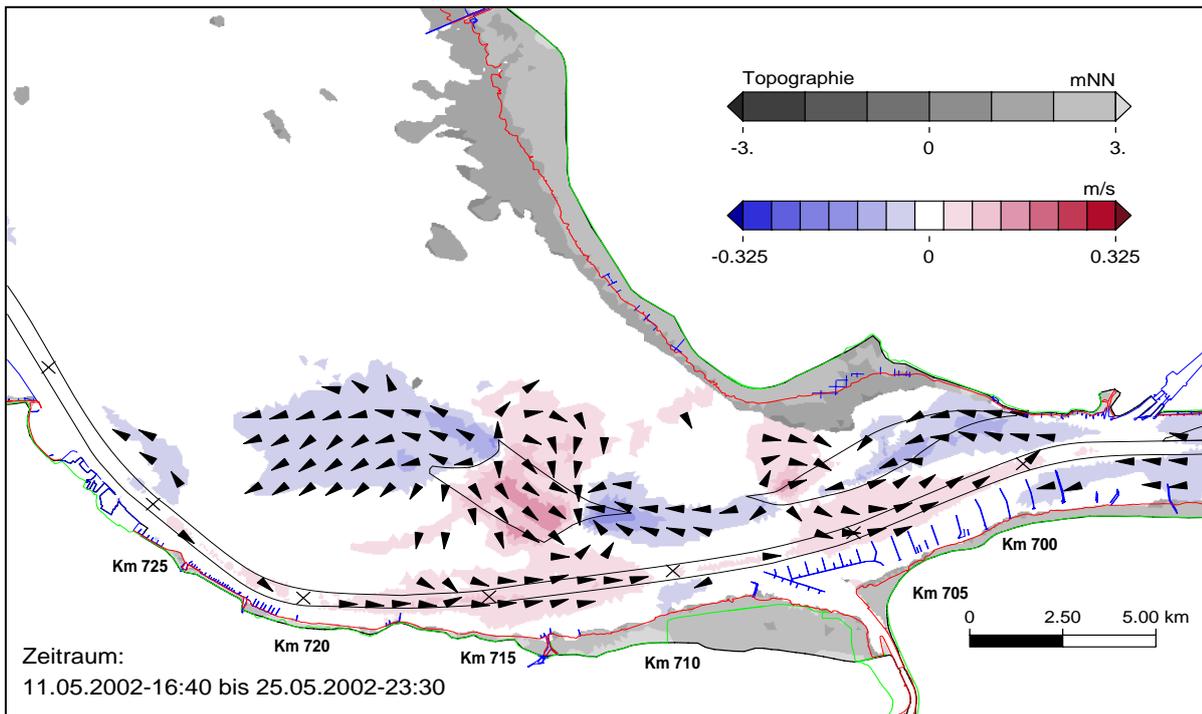
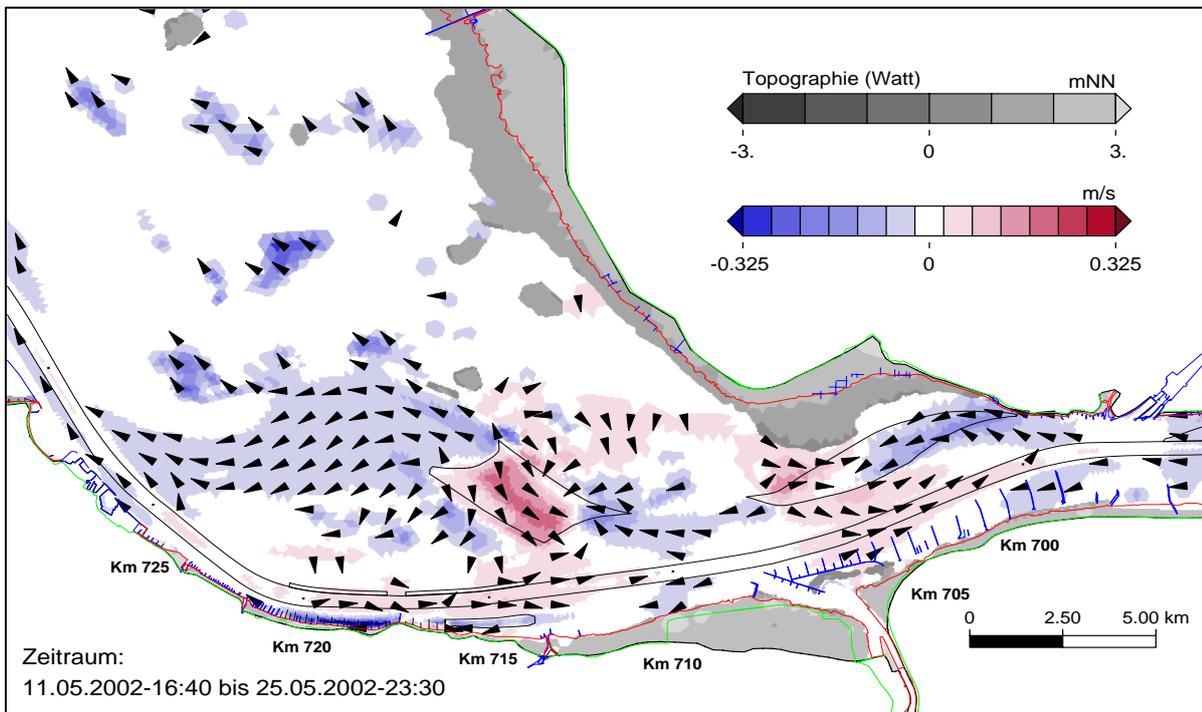


Abbildung 9: Mittlere Flutstromgeschwindigkeit im planerischen Ist-Zustand (PIZ\_02)



**Abbildung 10: Ausbaubedingte Änderung der mittlere Flutstromgeschwindigkeit (AZ385S – PIZ)**



**Abbildung 11: Ausbaubedingte Änderung der mittlere Flutstromgeschwindigkeit (AZ\_10 – PIZ\_02)**

### 3.3.5 Flächenhafte Analyse der maximalen Ebbestromgeschwindigkeiten

Ein Vergleich der maximalen Ebbestromgeschwindigkeiten für die beiden planerischen Ist-Zustände PIZ (Topographie 2003) in Abbildung 12 und PIZ\_02 (Topographie 2006) in Abbildung 13 zeigt folgende Erscheinungen:

- Die maximale Ebbeströmung nimmt im PIZ\_02 auch am niedersächsischen Ufer zwischen Altenbruch und Cuxhaven zu. Dies wird einerseits verursacht durch das mit den zusätzlich angeschlossenen Nebenflüssen vergrößerte Ebbestromvolumen, kann andererseits aber auch vom im PIZ\_02 zusätzlich berücksichtigten Liegeplatz 8 her rühren. Auch durch die bereits dargestellte Zunahme der Dissipation der Strömungsenergie in der Medemrinne ergeben sich in der Hauptrinne die dargestellten geringfügigen Zunahmen.
- Im PIZ\_02 ist der Scheitel der Medemrinne weiter nach Norden verschoben. Die maximalen Ebbestromgeschwindigkeiten haben im Scheitel und weiter nach unterstrom bis in den Übergang zur Hauptrinne zugenommen. Dies führt zu einer lokalen Verstärkung des Strömungsimpulses auch in der sich in Strömungsrichtung anschließenden Hauptrinne, so dass die Strömung zwischen Kugelbakenleitdamm und westlicher Fahrrinnenbegrenzung weiter ansteigt.

Ein Vergleich der ausbaubedingten Änderungen der beiden Ausbauzustände (Abbildung 14 und Abbildung 15) zeigt für diesen Kennwert flächenhaft keine signifikant abweichenden Ergebnisse. Die UWA Medemrinne zeigt in der Tendenz im AZ\_10 eine geringfügig stärkere Wirkung als im AZ385S. Von entscheidungserheblicher Bedeutung ist aus Sicht der BAW, dass die maximale Ebbeströmung ausbaubedingt im Bereich der Bühnenstrecke vor Altenbruch im Vergleich zur bisher verfolgten Ausbauvariante (AZ385S) in der neuen Strombauvariante nicht zunimmt. Dies wurde durch die angegebene Initialbaggerung erreicht.

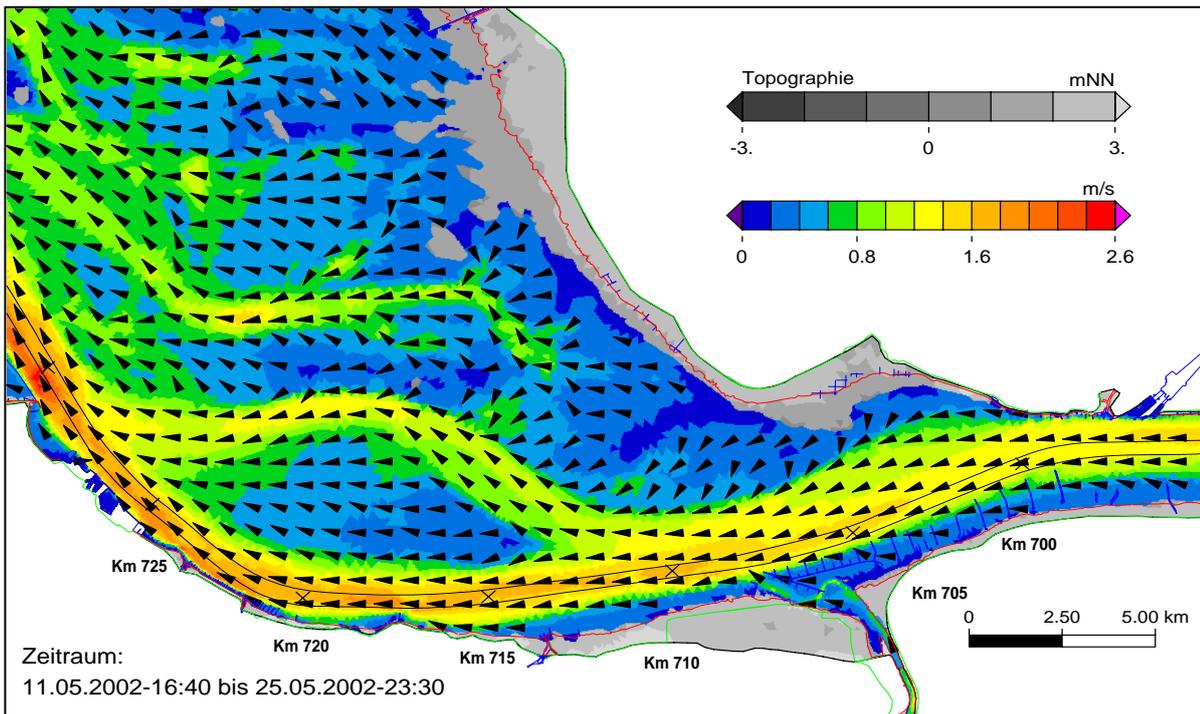


Abbildung 12: Maximale Ebbestromgeschwindigkeit im planerischen Ist-Zustand (PIZ)

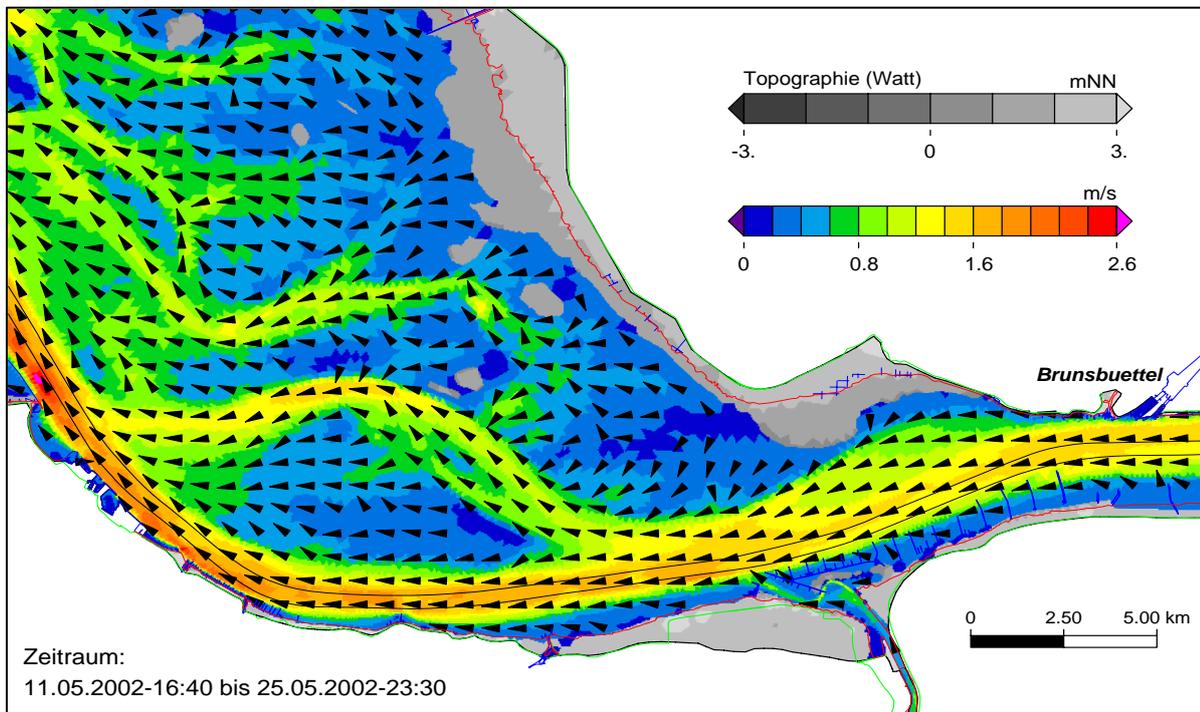
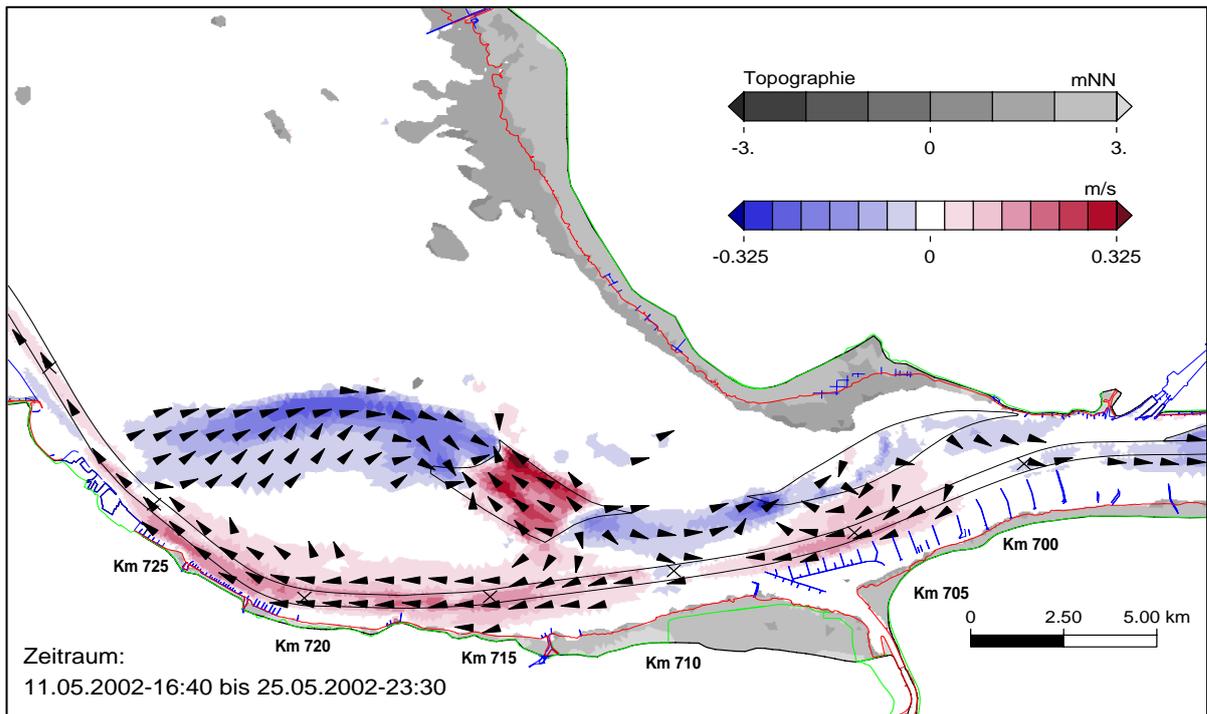
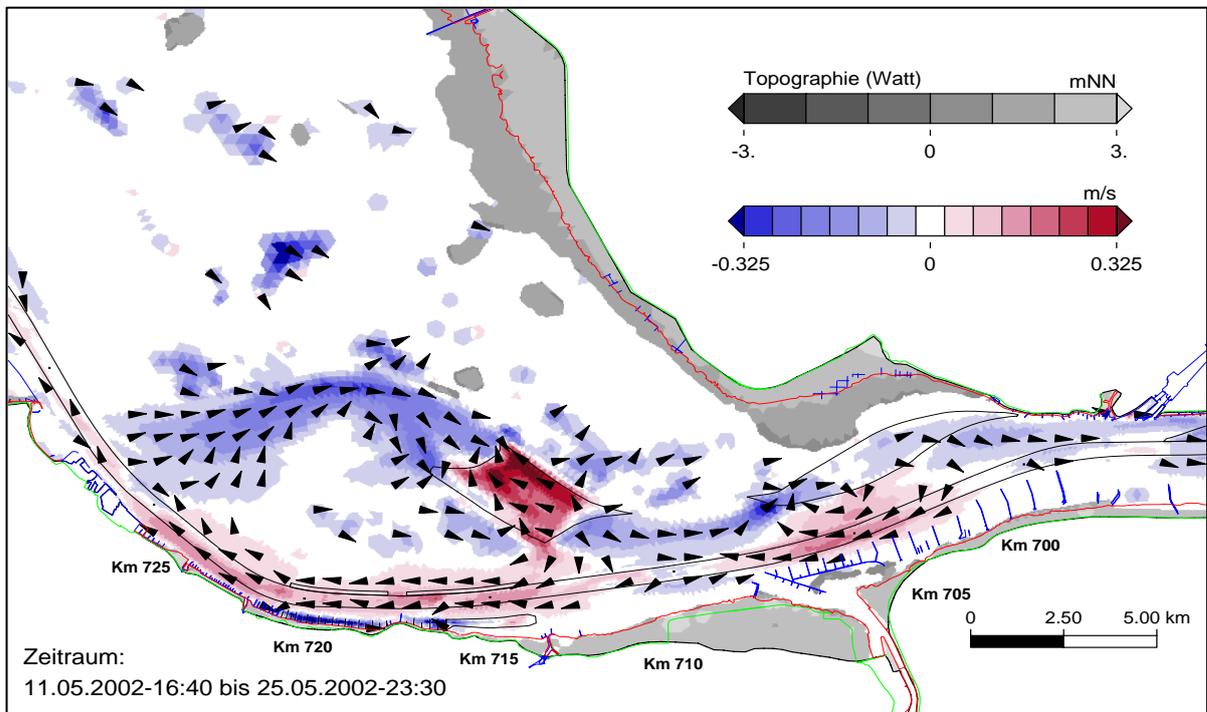


Abbildung 13: Maximale Ebbestromgeschwindigkeit im planerischen Ist-Zustand (PIZ\_02)



**Abbildung 14: Ausbaubedingte Änderung der maximalen Ebbestromgeschwindigkeit (AZ385S – PIZ)**



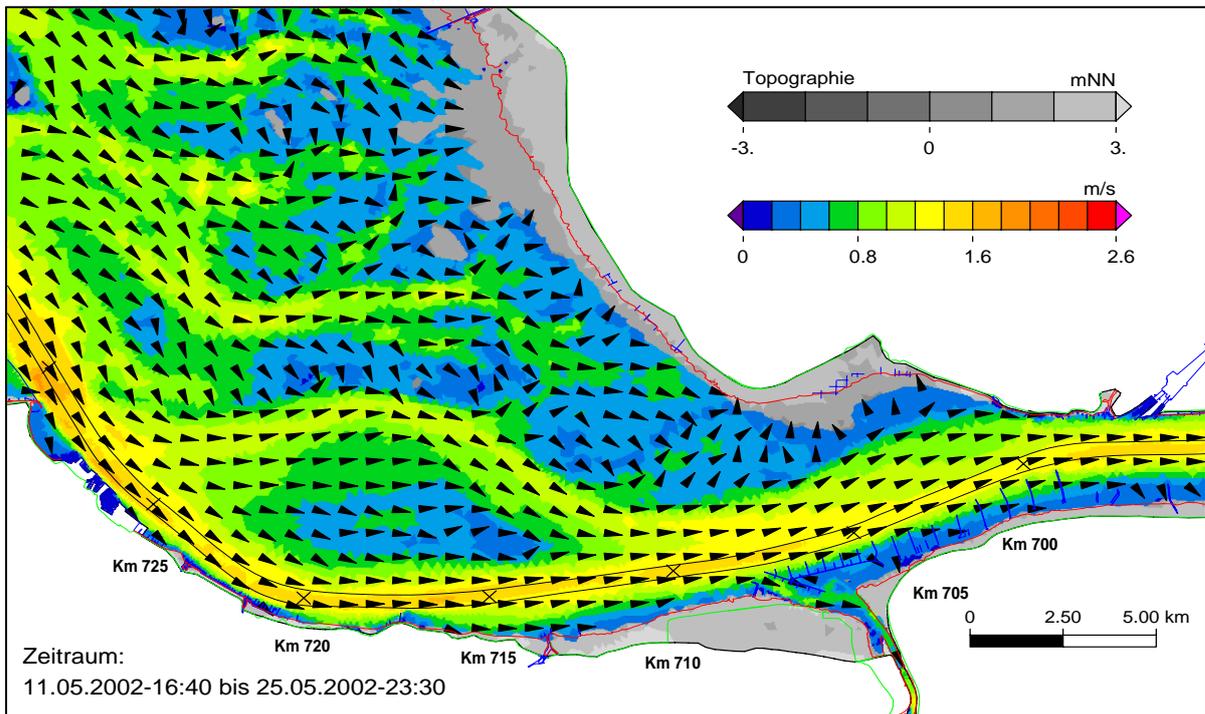
**Abbildung 15: Ausbaubedingte Änderung der maximalen Ebbestromgeschwindigkeit (AZ\_10 – PIZ\_02)**

### 3.3.6 Flächenhafte Analyse der maximalen Flutstromgeschwindigkeiten

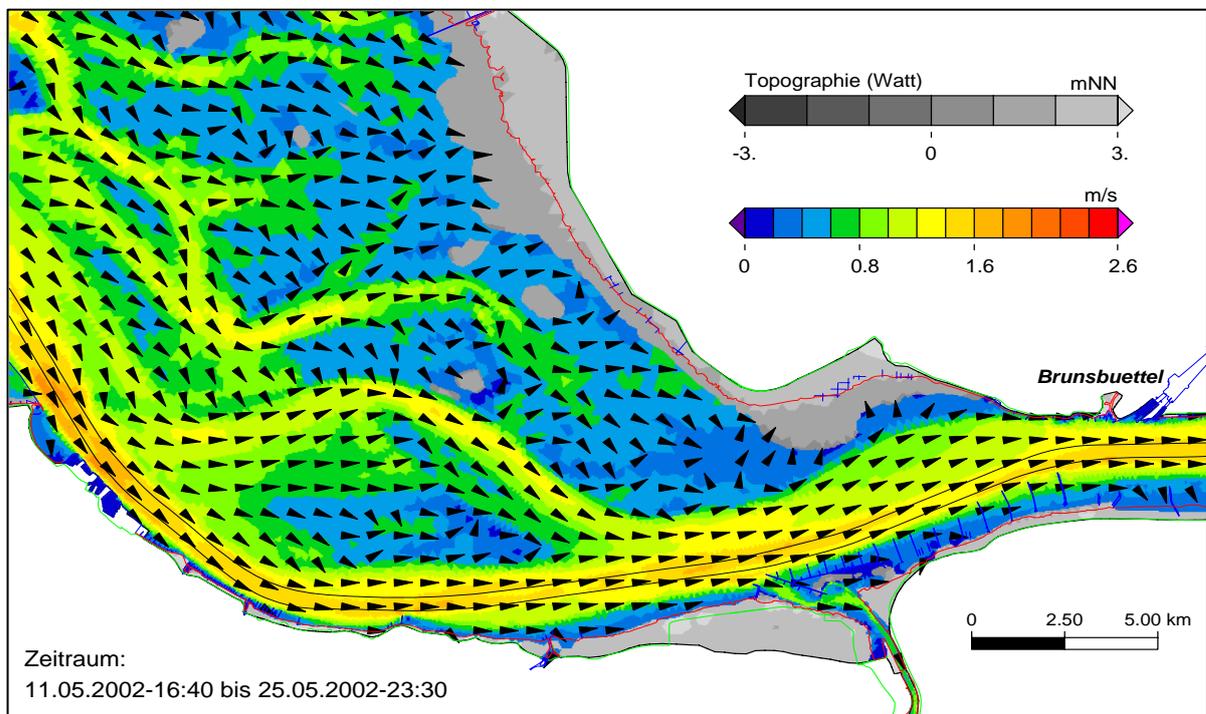
Ein Vergleich der maximalen Flutstromgeschwindigkeiten für die beiden planerischen Ist-Zustände PIZ (Topographie 2003) in Abbildung 16 und PIZ\_02 (Topographie 2006) in Abbildung 17 zeigt folgende Erscheinungen:

- Die Analyse erbringt kaum neue Erkenntnisse. Die zu den mittleren Flutstromgeschwindigkeiten dargelegten Zusammenhänge können anhand der Abbildungen für die maximalen Flutstromgeschwindigkeiten überprüft werden.

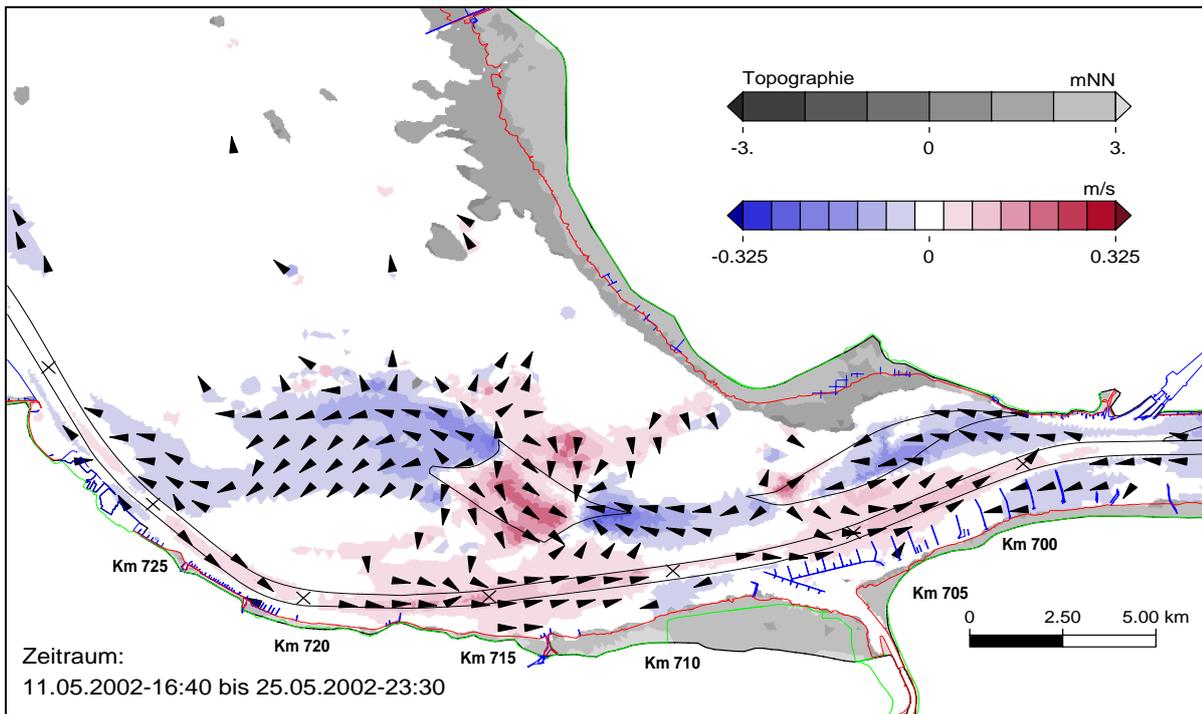
Ein Vergleich der ausbaubedingten Änderungen der beiden Ausbauzustände (Abbildung 18 und Abbildung 19) zeigt für diesen Kennwert signifikant abweichende Ergebnisse im Hinblick auf die Dämpfungswirkung der UWA Medemrinne. Mit der Ausbauvariante AZ\_10 entfaltet die UWA in der Medemrinne eine stärkere Wirkung als im AZ385S. Weiterhin ergibt sich vor der Bühnenstrecke bei Altenbruch für die neue Ausbauvariante eine Zunahme der maximalen Flutstromgeschwindigkeiten.



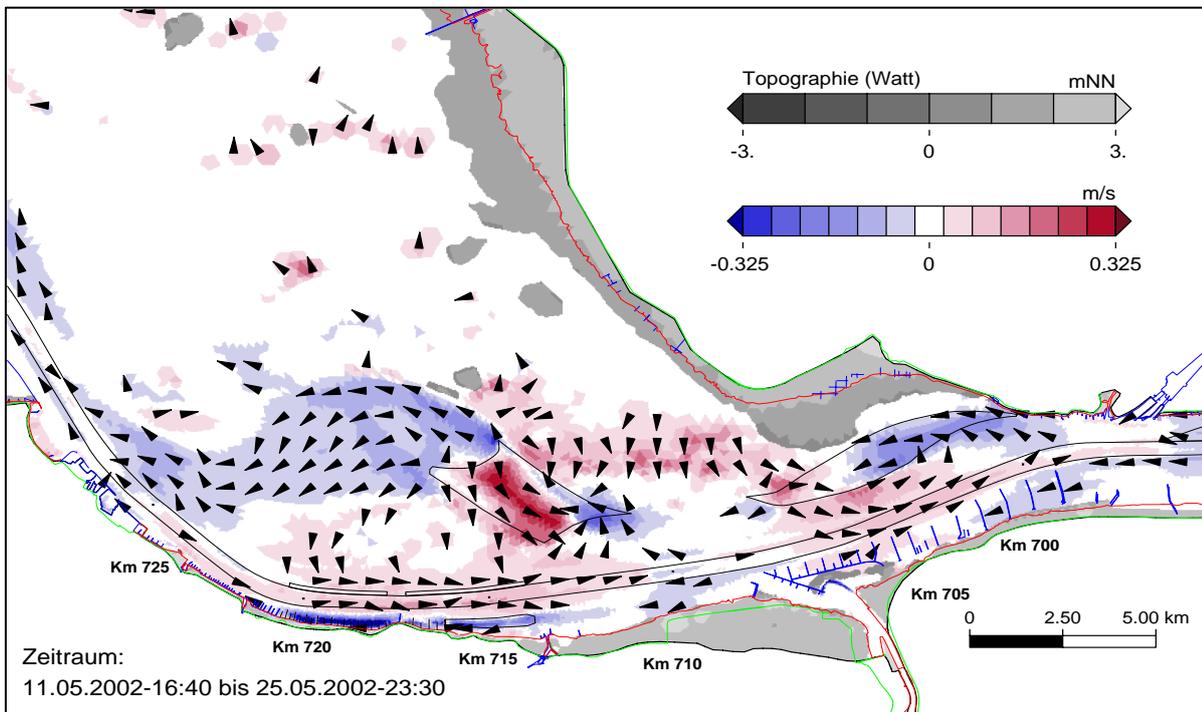
**Abbildung 16: Maximale Flutstromgeschwindigkeit im planerischen Ist-Zustand (PIZ)**



**Abbildung 17: Maximale Flutstromgeschwindigkeit im planerischen Ist-Zustand (PIZ\_02)**



**Abbildung 18: Ausbaubedingte Änderung der maximalen Flutstromgeschwindigkeit (AZ385S – PIZ)**



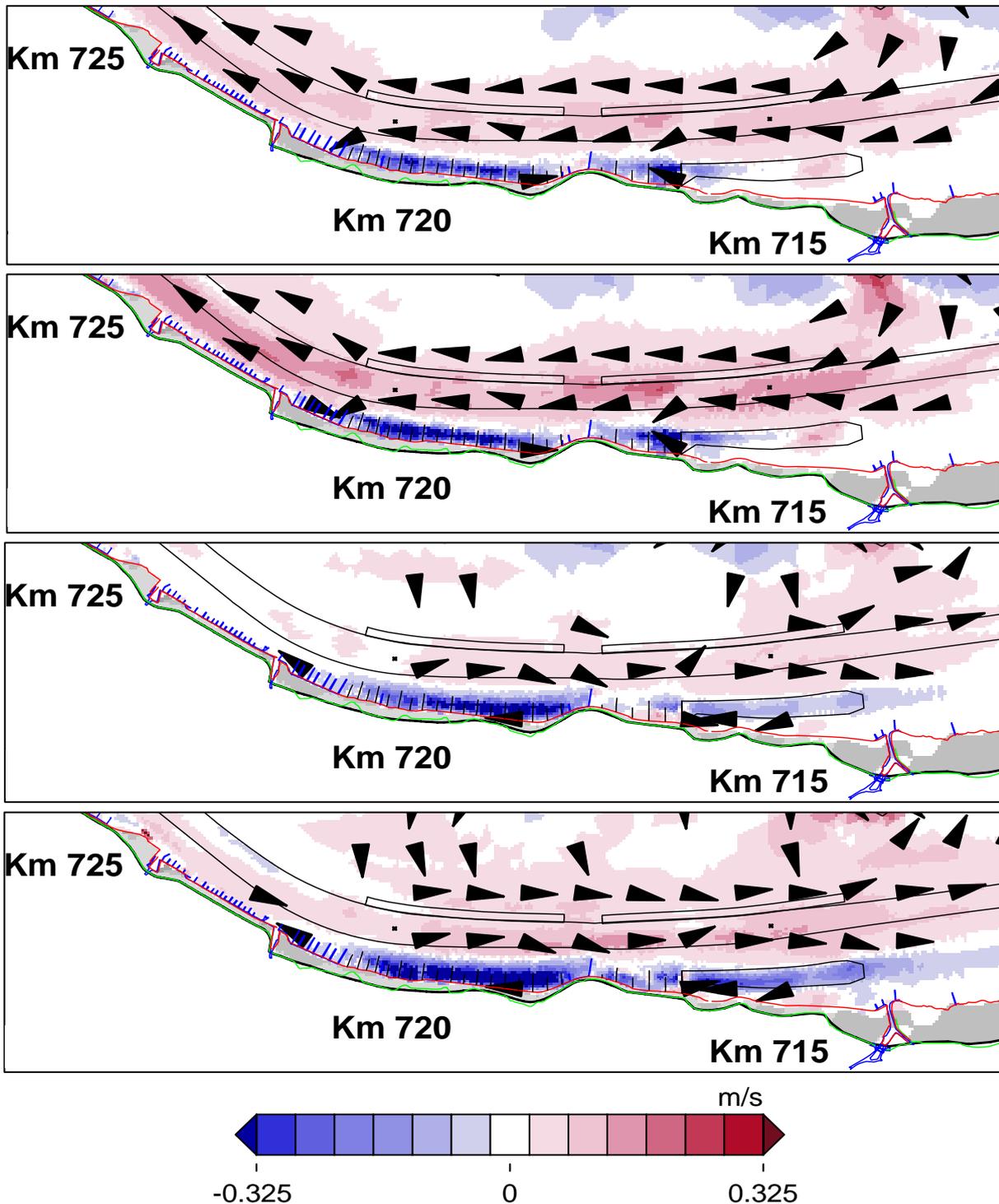
**Abbildung 19: Ausbaubedingte Änderung der maximalen Flutstromgeschwindigkeit (AZ\_10 – PIZ\_02)**

### 3.3.7 Ausbaubedingte Änderung der Strömungen an den Stombauwerken

Zur Wirkungsweise von Ufersicherungsbuhnen in Ästuararmündungen ist generell anzumerken, dass ihre Wirkung auf den Sedimenttransport und auf morphologische Veränderungen der unmittelbar angrenzenden Gewässersohle im Detail bisher nicht mit tiefgreifendem Erfolg untersucht werden konnten. Prognosen fußen i.d.R. auf empirischem Wissen, physikalischen Maßstabsmodellen und theoretischen Betrachtungen. Numerische Simulationsmodelle wurden für die lokalen Effekte im Ansatz entwickelt, sind aber für gesicherte Prognosen der komplexen Strömungen und der Morphodynamik im Bühnenfeld bzw. an den Bühnenköpfen kaum zu gebrauchen. Numerische Modelle benötigen für diese Fragen eine sehr hohe räumliche Auflösung, um die freie Scherzone in der Strömung insbesondere vor den Bühnenköpfen und die damit verbundene Turbulenzproduktion und –dissipation näherungsweise zu bestimmen. Ein Gesamtästuarmodell kann diesen Anforderungen nicht nachkommen. Es kann aber die Wirkung der geometrischen Veränderung der Gewässerquerschnitte auf die Strömungs- und Transportprozesse in der tiefen Rinne zuverlässig abschätzen. Dies ist in den vorhergehenden Kapiteln geschehen.

Wenn Bühnen an Küstenstreifen ohne küstenparallelen Sedimenttransport eingesetzt werden, ist mit einer Ausräumung der Bühnenfelder durch den küstennormalen Transport zu rechnen. Ein ausräumender Transport zwischen Bühnenfeld und Fahrinne kann im Altenbrucher Bogen durch Schiffswellen und durch den Seegang induziert werden. Möglichen Ausräumungsprozessen wirkt der Eintrag von suspendierten Sedimenten (Schwebstoffen) aus der Fahrinne entgegen. Da der Schwebstofftransport im Altenbrucher Bogen bei Ebbestrom größer ist als bei Flutstrom, kann mit einer partiellen Verlandung der Bühnenfelder durch feinsandige Fraktionen und auch mit schluffigem Material gerechnet werden. In diesem Zusammenhang ist der Frage nachzugehen, wie sich die Schwebstofftransportmengen ausbaubedingt verändern werden (siehe Kapitel 3.4). Da sich jedoch nicht prognostizieren lässt, wie sich die Prozesse der Ausräumung und des Eintrags von Material lokal differenziert auf die Anpassung der Wassertiefen auswirken werden, kann ein zukünftiger Unterhaltungsaufwand für einzelne Bereiche der Bühnenfelder nicht a priori ausgeschlossen werden.

In der Abbildung 20 sind zusammengefasst noch einmal die lokalen Veränderungsmuster der Strömungskennwerte dargestellt. Es handelt sich dabei um Ausschnitte aus Abbildungen der vorangegangenen Kapitel. Ein visueller Vergleich der Bilder macht deutlich, dass sich die freie Scherzone der Strömung zwischen den Bühnenköpfen und der tiefen Rinne insbesondere in den Tidephasen des maximalen Flutstroms verstärkt. Hieraus kann abgeleitet werden, dass sich Kolke an den Bühnenköpfen flutstromorientiert ausbilden werden und auch durch diese Kolkbildung sandiges Material in die Bühnenfelder eingetragen wird. Zu beachten ist in diesem Zusammenhang, dass die maximalen Flutströmungen im Altenbrucher Bogen in der zweiten Flutstromphase vor Erreichen des Tidehochwassers auftreten.



**Abbildung 20: Änderung der Strömungskennwerte (AZ\_10 – PIZ\_02) im Umfeld der Bauwerke**

Abbildung 20 zeigt ausbaubedingte Änderungen der Strömungen für die Planänderung 2; von oben nach unten für mittlere und maximale Ebbströmungen und für mittlere und maximale Flutströmungen. Im Abschattungsbereich der Buhnen kommt es naturgemäß zu einer erheblichen Abnahme der Strömungen. Hierdurch verstärken sich die lateralen Gradienten im Strömungsfeld zwischen der geringfügig verstärkten Hauptströmung in der tiefen Rinne

und der stark verminderten Strömung im Bühnenfeld. Dies führt im Bühnenfeld zu horizontalen Wirbelstrukturen, deren Anzahl und Durchmesser mit den wechselnden tideabhängigen Wasserständen variieren. Es sei hier noch einmal darauf hingewiesen, dass diese Wirbelstrukturen vom Modell nicht aufgelöst werden, was dem Ziel dieses Gutachtens nicht abträglich ist.

Den rot gekennzeichneten Flächen der Bilder in Abbildung 20 kann entnommen werden, um welchen Betrag die Strömungen lokal (vor allem in der tiefen Rinne und teilweise auch in den Flächen der Initialbaggerung) bezogen auf die Gesamtmaßnahme der Fahrrinnenanpassung zunehmen. Die erste rote Farbstufe steht für Zunahmen bis zu 7,5 cm/s. Mit jeder weiteren Farbstufe beträgt die Zunahme jeweils 5 cm/s. Generell kann festgestellt werden, dass die Ebbeströmungen etwas stärker zunehmen als die Flutströmungen. Flächen mit nennenswertem Umfang, in denen die größten Strömungszunahmen zu verzeichnen sind, enthalten die dritte Farbstufe. In diesen Flächen, die primär im Bild für die Zunahme der maximalen Ebbeströmungen auftreten, beträgt die Strömungszunahme bis zu 17,5 cm/s. Die Zunahmen der übrigen Strömungskennwerte liegen zwischen 2,5 und 12,5 cm/s. Zur Begutachtung der umweltrelevanten Fragestellungen wird empfohlen, im Besonderen auf die Verteilung der Farbflächen in Abbildung 20 Bezug zu nehmen. Den Bildern in Abbildung 20 kann ebenfalls entnommen werden, dass die Unterwasserablagerungsfläche insbesondere von den Ebbeströmungen verstärkt beansprucht wird (Bemessung).

Zur Beantwortung der Frage nach dem Anteil, den die Strombauelemente der zweiten Planänderung an der oben dargestellten Auswirkung für die Gesamtmaßnahme haben, ist zusammenfassend festzustellen, dass dieser Anteil bezogen auf die Strömungszunahme erheblich wäre, wenn die Initialbaggerung nicht ausgeführt werden würde. Der Umfang der Initialbaggerung wurde so optimiert, dass es nur sehr geringe lokale und regionale Unterschiede zwischen der Planänderung 2 und der ursprünglichen Planung gibt (siehe hierzu auch Kapitel 3.3.1).

### **3.4 Ausbaubedingte Änderungen des Salzgehalts**

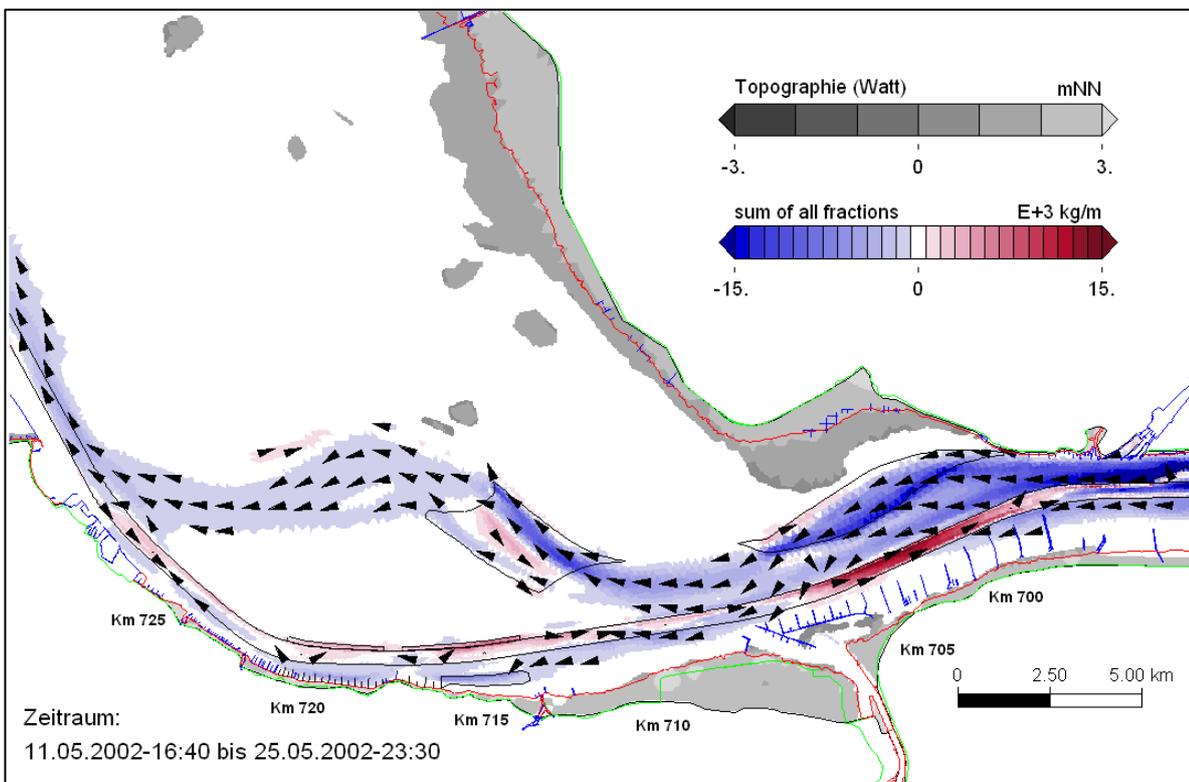
Die Ausbauvariante mit der Planänderung 2 führt im Altenbrucher Bogen zu einer maximalen Abnahme des maximalen Salzgehalts von -0,03 PSU. Alle Veränderungen der Salzgehaltskennwerte sind in diesem Abschnitt des Ästuars aus hydromorphologischer Sicht als unerheblich einzustufen.

### **3.5 Ausbaubedingte Änderungen des Sedimenttransports**

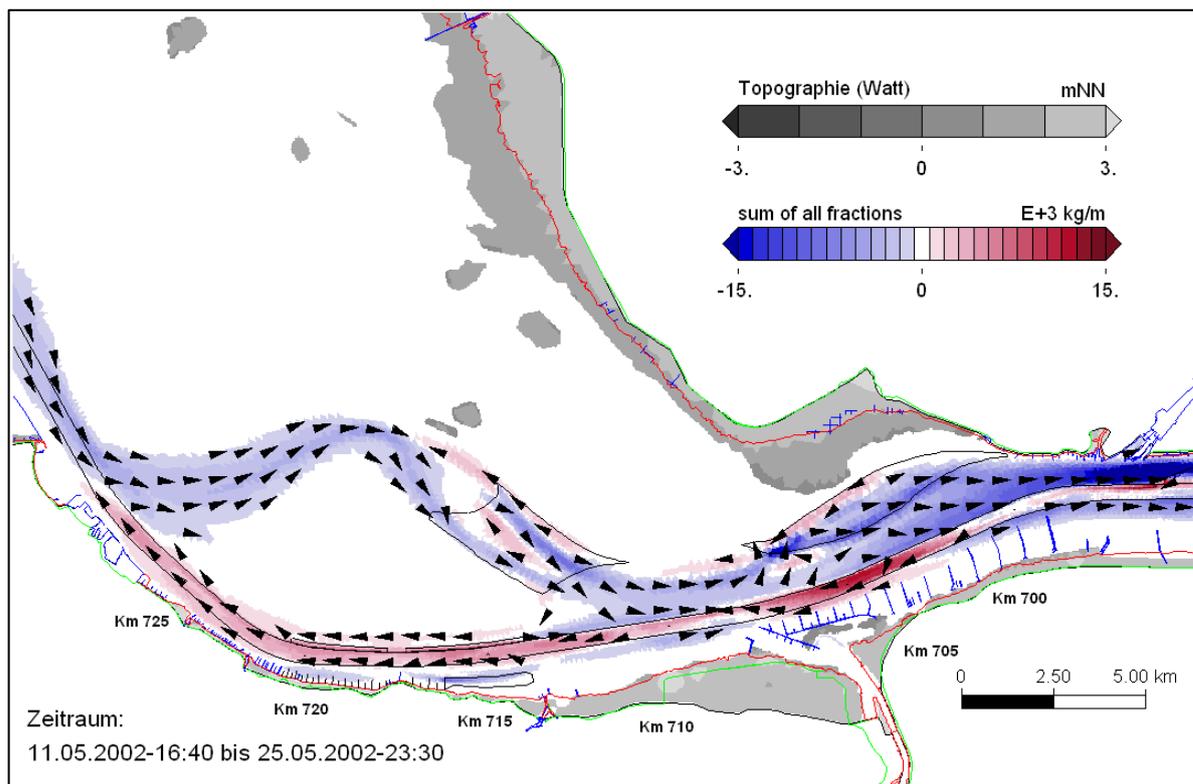
Nach Auslegung der Gutachten im Frühjahr 2007 konnten die für den Sedimenttransport erzielten Modellergebnisse hinsichtlich der Größenordnung und der Verteilung der berechneten Schwebstoffkonzentrationen mit bisher noch nicht berücksichtigten Feldmessungen aus

dem Jahr 2006 verglichen und in einem neuen Modell auf diese angepasst werden. Die Messungen wurden auf drei verschiedenen Querprofilen (Cuxhaven, Rhinplate, Nienstedten) jeweils über eine ganze Tide durchgeführt. Die Schwebstoffkonzentrationen wurden nach einem Kalibrierungsprozess anhand gleichzeitig genommener Proben aus dem Backscatter-Signal des ADCP-Gerätes berechnet. Mit diesen zusätzlichen Informationen konnte zwischenzeitlich die Naturähnlichkeit der Sedimenttransportergebnisse des Modells verbessert werden. Im Ergebnis führte dies mit den neuen Berechnungen im PIZ\_02 und im AZ\_10 zu höheren modellierten Schwebstoffkonzentrationen.

Im Kapitel 3.2.5 wurde bereits die Frage nach der ausbaubedingten Veränderung der Schwebstofftransportmengen im Altenbrucher Bogen aufgeworfen. Die Abbildung 21 und Abbildung 22 zeigen diese Veränderungen für die Planänderung 2. Aus diesen geht hervor, dass nur für den Ebbestrom nennenswerte Zunahmen in der tiefen Rinne prognostiziert werden. Ein Vergleich mit den berechneten absoluten Transportmengen ergibt, dass diese Zunahmen im Mittel etwa 10% betragen. Hieraus kann geschlossen werden, dass für die Auflandung der Bühnenfelder nach Realisierung der Maßnahme größere Transportmengen zur Verfügung stehen werden, als im derzeitigen Zustand. Interessant in diesem Zusammenhang ist auch, dass die Zunahme der Ebbtransportmengen stromab auf Höhe der Grimmeshörnbusch zum Erliegen kommt. Dies lässt darauf schließen, dass die Bühnenfelder bevorzugt eine Verlandungstendenz aufweisen werden.



**Abbildung 21: Ausbaubedingte Änderung des Schwebstofftransports mit dem Flutstrom (AZ\_10 – PIZ\_02)**



**Abbildung 22: Ausbaubedingte Änderung des Schwebstofftransports mit dem Ebbestrom (AZ\_10 – PIZ\_02)**

#### 4 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Auf Grundlage der Analyse der wichtigsten Tidekennwerte für die Wasserstände, Strömungen, Salzgehalte und suspendierten Sedimenttransporte kann mit dem hiermit vorgelegten Gutachten (auch durch detaillierte Vergleiche der Untersuchungsergebnisse für die neu geplante Strombaumaßnahme im Altenbrucher Bogen mit den Untersuchungsergebnissen der im Frühjahr 2007 ausgelegten Gutachten der BAW) folgendes aufgezeigt werden:

- a) Durch die Planänderung 2 ergeben sich im gesamten Elbeästuar keine ausbaubedingten Veränderungen, die im Vergleich zu den Ergebnissen der im Frühjahr 2007 ausgelegten Gutachten als signifikant größer bezeichnet werden können. Insbesondere die ausbaubedingten Veränderungen der Wasserstände sind als geringer einzustufen, weil das aktuelle 3D-Simulationsmodell der Tideelbe nun alle Nebenflüsse abbildet.
- b) Die mit einer Initialbaggerung optimierte Strombaumaßnahme im Umfeld Glameyer Stack führt im Zusammenwirken mit der Fahrrinnenanpassung zu lokalen ausbaubedingten Änderungen, die wie folgt zu bewerten sind:
  - Außerhalb der Fahrrinne ergeben sich im PIZ\_02 (neuer planerischer Ist-Zustand) am niedersächsischen Ufer entlang der Bühnenstrecke bei Altenbruch geringfügig

größere Ebbestromgeschwindigkeiten als im PIZ. Ein Vergleich der ausbaubedingten Änderungen zeigt für diesen Kennwert jedoch flächenhaft keine signifikant von den bisherigen Gutachten abweichenden Ergebnisse. Von entscheidungserheblicher Bedeutung ist aus Sicht der BAW, dass die maximale Ebbestromströmung ausbaubedingt im Bereich der Bühnenstrecke vor Altenbruch im Vergleich zur ursprünglich verfolgten Ausbauvariante (AZ385S) in der neuen Variante für die Planänderung 2 nicht zunimmt.

- Vor der Bühnenstrecke bei Altenbruch ergibt sich für die Planänderung 2 eine Zunahme der maximalen Flutstromgeschwindigkeiten. Diese Zunahmen sind nicht als kritisch einzustufen, weil hier die maximalen Ebbestromgeschwindigkeiten größer sind, als die maximalen Flutstromgeschwindigkeiten.
  - Im Altenbrucher Bogen nehmen die Schwebstofftransporte der Ebbestromungen in der tiefen Rinne um ca. 10 % zu. Dies resultiert aus der Gesamtmaßnahme. Es ist somit davon auszugehen, dass zur Auflandung der Bühnenfelder nach Realisierung der Maßnahme geeignetes Material im System zur Verfügung steht.
- c) Mit der Verwendung einer neueren Topographie des Jahres 2006 ergeben sich keine neuen Erkenntnisse für die in den bisher vorgelegten Gutachten ermittelten ausbaubedingten Veränderungen.

Die flächenhafte Analyse der Strömungsverhältnisse im Mündungsgebiet der Tideelbe hat ergeben, dass sich die Kennwerte für die beiden Ist-Zustände (Ist-Zustand der Gutachten mit Topographie 2003 und Ist-Zustand für Topographie 2006) stärker verändert haben als die ausbaubedingten Änderungen, die auf Grundlage dieser beiden Ist-Zustände ermittelt wurden. Dies ist ein erneuter Beleg dafür, dass ausbaubedingte Veränderungen eine längerfristige Gültigkeit besitzen als natürliche Veränderungen der Systemzustände.

Insgesamt bewertet führen die durch die Planänderung 2 definierten Ausbaumodifikationen zu keinen signifikanten Verstärkungen der bisher festgestellten ausbaubedingten Änderungen. Die Gültigkeit dieser Feststellung ist gegeben, wenn die Initialbaggerung im vorgesehenen Umfang durchgeführt wird.

Bundesanstalt für Wasserbau - Dienststelle Hamburg

Hamburg, 18. November 2009

Im Auftrag

[gez.]

Dr.-Ing. Harro Heyer