BAW
Bundesanstalt für Wasserbau

Auswirkung der Schaffung von Flutraum im Bereich der Tideelbe

-Wiederanschluss Dove Elbe -

Ergebnisse der Wasserbauliche Systemstudie
zur Maßnahme Dove Elbe

Januar 2021

''This study was supported as part of the IMMERSE project- Implementing Measures for Sustainable Estuaries, an Interreg project supported by the North Sea Programme of the European Regional Development Fund of the European Union”

Auswirkung der Schaffung von Flutraum im Bereich der Tideelbe

-Wiederanschluss Dove Elbe -

Ergebnisse der Wasserbauliche Systemstudie zur Maßnahme Dove Elbe

Aufgestellt von:	Abteilung:	Wasserbau im Küstenbereich
	Projektleiter:	Holger Rahlf
	Bearbeiterin:	Victoria Ortiz

Hamburg, Januar 2021

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

Bundesanstalt für Wasserbau

Postfach 21 02 53 · 76152 Karlsruhe
Tel.: (0721) 97 26 – 0

Wedeler Landstraße 157 · 22559 Hamburg
Tel.: (0 40) 8 19 08 – 0

Zusammenfassung

Dieses Dokument fasst die wesentlichen Ergebnisse der Untersuchung der Bundesanstalt für Wasserbau zu den Auswirkungen der Schaffung von Flutraum durch den Wiederanschluss der Dove Elbe an das Tidegeschehen zusammen (BAW, 2020). Ziel dieser Strombaumaßnahme ist eine nachhaltige Entwicklung der Tideelbe langfristig zu fördern und bisherige, insbesondere anthropogen geprägte Entwicklungen wie den Anstieg des Tidehubs und des stromaufgerichteten Sedimenttransports zu reduzieren. Die Auswirkungen der Maßnahme auf die Hydrodynamik und den Sedimenttransport wurden mit Hilfe eines dreidimensionalen hydrodynamisch-numerischen Modells untersucht (BAW, 2021).

Der Wiederanschluss der Dove Elbe an die Norderelbe bei Elbe-Km 615N ist nach dem vorgegebenen Maßnahmenlayout des Forum Tideelbe mit Stand vom 13.02.2020 („Optimierte Variante“) durch ein 32 m breites Tidesperrwerk am Tatenberger Siel zwei Kilometer westlich der Norderelbe vorgesehen. Die Verbindung zur Tideelbe am Sperrwerk wird im Simulationsmodell mit einer Sperrwerksteuerung umgesetzt, die eine „ideale“ Tide in die Dove Elbe ein- und ausströmen lässt, d.h. innerhalb der Dove Elbe wird eine symmetrische Tidekurve mit gleicher Auf- und Ablaufdauer (jeweils 6,2 Stunden) generiert. Der Wasserstand wird so reguliert, dass in der Dove Elbe maximal die heutige Betriebshöhe +0,9 mNHN und minimal -1,20 mNHN erreicht wird.

Die Maßnahme bewirkt eine geringe Verminderung des Tidehubs stromab des Stromspaltungsgebiets in der unteren Tideelbe (ΔThb ca. 1 cm bei Glückstadt). Lokal im Bereich des Anschlusses in der oberen Tideelbe ist die Auswirkung auf den Tidehub größer (Absenkung etwa 10 cm). Durch die damit einhergehenden Veränderungen der Strömungsgeschwindigkeiten wird auch der stromaufgerichtete Sedimenttransport durch die Maßnahme beeinflusst. Es ergibt sich für den untersuchten Analysezeitraum eine Verminderung des stromaufgerichteten Transports um ca. 200 bis 300 t/Tide in der unteren Tideelbe. Der Wert ist als Indiz einer positiven Wirkung auf das Sedimenttransportregime zu sehen, da in dem betrachteten Analysezeitraum der Rest-Schwebstofftransport bis in den Hamburger Hafenbereich reduziert wird. Die insgesamt über die Außenelbe in die untere Tideelbe stromauf transportierten Sedimentmengen ändern sich jedoch nicht, so dass in der Interpretation der Ergebnisse zwar eine Einsparung von Baggermengen im Hamburger Hafen erwartet werden kann, nicht jedoch für die untere Tideelbe insgesamt.

Auf die Salzintrusion wirkt sich die untersuchte Maßnahme im betrachteten Analysezeitraum nicht wesentlich aus. Die Änderungen in den Salzgehaltsverhältnissen liegt in der Größenordnung von kleiner 0,1 PSU.
Zu beachten ist, dass die Untersuchung anhand eines Spring-Nipp-Zyklus aus dem Jahr 2016 im Rahmen einer Machbarkeitsstudie durchgeführt wurde. Die Ergebnisse unterstützen den Planungsprozess, sie können jedoch keine tiefgreifende Untersuchung im Sinne einer Ausführungsplanung oder Kosten-Nutzen-Analyse ersetzen.

Die Maßnahme „Dove Elbe“ kann aus wasserbaulicher Sicht dazu beitragen, den bisherigen historischen ungünstigen Entwicklungen der Tideelbe ein Stück weit entgegenzuwirken und das ökologische Potential der Tideelbe zu verbessern.

Inhaltsverzeichnis Seite

1	Einleitung	1
2	Wiederanschluss Dove Elbe	1
2.1	Gestaltung der Maßnahme	1
2.1.1	Auswirkung im Nahbereich der Maßnahme	5
2.1.2	Großräumige Auswirkung der Maßnahme	20
3	Schlussfolgerungen	24
4	Literatur	26

Bildverzeichnis Seite

Bild 1: Ausschnitt aus dem Modellgebiet im Bereich der Dove Elbe 3
Bild 2: Entkoppelte Tidedynamik am Sperrwerk: Tidewasserstände auf der See- und Binnenseite des Sperrwerks 4
Bild 3: Ebb- und Flutstromvolumen (linke Achse) und das Gesamtwasservolumen in der Dove Elbe (rechte Achse) während des Analysezeitraumes 5
Bild 4: Mittleres Tidehochwasser. Bild oben links: Variante, Bild oben rechts: Differenz (Variante minus Referenz). Das Bild unten zeigt die Absolutwerte für den Bereich Dove Elbe 6
Bild 5: Mittleres Tideniedrigwasser. Bild oben links: Variante, Bild oben rechts: Differenz (Variante minus Referenz). Das Bild unten zeigt die Absolutwerte für den Bereich Dove Elbe 7
Bild 6: Mittlerer Tidehub. Bild oben links: Variante, Bild oben rechts: Differenz (Variante minus Referenz). Das Bild unten zeigt die Absolutwerte für den Bereich Dove Elbe 8
Bild 7: Mittlere Flutstromgeschwindigkeit. Bild oben links: Variante, Bild oben rechts: Differenz (Variante minus Referenz). Das Bild unten zeigt die Absolutwerte für den Bereich Dove Elbe 10
Bild 8: Mittlere Ebbstromgeschwindigkeit. Bild oben links: Variante, Bild oben rechts: Differenz (Variante minus Referenz). Das Bild unten zeigt die Absolutwerte für den Bereich Dove Elbe 11
Bild 9: Differenz des Verhältnis Flut- zu Ebbstromgeschwindigkeit. Bild links: Variante, Bild rechts: Differenz (Variante minus Referenz) 12
Bild 10: Stauwasserdauer bei Flutstromkenterung. Bild links: Variante, Bild rechts: Differenz (Variante minus Referenz) 12
Bild 11: Stauwasserdauer bei Ebbstromkenterung. Bild links: Variante, Bild rechts: Differenz (Variante minus Referenz) 13
Bild 12: Mittlerer Schwebstoffgehalt (Flut). Bild oben links: Variante, Bild oben rechts: Differenz (Variante minus Referenz). Das Bild unten zeigt die Absolutwerte für den Bereich Dove Elbe 15
Bild 13: Mittlerer Schwebstoffgehalt (Ebbe). Bild oben links: Variante, Bild oben rechts: Differenz (Variante minus Referenz). Das Bild unten zeigt die Absolutwerte für den Bereich Dove Elbe 16
Bild 14: Rest-Schwebstofftransport (adv.) (Summe aller Fraktionen). Bild oben links: Variante, Bild oben rechts: Differenz (Variante minus Referenz). Das Bild unten zeigt die Absolutwerte für den Bereich Dove Elbe 17
Bild 15: Akkumulation an der Gewässersohle nach 4 Wochen Simulationszeit. Bild oben links: Variante, Bild oben rechts: Differenz (Variante minus Referenz). Das Bild unten zeigt die Absolutwerte für den Bereich Dove Elbe (in cm) 18
Bild 16: Schwebstoffeintrag in das Gebiet während der Simulation 19
Bild 17: Mittleres Tidehochwasser (oben), mittleres Tideniedrigwasser (Mitte) und mittlerer Tidehub (unten) im Längsverlauf der Tideelbe (blaue Linien) während des Untersuchungszeitraums. Die roten Linien zeigen jeweils die Differenz (Variante minus Referenz) 21

Bild 18: Mittleres Flut- zu Ebbstromverhältnis im Längsverlauf der Tideelbe (blaue Linie) während des Untersuchungszeitraums. Die rote Linie zeigt Differenz (Variante - Referenzzustand) 22
Bild 19: Mittlerer Rest-Schwebstofftransport/Tide im Längsverlauf der Tideelbe (blaue Linie) während des Untersuchungszeitraums. Die rote Linie zeigt Differenz (Variante - Referenzzustand) 23
Bild 20: Mittlerer Salzgehalt im Längsverlauf der Tideelbe (blaue Linie) während des Untersuchungszeitraums. Die rote Linie zeigt Differenz (Variante minus Referenz) 23

1 Einleitung

Die Bundesanstalt für Wasserbau wurde im Rahmen des Forum Tideelbe von der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) beauftragt, verschiedene Maßnahmen zur Anbindung von zusätzlichem Flutraum an die Tideelbe hinsichtlich ihrer hydrologischen Wirksamkeit zu prüfen und zu vergleichen (BAW, 2020). Im Rahmen des europäischen Interreg Projektes „IMMERSE" („Implementing Measures for Sustainable Estuaries") untersuchte die BAW die Wiederanbindung der im Jahr 1952 von der Norderelbe abgetrennten „Dove Elbe" an das Tidegeschehen.

Ziel der Wiederanbindung, im Folgenden auch Wiederanschluss genannt, ist eine nachhaltige Entwicklung der Tideelbe zu fördern, unter Beachtung von hydromorphologischen, gewässerschutz- und naturschutzfachlichen Gesichtspunkten sowie regionaler Betroffenheiten. Grundlage der vorliegenden modellbasierten Untersuchung der BAW ist die in der Phase 2 des Forum Tideelbe konzipierte Maßnahme zum Wideranschluss der „Dove Elbe". Die vorliegenden Untersuchungsergebnisse der BAW dienen als Basis für die im Arbeitspaket 4.4 des IMMERSE-Projekts zu erstellenden Machbarkeitsstudie[1].

Aus wasserbaulicher Sicht ist die Wirksamkeit von neu angebundenem Flutraum vor allem von drei Faktoren abhängig: dem Tidevolumen, der Leistungsfähigkeit des Anbindungsquerschnitts und der Lage im Ästuar. Je größer das neu angebundene Tidevolumen ist, desto wirksamer kann der Tidehub, sowie das Flut- zu Ebbstromverhältnis in der Tideelbe gesenkt werden. Darüber hinaus ist die Lage der Maßnahme wichtig: Die Schaffung von Flutraum zeigt sich im Bereich Hamburg als besonders wirksam, da hier das Tideprisma im Vergleich zu weiter stromab gelegen Elbabschnitten geringer ist, und eine Anbindung von Flutraum somit prozentual den größten Einfluss entfalten kann. Das Besondere an dem hier untersuchten Wiederanschluss der Dove Elbe ist die Lage oberhalb des ausgebauten Bereiches der Unterelbe. Die Wirkung des zusätzlichen Flutraumes ist wegen der geringen Wassertiefen und des kleineren Tidevolumens in der Norderelbe örtlich bei der Mündung der Dove Elbe deutlich größer als weiter stromab.

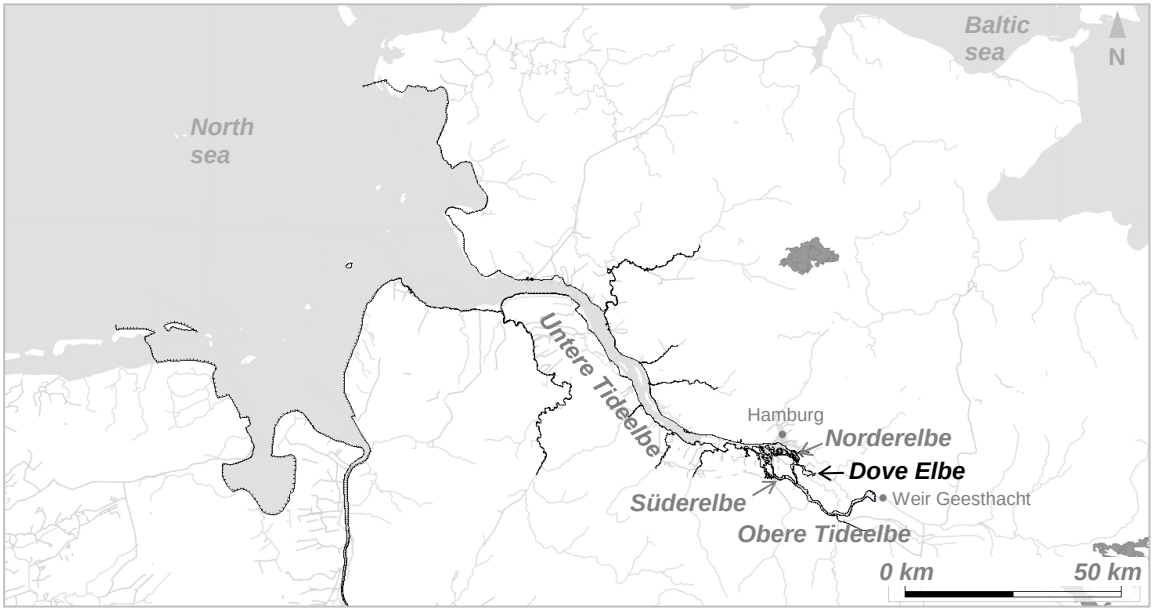
2 Wiederanschluss der Dove Elbe an das Tidegeschehen

2.1 Gestaltung der Maßnahme

In der Phase der Vorauswahl möglicher Strombaumaßnahmen ist der Wiederanschluss der Dove Elbe hinsichtlich der hydrologischen Wirksamkeit aufgrund des rechnerisch möglichen zusätzlichen Tidevolumens von ca. 5 Mio. m^3 bei frei einschwingender Tide als eine der vielversprechendsten Maßnahmen identifiziert worden. Das in der „Arbeitsgruppe Hamburg" des Forum

[1] IMMERSE application A4.4: **Feasibility study on river engineering measure in the Elbe:** *Feasibility study on a river engineering measure (e.g. realignment or anabranch reconnection) in the Elbe will be executed focusing on hydrological aspects, ecological characteristics and added value for stakeholders, to support partnership decisions.*

Tideelbe unter Berücksichtigung der örtlichen Randbedingungen entwickelte Maßnahmenlayout sieht jedoch aufgrund einer Tidesperrwerksteuerung nur noch ein nutzbares Tidevolumen von ca. 2,69 Mio. m^3 vor.
Die Wiederanbindung der Dove Elbe an die Norderelbe bei Elbe-Km 615N ist nach dem vorgegebenen Maßnahmenlayout des Forum Tideelbe mit Stand vom 13.02.2020 („Optimierte Variante") durch ein 32 m breites Tidesperrwerk am Tatenberger Siel zwei Kilometer westlich der Norderelbe vorgesehen. Die anzubindende Flusslänge der Dove Elbe an das Tidegeschehen umfasst in dieser Variante 6,3 km (von 18 km Gesamtlänge), die Topographie und Lage des zu untersuchenden Maßnahmenlayouts ist Bild 1 zu entnehmen.



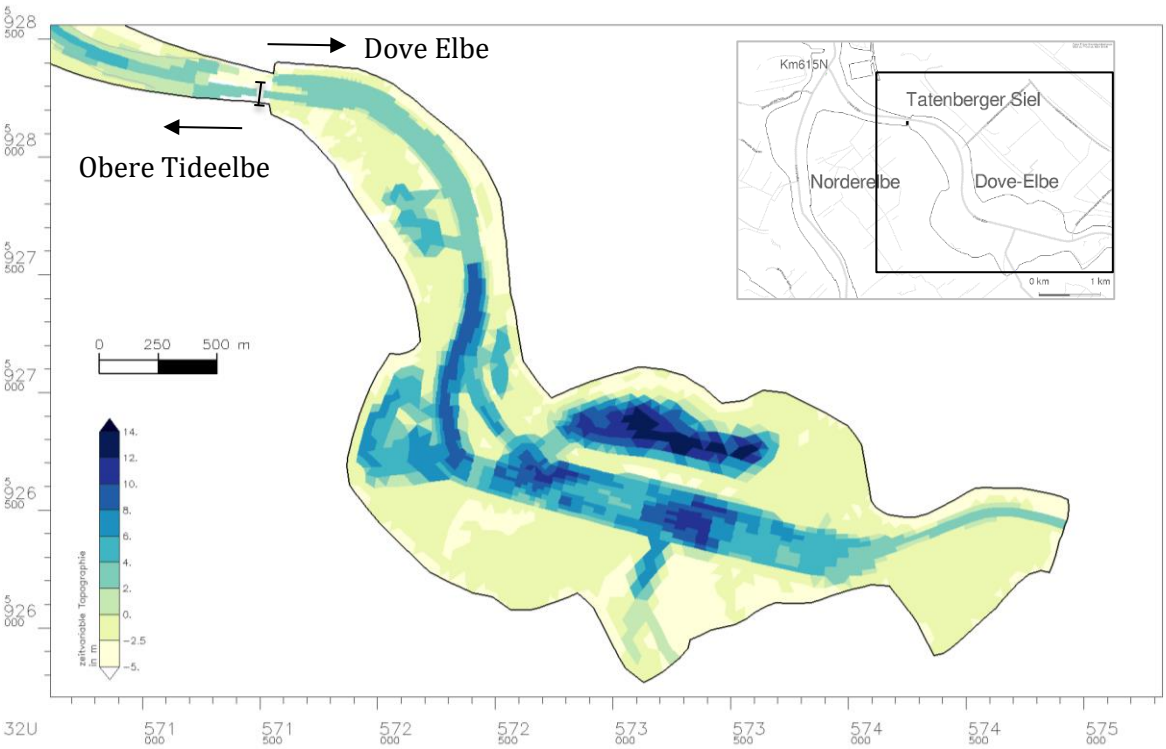


Bild 1: Lage des Untersuchungsgebiets (oben). Ausschnitt aus dem Modellgebiet im Bereich der Dove Elbe (unten)

Zudem beinhaltet das untersuchte Maßnahmenlayout:

- Die Vertiefung von ausgewählten Bereichen in der Dove Elbe bis -3,5 m NHN[2]. Die Topographie des Modellgebiets im Ausbauzustand in der Dove Elbe wurde von der Geschäftsstelle Forum Tideelbe zur Verfügung gestellt.
- Abgrabungen von Uferzonierungen in der Dove Elbe.
- Ausbau einer Schleuse 6,3 km stromauf des Tatenberger Siels (im Weiteren „Mittelschleuse“ genannt).

Die geplante Mittelschleuse begrenzt die östliche Ausdehnung der Maßnahme im Ausbauzustand der Dove Elbe. An dieser Stelle wird als binnenseitiger Randwert ein Zufluss von 3,1 m^3/s berücksichtigt. Die Oberwasserzuflüsse Gose-Elbe, Allermöhe und Eichbaum werden mit insgesamt 0,7 m^3/s in das Modell eingespeist.

2.2 Modellbasierte Untersuchung der Maßnahme

2.2.1 Grundlagen

Die Verbindung zur Tideelbe am Sperrwerk wird im Simulationsmodell mit einer Sperrwerksteuerung umgesetzt, die eine „ideale“ Tide in die Dove Elbe ein- und ausströmen lässt, d.h. innerhalb der Dove Elbe wird eine symmetrische Tidekurve mit gleicher Auf- und Ablaufdauer (jeweils 6,2 Stunden) generiert. Die ideale Tide wird mit einer Amplitude von 2,1 m in die Dove Elbe eingesteuert, um die planerischen Bedingungen des Hochwasserschutzes und der Schiffbarkeit im Binnengewässer einzuhalten. Der Wasserstand wird so reguliert, dass in der Dove Elbe maximal die heutige Betriebshöhe +0,9 m NHN und minimal -1,2 m NHN erreicht wird. Aus den vorgegebenen Wasserständen ergeben sich im Planungsraum 2,69 Mio. m^3 rechnerisch mögliches zusätzliches Tidevolumen in der Dove Elbe. Dieses wird durch die beschriebene Steuerung bei jeder Tide in dem Modell vollständig ausgenutzt; während des Analysezeitraumes wird ein zusätzliches Tidevolumen von 2,67 Mio. m^3 (Ebbstromvolumen) ermittelt.

Durch die im Simulationsmodell umgesetzte Sperrwerksteuerung wird somit die maximale großräumige Wirkung aus dem zur Verfügung stehenden Tidevolumen des Maßnahmenlayouts erreicht und zugleich der Sedimenteintrag in die Dove Elbe minimiert, da sie zu einer Entkopplung der Tidedynamik in der Dove Elbe von der in der oberen Tideelbe führt (Bild 1 und Bild 2). Dadurch werden hohe Strömungsgeschwindigkeiten und längere Stauwassersdauern im Bereich der Dove Elbe vermieden. Diese würden sich einstellen, wenn die Tidedynamik und die Schließzeiten des Sperrwerkes durch die Ganglinie des Tidewasserstands in der Tideelbe bestimmt würden. Zudem werden dadurch ein regelmäßiges Trockenfallen und Überfluten der Wattgebiete im Bereich der Dove Elbe sichergestellt. Infolge der Entkopplung der Tidedynamik stellen sich der Wasserstand und die Kenterung in der Dove Elbe nach dem idealen Sinusverlauf der Tidekurve

[2] Der Bezugshorizont für Höhen in Deutschland ist „Normal-Höhen-Null“ (NHN)

am Sperrwerk und nicht direkt nach der Wasserspiegeldifferenz bzw. der Kenterung in der Tideelbe ein (Bild 2).

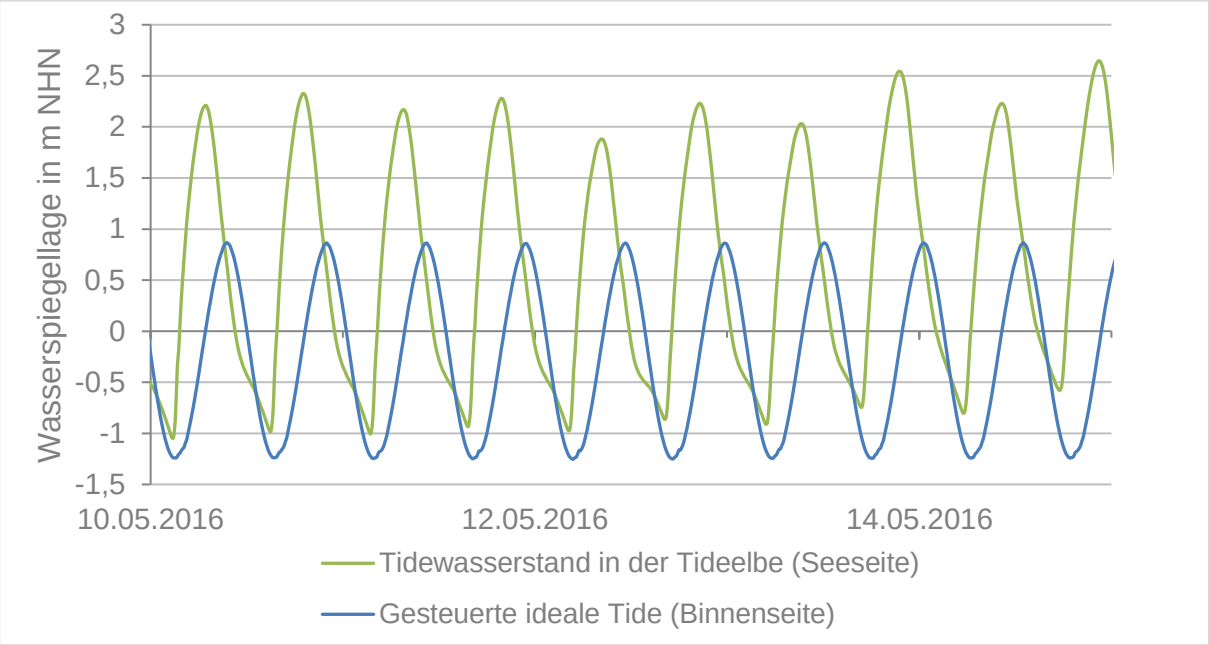


Bild 2: Entkoppelte Tidedynamik am Sperrwerk: Tidewasserstände auf der Außen- und Binnenseite des Sperrwerks

Durch die Anbindung der Dove Elbe in der hier untersuchten Variante variiert das Gesamtwasservolumen regelmäßig zwischen 5,5 und 8,0 Mio. m^3. Es ergibt sich ein zusätzliches Tidevolumen in der Ebbphase im Mittel von 2,67 Mio. m^3 (Ebbstromvolumen) und in der Flutphase im Mittel von 2,5 Mio. m^3 (Flutstromvolumen) (Bild 3).

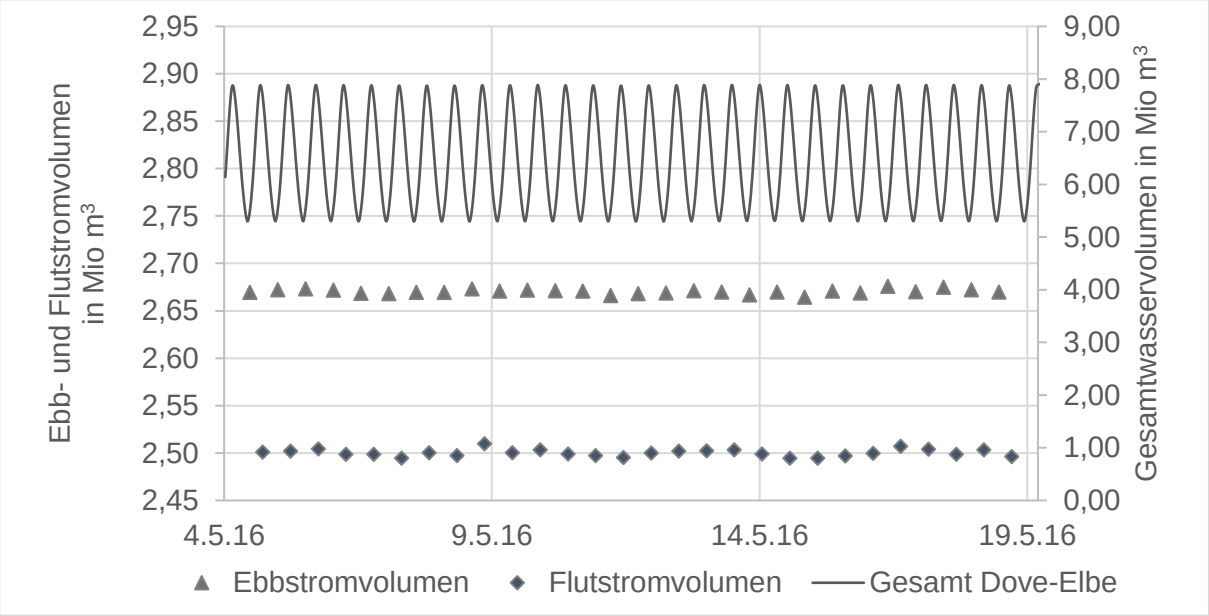


Bild 3: Ebb- und Flutstromvolumen (linke Achse) und das Gesamtwasservolumen in der Dove Elbe (rechte Achse) während des Analysezeitraumes

Die Ergebnisse werden in Form charakteristischer Tidekennwerte dargestellt und erläutert. Die untersuchte Maßnahme „Dove Elbe“ (im Folgenden auch „Variante“ genannt) wurde eingebaut und in gleicher Weise wie der Referenzzustand simuliert. Als Referenz dient das Elbemodell mit der Topographie des Jahres 2016 unter Berücksichtigung der des Sollzustandes der Fahrrinnenanpassung und der Ausgleichs- und Ersatzmaßnahme Schwarztonnensand (BAW, 2020).

2.2.2 Auswirkung im Nahbereich der Maßnahme

Die flächenhafte Auswertung der Simulationsergebnisse erfolgt für die einzelnen Tidekennwerte[3] der Dove Elbe anhand von drei Abbildungen. Da die Tidedynamik in der Dove Elbe von der Tideelbe im Modell getrennt ist (siehe oben 2.1 Gestaltung der Maßnahme*)* wird die Tidekennwerteanalyse stromauf des Sperrwerks auch getrennt berechnet und ausgewertet. Diese sind jeweils der unteren Abbildung zu entnehmen. Die beiden oberen Abbildungen zeigen die Absolutwerte und die Differenz zum Referenzzustand des jeweiligen Parameters im Hamburger Hafen.

Im Bereich der Dove Elbe entsprechen das mittlere Tidehochwasser mit + 0,9 m NHN, das mittlere Tideniedrigwasser mit -1,2 m NHN und der mittlere Tidehub mit 2,1 m den planerischen Vorgaben (Bild 4, Bild 5, Bild 6 jeweils untere Abbildung).

Die Anbindung der Dove Elbe wirkt sich auch in der Tideelbe aus und verändert das Tidegeschehen weiträumig. Die größten Veränderungen treten im Bereich der Anbindung und unmittelbar stromauf davon auf. Das mittlere Tidehochwasser wird in der Norderelbe in diesem Bereich im Untersuchungszeitraum im Vergleich zum Referenzszenario im Mittel um etwa 2 cm abgesenkt, das Tideniedrigwassers wird dagegen im Mittel über 6 cm erhöht. Diese starken lokalen Änderungen schwächen sich schnell ab, sodass im übrigen Bereich des Stromspaltungsgebietes eine Thw-Absenkung von etwa 1 cm und eine Tnw-Anhebung von etwa 2 cm vorherrschen (Bild 4, Bild 5). Der mittlere Tidehub wird im Untersuchungszeitraum im Gegensatz zum Referenzszenario im Bereich der Anbindung um über 6 cm abgesenkt. Auch diese lokale starke Änderung schwächt sich schnell ab, im Hafengebiet beträgt die mittlere Absenkung des Tidehubs etwa 2-3 cm (Bild 6).

[3] Tidekennwerte werden aus den tidebeeinflussten zeitabhängigen Simulationsergebnissen berechnet. (siehe https://wiki.baw.de/de/index.php/Analyse_der_Berechnungsergebnisse#Tidekennwerte)

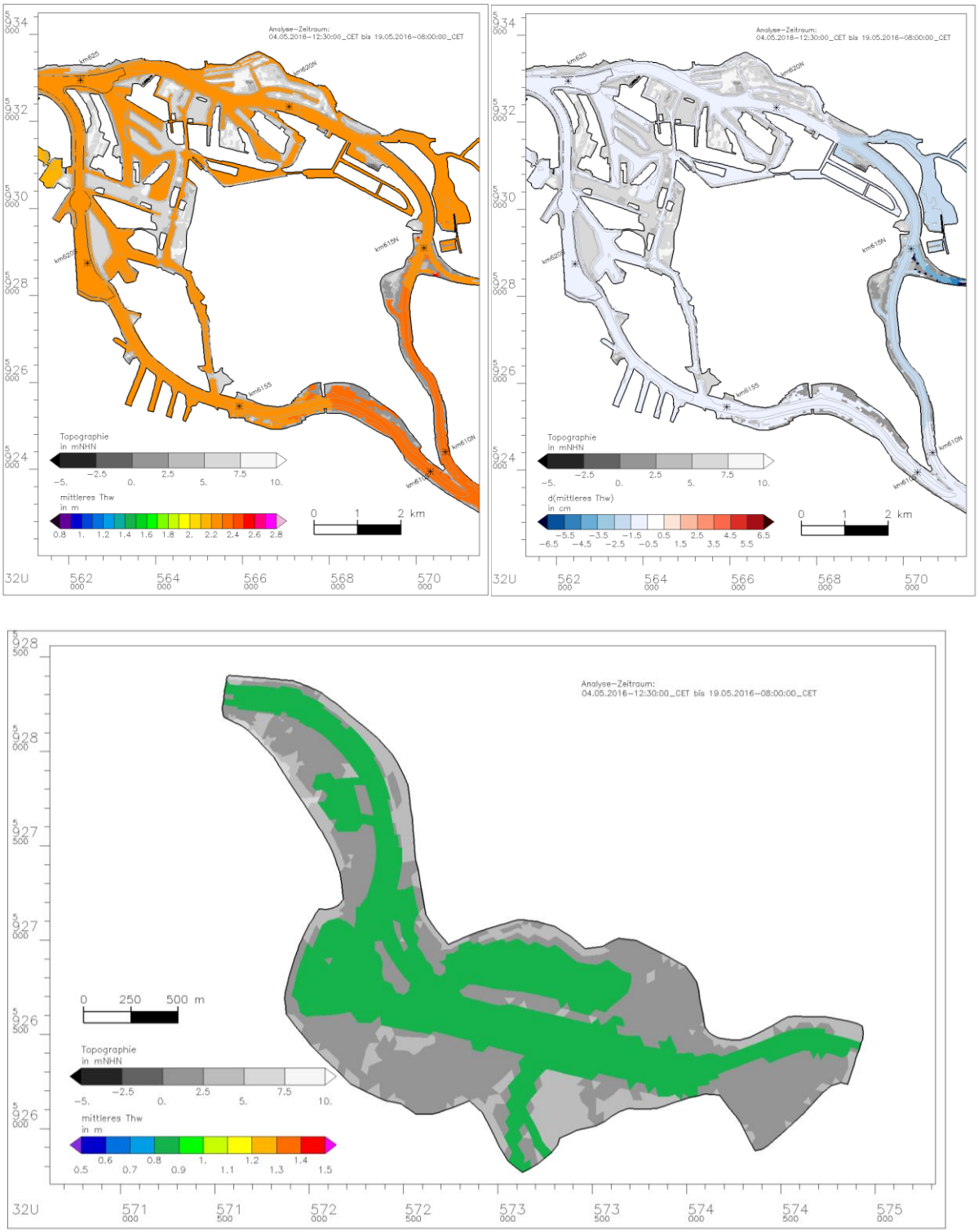


Bild 4: Mittleres Tidehochwasser. Bild oben links: Variante, Bild oben rechts: Differenz (Variante minus Referenz). Das Bild unten zeigt die Absolutwerte für den Bereich Dove Elbe

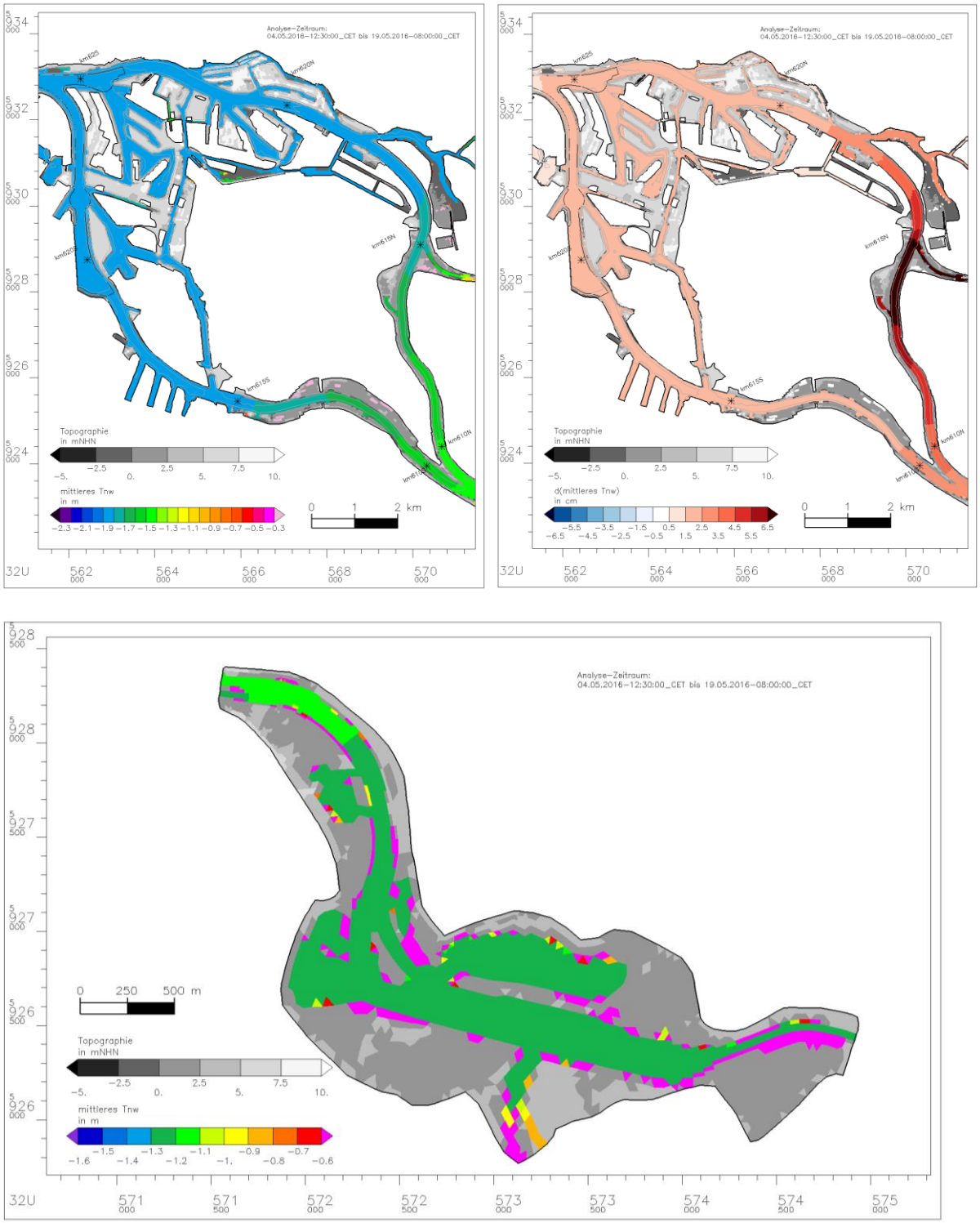


Bild 5: Mittleres Tideniedrigwasser. Bild oben links: Variante, Bild oben rechts: Differenz (Variante minus Referenz). Das Bild unten zeigt die Absolutwerte für den Bereich Dove Elbe

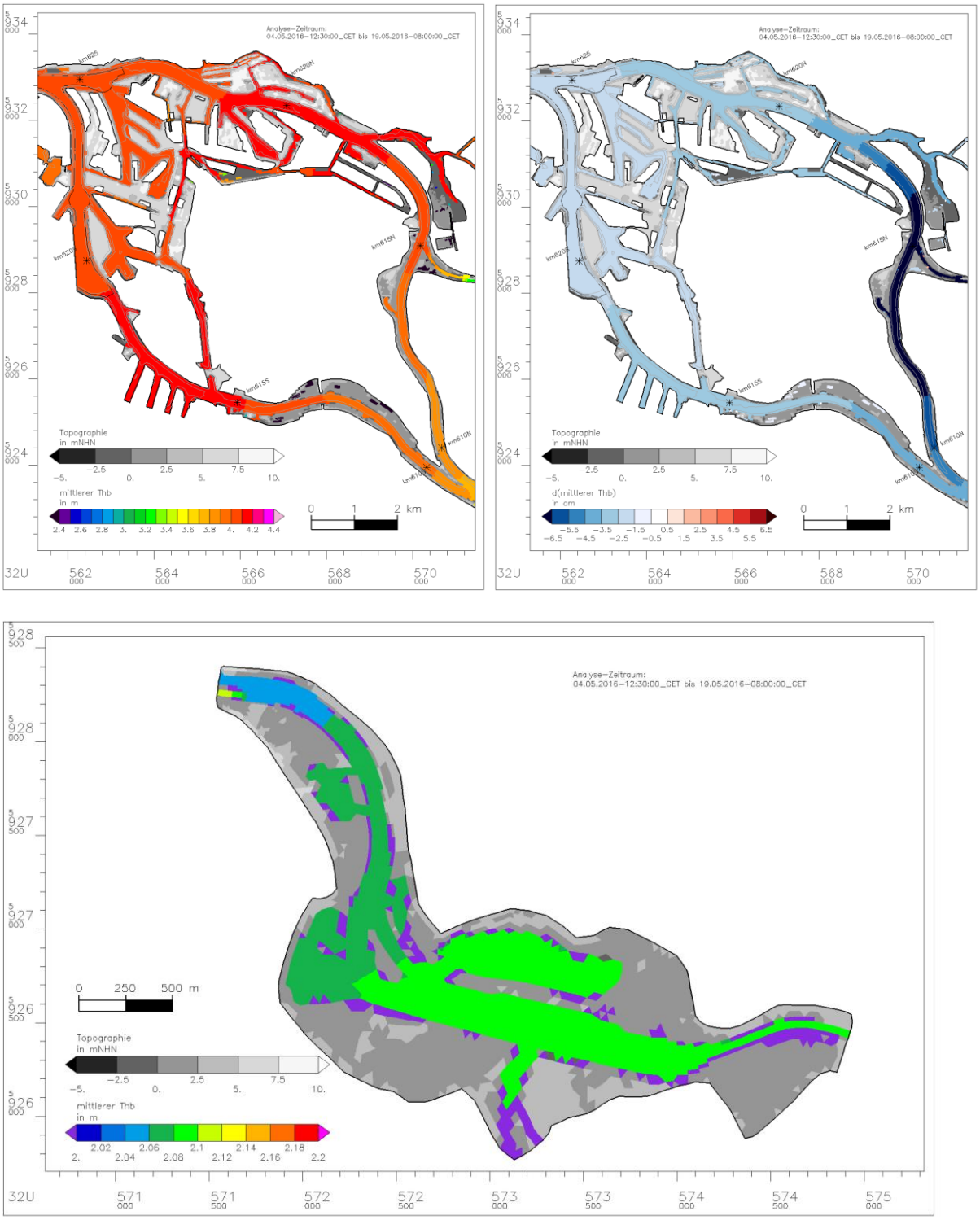


Bild 6: Mittlerer Tidehub. Bild oben links: Variante, Bild oben rechts: Differenz (Variante minus Referenz). Das Bild unten zeigt die Absolutwerte für den Bereich Dove Elbe

Durch die Anbindung der Dove Elbe verändern sich auch die Strömungsgeschwindigkeiten, wobei im Bereich des Sperrwerks die größten Veränderungen auftreten (Bild 7 und Bild 8). Unmittelbar binnenseitig des Sperrwerks steigen die mittleren Flut- und Ebbstromgeschwindigkeiten bis auf 1,4 m/s (die höchsten während des Analysezeitraums ermittelten Strömungen traten mit 1,8 m/s im Flutstrom auf). In der binnenseitigen Krümmung der Dove Elbe nehmen im weiteren Verlauf die mittleren Flutstromgeschwindigkeiten von ca. 1,3 m/s auf ca. 0,7 m/s ab. Die Ebbstromgeschwindigkeiten sind im Mittel mit ca. 0,4 m/s etwas geringer. Weiter stromauf in der Dove Elbe liegen die mittleren Flut- und Ebbstromgeschwindigkeiten unterhalb von 0,2 m/s. Auf der Außenseite des Sperrwerks steigen aufgrund des Wiederanschlusses die im Ist-Zustand geringen mittleren Strömungsgeschwindigkeiten des Altarms um über 0,06 m/s. In der Norderelbe erhöhen sich die Strömungsgeschwindigkeiten stromab der Mündung der Dove Elbe in der Flutphase um ca. 0,015 m/s und in der Ebbephase um ca. 0,035 m/s. Stromauf der Anbindung vermindern sich die mittleren Strömungsgeschwindigkeiten. Auch hier ist die Veränderung im Ebbstrom (etwa 0,025 m/s) stärker als im Flutstrom (etwa 0,05 m/s).

Die stärkere Erhöhung der mittleren Ebbstromgeschwindigkeit gegenüber der mittleren Flutstromgeschwindigkeit bewirkt eine Reduktion der Flutstromdominanz stromab der Dove Elbe bis zum Köhlbrand um etwa 0,025 (Bild 9). Stromauf des Anschlusses der Dove Elbe nimmt das mittlere Verhältnis von Flut- zu Ebbstromgeschwindigkeit in der Norderelbe und der oberen Stromelbe im Vergleich zum Referenzszenario leicht zu.
Die Stauwasserdauern in der Stromelbe ändern sich aufgrund der Anbindung der Dove Elbe nur geringfügig. Die Stauwasserdauer bei Flutstromkenterung verkürzt sich zwischen Dove Elbe und Billwerder Bucht im Mittel um ca. 4 min (Bild 10). Bei Ebbstromkenterung verkürzen sich die Stauwasserdauern vor allem zwischen Köhlfleet und dem Hansahafen (Bild 11). Aufgrund der vorliegenden Tidesymmetrie im Simulationsmodell binnenseitig des Sperrwerks (eingesteuerte Tidekurve mit gleicher Auf- und Ablaufdauer) werden die Tidekennwerte Stauwasserdauer sowie das Verhältnis Flut- zu Ebbstromgeschwindigkeit in diesem Bereich nicht dargestellt.

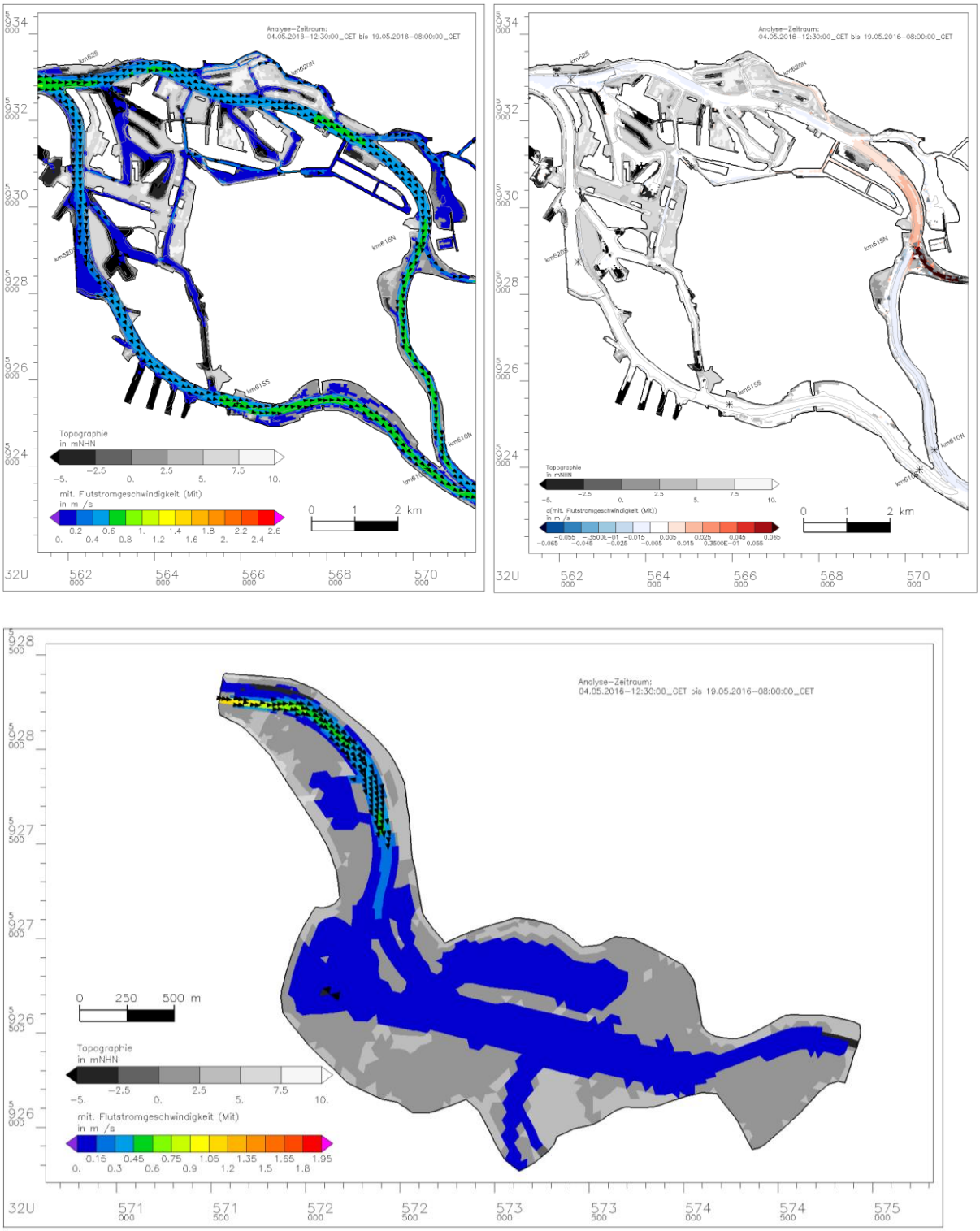


Bild 7: Mittlere Flutstromgeschwindigkeit. Bild oben links: Variante, Bild oben rechts: Differenz (Variante minus Referenz). Das Bild unten zeigt die Absolutwerte für den Bereich Dove Elbe

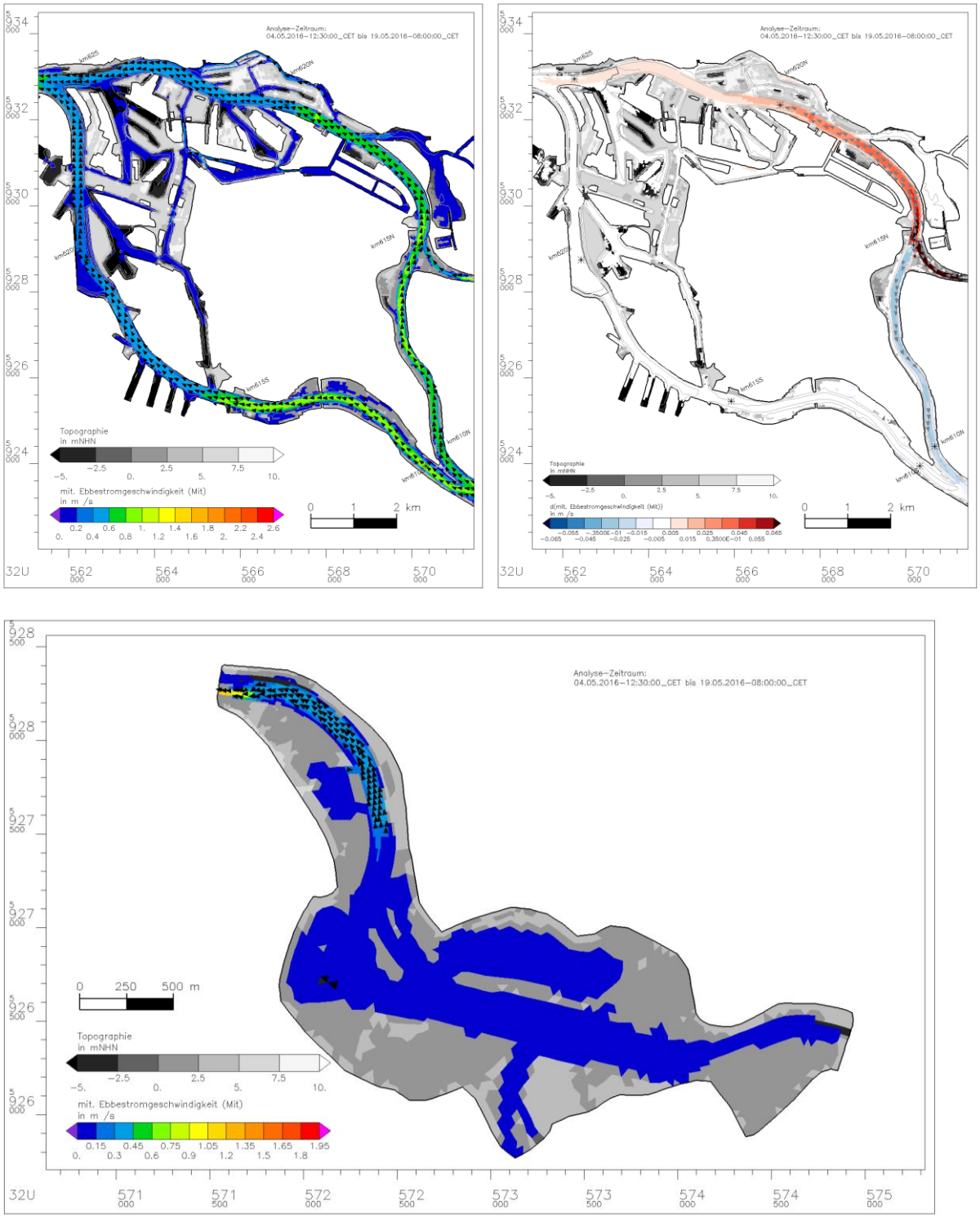


Bild 8: Mittlere Ebbstromgeschwindigkeit. Bild oben links: Variante, Bild oben rechts: Differenz (Variante minus Referenz). Das Bild unten zeigt die Absolutwerte für den Bereich Dove Elbe

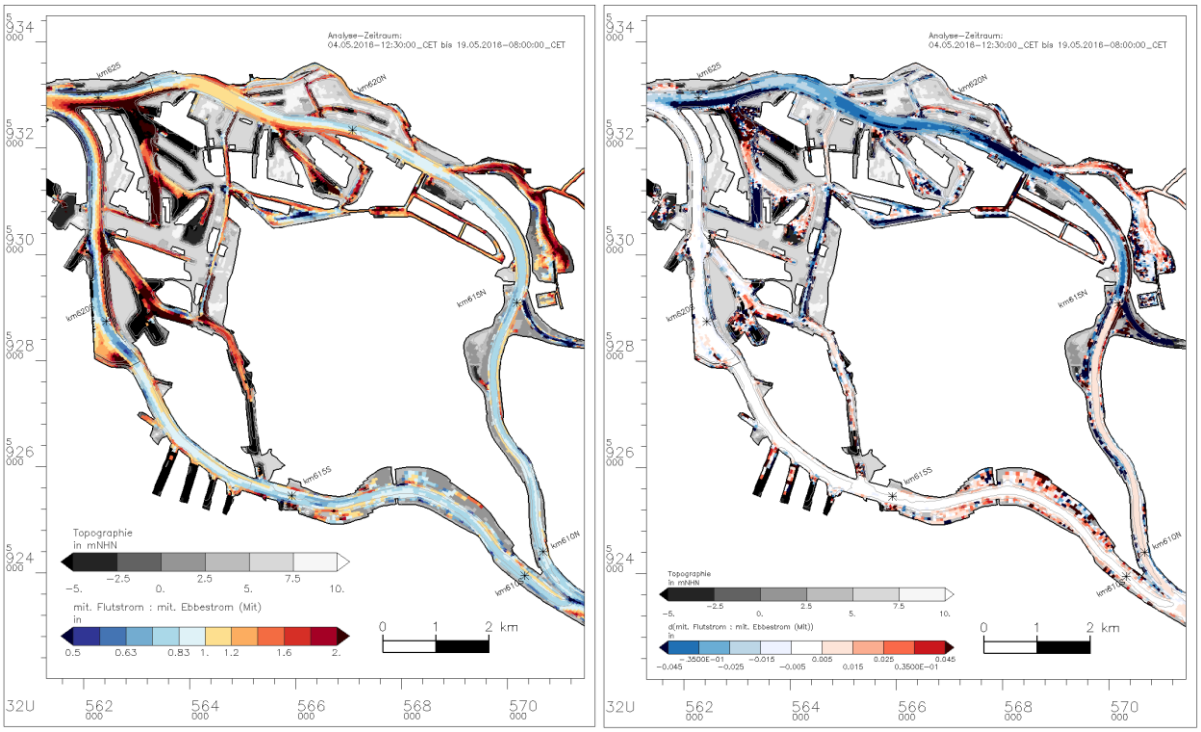


Bild 9: Differenz des Verhältnis Flut- zu Ebbstromgeschwindigkeit. Bild links: Variante, Bild rechts: Differenz (Variante minus Referenz)

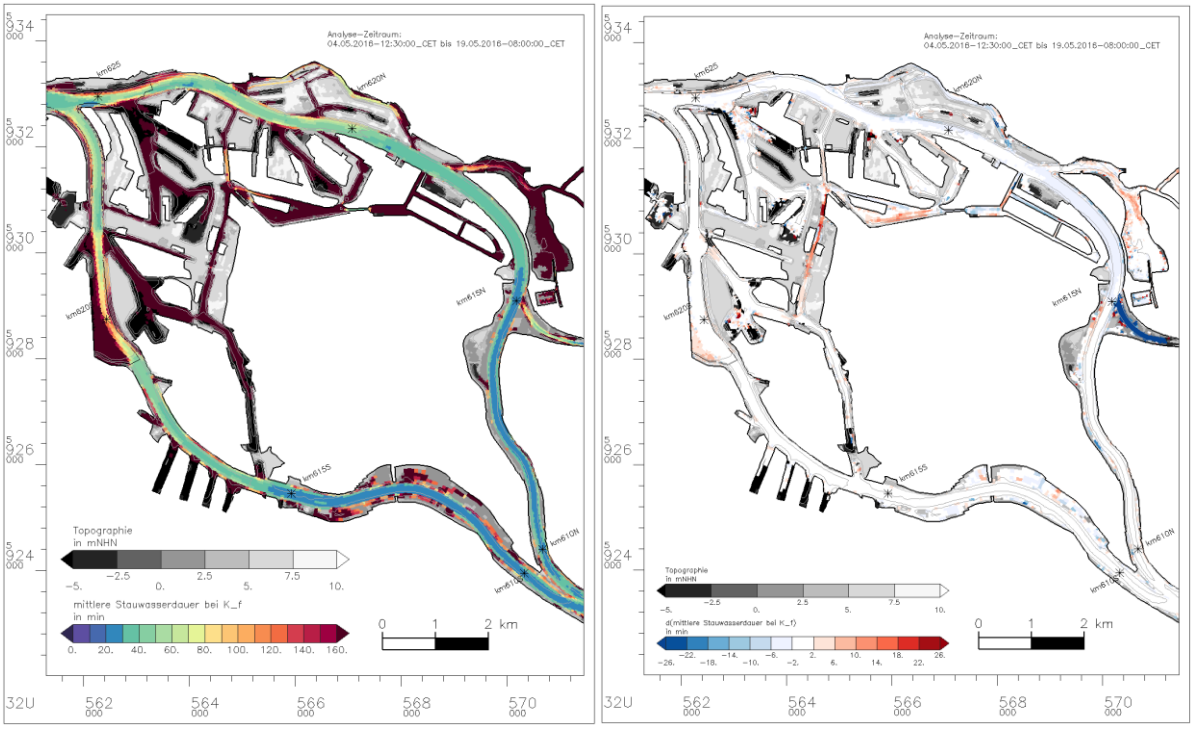


Bild 10: Stauwasserdauer bei Flutstromkenterung. Bild links: Variante, Bild rechts: Differenz (Variante minus Referenz)

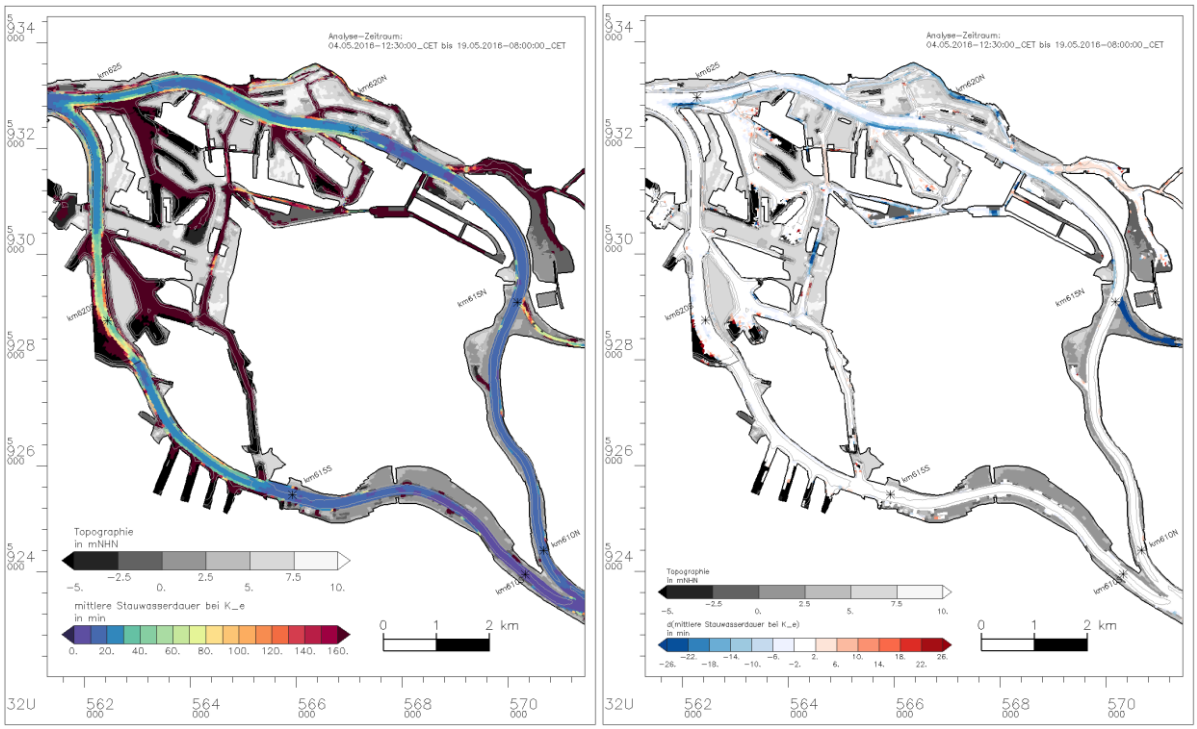


Bild 11: Stauwasserdauer bei Ebbstromkenterung. Bild links: Variante, Bild rechts: Differenz (Variante minus Referenz)

Im Bereich der Dove Elbe tritt der höchste Schwebstoffgehalt direkt entlang der Zulaufkurve stromauf des Sperrwerks auf. Hier beträgt der Schwebstoffgehalt im Mittel ca. 0,016 kg/m³. Weiter stromauf nehmen die Strömungsgeschwindigkeiten in der Dove Elbe ab und somit auch das Vermögen der Strömung, die Feinsedimente in Suspension zu halten. In der östlichen Hälfte der Dove Elbe ist der Schwebstoffgehalt und der stromaufgerichtete Schwebstofftransport während der Simulationszeit nahezu null (Bild 12 und Bild 13).

In der Norderelbe stromauf des Sohlsprungs[4] ca. bei Elbe-Km 620N nimmt der mittlere Schwebstoffgehalt infolge der maßnahmenbedingt erhöhten Durchströmung leicht zu (ca. 0,004 kg/m³). Wesentlich stärker tritt dieser Effekt im Verbindungsstück zwischen Norderelbe und Dove Elbe auf. Aufgrund örtlicher Erosion der Gewässersohle (die Gewässersohle ist im Modell nicht speziell befestigt) steigt der Schwebstoffgehalt im Mittel um ca. 0,050 kg/m³ (oberhalb des Grenzwerts der dargestellten Farbskala). Stromab von St. Pauli ab ca. Elbe-Km 623N nimmt der Schwebstoffgehalt im Flutstrom leicht ab (Bild 12). Hier zeigt sich die Wirkung der verminderten Flutstromdominanz, wodurch sich auch eine Reduktion des advektiven Rest-Schwebstofftransports im Wesentlichen stromab von St. Pauli ergibt (Bild 14).

[4] Sohlsprung bezeichnet die Tatsache, dass die Wassertiefe durch den Übergang von seeschiffstiefen zu binnenschiffstiefem Fahrwasser im Hamburger Hafen stromaufwärts stark abnimmt.

Innerhalb des Simulationszeitraumes von vier Wochen werden ca. 1300 t Sedimente in die Dove Elbe eingetragen (Bild 16). Der Großteil des eingetragenen Schwebstoffeintrags besteht aus schluffigen Sedimenten. In der Dove Elbe findet eine hydraulische Sortierung der Sedimente statt, d.h. die gröberen Sedimente mit der höheren Sinkgeschwindigkeit sedimentieren zuerst. Je geringer die Strömungsgeschwindigkeit ist, umso stärker ist die Deposition. Der Hauptsedimentationsbereich konzentriert sich auf den nordwestlichen Bereich der Dove Elbe (Bild 15). Im flacheren Bereich der Norderelbe wird der Geschiebetransport verstärkt. Hier und vor allem im Verbindungsstück zwischen der Norderelbe und der Dove Elbe erodieren im Simulationsmodell auch mehr Feinsedimente aus der Gewässersohle als zuvor im Referenzszenario. Diese erhöhen den Schwebstoffgehalt im Wasserkörper und werden teilweise in die Dove Elbe eingetragen (Bild 15). Dies ist eine anfängliche morphologische Reaktion auf die örtlich veränderten Strömungsverhältnisse, die mittelfristig abklingen würde. Langfristig ist zu erwarten, dass der Sedimenteintrag in die Dove Elbe geringer wird, da er im Wesentlichen von den Schwebstoffen gebildet werden wird, die mit dem Oberwasserzufluss über das Wehr Geesthacht in die Tideelbe eingetragen werden. Weiträumig zeigt sich die veränderte Transportcharakteristik auch in einer etwas geringeren Deposition im Bereich des Köhlbrands.

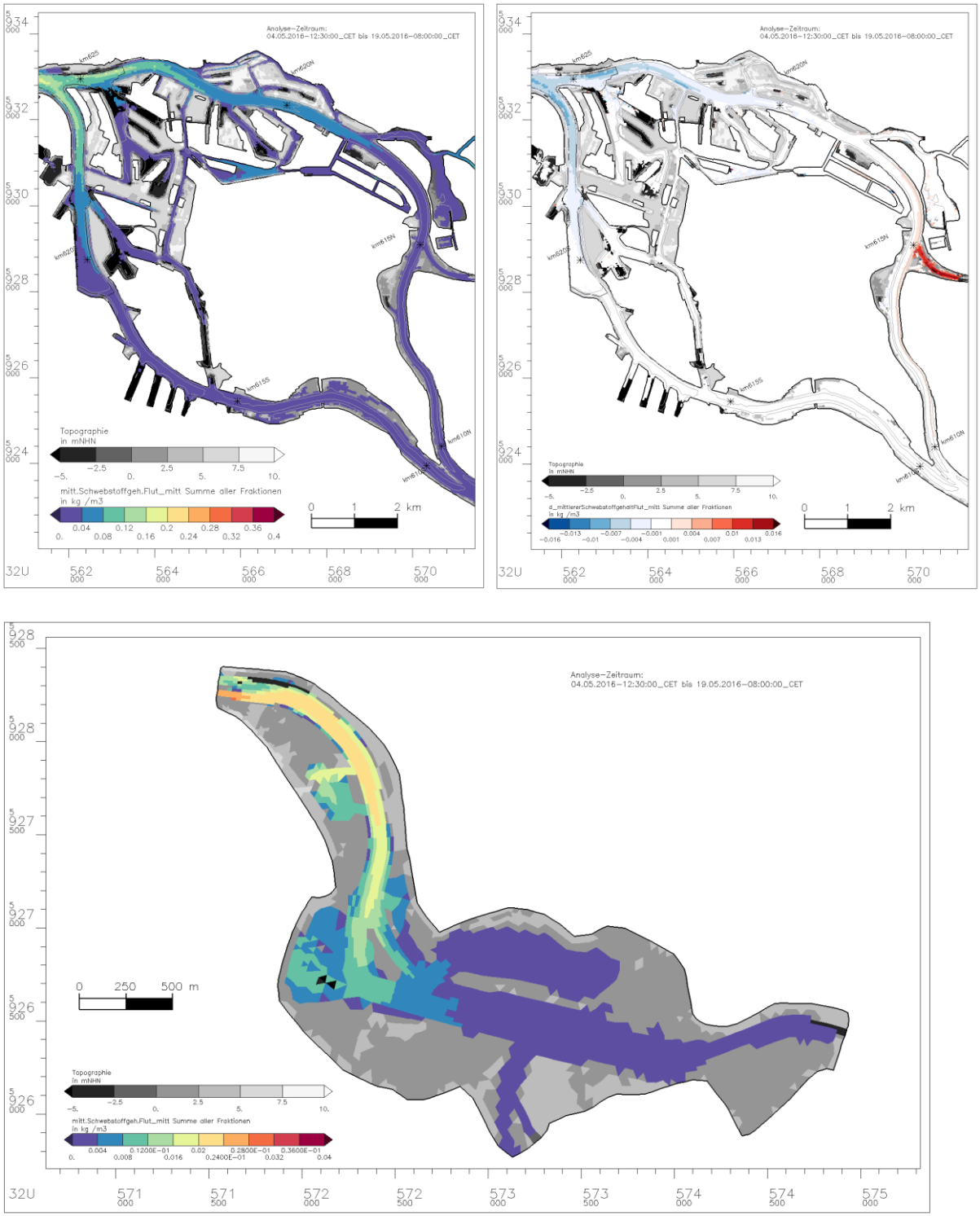


Bild 12: Mittlerer Schwebstoffgehalt (Flut). Bild oben links: Variante, Bild oben rechts: Differenz (Variante minus Referenz). Das Bild unten zeigt die Absolutwerte für den Bereich Dove Elbe

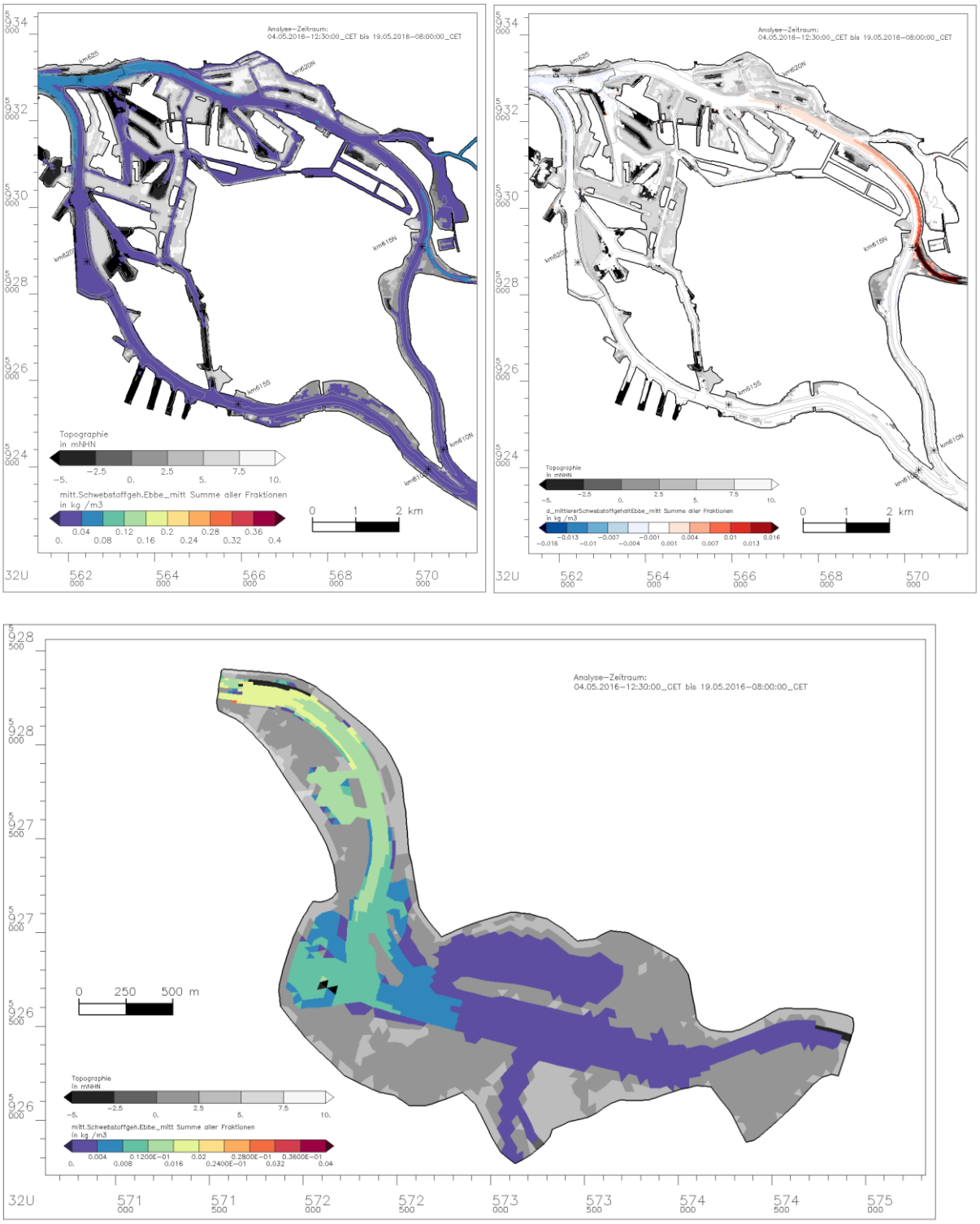


Bild 13: Mittlerer Schwebstoffgehalt (Ebbe). Bild oben links: Variante, Bild oben rechts: Differenz (Variante minus Referenz). Das Bild unten zeigt die Absolutwerte für den Bereich Dove Elbe

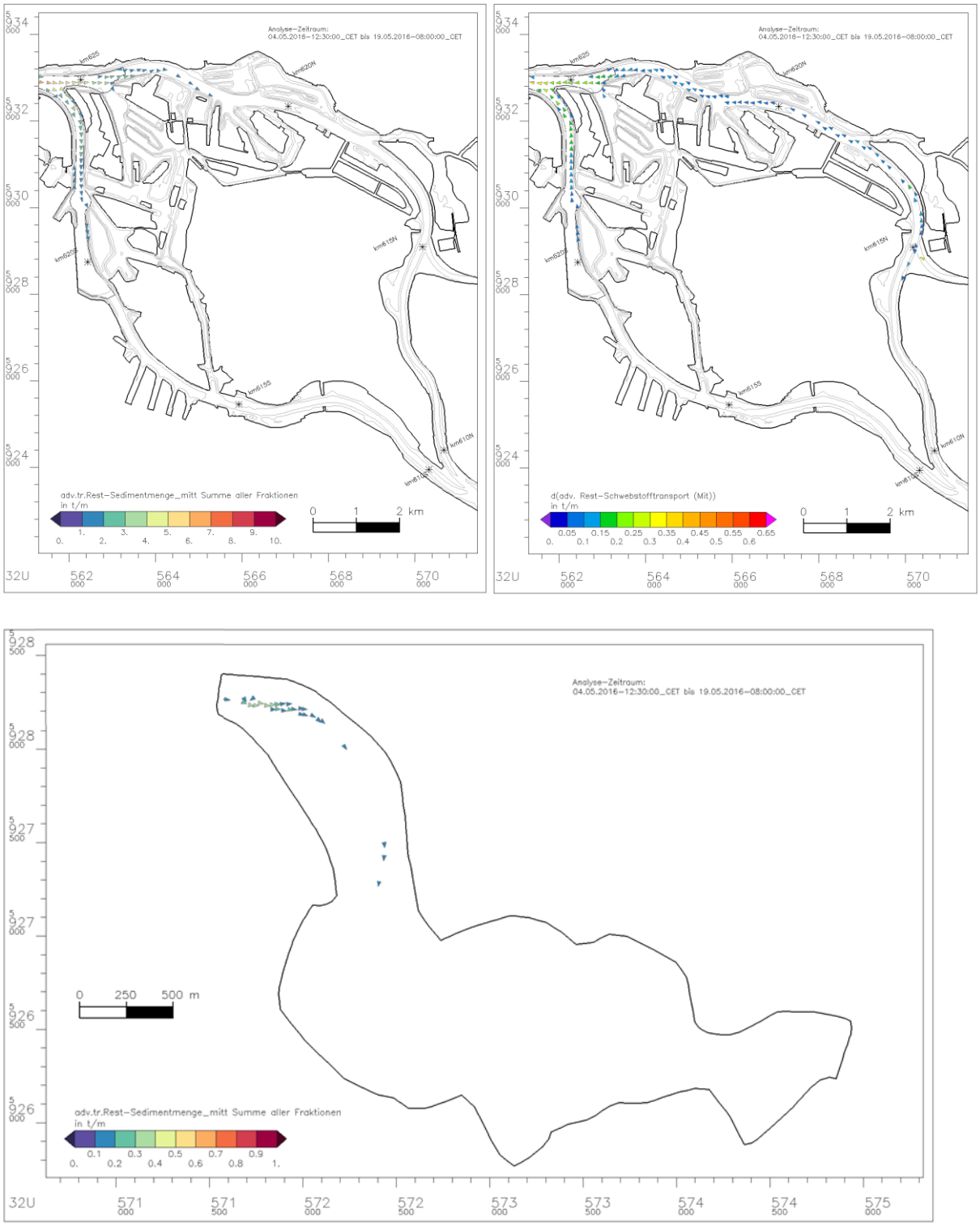


Bild 14: Rest-Schwebstofftransport (adv.) (Summe aller Fraktionen). Bild oben links: Variante, Bild oben rechts: Differenz (Variante minus Referenz). Das Bild unten zeigt die Absolutwerte für den Bereich Dove Elbe

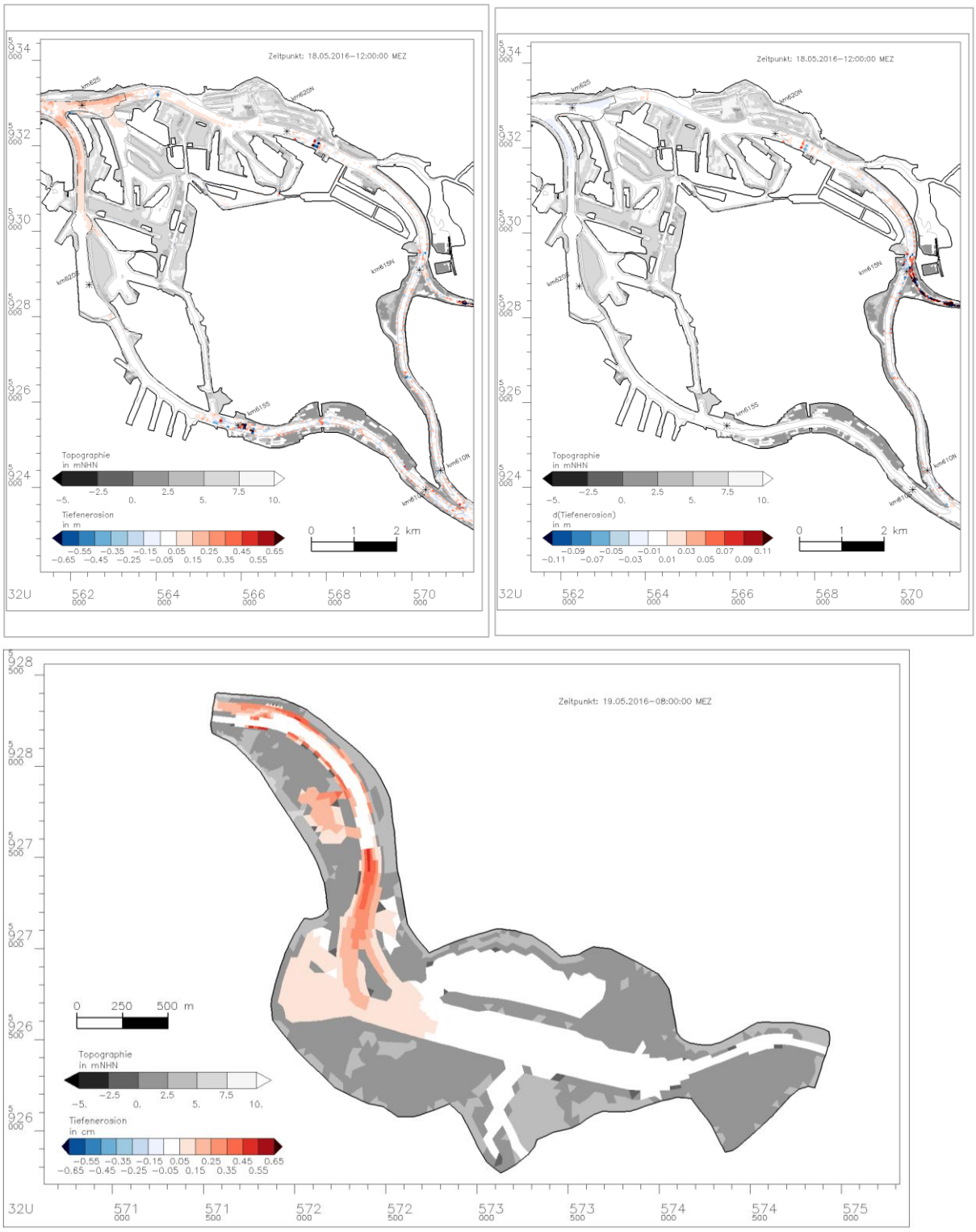


Bild 15: Akkumulation an der Gewässersohle nach 4 Wochen Simulationszeit. Bild oben links: Variante, Bild oben rechts: Differenz (Variante minus Referenz). Das Bild unten zeigt die Absolutwerte für den Bereich Dove Elbe (in cm)

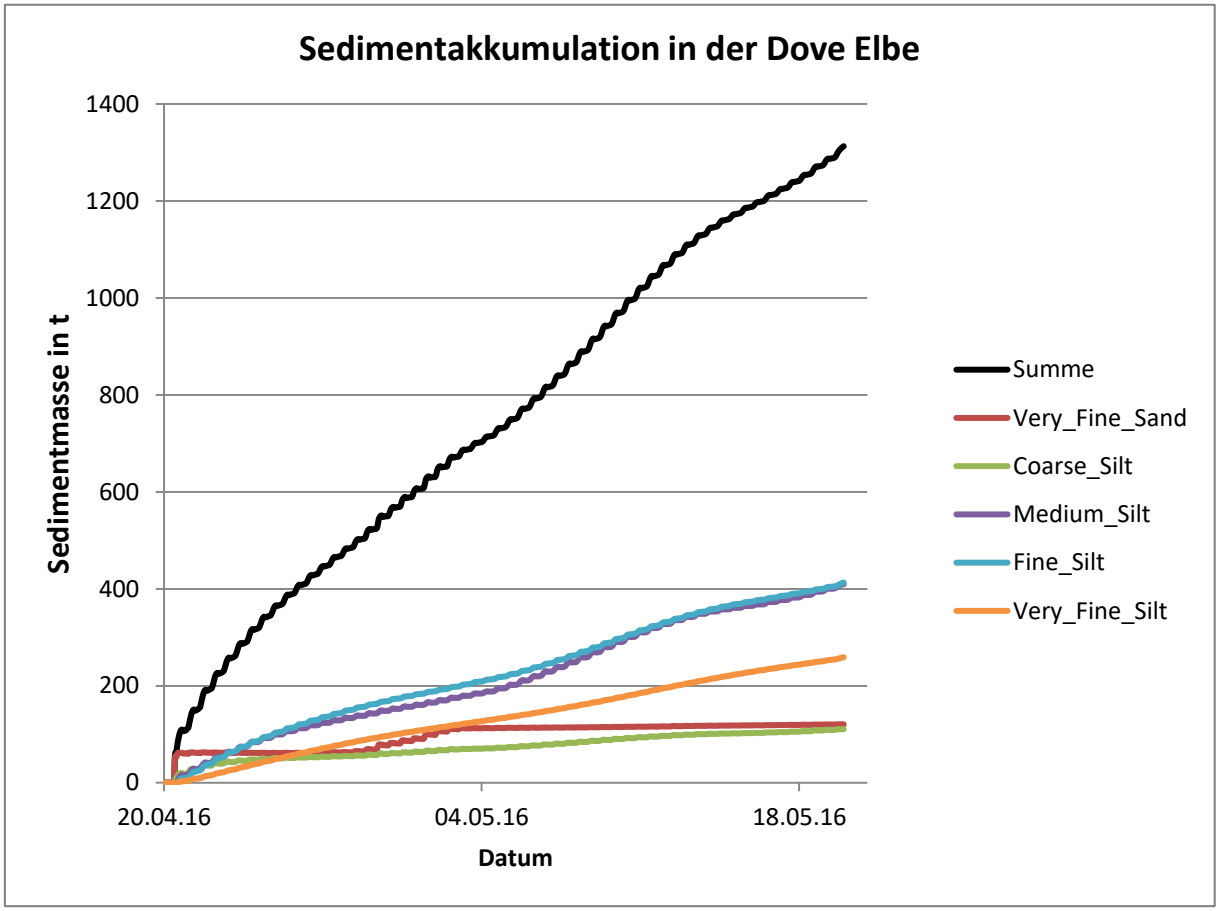


Bild 16: Schwebstoffeintrag in das Gebiet während der Simulation

2.2.3 Großräumige Auswirkung der Maßnahme

Die Wirkung des zusätzlichen Flutraumes auf die Wasserstände der Stromelbe ist wegen der geringen Wassertiefen und des kleineren Tidevolumens in der Norderelbe örtlich an der Mündung der Dove Elbe deutlich größer als weiter stromab (Bild 17). Die Reduzierung des mittleren Tidehubs wirkt bis ca. Elbe-Km 660. Weiter stromab zeigt sich eine leichte Erhöhung des mittleren Tidehubs in der Größenordnung von ca. 1 cm im Bereich Brunsbüttel (Bild 17).
Die Darstellung des mittleren Verhältnis Flut- zu Ebbstromgeschwindigkeit auf dem Längsprofil (Bild 18) bestätigt den überwiegend örtlichen Einfluss. Eine Dämpfung der Flutstromdominanz ist bis Schulau (ca. Elbe-Km 640) zu erkennen. Stromauf der Mündung der Dove Elbe wird in der Norderelbe eine Erhöhung des mittleren Verhältnis Flut- zu Ebbstromgeschwindigkeit berechnet, die nach 5 km abgeklungen ist. Die in der oberen Tideelbe vorhandene Ebbstromdominanz wird dort also etwas reduziert.

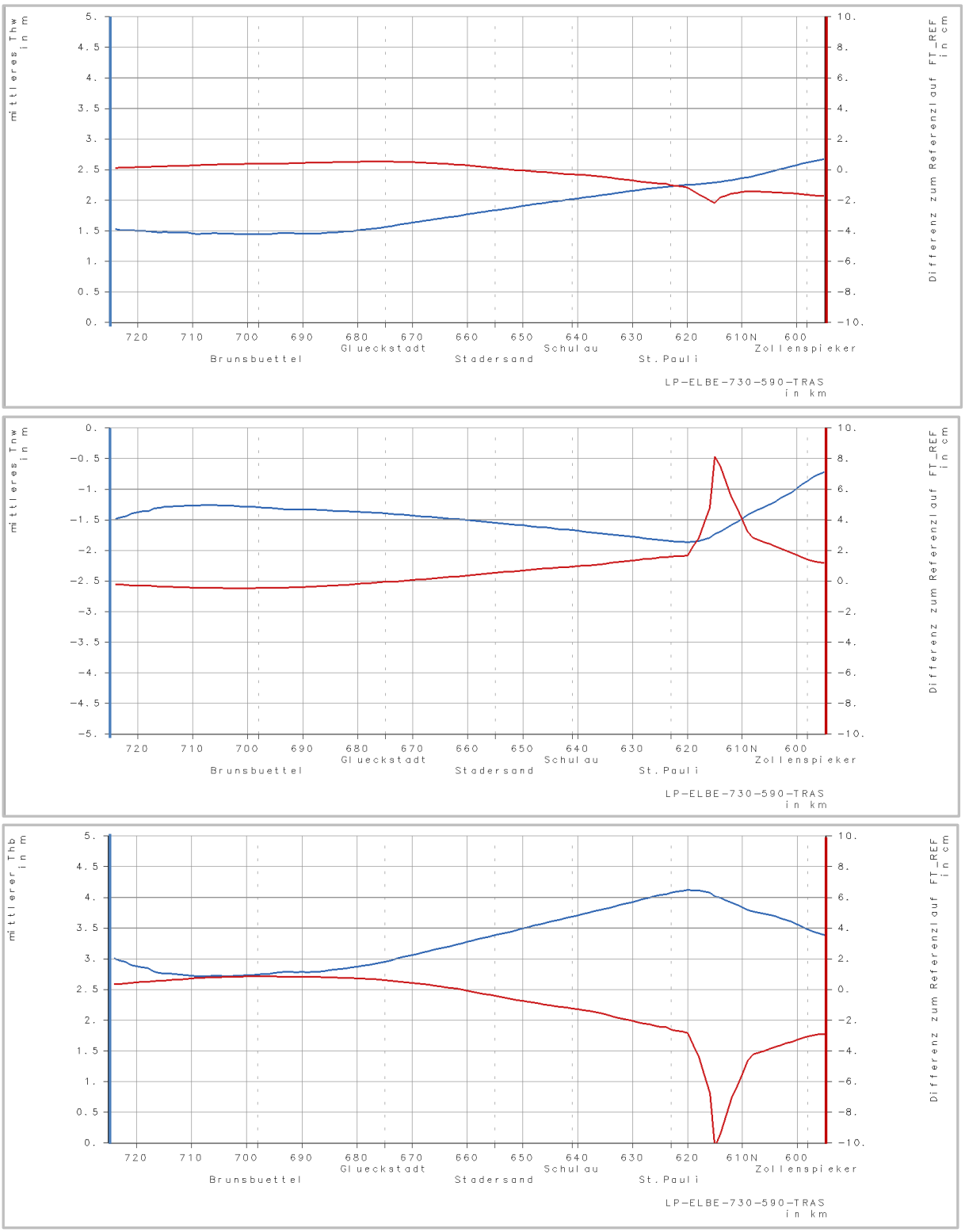


Bild 17: Mittleres Tidehochwasser (oben), mittleres Tideniedrigwasser (Mitte) und mittlerer Tidehub (unten) im Längsverlauf der Tideelbe (blaue Linien) während des Untersuchungszeitraums. Die roten Linien zeigen jeweils die Differenz (Variante minus Referenz)

Die Anbindung der Dove Elbe führt durch die Veränderungen der Strömungen auch zu einer großräumigen Reduktion des stromaufgerichteten Schwebstofftransports in der Unterelbe. Der advektive Rest-Schwebstofftransport verringert sich bis ca. Elbe-km 705 im Mittel um ca. 200 bis 300 t/Tide (Bild 19).
Der Salzgehalt zeigt infolge des Anschlusses eine geringe Verminderung im Hamburger Bereich (Bild 20), was auf die Zuflüsse aus dem Einzugsgebiet der Dove Elbe zurückzuführen ist. Diese speisen die Dove Elbe kontinuerlich mit Frischwasser und gelangen durch den Wiederanschluss über die Dove Elbe in die Norderelbe. Stromab von Brunsbüttel, bei Elbe-km 705 nimmt der Salzgehalt um etwa 0,04 ‰ ab. Die Veränderungen im Vergleich zum Referenzzustand bleiben jedoch deutlich < 0,1 ‰, was als kleinste noch sinnvoll auswertbare Konzentration angesehen wird.

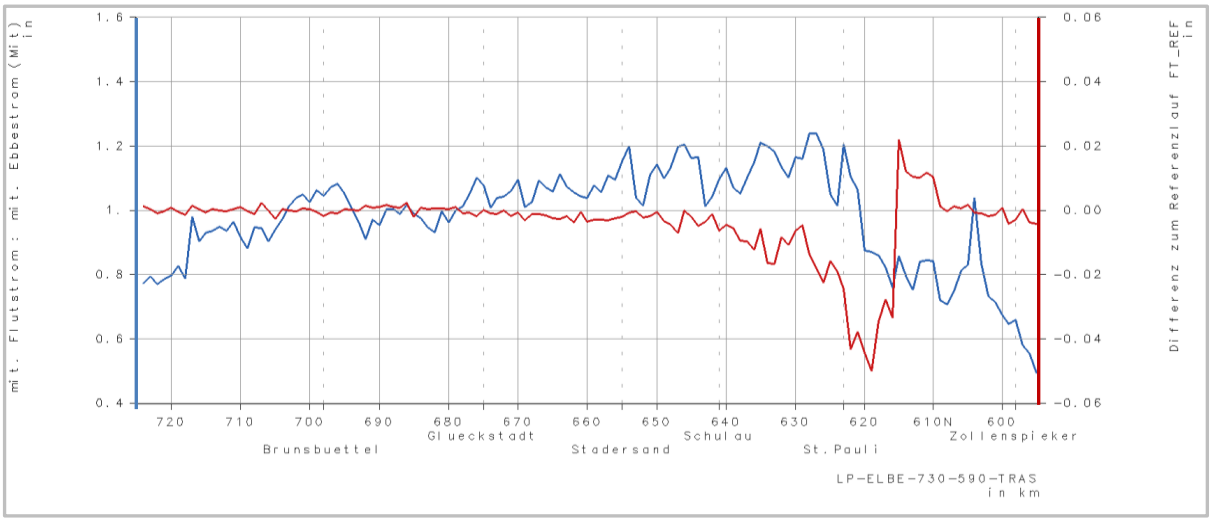


Bild 18: Mittleres Flut- zu Ebbstromverhältnis im Längsverlauf der Tideelbe (blaue Linie) während des Untersuchungszeitraums. Die rote Linie zeigt Differenz (Variante - Referenzzustand)

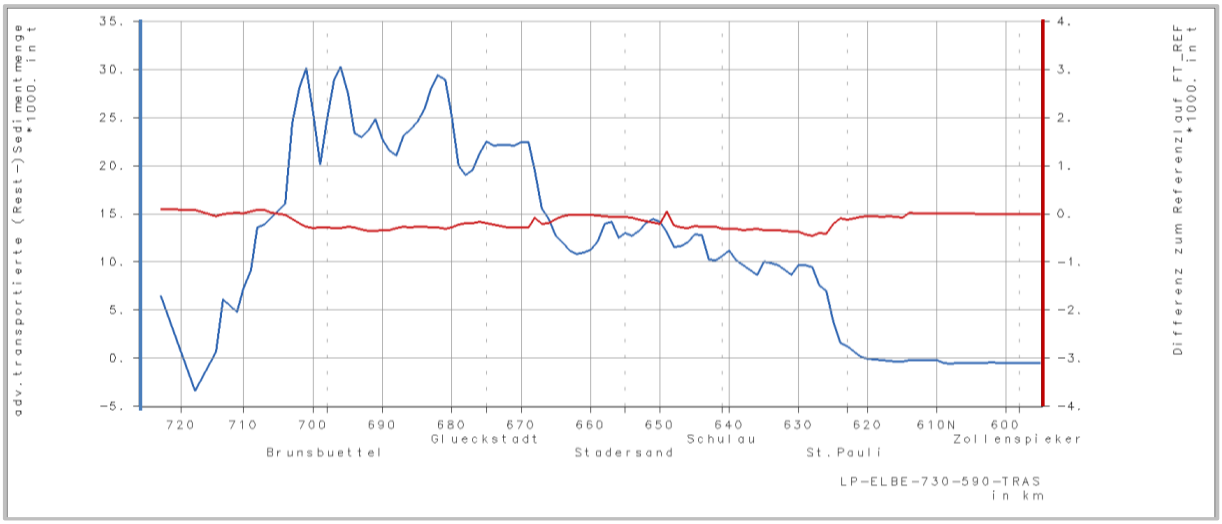


Bild 19: Mittlerer Rest-Schwebstofftransport/Tide im Längsverlauf der Tideelbe (blaue Linie) während des Untersuchungszeitraums. Die rote Linie zeigt Differenz (Variante - Referenzzustand)

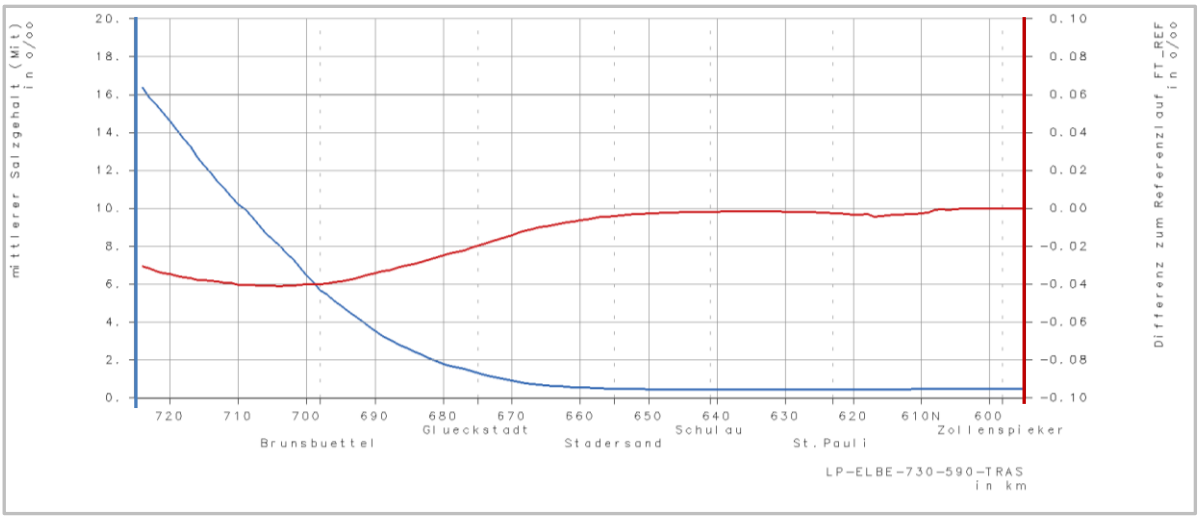


Bild 20: Mittlerer Salzgehalt im Längsverlauf der Tideelbe (blaue Linie) während des Untersuchungszeitraums. Die rote Linie zeigt Differenz (Variante minus Referenz)

3 Schlussfolgerungen

Die vorliegenden Untersuchungsergebnisse dienen als Grundlage für die Machbarkeitsstudie der vom Forum Tideelbe in der Phase 2 konzipierten Maßnahme „Dove Elbe“ zum Wiederanschluss zusätzlichen Tidevolumens. Die Bewertung der Simulationsergebnisse zeigt:

- Die untersuchte Maßnahme zum Wiederanschluss der Dove Elbe ist geeignet das formulierte Ziel einer Tidehubreduktion in der Elbe und einer Abnahme des stromauf gerichteten Netto-Schwebstofftransports zu erreichen.
- Die Wirkung einer Maßnahme zur Schaffung zusätzlichen Flutraums ist grundsätzlich in Abhängigkeit von Lage, zusätzlichem Tidevolumen und Zuflussquerschnitt unterschiedlich intensiv. Für den Wiederanschluss der Dove Elbe tritt eine Reduktion des großräumigen Tidehubs in der Größenordnung von wenigen cm auf und entspricht in Relation zum heutigen Tidehub einer Größenordnung von kleiner einem Prozent (< 1%).
- Auf die Salzintrusion wirkt sich die untersuchte Maßnahme im betrachteten Analysezeitraum nicht wesentlich aus. Die Änderung der Salzgehaltsverhältnisse liegt in der Größenordnung von kleiner 0,1 ‰.
- Das Maß der großräumigen Reduktion des Tidehubs ist ein zuverlässiger Indikator für das Potential der Maßnahme auch den Stromauftransport von Sediment zu reduzieren.
- Im betrachteten Analysezeitraum entspricht eine Reduktion des adv. Restschwebstofftransports von ~300 t/Tide einer relativen Reduktion von maximal ~2 %. Diese Zahl kann aufgrund der vorliegenden Untersuchungstiefe als Anhaltspunkt dienen, in welcher Größenordnung der Sedimenttransport beeinflusst wird. Es ist jedoch nicht zulässig, daraus eine entsprechende Reduktion der Baggermengen bzw. der Baggerkosten abzuleiten, da diese von vielen weiteren teilweise hier nicht modellierten Faktoren, wie z.B. das zukünftige tatsächliche Sedimentmanagement, abhängen.
- Innerhalb des wieder angeschlossenen Flutraums ist mit Eintrag von Sedimenten zu rechnen. Der dargestellte Sedimenteintrag muss als Indiz betrachtet werden, dass die morphologische Entwicklung eines zusätzlichen Flutraumes von den örtlichen Verhältnissen bestimmt wird. Nach einer anfänglichen morphologischen Reaktion auf die örtlich veränderten Strömungsverhältnisse wird der Sedimenteintrag in die Dove Elbe im Wesentlichen von den Schwebstoffen gebildet werden, die mit dem Oberwasserzufluss über das Wehr Geesthacht in die Tideelbe eingetragen werden.

Durch die unterschiedlich starke Berücksichtigung der naturschutzfachlichen Belange und der Belange der beteiligten Bevölkerung ist aus wasserbaulicher Sicht ein Maßnahmenlayout als Kompromisslösung entstanden, die das rein wasserbauliche Potential der Maßnahme Dove Elbe eingeschränkt hat.
Für einen relativen Vergleich der maßnahmenbezogenen Wirkungen aller vom Forum Tideelbe konzipierten Varianten (BAW, 2020) ist die unterschiedliche Planungstiefe und Beteiligung der Stakeholder des Maßnahmenlayouts zu beachten. Bei einer vertieften Betrachtung optimierter Maßnahmenvarianten wird empfohlen, auch die Kombination von verschiedenen Maßnahmen zu prüfen, da auch mehrere kleinere Maßnahmen in der Summe geeignet sein können, den Tidehub zu reduzieren und den stromauf gerichteten Netto-Schwebstofftransports zu verringern.
Die untersuchte Maßnahme Dove Elbe kann allein die Tideelbe nicht wieder in ein Gleichgewicht bringen. Das war auch nicht zu erwarten, denn der heutige hydromorphologische Zustand der

Elbe ist das Ergebnis von 150 Jahren wasserbaulicher Maßnahmen aus Hafenbau, Fahrrinnenanpassungen und Küstenschutz. Gleichzeitig wirken sich heute auch großräumige Entwicklungen wie z.B. der Klimawandel negativ auf das Salzgehalts- und Sedimenttransportregime aus. Die Maßnahme „Dove Elbe“ kann aber aus wasserbaulicher Sicht dazu beitragen, den bisherigen historischen ungünstigen Entwicklungen der Tideelbe entgegenzuwirken und das ökologische Potential der Tideelbe zu verbessern. Eine signifikante Reduktion der Baggermengen kann dadurch allerdings nicht erreicht werden. Dazu sind Maßnahmen im Sedimentmanagement notwendig und wirkungsvoller, z.B. ein dauerhafter Austrag von Feinsedimenten und ein adaptives Sediment-/Ästuarmanagement.
Aus wasserbaulicher Sicht wird für weitergehende Untersuchungen empfohlen, den Einfluss eines adaptiven Sedimentmanagement zu berücksichtigen.

4 Literaturverzeichnis

Bundesanstalt für Wasserbau (2020): Auswirkung der Schaffung von Flutraum im Bereich der Tideelbe. Wasserbauliche Systemstudien der vom Forum Tideelbe konzipierten Maßnahmen (BAW-Gutachten B3955030610005).

BBS Greuner-Pönicke, Planung & Moderation, Ingenieursbüro Dr. Lehners + Wittorf (2020): Auswirkungen der Anbindung der Dove Elbe an die Tideelbe und Auswirkungen für die Stakeholder. Machbarkeitsstudie. Im Auftrag von Hamburg Port Authority/IMMERSE. Online verfügbar unter https://www.forum-tideelbe.de/files/download/20200930-machbarkeitsstudie-doveelbe-end.pdf, zuletzt geprüft am 21.01.2021.

Bundesanstalt für Wasserbau (2021): Assess adapted sediment management in the Elbe through use of new numerical model. Study in the framework of the Interreg Project IMMERSE, Hamburg (zur Veröffentlichung vorgesehen).

Bundesanstalt für Wasserbau
Hamburg, Januar 2021

Im Auftrag	Bearbeiterin
gez. Rahlf	gez. Ortiz
H. Rahlf	V. Ortiz