

|  |  |  |
|--|--|--|
| <br>  | Umgebung   |  |
| TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN  | Wilhelmshaven FSRU: Bericht über die Ausbreitung von | Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2025_05  |
| TES-Code: TES-WHV-VGN-   | Sedimentfahnen                                       | Seite 1 von 55   |

# Wilhelmshaven FSRU: Bericht über die Ausbreitung von Sedimentfahnen

|                 |                |              |                     |                    |                      |                  |
|-----------------|----------------|--------------|---------------------|--------------------|----------------------|------------------|
| Sechste Ausgabe | 05             | 29.08.2023   | O.B.O T. Wolf       | A. Bakhtiari       | J. de Groot          |                  |
| Fünfte Ausgabe  | 04             | 04.08.2023   | O.B.O T. Wolf       | A. Breugem         | T. Koutrouveli       |                  |
| Vierte Ausgabe  | 03             | 19.06.2023   | T. Wolf             | W. A. Breugem      | J. de Groot          |                  |
| Dritte Ausgabe  | 02             | 05.06.2023   | T. Wolf             | W. A. Breugem      | J. de Groot          |                  |
| Zweite Ausgabe  | 01             | 10.05.2023   | T. Wolf             | W. A. Breugem      | J. de Groot          | Internes Update  |
| Erste Ausgabe   | 00             | 09.12.2022   | T. Wolf             | B. Decrop          | J. de Groot          |                  |
| <b>Status</b>   | <b>Ausgabe</b> | <b>Datum</b> | <b>Erstellt von</b> | <b>Geprüft von</b> | <b>Genehmigt von</b> | <b>Bemerkung</b> |

|  |   |  |
|--|---|--|
| <br>  | Umgebung  |  |
| TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN  | Wilhelmshaven FSRU: Bericht über die Ausbreitung von Sedimentfahnen | Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2025_05  |
| TES-Code: TES-WHV-VGN-   |   | Seite 2 von 55   |

## Zusammenfassung des Berichts

In dieser Studie wurde ein Modell zur Ausbreitung von Sedimentfahnen verwendet, um die Ausbreitung von Feinsedimenten zu untersuchen, die durch die Baggerarbeiten im Wendebassin (einschließlich Liegewanne und Zufahrt) des Kurzzeitprojekts freigesetzt werden. Dazu wurde ein bestehendes hydrodynamisches TELEMAC-3D-Modell (IMDC, 2022a) mit dem Sedimenttransportmodul GAIA kombiniert. Es wurde nur die durch die Baggerarbeiten entstehenden Sedimente“ simuliert. Natürliche Sedimente in Suspension wurden nicht berücksichtigt. Angesichts der derzeitigen Phase des Projekts müssen die genauen Einzelheiten der Baggerarbeiten noch festgelegt werden. Daher wurden repräsentative Szenarien für die durchschnittlichen Spring- und Nipptidebedingungen erstellt (entsprechend dem Bericht über die Methodik (IMDC, 2022b)), die eine Bandbreite für die Interpretation der Modellergebnisse bieten.

Es wurden zwei Szenarien betrachtet: ein Referenzszenario und ein Szenario mit einem hohen Prozentsatz an Feinstoffen. Ausgehend von der durchschnittlichen Hintergrundkonzentration von 250 mg/L an Schwebstoffen im Projektgebiet wird ein Schwellenwert in ähnlicher Höhe festgelegt, um eine Grundlage für den Vergleich der Szenarienergebnisse zu schaffen. Die Auswirkungen der Szenarien wurden durch Überprüfung der maximalen Konzentrationen innerhalb der Simulationszeiträume bewertet.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Form der Sedimentfahnen mit der Form der Gezeiten-Ellipsen im Jadebusen übereinstimmt, d. h. in der Nähe des Baggerbereichs des Wendebassins länglich und in der Nähe der Klappstelle K01 runder ist. Für das Referenzszenario (während der Springtide) wird der Bereich, in dem die Spitzenkonzentration der Sedimente das Doppelte des festgelegten Schwellenwerts von 250 mg/L betragen würde, nur sehr lokal innerhalb des Wendebassins auf einem Sandrücken und innerhalb einer Ellipse mit einem Hauptradius von einem Kilometer um die Klappstelle überschritten. Bei einem hohen angenommenen Prozentsatz an Feinstoffen (Obergrenze der Feldbeobachtungen) nimmt das Ausmaß der Überschreitung des Schwellenwerts von 250 mg/L an der Baggerstelle nicht zu. Der Hauptradius der ellipsenförmigen Form des Ausmaßes der Überschreitung an der Klappstelle hingegen weitet sich auf bis zu zwei Kilometer.

Bei Nipptidebedingungen gibt es für das Referenzszenario an der Baggerstelle keine Überschreitung. An der Klappstelle hingegen wird eine Überschreitung innerhalb einer Ellipse mit einem Hauptradius von knapp einem Kilometer um die Klappstelle festgestellt. Bei einem hohen angenommenen Prozentsatz an Feinstoffen (Obergrenze der Feldbeobachtungen) ist im Baggerbereich immer noch keine Überschreitung festzustellen. Der Hauptradius der ellipsenförmigen Überschreitung an der Klappstelle hingegen weitet sich auf bis zu 1,5 Kilometer.

In keinem der Szenarien wird der Wert von 25 mg/L in den Gebieten mit Muschelfischerbetrieben überschritten. Es ist daher anzunehmen, dass keine nennenswerte Fahne in diese Bereiche gelangt.

|  |   |  |
|--|---|--|
| <br>  | Umgebung  |  |
| TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN  | Wilhelmshaven FSRU: Bericht über die Ausbreitung von Sedimentfahnen | Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2025_05  |
| TES-Code: TES-WHV-VGN-   |   | Seite 3 von 55   |

## Inhaltsverzeichnis

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einleitung</b> .....   | <b>4</b>  |
| 1.1      | Der Auftrag .....   | 4         |
| 1.2      | Gegenstand des Berichts .....   | 4         |
| 1.3      | Definierte Begriffe und Abkürzungen .....                                     | 5         |
| <b>2</b> | <b>Modell-Aufbau</b> .....  | <b>7</b>  |
| 2.1.1    | Software .....  | 7         |
| 2.1.2    | Datenbasis.....   | 7         |
| 2.1.3    | Gebiet und Bathymetrie (Gewässerbodenvermessung) .....                        | 11        |
| 2.1.4    | Kalibrierung/Validierung des hydrodynamischen Modells .....                   | 13        |
| 2.2      | Einstellungen .....   | 23        |
| 2.3      | Sedimentverluste und dem Austritt von Sedimentfahnen-Parametrisierungen ..... | 25        |
| <b>3</b> | <b>Einrichtung des Szenarios</b> .....  | <b>29</b> |
| 3.1      | Modellierungszeiträume .....  | 29        |
| <b>4</b> | <b>Szenarienergebnisse</b> .....  | <b>33</b> |
| 4.1      | Springtide .....  | 33        |
| 4.1.1    | Baggerszenario A – Referenzszenario .....                                     | 33        |
| 4.1.2    | Baggerszenario B – Szenario mit hohem Prozentsatz an Feinstoffen .....        | 37        |
| 4.2      | Nipptide .....  | 41        |
| 4.2.1    | Baggerszenario A – Referenzszenario .....                                     | 41        |
| 4.2.2    | Baggerszenario B – Szenario mit hohem Prozentsatz an Feinstoffen .....        | 45        |
| <b>5</b> | <b>Schlussfolgerungen</b> .....   | <b>50</b> |
| <b>6</b> | <b>Referenzen</b> .....   | <b>51</b> |

|  |   |  |
|--|---|--|
| <br>  | Umgebung  |  |
| TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN  | Wilhelmshaven FSRU: Bericht über die Ausbreitung von Sedimentfahnen | Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2025_05  |
| TES-Code: TES-WHV-VGN-   |   | Seite 4 von 55   |

# 1 Einleitung

## 1.1 Der Auftrag

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) ist im September 2022 an die Tree Energy Solutions GmbH (TES) herangetreten und hat die gemeinsame Realisierung eines schwimmenden Flüssigerdgas (Liquefied Natural Gas – LNG)-Importterminals (Floating Storage and Regasification Unit – FSRU) angefragt. Das BMWK hat dazu im Februar 2023 die FSRU „Excelsior“ für maximal 60 Monate gechartert. Das Projekt soll in Kooperation mit E.ON und ENGIE realisiert werden. Als Vorhabenträgerin wurde die „FSRU Wilhelmshaven GmbH“ gegründet.

Der KUNDE (ENGIE/TES) hat einen Vertrag mit IMDC geschlossen. Dieser sieht technische Unterstützung durch IMDC für die Meeresarbeiten sowie für Modellierungsstudien vor, die in den Genehmigungsantrag einfließen werden.



Abbildung 1-1: Übersicht über das Projektgebiet (Quelle: Google Earth)

## 1.2 Gegenstand des Berichts

Zweck des vorliegenden Berichts ist es, die Ausbreitung von Sedimentfahnen zu untersuchen, die durch die Baggerarbeiten für das Wendebassin des Kurzzeitprojekts erzeugt werden, dessen Sediment an der dafür vorgesehenen Klappstelle K01 abgelagert wird. Dazu wird ein bestehendes hydrodynamisches TELEMAC-3D-Modell (IMDC, 2022a) mit dem Sedimenttransportmodul GAIA kombiniert. Angesichts der derzeitigen Phase des Projekts müssen die genauen Einzelheiten der Baggerarbeiten noch festgelegt werden. Daher wurden

|  |   |  |
|--|---|--|
| <br>  | Umgebung  |  |
| TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN  | Wilhelmshaven FSRU: Bericht über die Ausbreitung von Sedimentfahnen | Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2025_05  |
| TES-Code: TES-WHV-VGN-   |   | Seite 5 von 55   |

repräsentative Szenarien für die durchschnittlichen Spring- und Nipptidebedingungen erstellt (entsprechend dem Bericht über die Methodik (IMDC, 2022b)), die eine Bandbreite für die Interpretation der Modellergebnisse bieten.

### 1.3 Definierte Begriffe und Abkürzungen

Die großgeschriebenen Begriffe und Abkürzungen in diesem Dokument beziehen sich auf die in der folgenden Tabelle definierten Begriffe:

| Begriff         | Beschreibung   |
|-----------------|--|
| BD              | Anlegedalben   |
| Behörde         | Zertifizierungsbehörde, die für den betreffenden Sektor zuständig ist  |
| Berater         | International Marine Dredging Consultants (IMDC), die als Ingenieur des Bauherrn für das Projekt ernannt wurden.   |
| BMWK            | Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz   |
| DWD             | Deutschen Wetterdienstes   |
| ERA5            | Regionalen atmosphärischen Modells   |
| FSRU            | Schwimmende Speicher- und Regasifizierungseinheit (Floating Storage and Regasification Unit). Die „Excelsior“, die Excelerate Energy gehört, wird für dieses Projekt bereitgestellt.   |
| HW              | Hochwasser   |
| Kunde           | ENGIE Deutschland AG   |
| Kurzzeitprojekt | Besteht nur aus dem Bau und Betrieb des Liegeplatzes Nr. 3 für einen Zeitraum von höchstens 5 Jahren. Die FSRU wird LNG von einem LNG-Tanker erhalten und der Transport an Land wird über eine Unterwasserpipeline erfolgen. |
| LAT             | Niedrigste astronomische Tide  |
| LNG             | Verflüssigtes Erdgas   |
| LNGC            | LNG-Tanker   |

|  |   |  |
|--|---|--|
| <br>  | Umgebung  |  |
| TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN  | Wilhelmshaven FSRU: Bericht über die Ausbreitung von Sedimentfahnen | Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2025_05  |
| TES-Code: TES-WHV-VGN-   |   | Seite 6 von 55   |

| Begriff         | Beschreibung   |
|-----------------|--|
| LNHE            | Laboratoire National „Hydraulique et Environnement“  |
| LW              | Niedrigwasser  |
| MSL/NHN         | Mittlerer Meeresspiegel (Mean Sea Level)   |
| MW              | Mittel Wasser  |
| NLWKN           | Nieder-sächsischen Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz   |
| NORA3           | Regionalen atmosphärischen Modells   |
| Referenzprojekt | Die derzeitige Situation des Projektstandorts  |
| RMSE            | Mittlerer quadratischer Fehler   |
| RMSE0           | Bias korrigierte RMSE  |
| Schiffsbauwerke | Umfassen alle Baggerarbeiten, den Offshore-Bau von Konstruktionen zum Anlegen und Festmachen, Ausrüstung, Stege, Fender und andere Gegenständen gemäß der Beschreibung des Arbeitsumfangs. |
| SKN             | Seekartennull; die Tiefenangaben beziehen sich auf das Seekartennull (SKN) als Tiefenhorizont, hier das Niveau des niedrigsten Gezeitenwasserstandes (LAT)                                 |
| SSK             | Schwebstoffkonzentrationen   |
| (Der) Standort  | Dies bezieht sich auf den Projektstandort, nämlich den Kundenstandort in Wilhelmshaven.  |
| TES             | Tree Energy Solutions (Kundenpartner)  |
| TSHD            | Laderaumsaugbaggern  |
| WSV             | Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes   |

|  |   |  |
|--|---|--|
| <br>  | Umgebung  |  |
| TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN  | Wilhelmshaven FSRU: Bericht über die Ausbreitung von Sedimentfahnen | Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2025_05  |
| TES-Code: TES-WHV-VGN-   |   | Seite 7 von 55   |

## 2 Modell-Aufbau

Das Modell verwendet das gleiche Netz und die gleichen Einstellungen wie die hydrodynamische Modellierungsstudie (IMDC, 2022a). Der Vollständigkeit halber werden hier die wichtigsten Einstellungen wiederholt.

### 2.1.1 Software

Für die hydrodynamischen Berechnungen wird die Software TELEMAC-3D (v8p1 goblinshark) eingesetzt. Diese löst die dreidimensionalen Flachwassergleichungen (mit der Hypothese des hydrostatischen Drucks) und die Advektions—Diffusions-Gleichungen für intrinsische Größen (d. h. Salzgehalt, Sedimentkonzentration). TELEMAC-3D verwendet die Flachwassergleichungen, wie sie zuerst von Barré de Saint-Venant hergeleitet wurden, unter Verwendung einer Finite-Elemente-Methode, bei der alle Strömungsvariablen an den Knotenpunkten eines Rasternetzes liegen, das aus Prismen mit dreieckiger Grundfläche besteht. Die wichtigsten Ergebnisse sind für jeden Punkt des 3D-Rasternetzes die Geschwindigkeit in allen drei Richtungen und die Konzentrationen der bewegten Stoffe. Das Hauptergebnis auf dem Oberflächenrasternetz ist der Wasserstand.

### 2.1.2 Datenbasis

Für diese Studie wurden Daten aus verschiedenen Quellen verwendet. Für die Bathymetrie wurden Daten aus folgenden Quellen bezogen:

- Daten von Emodnet 2020
  - Auflösung: 150 × 150 [m]
  - Quelle: <https://www.emodnet-bathymetry.eu/>
- „DGM-W\_2018\_Jade\_5x5m“
  - Auflösung: 5 × 5 [m]
  - Quelle: [https://www.kuestendaten.de/Tideweser/DE/Service/Kartenthemen/Kartenthemen\\_node.html](https://www.kuestendaten.de/Tideweser/DE/Service/Kartenthemen/Kartenthemen_node.html)
- „DGM-W\_2012\_Unterweser\_Nebenfluesse\_5x5m“
  - Auflösung: 5 × 5 [m]
  - Quelle: [https://www.kuestendaten.de/Tideweser/DE/Service/Kartenthemen/Kartenthemen\\_node.html](https://www.kuestendaten.de/Tideweser/DE/Service/Kartenthemen/Kartenthemen_node.html)
- „014\_Zufahrt HES und LNG Anleger\_5 m Grid\_19.24.01.22\_SKN“
  - Auflösung: 5 × 5 [m]
  - Quelle: „vom Kunden beigestellt“

|  |   |  |
|--|---|--|
| <br>  | Umgebung  |  |
| TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN  | Wilhelmshaven FSRU: Bericht über die Ausbreitung von Sedimentfahnen | Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2025_05  |
| TES-Code: TES-WHV-VGN-   |   | Seite 8 von 55   |

Für die Anwendung der Grenzen und die Kalibrierung des Modells wurden die folgenden Wasserstandsdaten verwendet:

- „Küstendaten“ (Datenportal) der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV).

Die Sedimenteigenschaften und -konzentrationen in der Nähe des Projektgebiets wurden der Literatur (IMP, 2022) und aus Daten (WSA und IMDC (2023)) entnommen, einschließlich:

- Korngrößenverteilungen (Abbildung 2-1), aus denen geschlossen werden kann, dass am Uniper FSRU-Standort, der an das Projektgebiet angrenzt, der durchschnittliche Anteil an Feinstoffen (< 63  $\mu\text{m}$ ) 7 % und der maximale Anteil 29 % beträgt.

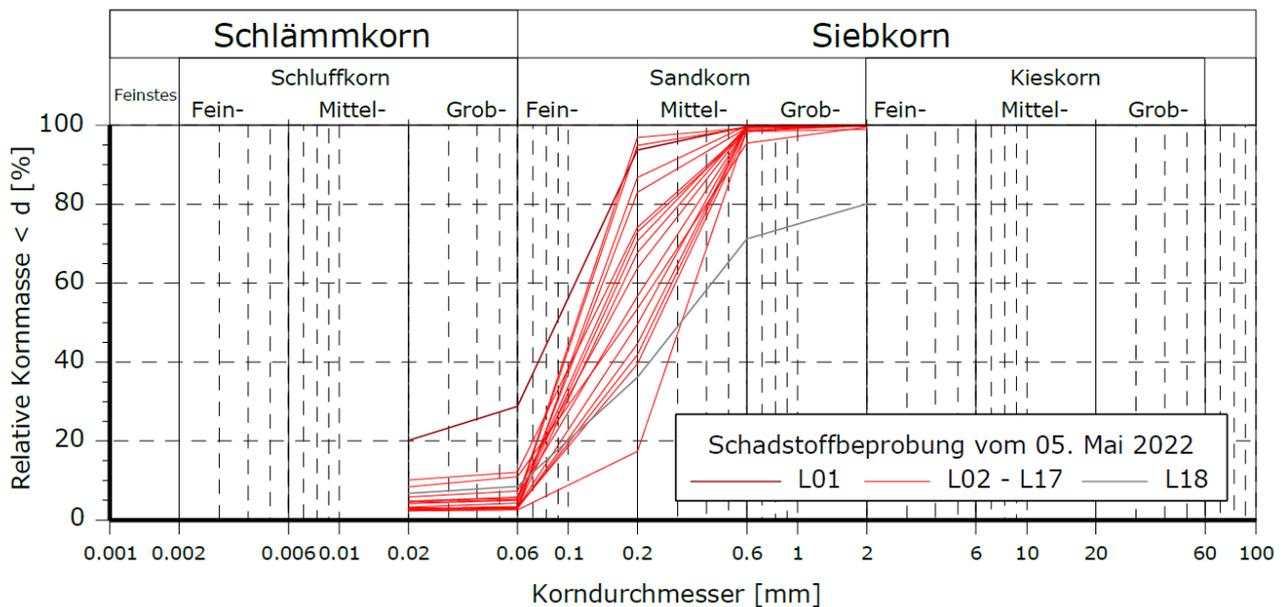


Abbildung 2-1 Korngrößenverteilungen von Sedimentproben, die am 05.05.2022 in der Nähe des LNG-Terminals WHV gezogen wurden (IMP, 2022).

- Aus drei Sedimentproben, die während der IMDC-Messungsaktivität am Projektstandort (IMDC, 2023) gesammelt wurden, geht hervor, dass der lokale Anteil an Feinstoffen im Meeresboden (0 %, 5 % und 8 %) mit dem des angrenzenden Uniper-Standorts (durchschnittlich 7 %) übereinstimmt. Allerdings zeigen die drei Proben auch die relativ große Bandbreite der lokalen Zusammensetzung des Meeresbodens.
- Aus den Sedimentproben, die im Mai 2023 entsprechend den Bodenuntersuchungen gemäß GÜBAK-Anforderungen entnommen wurden, geht hervor, dass der durchschnittliche Anteil an Feinstoffen am Meeresboden (< 63  $\mu\text{m}$ ) bei ca. 5,5 % liegt. Die stimmt mit dem des angrenzenden Uniper-Standorts (durchschnittlich 7 %) überein.

|  |   |  |
|--|---|--|
| <br>  | Umgebung  |  |
| TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN  | Wilhelmshaven FSRU: Bericht über die Ausbreitung von Sedimentfahnen | Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2025_05  |
| TES-Code: TES-WHV-VGN-   |   | Seite 9 von 55   |

- Langfristige Zeitreihen (IMP, 2022) zeigen in dem Gebiet mittlere Schwebstoffkonzentrationen von 100 bis 250 mg/L. Dies stimmt mit den bereits genannten mittleren Konzentrationen von 120mg/l – 220mg/l (Wassersäule) aus dem IMDC - Metocean Kampagne Bericht (IMDC, 2023). Die höchsten Schwebstoffkonzentrationen liegen im Bereich von 1.000 bis 2.000 mg/L.
- Das WSA hat für vier Stationen in der Jade (d. h. D0, D2, D3 und D4, deren Standorte in Abbildung 2-10 dargestellt sind) Trübungszeitreihen für das Jahr 2018 vorgelegt. Für diese Stationen wird die Trübung in 3 m Höhe über dem Meeresboden gemessen und in Schwebstoffkonzentrationen (SSK) umgerechnet. Es wurde eine Analyse der SSK an den Stationen D3 und D4, die dem FSRU-Standort am nächsten liegen (Abbildung 2-2 bis Abbildung 2-4), durchgeführt. Für die SSK-Werte, gemittelt nach dem Zeitpunkt des oberen Pegelstands, ist eine Spitzenkonzentration von 268 und 213 mg/L während der Gezeiten für D3 bzw. D4 zu erkennen. Dies stimmt mit den bereits genannten mittleren Konzentrationen von 250 mg/L aus dem IMP-Bericht (IMP, 2022).

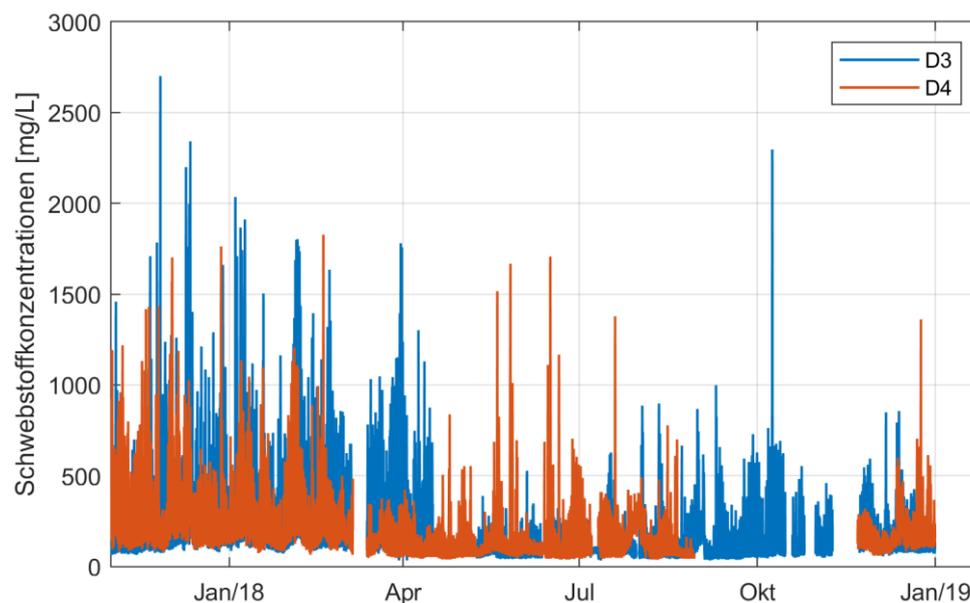


Abbildung 2-2 Zeitreihe der Schwebstoffkonzentrationen [mg/L] für das Jahr 2018, gemessen 3 Meter über dem Meeresboden für die WSA-Stationen D3 und D4.

|  |   |  |
|--|---|--|
| <br>  | Umgebung  |  |
| TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN  | Wilhelmshaven FSRU: Bericht über die Ausbreitung von Sedimentfahnen | Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2025_05  |
| TES-Code: TES-WHV-VGN-   |   | Seite 10 von 55  |

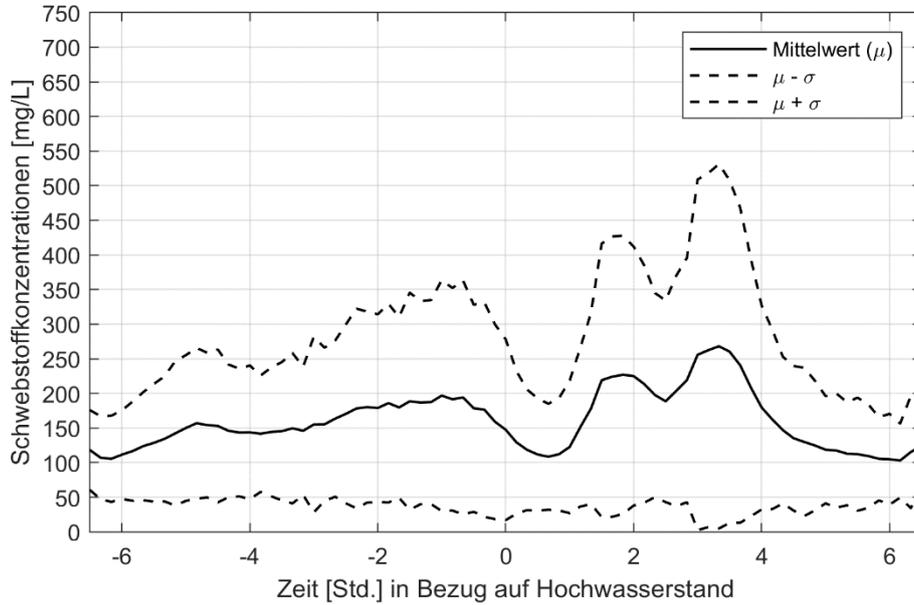


Abbildung 2-3 Schwebstoffkonzentrationen [mg/L] (Mittelwert, plus und minus einer Standardabweichung, über den Messzeitraum 2018) in 3 Metern über dem Meeresboden an der WSA-Station D3 in Bezug auf den Zeitpunkt des oberen Pegelstands an der Hooksielplate.

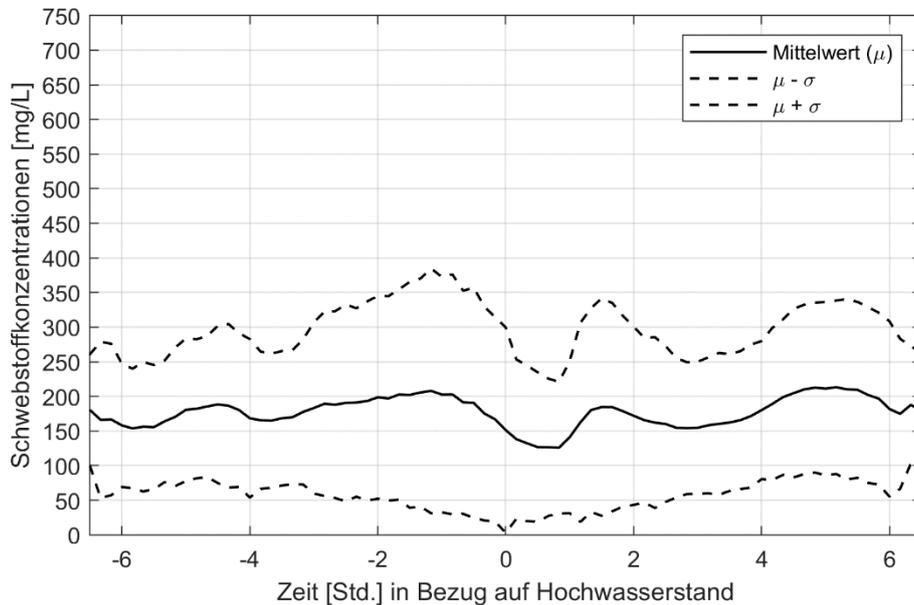


Abbildung 2-4 Schwebstoffkonzentrationen [mg/L] (Mittelwert, plus und minus einer Standardabweichung, über den Messzeitraum 2018) in 3 Metern über dem Meeresboden an der WSA-Station D4 in Bezug auf den Zeitpunkt des oberen Pegelstands an der Hooksielplate.

|  |   |  |
|--|---|--|
| <br>  | Umgebung  |  |
| TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN  | Wilhelmshaven FSRU: Bericht über die Ausbreitung von Sedimentfahnen | Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2025_05  |
| TES-Code: TES-WHV-VGN-   |   | Seite 11 von 55  |

### 2.1.3 Gebiet und Bathymetrie (Gewässerbodenvermessung)

Das Modell umfasst das gesamte Gebiet des Jade-Ästuars und einen großen Teil des Weser-Ästuars bis Bremen (Abbildung 2-5). Nach zusätzlichen Netzverfeinerungen um die Klappstelle K01 (dargestellt durch roten Punkt in Abbildung 2-5) beträgt die Anzahl der Rechenknoten im Modellnetz etwa 180.000 Knoten in der Horizontalen, mit einer Elementgröße von 8 [m] bis 1000 [m]. Für die vertikale Diskretisierung werden elf vertikale Knoten verwendet.

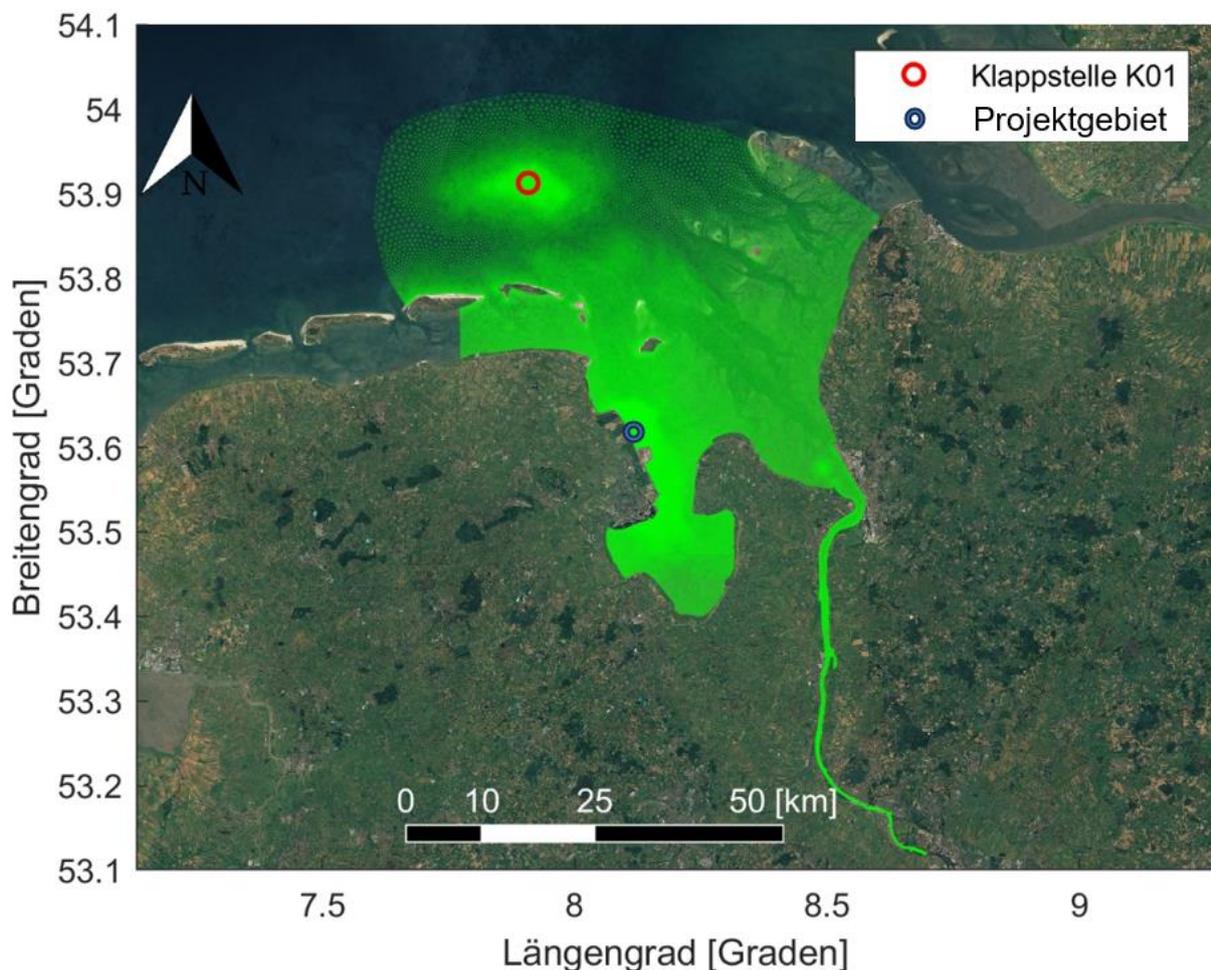


Abbildung 2-5 Berechnungsnetz des Jade-Weser-Modells, mit zusätzlichen Netzverfeinerungen um die Klappstelle K01.

Die Modell-Bathymetrie ist dargestellt in Abbildung 2-6 (m MW = m Mittel Wasser). Bei der Modellierung der Sedimentfahne wird davon ausgegangen, dass keine Strukturen des Kurzzeitprojekt vorhanden sind. Daher verwendet das Modell die vorhandene lokale Bathymetrie am Standort des Wendebeckens.

|  |   |  |
|--|---|--|
| <br>  | Umgebung  |  |
| TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN  | Wilhelmshaven FSRU: Bericht über die Ausbreitung von Sedimentfahnen | Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2025_05  |
| TES-Code: TES-WHV-VGN-   |   | Seite 12 von 55  |

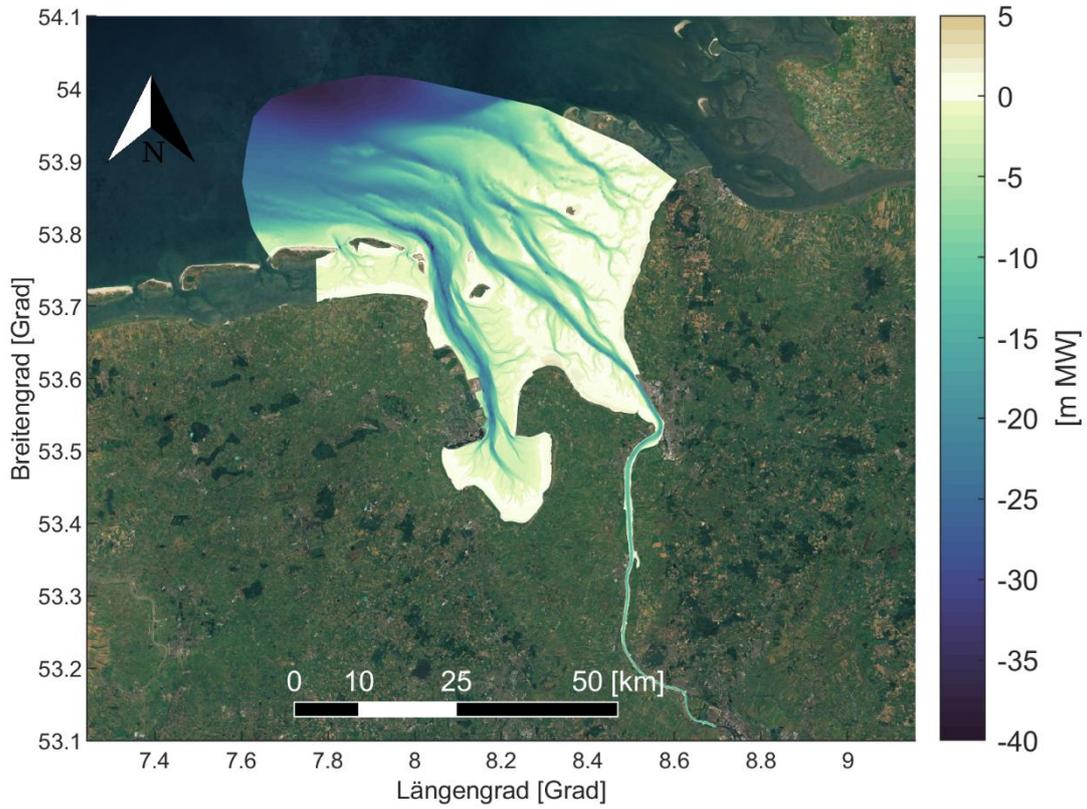


Abbildung 2-6 Modell-Bathymetrie [m MW] des Jade-Weser-Modells.

|  |   |  |
|--|---|--|
| <br>  | Umgebung  |  |
| TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN  | Wilhelmshaven FSRU: Bericht über die Ausbreitung von Sedimentfahnen | Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2025_05  |
| TES-Code: TES-WHV-VGN-   |   | Seite 13 von 55  |

#### 2.1.4 Kalibrierung/Validierung des hydrodynamischen Modells

Die modellierten Wasserstände wurden kalibriert, indem die Modellergebnisse mit den Messdaten der Stationen im gesamten Modellgebiet, die im durchschnittlichen Spring-Nipp-Zeitraum vom 28. August bis 13. September 2019 erfasst wurden, verglichen werden (Abbildung 2-7). Die Ergebnisse der Modellkalibrierungssimulation sind in Tabelle 2-1 dargestellt. In dieser Tabelle sind der Bias (durchschnittlicher Fehler), der RMSE und der um den Bias korrigierte RMSE0 angegeben. Die Zeitreihen der gemessenen und modellierten Wasserstände der relevanten Stationen in der Nähe des Projektstandorts sind in Abbildung 2-8 und Abbildung 2-9 aufgeführt. Die Tabelle und die Abbildungen zeigen, dass sich das Modell gut zur Berechnung der hydrodynamischen Verhältnisse in dem Gebiet eignet, das einen RMSE von unter 0,1 m für die Wasserstände in der Nähe von Wilhelmshaven aufweist.

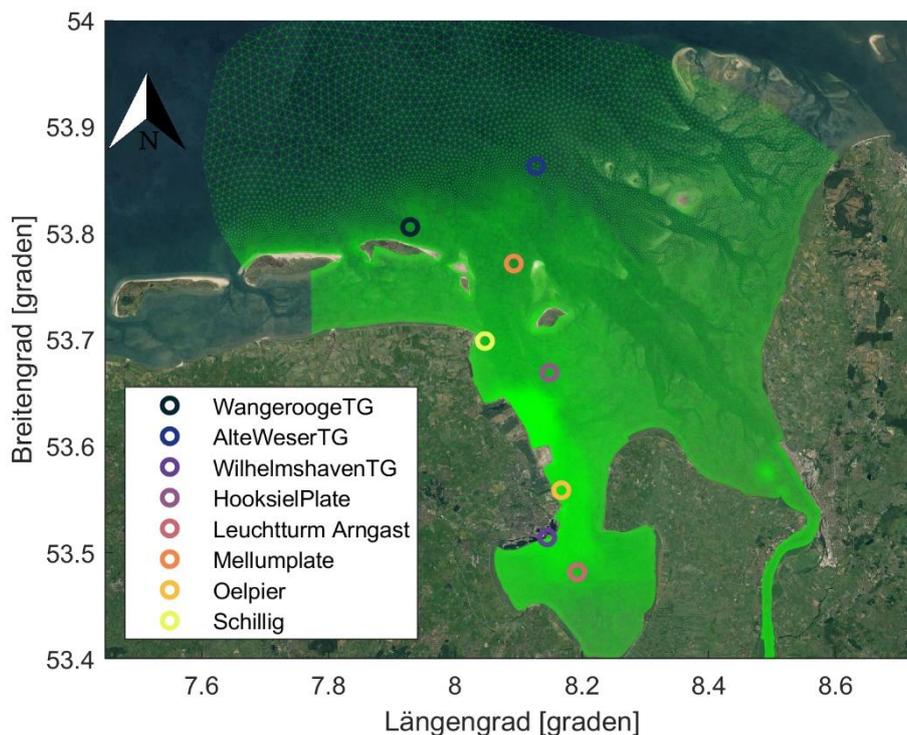


Abbildung 2-7 Wasserstandsstationen, die zur Modellkalibrierung herangezogen wurden (die Kalibrierungsergebnisse werden in diesem Kapitel nur für Stationen in der Nähe des Projektstandorts angezeigt).

|  |   |  |
|--|---|--|
| <br>  | Umgebung  |  |
| TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN  | Wilhelmshaven FSRU: Bericht über die Ausbreitung von Sedimentfahnen | Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2025_05  |
| TES-Code: TES-WHV-VGN-   |   | Seite 14 von 55  |

Tabelle 2-1 Statistische Parameter des Vergleichs zwischen gemessenem und simuliertem Wasserstand für relevante Wasserstandsstationen in der Nähe des Projektstandorts.

| Station            | Bias [m] | RMSE [m] | RMSE0 [m] |
|--------------------|----------|----------|-----------|
| Wangerooge         | 0,00     | 0,09     | 0,09      |
| Alte Weser         | 0,01     | 0,03     | 0,02      |
| Wilhelmshaven      | 0,03     | 0,07     | 0,07      |
| Hooksielplate      | 0,03     | 0,06     | 0,05      |
| Leuchtturm Arngast | 0,02     | 0,07     | 0,07      |
| Mellumplate        | 0,03     | 0,05     | 0,04      |
| Oelpier            | 0,04     | 0,07     | 0,05      |
| Schillig           | 0,02     | 0,04     | 0,04      |

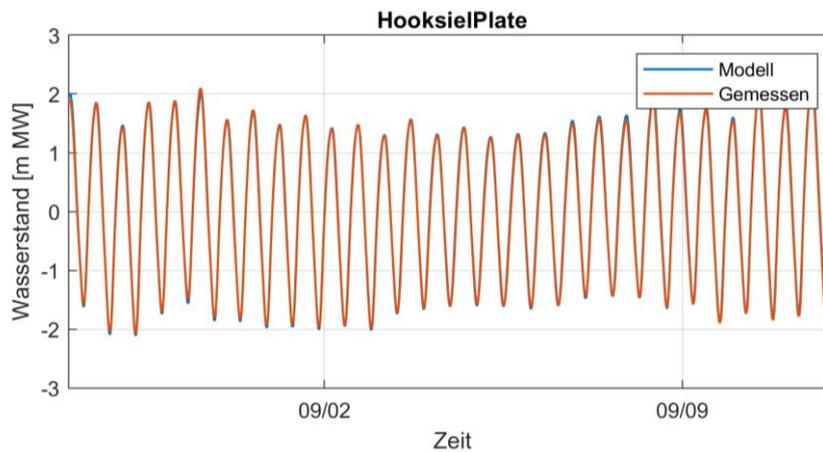


Abbildung 2-8 Zeitreihen des modellierten (blau) und des gemessenen (orange) Wasserstands [m MW] an der Pegelstation Hooksielplate für den Modellierungszeitraum 28. Aug. 2018 bis 13. Sept. 2018.

|  |   |  |
|--|---|--|
| <br>  | Umgebung  |  |
| TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN  | Wilhelmshaven FSRU: Bericht über die Ausbreitung von Sedimentfahnen | Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2025_05  |
| TES-Code: TES-WHV-VGN-   |   | Seite 15 von 55  |

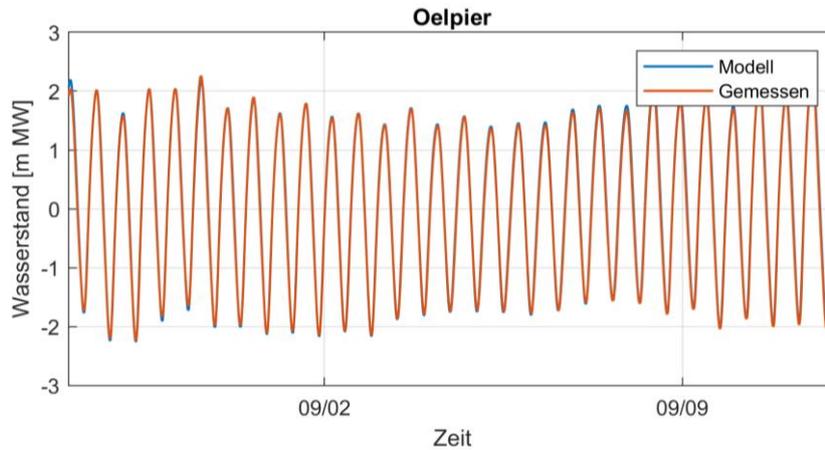


Abbildung 2-9 Zeitreihen des modellierten (blau) und des gemessenen (orange) Wasserstands [m MW] an der Pegelstation Oelpier für den Modellierungszeitraum 28. Aug. 2018 bis 13. Sept. 2018.

Die modellierten Fließgeschwindigkeiten wurden durch einen Vergleich der simulierten Strömungen mit Punktmessungen an verschiedenen Stationen (von der lokalen WSA-Behörde und den Messungen mit dem IMDC-Gestell) entlang der Jade validiert (Abbildung 2-10). Darüber hinaus wurden die Strömungsdaten, die während der beiden IMDC-Gezeitenverlaufsmessungen entlang eines Transekts am Projektstandort aufgenommen wurden, zur Validierung der allgemeinen Strömungsmuster verwendet (IMDC, 2023). Die Ergebnisse der Simulation zur Validierung der Fließgeschwindigkeiten sind in Tabelle 2-2 dargestellt. In dieser Tabelle sind der Bias (durchschnittlicher Fehler), der Root-Mean-Squared-Error (RMSE) und der um den Bias korrigierte Root-Mean-Squared-Error (RMSE0) der Strömung angegeben. Die Zeitreihen der gemessenen und modellierten Strömungen an zwei Stationen (WSA-Daten) in der Nähe des Projektstandorts sind in Abbildung 2-11 und Abbildung 2-12 aufgeführt. Die Tabelle und die Abbildung zeigen, dass sich das Modell gut zur Berechnung der hydrodynamischen Verhältnisse in dem Gebiet eignet, das einen RMSE von unter 0,13 m/s für die Strömungen in der Nähe des Projektstandorts aufweist. Dies ist ein Fehler von etwa 10–20 % der Spitzenfließgeschwindigkeit. Dieser Wert kann als angemessen für die weitere Modellverwendung angesehen werden. Neben diesen Standorten wurde das Modell mit Zeitreihen vom Gestellstandort (IMDC-Gestellmessungen) validiert, der ca. 500 m vom FSRU-Standort entfernt liegt. Die modellierten und gemessenen Wasserstände und Strömungen für den Zeitraum vom 28. Feb. 2023 bis 14. März 2023 sind in Abbildung 2-13 dargestellt. Hier wird ein RMSE für die Strömungen von 0,13 m/s ermittelt, was den bereits genannten Strömungsmessstationen der WSA ähnelt. An diesem Standort scheint die Strömung während der Nipptide ebbdominiert und während der Springtide flutdominiert zu sein. Das Modell erfasst die Dominanz der Ebbe während der Nipp gut, überbewertet aber die maximale Strömungsgeschwindigkeit der Ebbe während der Springtide. Bei näherer Betrachtung der Strömungsrichtungen wird deutlich, dass es eine begrenzte Abweichung von 3 bis 5 Grad zwischen Modell und Messungen gibt.

|  |   |  |
|--|---|--|
| <br>  | Umgebung  |  |
| TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN  | Wilhelmshaven FSRU: Bericht über die Ausbreitung von Sedimentfahnen | Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2025_05  |
| TES-Code: TES-WHV-VGN-   |   | Seite 16 von 55  |

Am geplanten FSRU-Standort stimmen Fließrichtungen und -größen sehr gut mit den Fließrichtungen überein, die während der beiden Gezeitenverlaufsmessungen (IMDC-Messungsaktivität) vom 29. März 2023 und 5.-April 2023 gemessen wurden (Abbildung 2-14 und Abbildung 2-15). Im Durchschnitt zeigt das Modell für die obere Hälfte der Wassersäule:

- Flut-Richtung von 142 Grad Nord.
- Ebbe-Richtung von 324 Grad Nord.

Zwischen dem Modell und den Messungen wird eine Abweichung von 2 Grad um den Mittelwert zu den Zeitpunkten der Spitzengeschwindigkeiten festgestellt. Dies bewegt sich innerhalb der Größenordnung der Messgenauigkeit. Somit kann die Messung als genau angesehen werden.

Aus den Gezeitenverlaufsmessungen wurden drei verschiedene Zeitpunkte im Gezeitenzyklus ausgewählt, um die Gesamtließmuster im Kanal zu betrachten (Abbildung 2-16 bis Abbildung 2-18). Die Gezeitenumkehr bei Stillwasser sowie die Position der maximalen Geschwindigkeiten in der Nähe der Fahrrinne bei Ebbe und Flut werden gut erfasst.

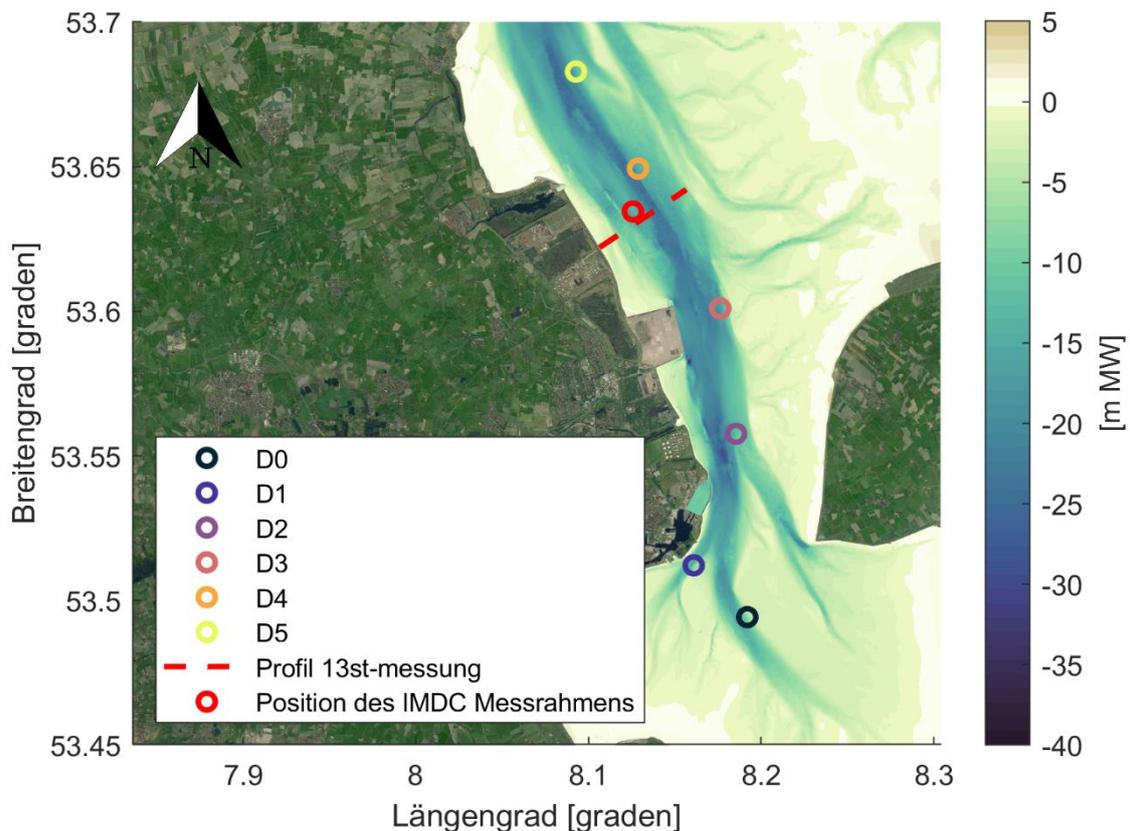


Abbildung 2-10 Standorte der Fließgeschwindigkeitsdaten von WSA (D0 bis D5) und IMDC (13-Stunden-Gezeitenverlaufsmessungen und Gestell), die zur Modellvalidierung verwendet wurden.

|   |   |  |
|---|---|--|
|  | Umgebung  |  |
| TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN   | Wilhelmshaven FSRU: Bericht über die Ausbreitung von Sedimentfahnen | Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2025_05  |
| TES-Code: TES-WHV-VGN-  |   | Seite 17 von 55  |

Tabelle 2-2 Statistische Parameter des Vergleichs zwischen gemessenen und simulierten Fließgeschwindigkeiten in einer Höhe von 3 m über dem Meeresboden über den Zeitraum von 24. Juni bis 9. Juli 2018.

| Station | Bias [m/s] | RMSE [m/s] | RMSE0 [m/s] |
|---------|------------|------------|-------------|
| D0      | -0,05      | 0,12       | 0,11        |
| D1      | -0,04      | 0,07       | 0,06        |
| D2      | 0,08       | 0,13       | 0,1         |
| D3      | 0,06       | 0,13       | 0,11        |
| D4      | 0,07       | 0,13       | 0,11        |
| D5      | 0,09       | 0,13       | 0,09        |

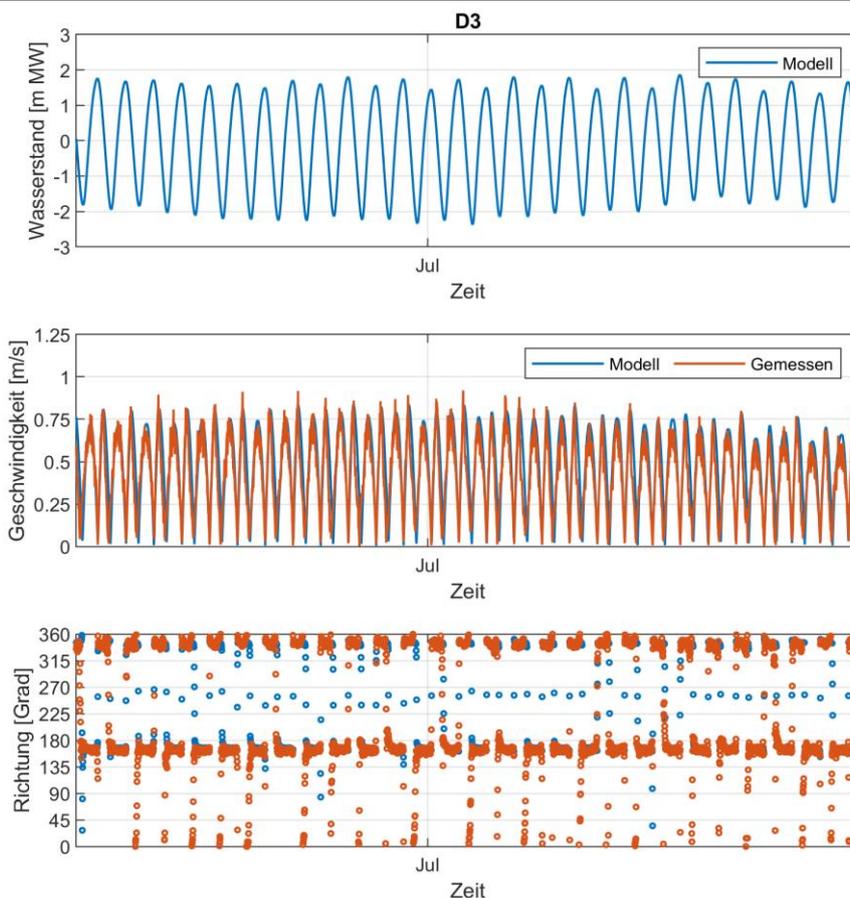


Abbildung 2-11 Zeitreihen des modellierten (blau) und gemessenen (orange) Wasserstands [m MW] (oben), der Größe der Fließgeschwindigkeit [m/s] (mittig) und der Fließrichtung [Grad] (unten) in einer Höhe von 3 m über dem Meeresboden an der Geschwindigkeitsstation D3 für den Modellierungszeitraum von 24. Juni 2018 bis 09. Juli 2018.

|  |   |  |
|--|---|--|
| <br>  | Umgebung  |  |
| TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN  | Wilhelmshaven FSRU: Bericht über die Ausbreitung von Sedimentfahnen | Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2025_05  |
| TES-Code: TES-WHV-VGN-   |   | Seite 18 von 55  |

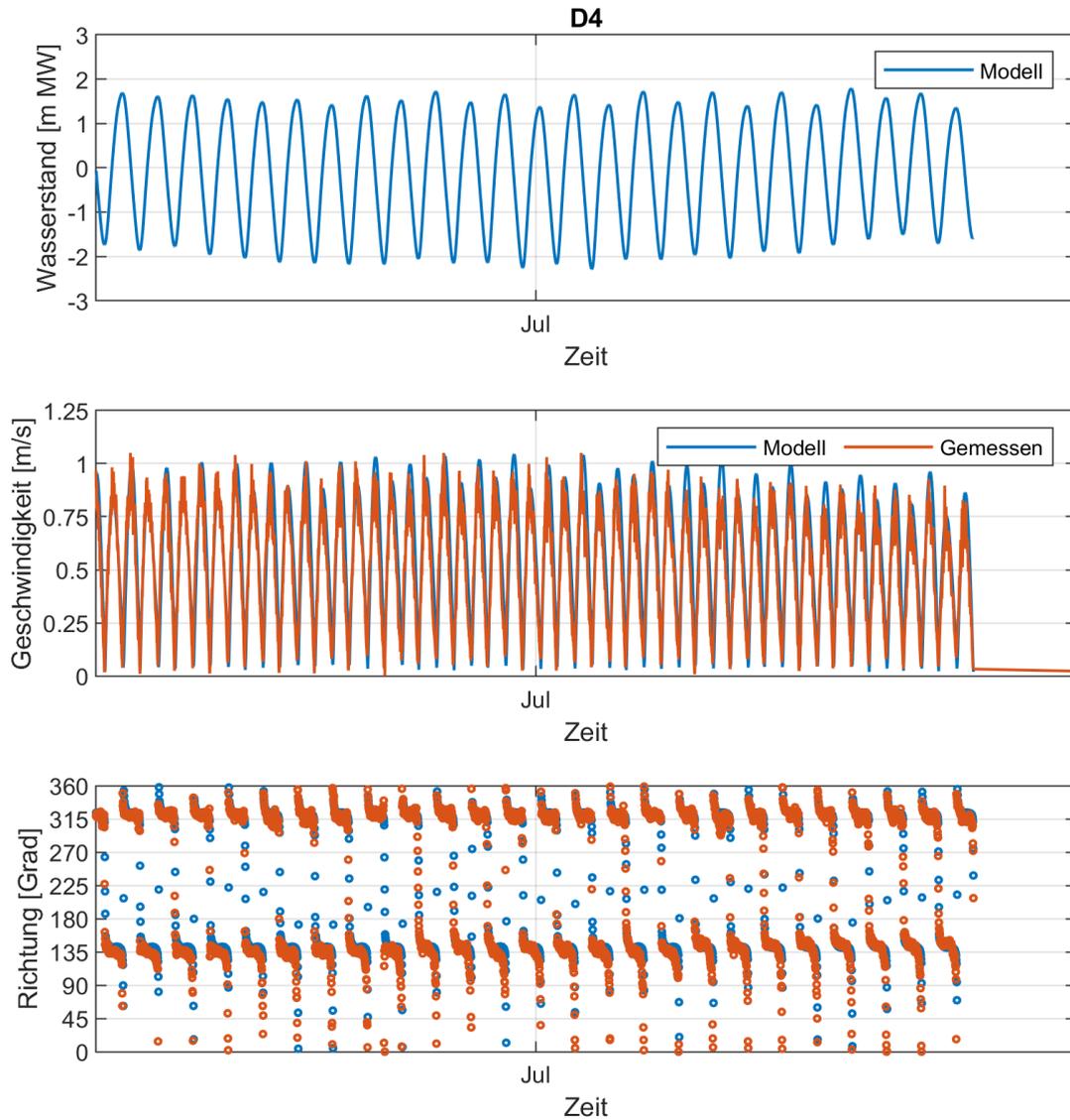


Abbildung 2-12 Zeitreihen des modellierten (blau) und gemessenen (orange) Wasserstands [m MW] (oben), der Größe der Fließgeschwindigkeit [m/s] (mittig) und der Fließrichtung [Grad] (unten) in einer Höhe von 3 m über dem Meeresboden an der Geschwindigkeitsstation D4 für den Modellierungszeitraum von 24. Juni 2018 bis 09. Juli 2018.

|  |   |  |
|--|---|--|
| <br>  | Umgebung  |  |
| TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN  | Wilhelmshaven FSRU: Bericht über die Ausbreitung von Sedimentfahnen | Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2025_05  |
| TES-Code: TES-WHV-VGN-   |   | Seite 19 von 55  |

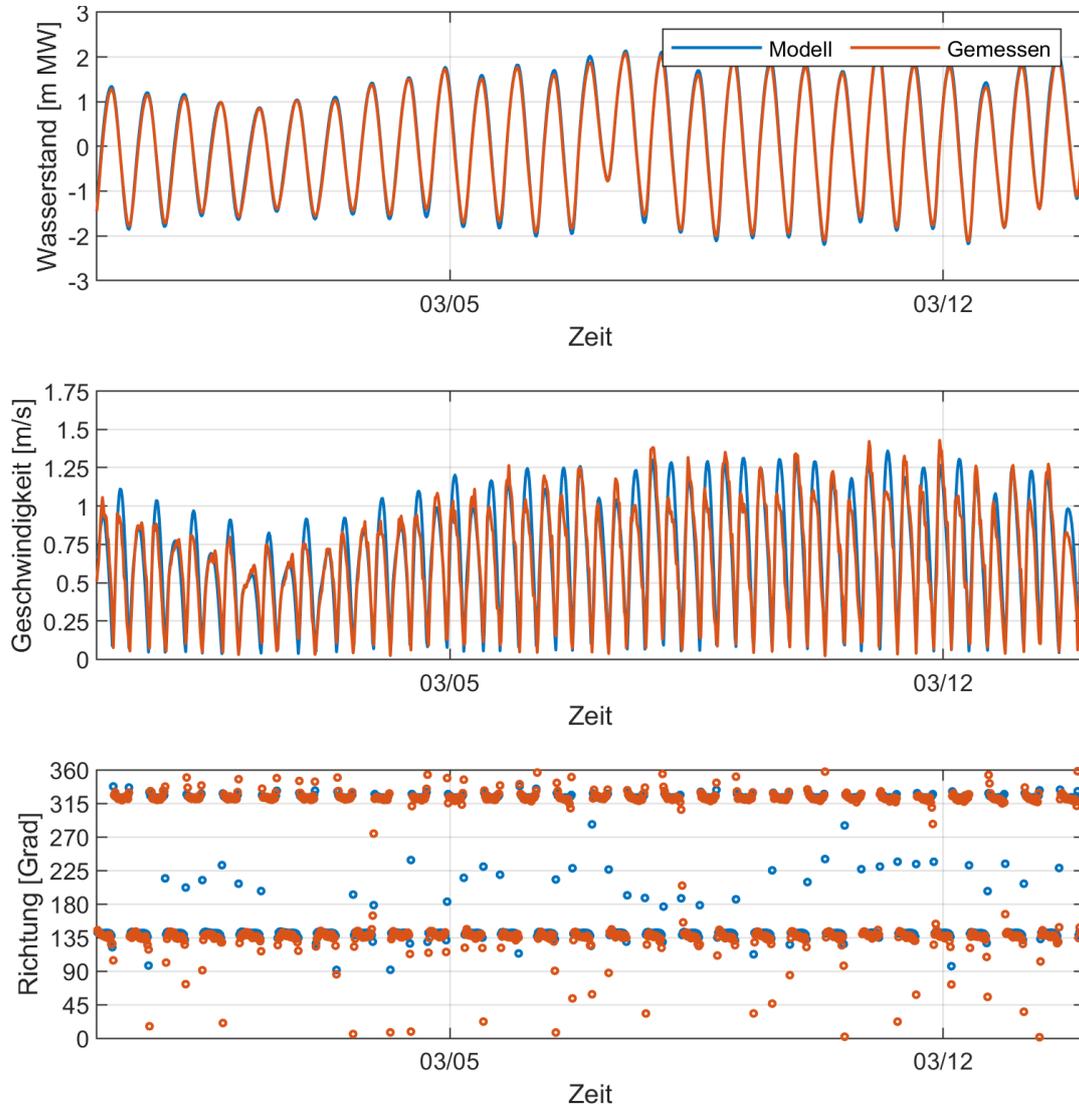


Abbildung 2-13 Zeitreihen des modellierten (blau) und gemessenen (orange) Wasserstands [m MW] (oben), der Größe der Fließgeschwindigkeit [m/s] (mittig) und der Fließrichtung [Grad] (unten) in der oberen Hälfte der Wassersäule am Standort des IMDC-Gestells für den Modellierungszeitraum von 28. Feb. 2023 bis 14. März 2023.

|  |   |  |
|--|---|--|
| <br>  | Umgebung  |  |
| TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN  | Wilhelmshaven FSRU: Bericht über die Ausbreitung von Sedimentfahnen | Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2025_05  |
| TES-Code: TES-WHV-VGN-   |   | Seite 20 von 55  |

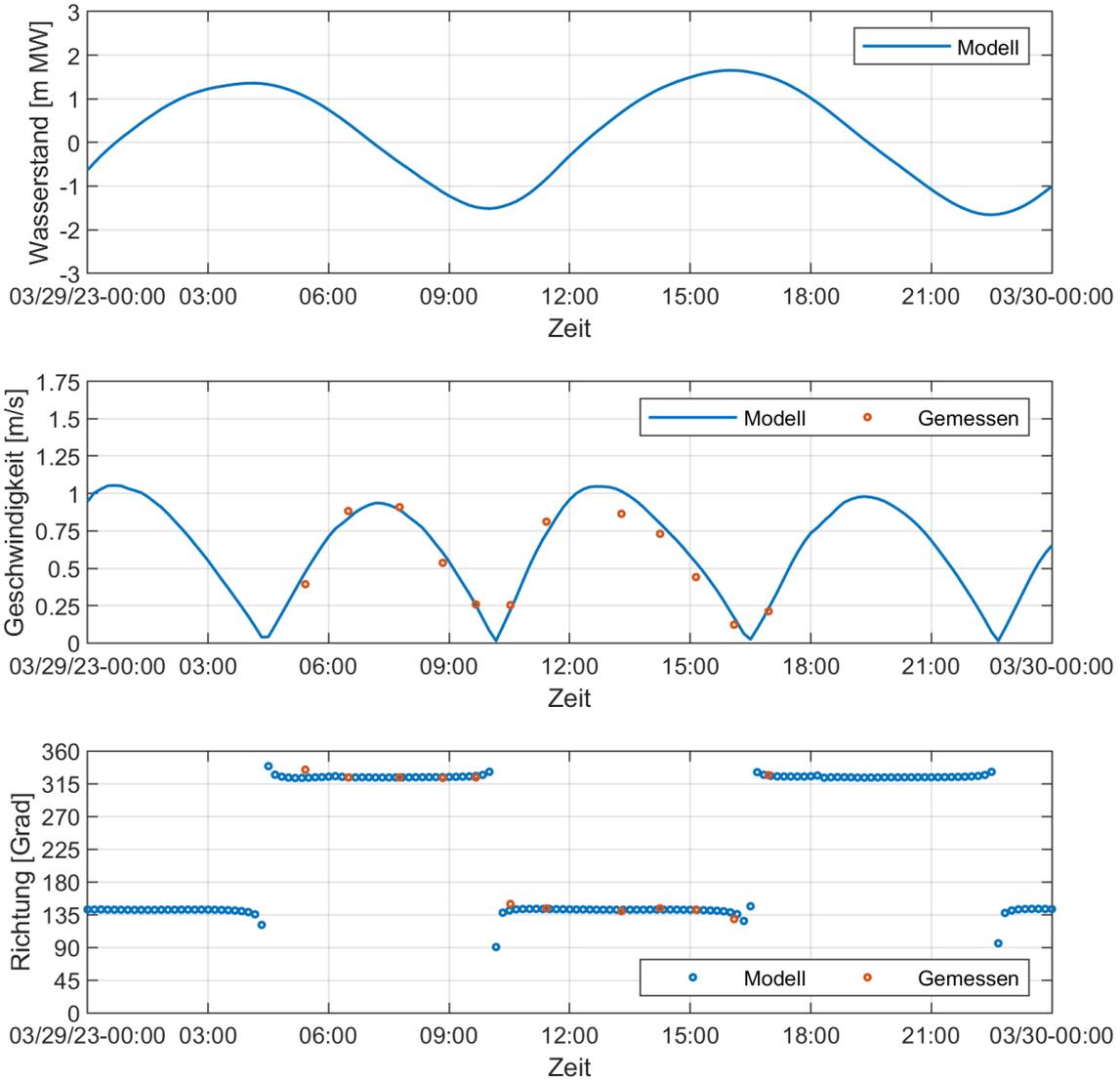


Abbildung 2-14 Zeitreihen des modellierten (blau) und gemessenen (orange) Wasserstands [m MW] (oben), der Größe der Fließgeschwindigkeit [m/s] (mittig) und der Fließrichtung [Grad] (unten) am FSRU-Standort, mit Daten, die während der Messungsaktivität des Gezeitenverlaufs der Nipptide am 29. März 2023 aufgenommen wurden.

|  |   |  |
|--|---|--|
| <br>  | Umgebung  |  |
| TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN  | Wilhelmshaven FSRU: Bericht über die Ausbreitung von Sedimentfahnen | Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2025_05  |
| TES-Code: TES-WHV-VGN-   |   | Seite 21 von 55  |

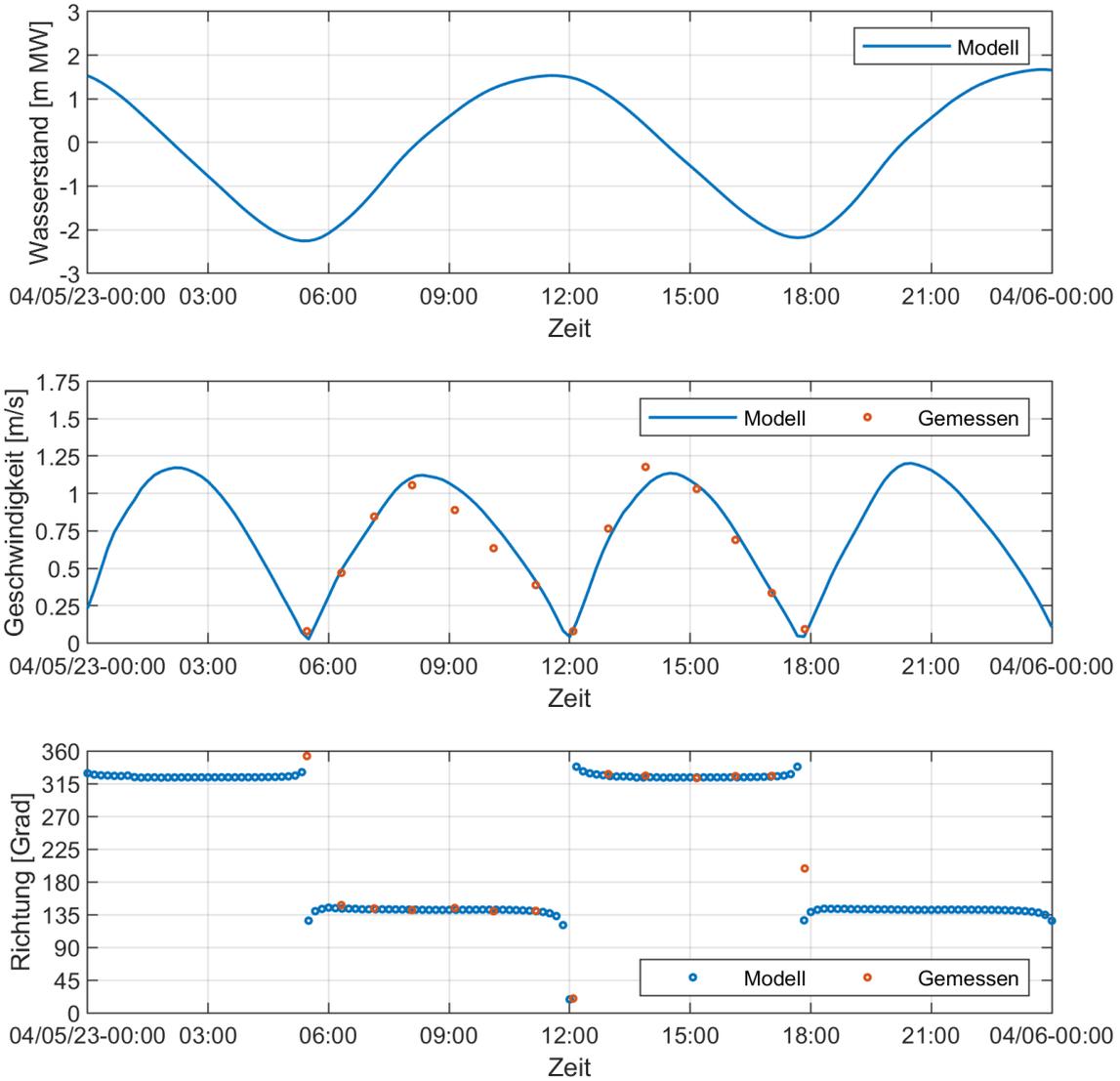


Abbildung 2-15 Zeitreihen des modellierten (blau) und gemessenen (orange) Wasserstands [m MW] (oben), der Größe der Fließgeschwindigkeiten [m/s] (mittig) und der Fließrichtung [Grad] (unten) am FSRU-Standort, mit Daten, die während der Messungsaktivität des Gezeitenverlaufs der Springtide am 05. April 2023 aufgenommen wurden.

|  |   |  |
|--|---|--|
| <br>  | Umgebung  |  |
| TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN  | Wilhelmshaven FSRU: Bericht über die Ausbreitung von Sedimentfahnen | Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2025_05  |
| TES-Code: TES-WHV-VGN-   | Seite 22 von 55   |  |

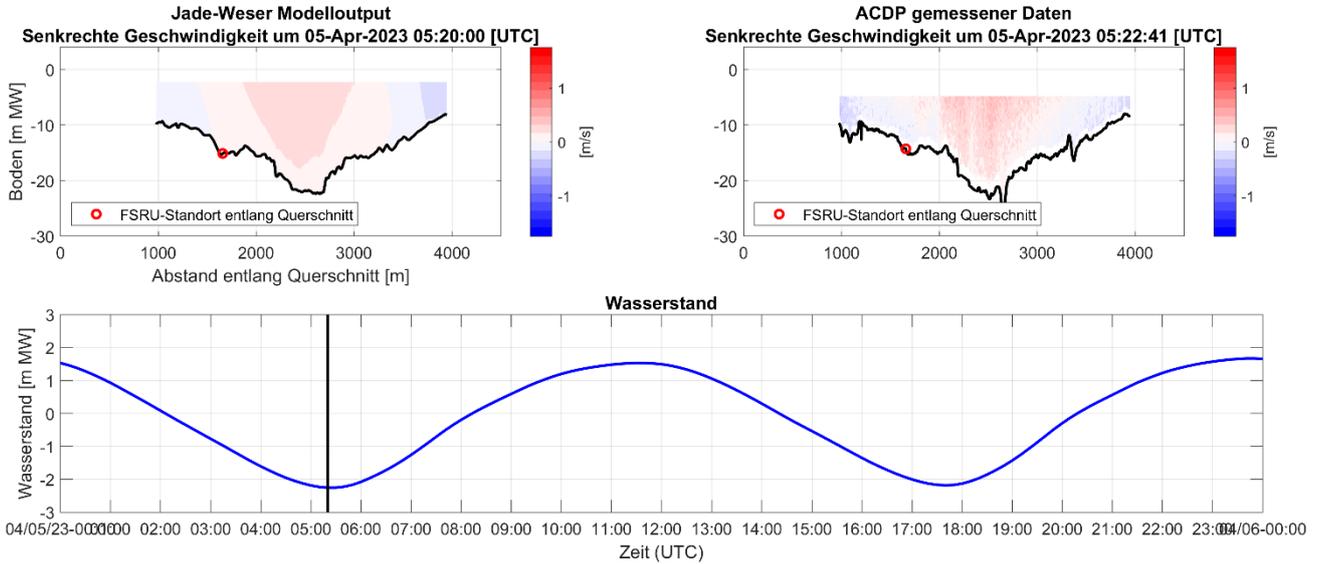


Abbildung 2-16 Vergleich zwischen der simulierten (oben links) und der gemessenen (oben rechts) Fließgeschwindigkeit entlang des in Abbildung 2-10 dargestellten Transekts des Gezeitenverlaufs. Positive (negative) Werte bedeuten eine Strömung in Ebbe-(Flut-)Richtung. Die untere Abbildung zeigt den gemessenen Wasserstand (blaue Linie), die schwarze vertikale Linie gibt den Zeitpunkt der ADCP-Messung (Acoustic Doppler Current Profiler) an. Der ausgewählte Zeitpunkt entspricht Stillwasser.

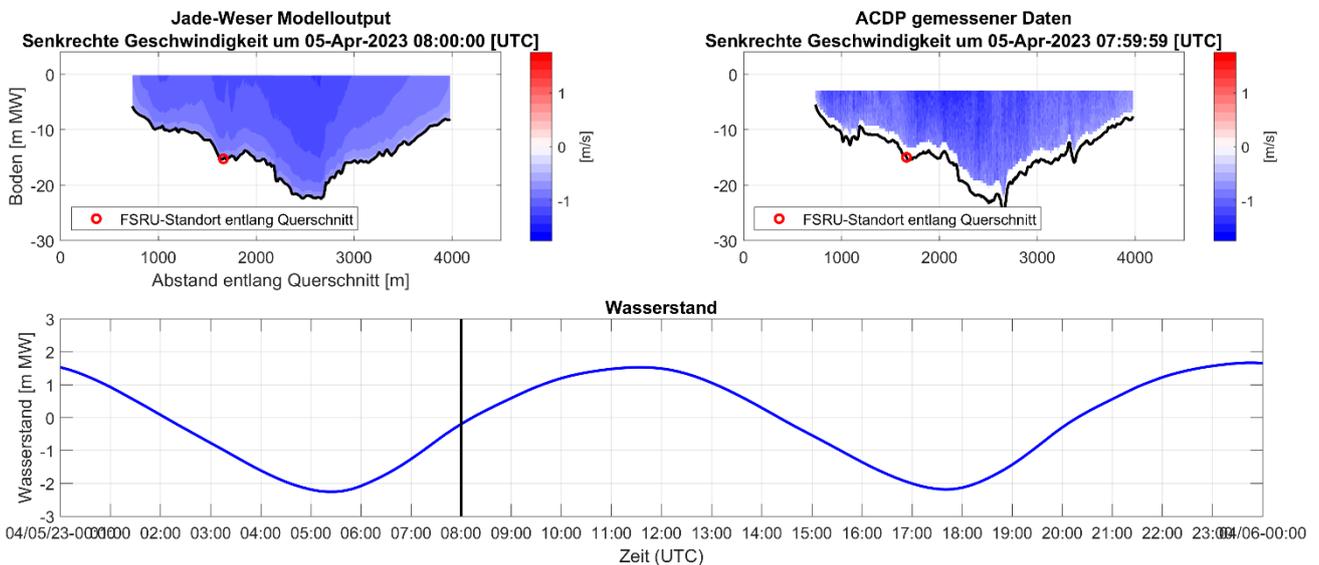


Abbildung 2-17 Vergleich zwischen der simulierten (oben links) und der gemessenen (oben rechts) Fließgeschwindigkeit entlang des in Abbildung 2-10 dargestellten Transekts des Gezeitenverlaufs. Positive (negative) Werte bedeuten eine Strömung in Ebbe-(Flut-)Richtung. Die untere Abbildung zeigt den gemessenen Wasserstand (blaue Linie), die schwarze vertikale Linie gibt den Zeitpunkt der ADCP-Messung (Acoustic Doppler Current Profiler) an. Der ausgewählte Zeitpunkt entspricht der Flut (steigende Tide).

|  |   |  |
|--|---|--|
| <br>  | Umgebung  |  |
| TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN  | Wilhelmshaven FSRU: Bericht über die Ausbreitung von Sedimentfahnen | Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2025_05  |
| TES-Code: TES-WHV-VGN-   |   | Seite 23 von 55  |

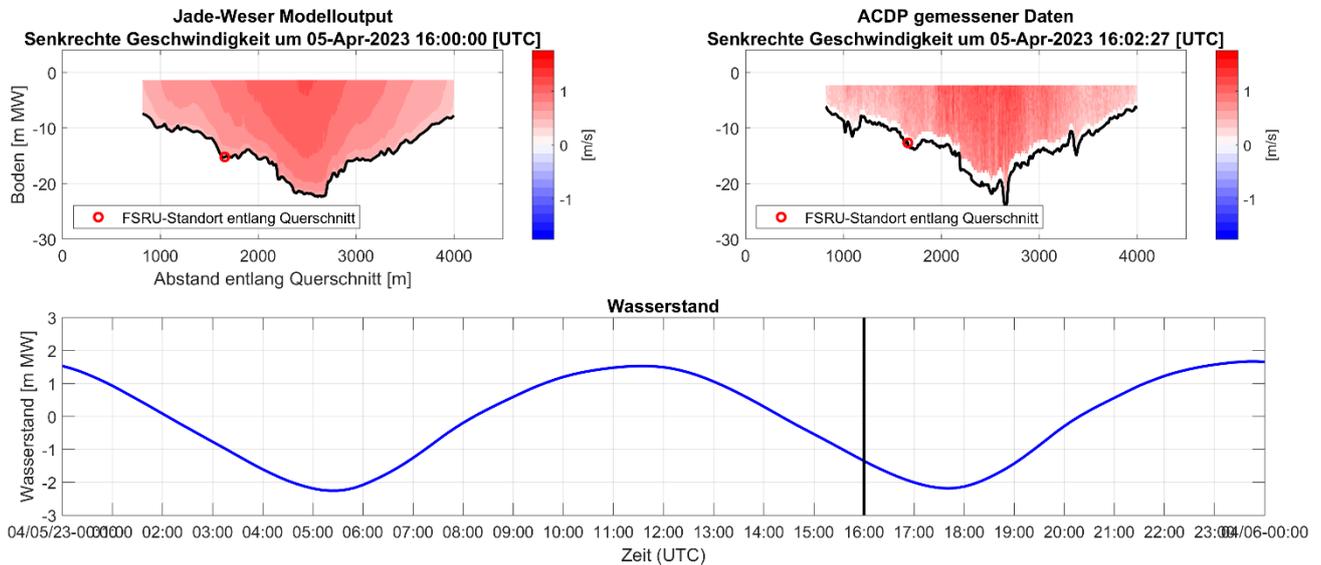


Abbildung 2-18 Vergleich zwischen der simulierten (oben links) und der gemessenen (oben rechts) Fließgeschwindigkeit entlang des in Abbildung 2-10 dargestellten Transekts des Gezeitenverlaufs. Positive (negative) Werte bedeuten eine Strömung in Ebbe-(Flut-)Richtung. Die untere Abbildung zeigt den gemessenen Wasserstand (blaue Linie), die schwarze vertikale Linie gibt den Zeitpunkt der ADCP-Messung (Acoustic Doppler Current Profiler) an. Der ausgewählte Zeitpunkt entspricht Ebbe (fallende Tide).

## 2.2 Einstellungen

Die Bewegung des abgelagerten Sediments wurde mit einer Advektions-Diffusions-Gleichung modelliert. Natürlich vorkommende Sedimente im System wurden im Modell nicht berücksichtigt. Stattdessen wurden die Entsorgung in ein „leeres“ Modell freigesetzt. Die Einstellungen des Sedimenttransportmodells sind in Tabelle 2-3 und Tabelle 2-4 für die Modellierung von bindigem bzw. nicht bindigem Sediment dargestellt.

Tabelle 2-3 Einstellungen für bindiges Sediment (Schlamm) im TELEMAC-3D-Fahnenmodell

| Parameter                        | Einstellung  | Anmerkungen  |
|----------------------------------|--|--|
| Absetzgeschwindigkeit            | Konstante in Raum und Zeit mit einem Wert von 1,0 [mm/s] | Dies ist ein charakteristischer Wert für leicht flockige Sedimente, wie sie typischerweise in Ästuaren oder Küstenmeeren vorkommen, und wird häufig als Standardeinstellung für die Simulation der Dynamik bindiger Sedimente verwendet. |
| Erosionsgesetz                   | Aus  |  |
| Schwellenwert für die Ablagerung | Nicht verwendet  | Das Modell der kontinuierlichen Ablagerung wird in Übereinstimmung mit den neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen (Winterwerp and van Kesteren, 2004) angewandt.  |
| Advektionsschema                 | NERD-Schema  |  |
| Horizontale Diffusion            | Aus  | Sensitivitätstests aus früheren Studien zur Modellierung von Fahnen zufolge gibt es nur geringe Unterschiede in den vorhergesagten Ergebnissen für   |

|  |   |  |
|--|---|--|
| <br>  | Umgebung  |  |
| TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN  | Wilhelmshaven FSRU: Bericht über die Ausbreitung von Sedimentfahnen | Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2025_05  |
| TES-Code: TES-WHV-VGN-   |   | Seite 24 von 55  |

| Parameter | Einstellung | Anmerkungen   |
|-----------|-------------|---|
|           |             | Simulationen mit und ohne horizontale Diffusion. Der wichtigste horizontale Diffusionsprozess ist das schubinduzierte Mischen. Da es sich um einen offensichtlich horizontalen Prozess handelt, muss dieser Prozess in einem zweidimensionalen Modell parametrisiert werden. In einem dreidimensionalen Modell wie in der vorliegenden Studie wurde dieser Prozess beim zu lösenden Problem berücksichtigt. Daher ist keine zusätzliche horizontale Diffusion erforderlich, um dies zu parametrisieren. |

Tabelle 2-4 Einstellungen für nicht bindiges Sediment (Sand) im TELEMAC-3D-Fahnenmodell

| Parameter                  | Einstellung   | Anmerkungen   |
|----------------------------|---|---|
| Sedimentdurchmesser        | Szenarioabhängig  | Dient zur Berechnung der kritischen Schubspannung für die Erosion im Modell.  |
| Erosionsgesetz             | Aus   |   |
| Absetzgeschwindigkeit      | Berechnet nach der Van-Rijn-Gleichung mit dem Sedimentdurchmesser als Eingangsgröße |   |
| Porosität des Meeresbodens | 0,4 [-]   | Wird in Kombination mit der Sedimentdichte verwendet, um die Ablagerungsmächtigkeit auf die abgelagerte Sedimentmasse zu beziehen.  |
| Sedimentdichte             | 2.650 [kg/m <sup>3</sup> ]  | Wird in Kombination mit der Porosität verwendet, um die Ablagerungsmächtigkeit auf die abgelagerte Sedimentmasse zu beziehen.   |
| Advektionsschema           | NERD-Schema   |   |
| Horizontale Diffusion      | Aus   | Sensitivitätstests aus früheren Studien zur Modellierung von Fahnen zufolge gibt es nur geringe Unterschiede in den vorhergesagten Ergebnissen für Simulationen mit und ohne horizontale Diffusion. Der wichtigste horizontale Diffusionsprozess ist das schubinduzierte Mischen. Da es sich um einen offensichtlich horizontalen Prozess handelt, muss dieser Prozess in einem zweidimensionalen Modell parametrisiert werden. In einem dreidimensionalen Modell wie in diesem Fall wurden diese Prozesse beim zu lösenden Problem berücksichtigt. Daher ist keine zusätzliche horizontale Diffusion erforderlich, um dies zu parametrisieren. |
| Geschiebe                  | Aus   |   |

|  |   |  |
|--|---|--|
| <br>  | Umgebung  |  |
| TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN  | Wilhelmshaven FSRU: Bericht über die Ausbreitung von Sedimentfahnen | Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2025_05  |
| TES-Code: TES-WHV-VGN-   |   | Seite 25 von 55  |

### 2.3 Sedimentverluste und dem Austritt von Sedimentfahnen-Parametrisierungen

Baggerarbeiten können aufgrund hydraulischer und mechanischer Vorgänge, bei denen Sediment in Suspension gebracht wird, Trübungsfahnen erzeugen (Decrop, 2015). Erhöhte Trübungen in der Umgebung der Baggerarbeiten werden durch eine Vielzahl von Aktivitäten erzeugt, wie z. B.: Druckverluste, dem Austritt von Sedimentfahnen, Ablagerung von Baggergut, Abfluss von Auffangwannen und anderes. Diese trübungserzeugenden Baggerarbeiten können als Sedimentquellen in das numerische Modell für den Transport bindigen Sediments einbezogen werden. In diesem Bericht wird der Begriff „dem Austritt von Sedimentfahnen“ verwendet, der als Feinsedimentverluste in Bezug auf die Modellquellterme zu betrachten ist.

Die übliche Methode zur Berechnung der Austrittsraten basiert auf der Anwendung eines Verlustfaktors auf die Menge der gebaggerten oder zur Suspension verfügbaren Feinsedimente. Für jeden Quellterm müssen auf der Grundlage der verfügbaren Literatur, Messungen oder Erfahrungen Verlustfaktoren zugewiesen werden (Decrop, 2018). Die im TELEMAC-3D-Strömungsmodell berücksichtigten Austrittanteile der Baggeraktivitäten von Laderaumsaugbaggern (TSHD) sind in Tabelle 2-5 dargestellt.

*Tabelle 2-5 Arten von Austritt und entsprechende prozentuale Produktionsverluste bei Einsatz des TELEMAC-3D-Strömungsmodells*

| Verlustart              | Verlust in Prozent der Produktion  |
|-------------------------|--|
| Schleppkopfverlust TSHD | 0,77 %. Basierend auf einer Studie (Anchor Environmental CA L.P., 2003), in der Daten von über 43 Baggerprojekten gesammelt wurden |
| Verklappungsverlust     | 30 % der Sedimente werden in Suspension gehen  |

Die Quellterme bestehen aus einer dem Austritt von Sedimentfahnen rate, d. h. einem Sedimentfluss [kg/s], der am Ort der Baggeraktivität gemäß einer bestimmten vertikalen Verteilung in das Modell einbezogen wird (Decrop, 2015; Decrop and Bollen, 2016). Je nach Art des Baggerverfahrens, der Gerätschaften und der Tätigkeit werden unterschiedliche Flüsse von Feinsedimenten auf verschiedenen Ebenen der Wassersäule ausgetragen. Bei IMDC wurde eine Toolbox entwickelt, mit der anhand mehrerer Eingaben (Tabelle 2-6) dem Austritt von Sedimentfahnen raten generiert werden können.

|  |   |  |
|--|---|--|
| <br>  | Umgebung  |  |
| TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN  | Wilhelmshaven FSRU: Bericht über die Ausbreitung von Sedimentfahnen | Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2025_05  |
| TES-Code: TES-WHV-VGN-   |   | Seite 26 von 55  |

Tabelle 2-6 Überblick über die Eingaben in die Toolbox für die dem Austritt von Sedimentfahnen rate

| Eingaben   |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Eingesetzte Ausrüstung</li> <li>• Sedimenteigenschaften: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Dichte in situ [kg/m<sup>3</sup>]</li> <li>○ Dichte Körner [kg/m<sup>3</sup>]</li> <li>○ Dichte Wasser [kg/m<sup>3</sup>]</li> <li>○ Feinstoffinhalt (%)</li> </ul> </li> <li>• Informationen über den Zeitplan der Baggerarbeiten: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Ausfallzeit [h]</li> <li>○ Betriebszeit [h]</li> <li>○ Zykluszeit [min]</li> <li>○ Ladezeit [min]</li> <li>○ Austritt zeit [min]</li> </ul> </li> <li>• Informationen über die Produktionsleistung der Bagger: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Produktion [m<sup>3</sup>is/OH]</li> </ul> </li> </ul> <p>ODER</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Maximales Laderaumvolumen [m<sup>3</sup>]</li> <li>○ Füllfaktor [–]</li> </ul> |

Zur Darstellung der verschiedenen Austritt arten im numerischen Modell gibt es verschiedene Parametrisierungen des vertikalen Profils, darunter:

- F1. Dieser Fahnentyp entspricht einem Sigma-Profil. Der Austritt wird auf bestimmte Weise über die Wassersäule verteilt (Abbildung 2-19).
- F2. Dieser Fahnentyp entspricht einem Blockprofil. Dieses Profil wird durch zwei Blöcke mit einer bestimmten Höhe in der Nähe der Oberfläche und in der Nähe des Meeresbodens und dem darin enthaltenen Massenanteil definiert. Der Rest des Austritts wird dazwischen ausgebracht (Abbildung 2-19). So wird es in der Regel beim Austritt von Tieflöffelbaggern vorgenommen.

|  |   |  |
|--|---|--|
| <br>  | Umgebung  |  |
| TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN  | Wilhelmshaven FSRU: Bericht über die Ausbreitung von Sedimentfahnen | Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2025_05  |
| TES-Code: TES-WHV-VGN-   |   | Seite 27 von 55  |

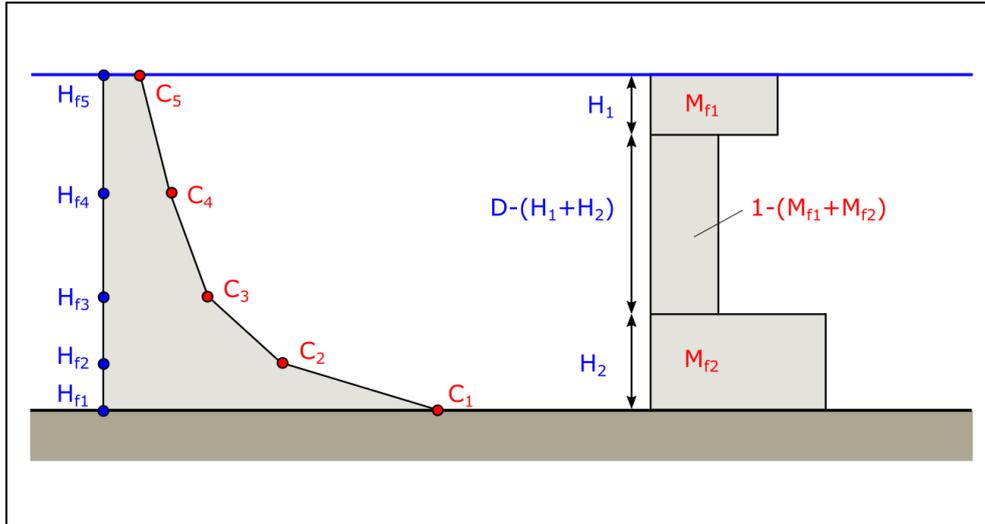


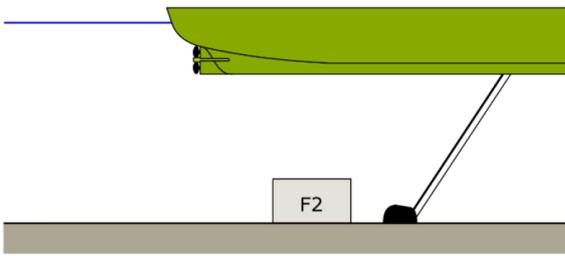
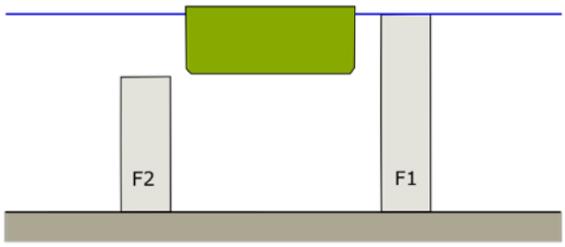
Abbildung 2-19 Zwei Arten der Darstellung vertikaler Verteilungen. Links: Fahnentyp F1 basierend auf einer Sigma-Verteilung über die Vertikale und das Konzentrationsprofil, rechts: Fahnentyp F2 basiert auf der Darstellung der Höhen und Massenanteile von zwei Blöcken nahe der Oberfläche und nahe dem Meeresboden, dazwischen ist der Rest des Materials verteilt.

Auf der Grundlage der Parameter der drei vorgestellten Fahnentypen können verschiedene vertikale Verteilungen erzeugt werden. Beispiele von Profilen für die in dieser Studie berücksichtigten Überläufe sind unter Tabelle 2-7 zu finden.

Bei der Verklappung wird ein F2-Blockprofil verwendet, bei dem 50 % des ausgetragenen Materials in die ersten 2 m der Wassersäule gelangen. Die anderen 50 % werden zwischen den ersten 2 m unter der Wasseroberfläche und 5 m über dem Meeresboden ausgebracht.

|  |   |  |
|--|---|--|
| <br>  | Umgebung  |  |
| TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN  | Wilhelmshaven FSRU: Bericht über die Ausbreitung von Sedimentfahnen | Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2025_05  |
| TES-Code: TES-WHV-VGN-   |   | Seite 28 von 55  |

Tabelle 2-7 Übersicht über die verschiedenen Arten von Bagger-Überläufen und die im Modell enthaltenen Vertikalprofile.

|                            | Übliche Profile (Beispiele)   | Verwendete Profile   |
|----------------------------|---|--|
| Schleppkopf und Messerkopf |   | F2: 2 [m] über dem Meeresboden   |
| Verklappung                |  | F2: Es wird ein Blockprofil verwendet, bei dem 50 % des ausgetragenen Materials in die ersten 2 m der Wassersäule gelangen. Die anderen 50 % werden zwischen den ersten 2 m unter der Wasseroberfläche und 5 m über dem Meeresboden ausgebracht. |

|  |   |  |
|--|---|--|
| <br>  | Umgebung  |  |
| TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN  | Wilhelmshaven FSRU: Bericht über die Ausbreitung von Sedimentfahnen | Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2025_05  |
| TES-Code: TES-WHV-VGN-   |   | Seite 29 von 55  |

### 3 Einrichtung des Szenarios

#### 3.1 Modellierungszeiträume

In dieser Studie wurden zwei Baggerszenarien (A und B, siehe unten) betrachtet, um eine Bandbreite zu bilden, in der die Ergebnisse interpretiert werden sollten. Entsprechend dem Bericht über die Methodik (IMDC, 2022b) wurden diese beiden Szenarien sowohl für mittlere als auch für Spring- und Nipptidezyklen durchgeführt und sollten Ergebnisse liefern, die die Auswirkungen eines repräsentativen Baggerzyklus widerspiegeln. Daraus ergeben sich insgesamt vier Simulationen.

- **Baggerszenario A – Referenzszenario**
- Detaillierte Einstellungen: aufgeführt in Tabelle 3-1.
- Ausrüstung: TSHD (einfach) mit durchschnittlichem Laderaumvolumen (d. h. 21.665 [m<sup>3</sup>])
- Prozentsatz der Feinstoffe: realistisch, in Übereinstimmung mit den Beobachtungen vor Ort
- Berücksichtigte Austritt arten:
  - Schleppkopfverlust
  - Verklappungsverlust

|  |   |  |
|--|---|--|
| <br>  | Umgebung  |  |
| TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN  | Wilhelmshaven FSRU: Bericht über die Ausbreitung von Sedimentfahnen | Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2025_05  |
| TES-Code: TES-WHV-VGN-   |   | Seite 30 von 55  |

*Tabelle 3-1 TSHD Bagger- und Entsorgungseigenschaften des Referenzszenarios*

| Eigenschaften   | Wert   |
|---|--|
| In-situ-Dichte für TSHD-Produktionen                        | 1,9 [t/m <sup>3</sup> ]  |
| Prozentsatz der Füllung                                     | 10 % (situ – in pipe)  |
| Prozentsatz der Feinstoffe                                  | 50 % (< 210 [µm]), 7 % (< 63 [µm]), basierend auf Felddaten vom benachbarten Uniper-Standort (IMP, 2022) und bestätigt durch neuere Proben vom Projektstandort (IMDC, 2023). |
| Korngröße (d <sub>50</sub> ) des Feinsandanteils in TELEMAR | 210 [µm]. Geschätzter Durchschnitt der am benachbarten Uniper-Standort (IMP, 2022) gemessenen PSDs   |
| Laderaumvolumen   | 21.665 [m <sup>3</sup> ]   |
| Austritt eingesetzter TSHD                                  | nein   |
| Tiefgang des Laderaumbaggers (voll)                         | 11,37 [m]  |
| Baggerbereich   | Das Wendebecken, in dem die Position des TSHD im Laufe der Zeit schematisch verändert wird   |
| Verklappungsverlust (Punkt)                                 | K01 (Länge: 7.9079, Breite: 53.9127)   |
| Fahrgeschwindigkeit   | 15,9 Knoten  |
| Entsorgungszeit   | 10 Minuten   |

|  |   |  |
|--|---|--|
| <br>  | Umgebung  |  |
| TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN  | Wilhelmshaven FSRU: Bericht über die Ausbreitung von Sedimentfahnen | Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2025_05  |
| TES-Code: TES-WHV-VGN-   |   | Seite 31 von 55  |

- **Baggerszenario B – Szenario mit hohem Prozentsatz an Feinstoffen**

- Wie Baggerszenario A, jedoch mit einem hohen Prozentsatz an Feinstoffen, basierend auf der Obergrenze der Feldbeobachtungen am Uniper-Standort (d. h. 29 % < 63 [µm], (IMP, 2022))

Die Baggerzyklen dauern bis zu ca. 3 Stunden (zeit für die Hin- und Rückfahrt einschließlich Ausbaggern und Verklappen). Um das volle Ausmaß der Bagger- und Entsorgungsaktivitäten während eines gesamten durchschnittlichen Gezeitenzyklus zu erfassen, werden sowohl der ausgewählte durchschnittliche Spring- als auch der Nipptidenzyklus zu einem Simulationszeitraum von jeweils 13 Tagen (Abbildung 3-1 und Abbildung 3-2) verkettet.

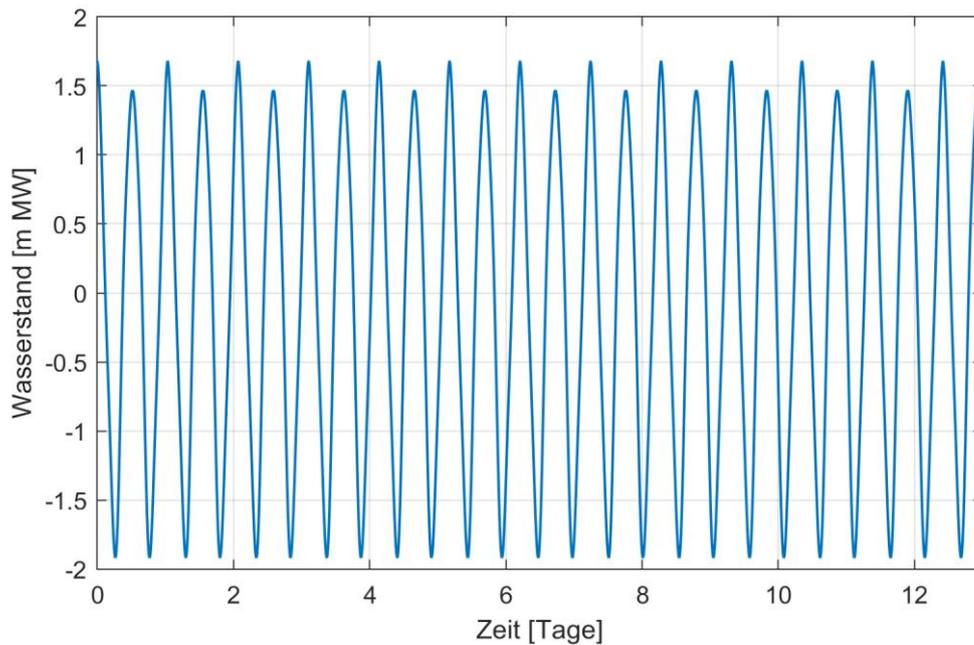


Abbildung 3-1 Rekonstruiertes mittleres harmonisches Springtiden-Wasserstandssignal am Standort der Station Leuchtturm Alte Weser.

|  |   |  |
|--|---|--|
| <br>  | Umgebung  |  |
| TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN  | Wilhelmshaven FSRU: Bericht über die Ausbreitung von Sedimentfahnen | Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2025_05  |
| TES-Code: TES-WHV-VGN-   |   | Seite 32 von 55  |

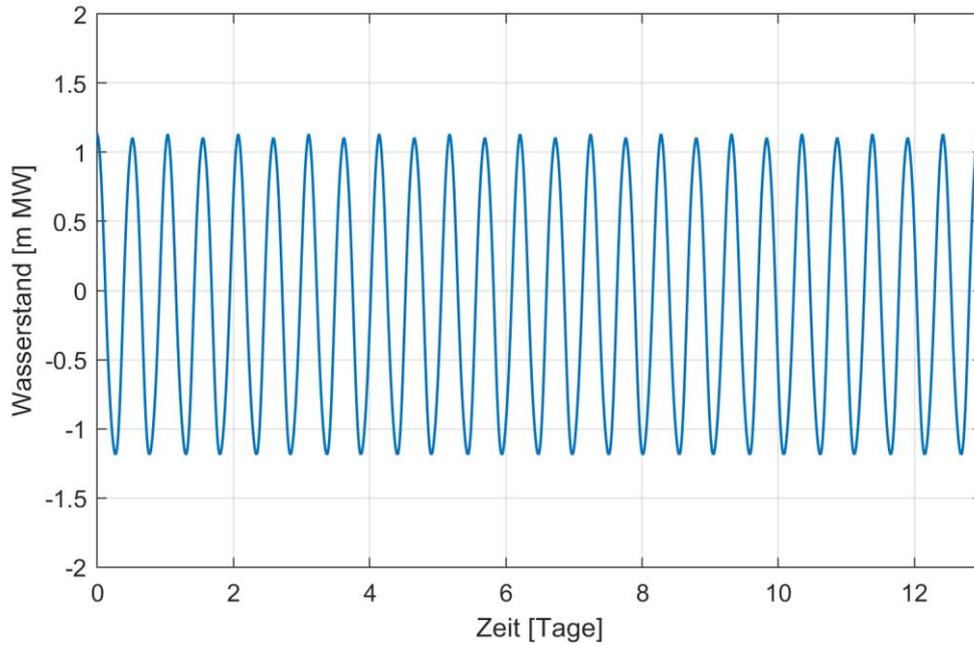


Abbildung 3-2 Rekonstruiertes mittleres harmonisches Nipptide-Wasserstandssignal am Standort der Station Leuchtturm Alte Weser.

|   |   |  |
|---|---|--|
|  | Umgebung  |  |
| TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN   | Wilhelmshaven FSRU: Bericht über die Ausbreitung von Sedimentfahnen | Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2025_05  |
| TES-Code: TES-WHV-VGN-  |   | Seite 33 von 55  |

## 4 Szenarienergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der modellierten Ausbreitung der durch die Baggerarbeiten freigesetzten Sedimentfahne dargestellt.

Aus der Literatur (IMP, 2022) und den Zeitreihen des WSA SSK geht hervor, dass in der Nähe des Projektstandorts (Abschnitt 2.1.2) im Durchschnitt pro Tide eine Spitzenkonzentration an Schwebstoffen von 250 mg/L erreicht werden kann, was sich mit den Ergebnissen der mobilen Gezeitenverlaufsmessungen der IMDC-Messungsaktivität deckt (IMDC, 2023). Dieser Wert wird als Schwellenwert festgelegt, um eine Grundlage für den Vergleich der Szenarienergebnisse zu schaffen.

### 4.1 Springtide

#### 4.1.1 Baggerszenario A – Referenzszenario

Abbildung 4-1 bis Abbildung 4-4 zeigen gefüllte Konturflächen der maximalen Sedimentkonzentration von Feinstoffen (< 210 µm) an der Wasseroberfläche und in der mittleren Wassersäule während des Simulationszeitraums, in dem Baggeraktivitäten im Zusammenhang mit dem Baggerszenario A stattgefunden haben. Aus der Ausdehnung dieser Konturen ist ersichtlich, dass der Schwellenwert von 250 mg/L an der Baggerstelle nur lokal auf einem Sandrücken im Wendebassin überschritten wird. Da der Wert von 25 mg/L in den Gebieten mit Muschelfischerbetrieben nicht überschritten wird, ist anzunehmen, dass keine nennenswerte Fahne in diese Bereiche gelangt. An der Klappstelle (K01) wird der Grenzwert von 250 mg/L nur innerhalb einer Ellipse mit einem Hauptradius von 1 Kilometer überschritten. Die Gesamtfläche der Überschreitung ist in Tabelle 4-1 angegeben.

*Tabelle 4-1 Gesamtfläche mit Überschreitung der über die Tiefe gemittelten Konzentrationen in [km<sup>2</sup>]. Baggerszenario A, Springtide-Bedingungen.*

| Über die Tiefe gemittelte Konzentrationen (c) von Feinstoffen [mg/L] | Gesamtfläche [km <sup>2</sup> ] |
|--|---------------------------------|
| c > 25 [mg/L]  | 19,1                            |
| c > 50 [mg/L]  | 9,3                             |
| c > 100 [mg/L]   | 4,2                             |
| c > 250 [mg/L]   | 1,3                             |
| c > 1000 [mg/L]  | 0,1                             |

|  |   |  |
|--|---|--|
| <br>  | Umgebung  |  |
| TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN  | Wilhelmshaven FSRU: Bericht über die Ausbreitung von Sedimentfahnen | Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2025_05  |
| TES-Code: TES-WHV-VGN-   |   | Seite 34 von 55  |

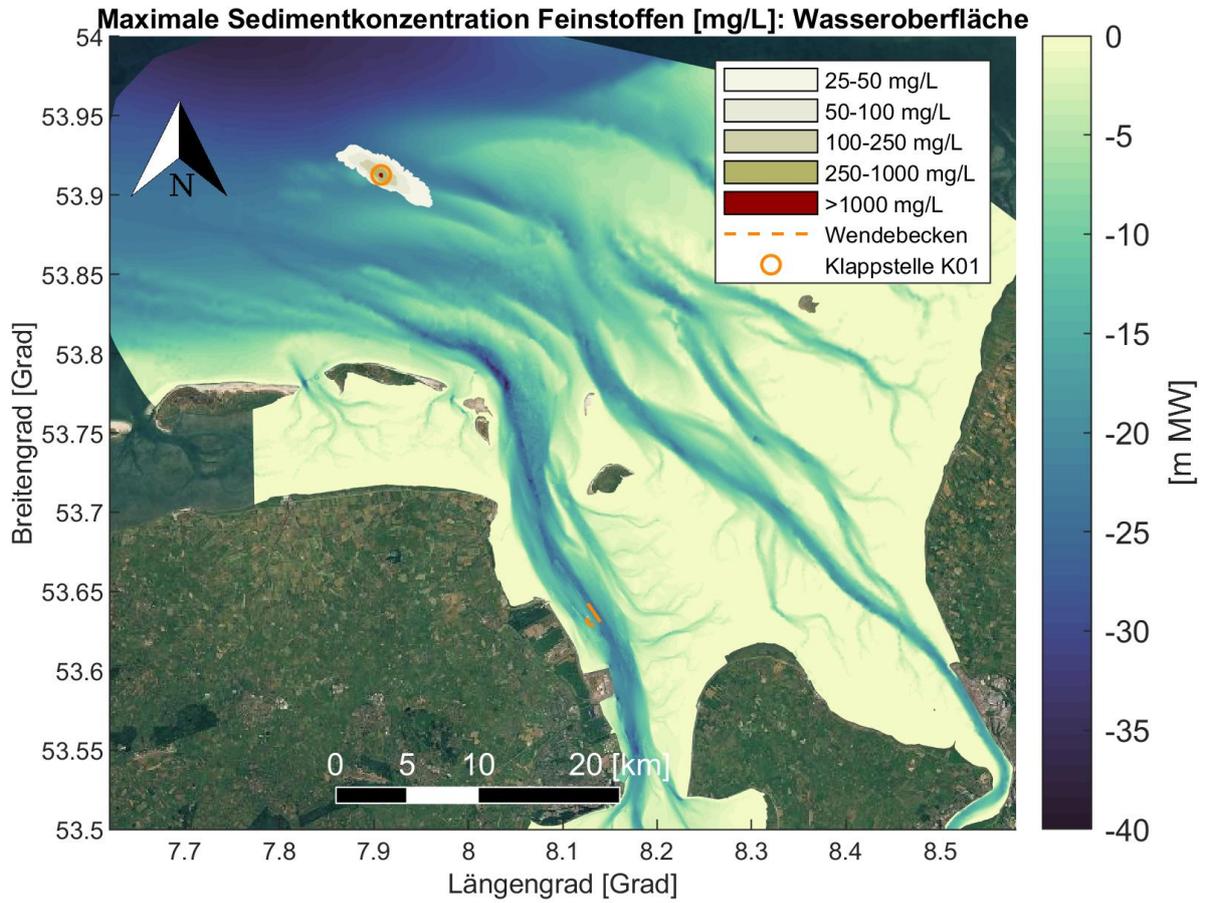


Abbildung 4-1 Maximale vorgefundene Sedimentkonzentration [mg/L] von Feinstoffen (<math>< 210 \mu\text{m}</math>) an der Wasseroberfläche während des Simulationszeitraums. Baggerszenario A, Springtide-Bedingungen.

|  |   |  |
|--|---|--|
| <br>  | Umgebung  |  |
| TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN  | Wilhelmshaven FSRU: Bericht über die Ausbreitung von Sedimentfahnen | Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2025_05  |
| TES-Code: TES-WHV-VGN-   |   | Seite 35 von 55  |

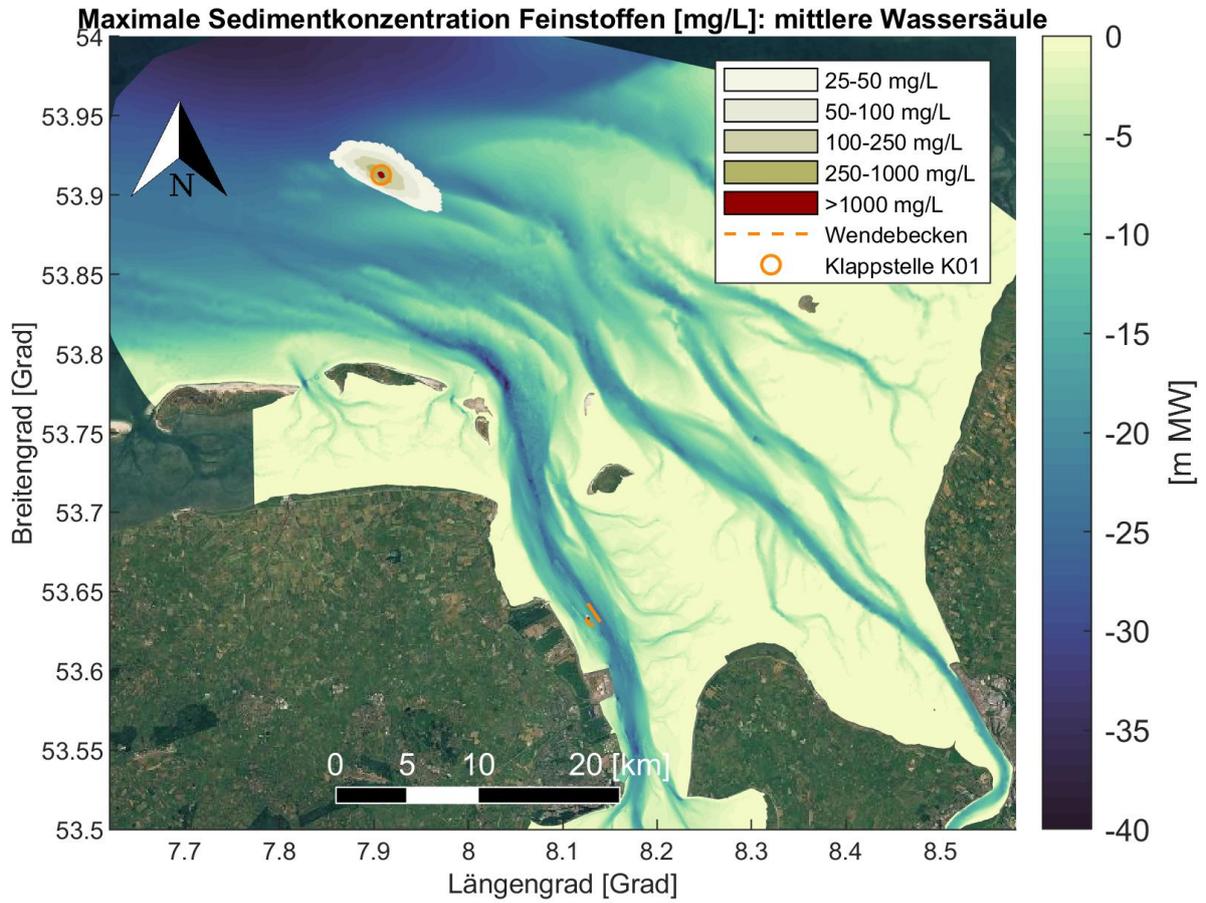


Abbildung 4-2 Maximale vorgefundene Sedimentkonzentration [mg/L] von Feinstoffen (< 210 [µm]) in der Mitte der Wassersäule während des Simulationszeitraums. Baggerszenario A, Springtide-Bedingungen.

|  |   |  |
|--|---|--|
| <br>  | Umgebung  |  |
| TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN  | Wilhelmshaven FSRU: Bericht über die Ausbreitung von Sedimentfahnen | Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2025_05  |
| TES-Code: TES-WHV-VGN-   |   | Seite 36 von 55  |

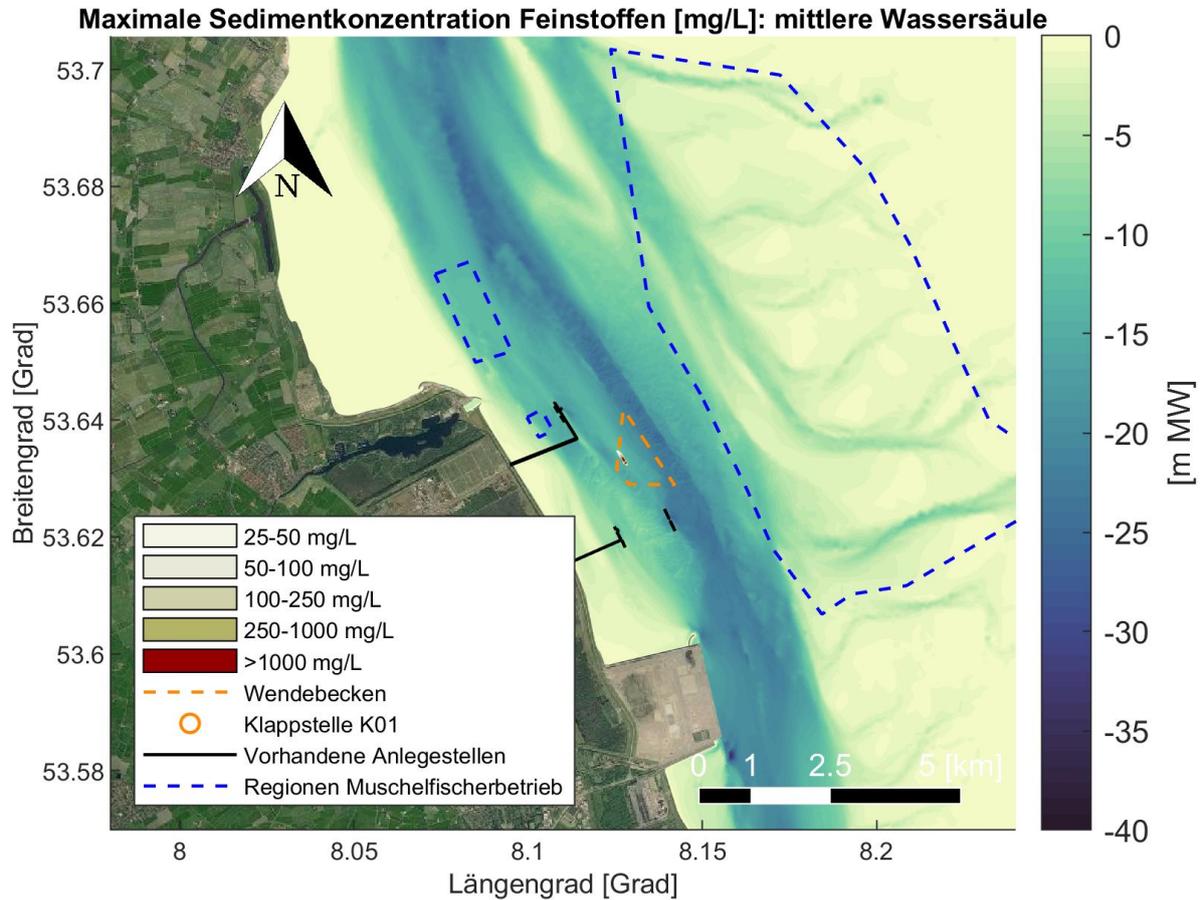


Abbildung 4-3 Maximale vorgefundene Sedimentkonzentration [mg/L] von Feinstoffen (<math>< 210 \mu\text{m}</math>) in der Mitte der Wassersäule während des Simulationszeitraums. Baggerszenario A, Springtide-Bedingungen. Vergrößerte Darstellung rund um das Wendebucken und die Muschelfischerbetriebe.

|  |   |  |
|--|---|--|
| <br>  | Umgebung  |  |
| TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN  | Wilhelmshaven FSRU: Bericht über die Ausbreitung von Sedimentfahnen | Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2025_05  |
| TES-Code: TES-WHV-VGN-   |   | Seite 37 von 55  |

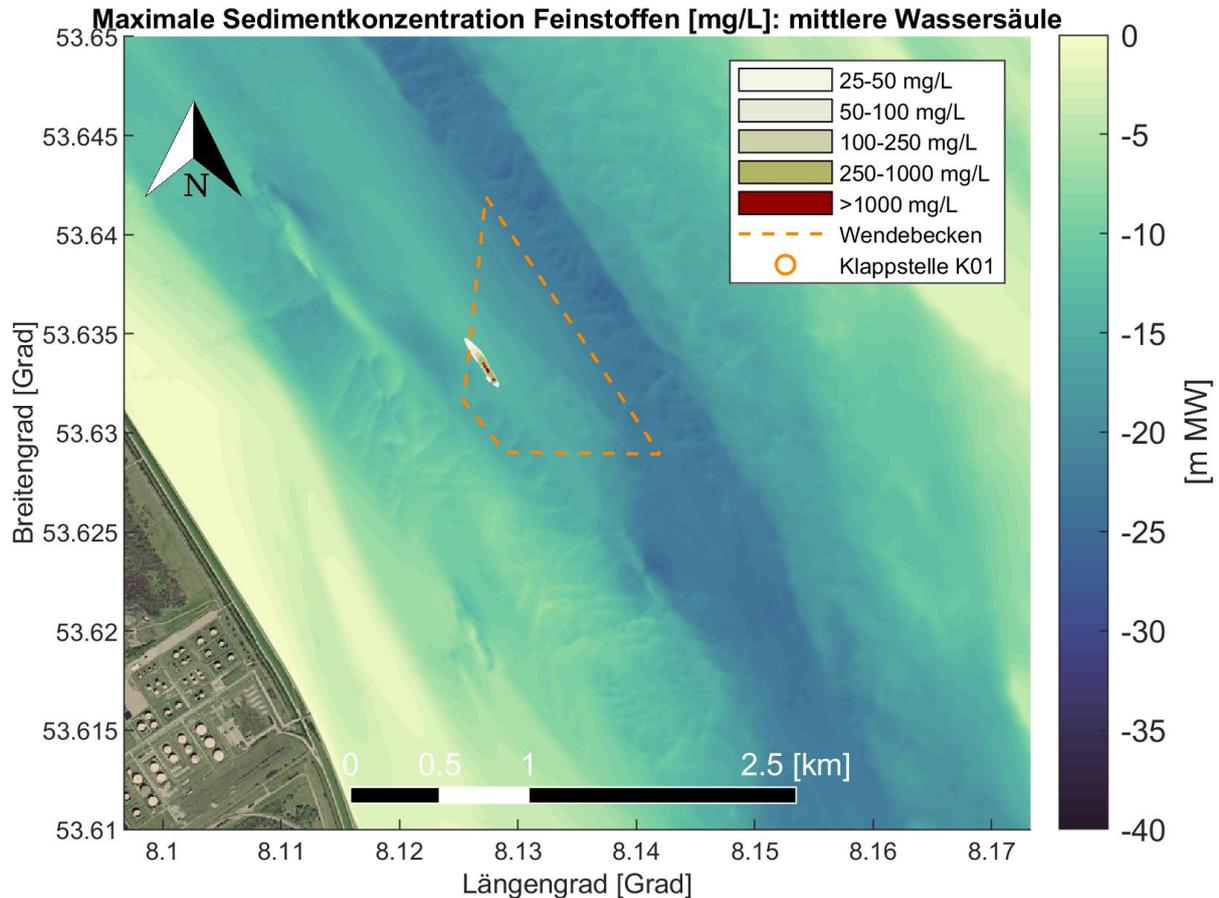


Abbildung 4-4 Maximale vorgefundene Sedimentkonzentration [mg/L] von Feinstoffen (< 210  $\mu\text{m}$ ) in der Mitte der Wassersäule während des Simulationszeitraums. Baggerszenario A, Springtide-Bedingungen. Vergrößerte Darstellung rund um das Wendebecken.

#### 4.1.2 Baggerszenario B – Szenario mit hohem Prozentsatz an Feinstoffen

Abbildung 4-5 bis Abbildung 4-8 zeigen gefüllte Konturflächen der maximalen Sedimentkonzentration von Feinstoffen (< 210  $\mu\text{m}$ ) an der Wasseroberfläche und in der mittleren Wassersäule während des Simulationszeitraums, in dem Baggeraktivitäten im Zusammenhang mit dem Baggerszenario B stattgefunden haben. Aus der Ausdehnung dieser Konturen wird ersichtlich, dass eine Überschreitung des Schwellenwertes von 250 mg/L an der Baggerstelle nur sehr lokal an zwei benachbarten Stellen innerhalb des Wendebeckens auftritt. Auffälliger ist die Überschreitung des Wertes von 25 mg/L innerhalb des Wendebeckens. Hier sind streifenförmige Muster zu erkennen (entsprechend der Form der lokalen Gezeiten-Ellipse), die sich aus der schematisierten Positionsänderung des TSHD im Laufe der Zeit in Kombination mit der Phase der Gezeiten ergeben. Da der Wert von 25 mg/L in den Gebieten mit Muschelfischerbetrieben nicht überschritten wird, ist anzunehmen, dass keine nennenswerte Fahne in diese Bereiche gelangt. An der Klappstelle (K01) wird der

|   |   |  |
|---|---|--|
| <br><br> | Umgebung  |  |
| TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN   | Wilhelmshaven FSRU: Bericht über die Ausbreitung von Sedimentfahnen | Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2025_05  |
| TES-Code: TES-WHV-VGN-  |   | Seite 38 von 55  |

Grenzwert von 250 mg/L nur innerhalb einer Ellipse mit einem Hauptradius von ca. 2 Kilometern überschritten. Die Gesamtfläche der Überschreitung ist in Tabelle 4-2 angegeben.

Tabelle 4-2 Gesamtfläche mit Überschreitung der über die Tiefe gemittelten Konzentrationen in [km<sup>2</sup>]. Baggerszenario B, Springtide-Bedingungen.

| Über die Tiefe gemittelte Konzentrationen (c) von Feinstoffen [mg/L] | Gesamtfläche [km <sup>2</sup> ] |
|--|---------------------------------|
| c > 25 [mg/L]  | 48,9                            |
| c > 50 [mg/L]  | 30,9                            |
| c > 100 [mg/L]   | 16,1                            |
| c > 250 [mg/L]   | 5,6                             |
| c > 1000 [mg/L]  | 1,0                             |

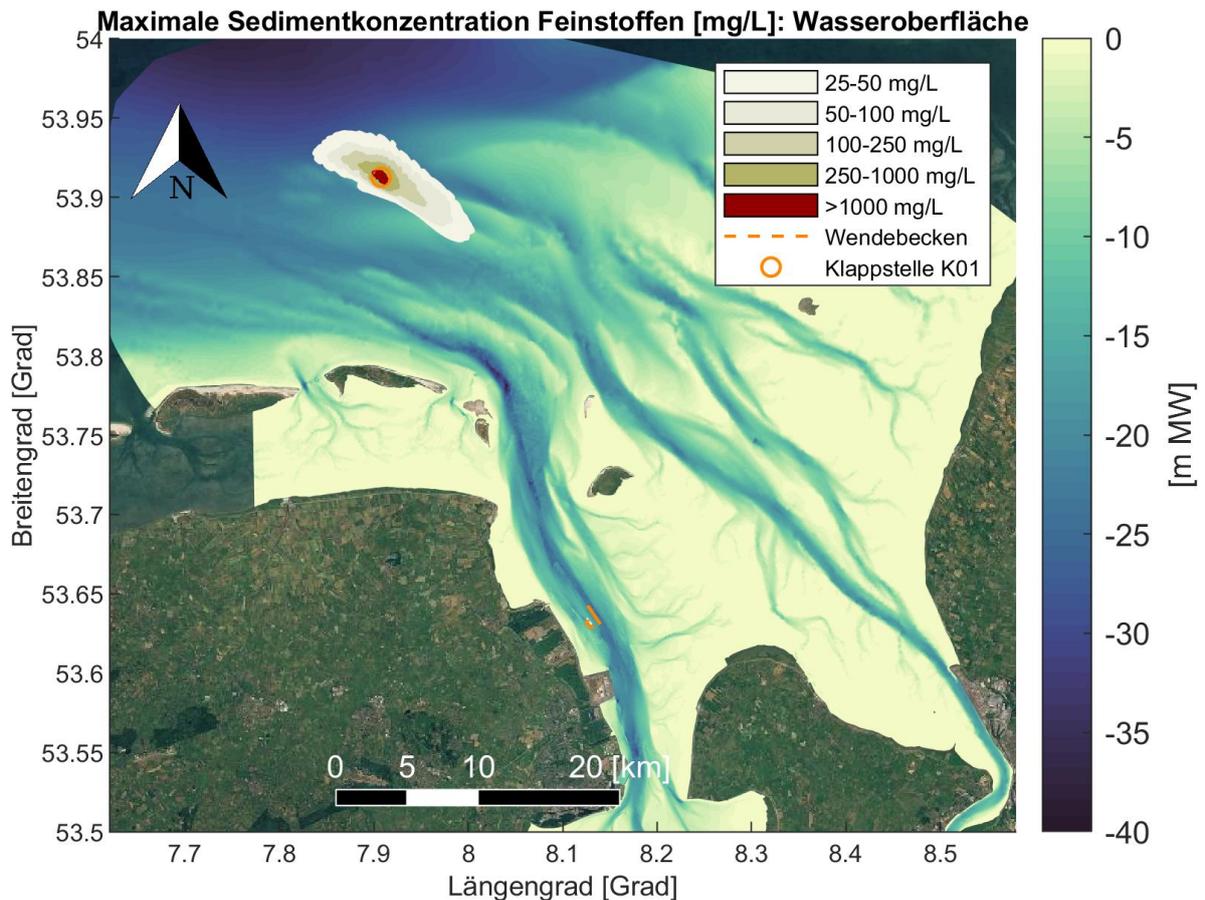


Abbildung 4-5 Maximale vorgefundene Sedimentkonzentration [mg/L] von Feinstoffen (< 210 [µm]) an der Wasseroberfläche während des Simulationszeitraums. Baggerszenario B, Springtide-Bedingungen.

|  |   |  |
|--|---|--|
| <br>  | Umgebung  |  |
| TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN  | Wilhelmshaven FSRU: Bericht über die Ausbreitung von Sedimentfahnen | Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2025_05  |
| TES-Code: TES-WHV-VGN-   |   | Seite 39 von 55  |

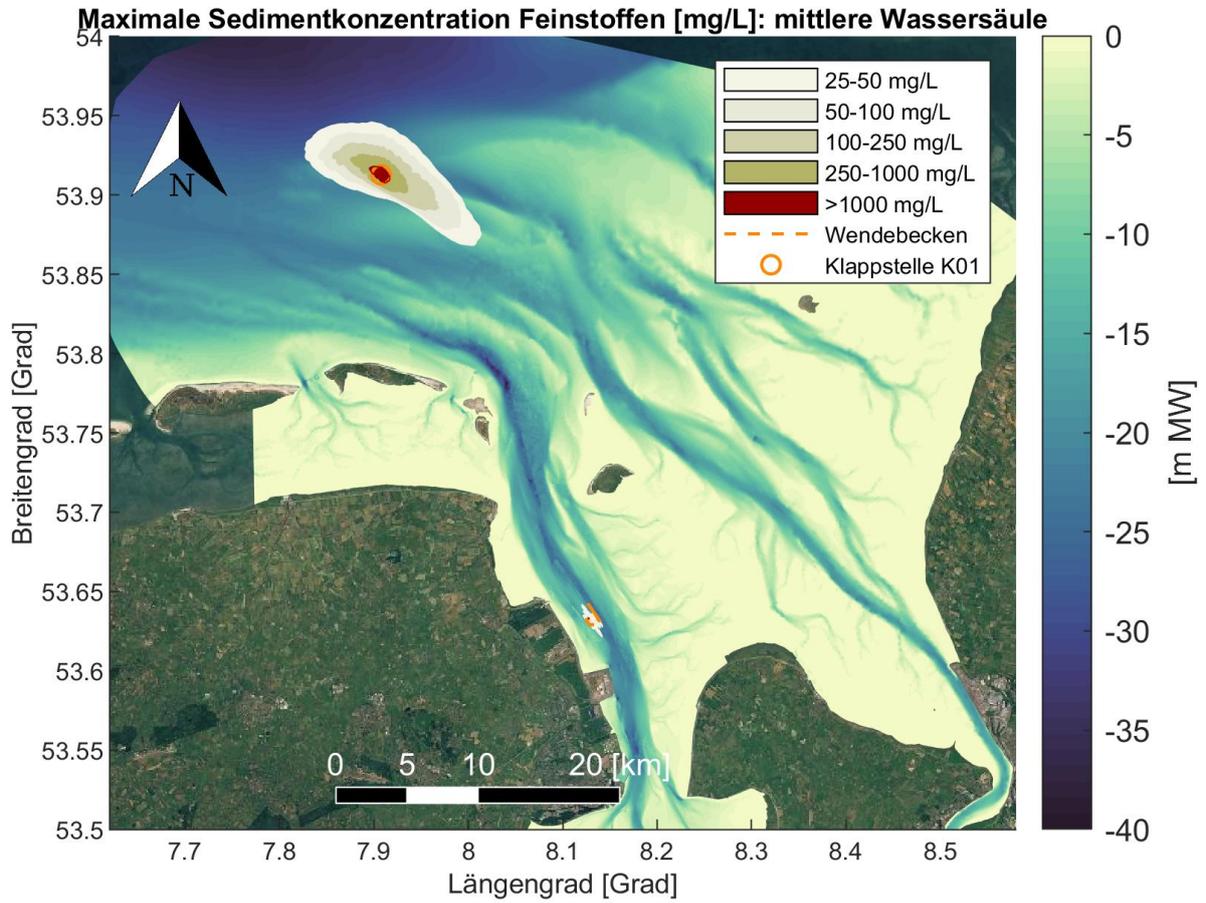


Abbildung 4-6 Maximale vorgefundene Sedimentkonzentration [mg/L] von Feinstoffen (< 210 [µm]) in der Mitte der Wassersäule während des Simulationszeitraums. Baggerszenario B, Springtide-Bedingungen.

|  |   |  |
|--|---|--|
| <br>  | Umgebung  |  |
| TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN  | Wilhelmshaven FSRU: Bericht über die Ausbreitung von Sedimentfahnen | Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2025_05  |
| TES-Code: TES-WHV-VGN-   |   | Seite 40 von 55  |

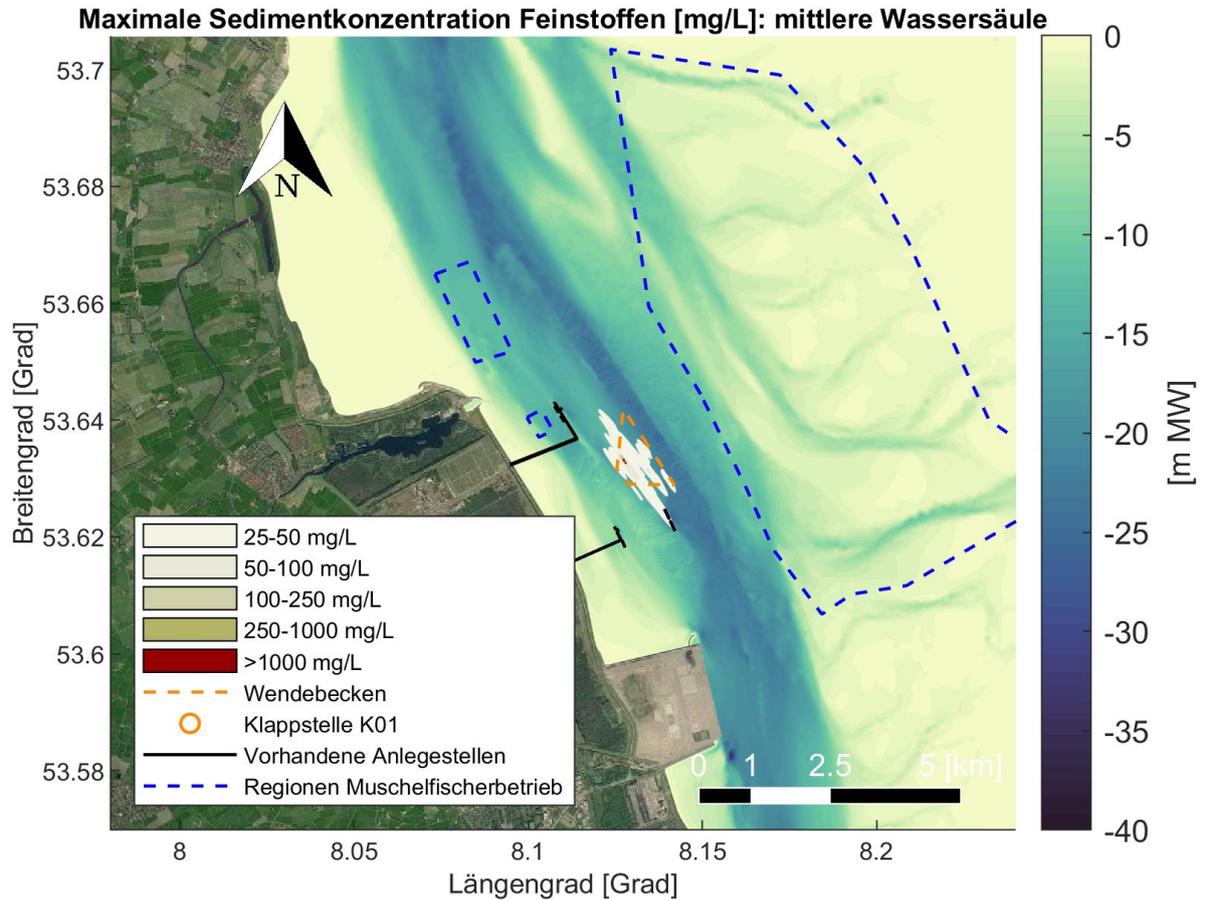


Abbildung 4-7 Maximale vorgefundene Sedimentkonzentration [mg/L] von Feinstoffen (<math>< 210 \mu\text{m}</math>) in der Mitte der Wassersäule während des Simulationszeitraums. Baggerszenario B, Springtide-Bedingungen. Vergrößerte Darstellung rund um das Wendebucken und die Muschelfischerbetriebe.

|  |   |  |
|--|---|--|
| <br>  | Umgebung  |  |
| TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN  | Wilhelmshaven FSRU: Bericht über die Ausbreitung von Sedimentfahnen | Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2025_05  |
| TES-Code: TES-WHV-VGN-   |   | Seite 41 von 55  |

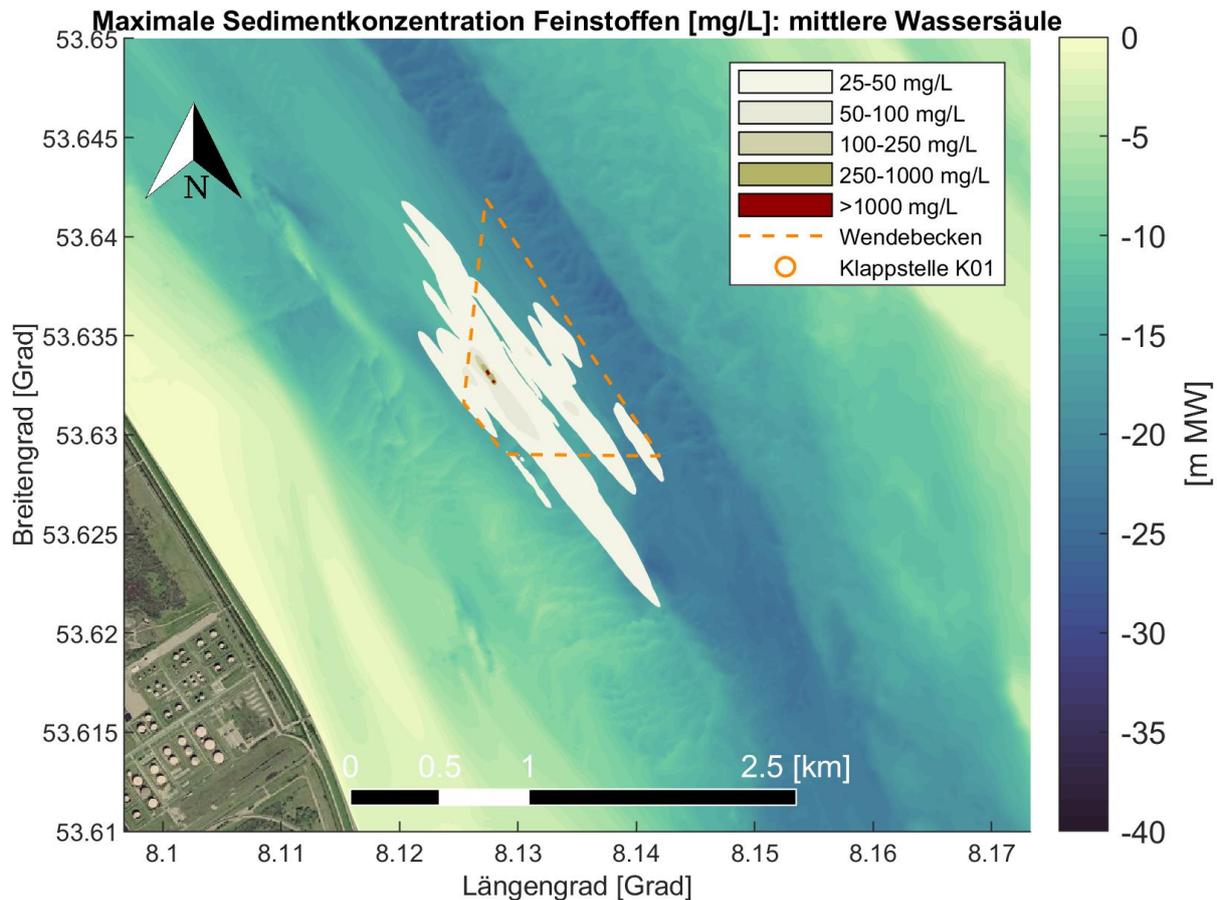


Abbildung 4-8 Maximale vorgefundene Sedimentkonzentration [mg/L] von Feinstoffen (< 210  $\mu\text{m}$ ) in der Mitte der Wassersäule während des Simulationszeitraums. Baggerszenario B, Springtide-Bedingungen. Vergrößerte Darstellung rund um das Wendebecken.

## 4.2 Nipptide

### 4.2.1 Baggerszenario A – Referenzszenario

Abbildung 4-9 bis Abbildung 4-12 zeigen gefüllte Konturflächen der maximalen Sedimentkonzentration von Feinstoffen (< 210  $\mu\text{m}$ ) an der Wasseroberfläche und in der mittleren Wassersäule während des Simulationszeitraums, in dem Baggeraktivitäten im Zusammenhang mit dem Baggerszenario A stattgefunden haben. Aus der Ausdehnung dieser Konturen wird ersichtlich, dass der Schwellenwert von 250 mg/L (oder sogar 25 mg/L) an der Baggerstelle nicht überschritten wird. Da der Wert von 25 mg/L in den Gebieten mit Muschelfischerbetrieben nicht überschritten wird, ist anzunehmen, dass keine nennenswerte Fahne in diese Bereiche gelangt. An der Klappstelle (K01) wird der Grenzwert von 250 mg/L nur innerhalb einer Ellipse mit einem Hauptradius von knapp unter 1 Kilometer überschritten. Die Gesamtfläche der Überschreitung ist in Tabelle 4-3 angegeben.

|  |   |  |
|--|---|--|
| <br>  | Umgebung  |  |
| TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN  | Wilhelmshaven FSRU: Bericht über die Ausbreitung von Sedimentfahnen | Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2025_05  |
| TES-Code: TES-WHV-VGN-   |   | Seite 42 von 55  |

Tabelle 4-3 Gesamtfläche mit Überschreitung der über die Tiefe gemittelten Konzentrationen in [km<sup>2</sup>]. Baggerszenario A, Nipptide-Bedingungen.

| Über die Tiefe gemittelte Konzentrationen (c) von Feinstoffen [mg/L] | Gesamtfläche [km <sup>2</sup> ] |
|--|---------------------------------|
| c > 25 [mg/L]  | 15,6                            |
| c > 50 [mg/L]  | 7,6                             |
| c > 100 [mg/L]   | 3,5                             |
| c > 250 [mg/L]   | 1,1                             |
| c > 1000 [mg/L]  | 0,1                             |

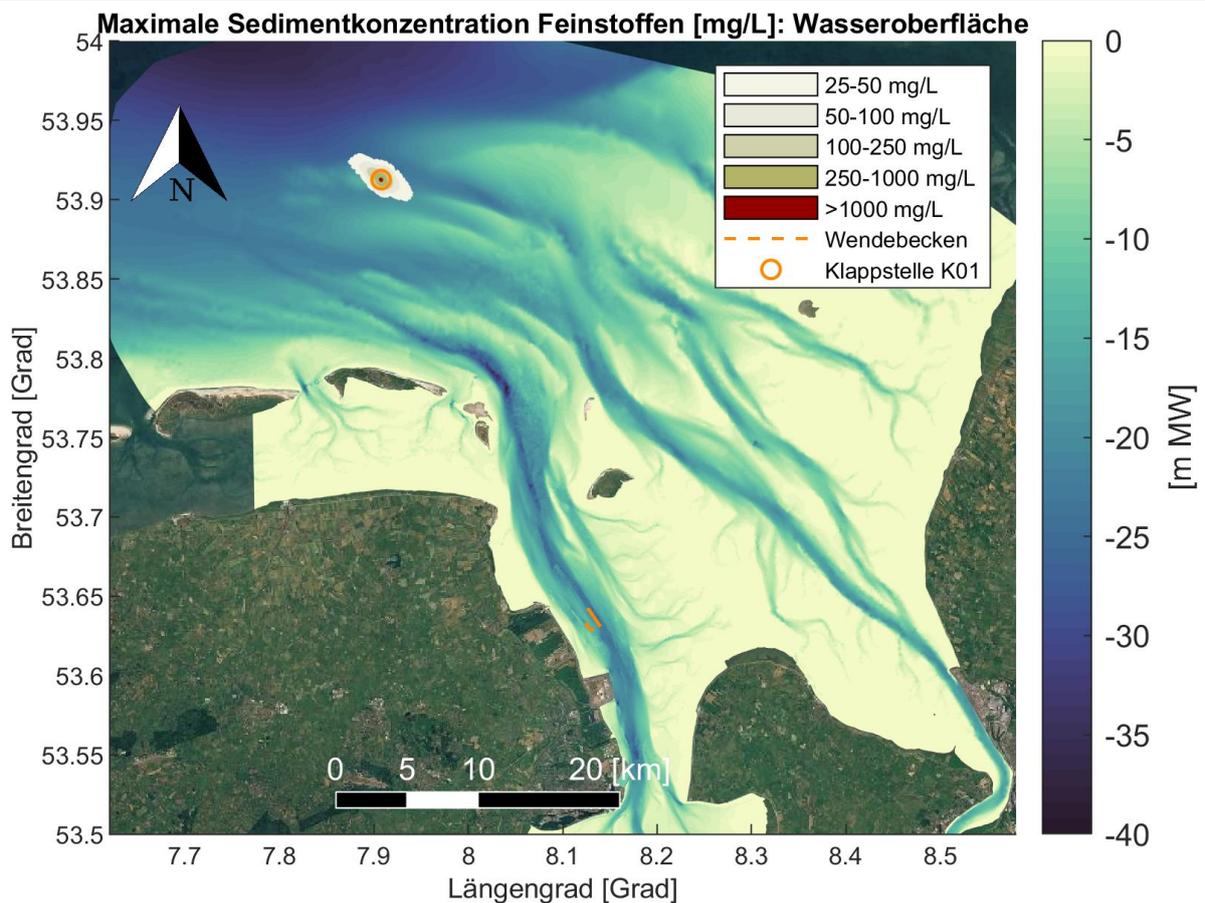


Abbildung 4-9 Maximale vorgefundene Sedimentkonzentration [mg/L] von Feinstoffen (< 210 [µm]) an der Wasseroberfläche während des Simulationszeitraums. Baggerszenario A, Nipptide-Bedingungen.

|  |   |  |
|--|---|--|
| <br>  | Umgebung  |  |
| TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN  | Wilhelmshaven FSRU: Bericht über die Ausbreitung von Sedimentfahnen | Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2025_05  |
| TES-Code: TES-WHV-VGN-   |   | Seite 43 von 55  |

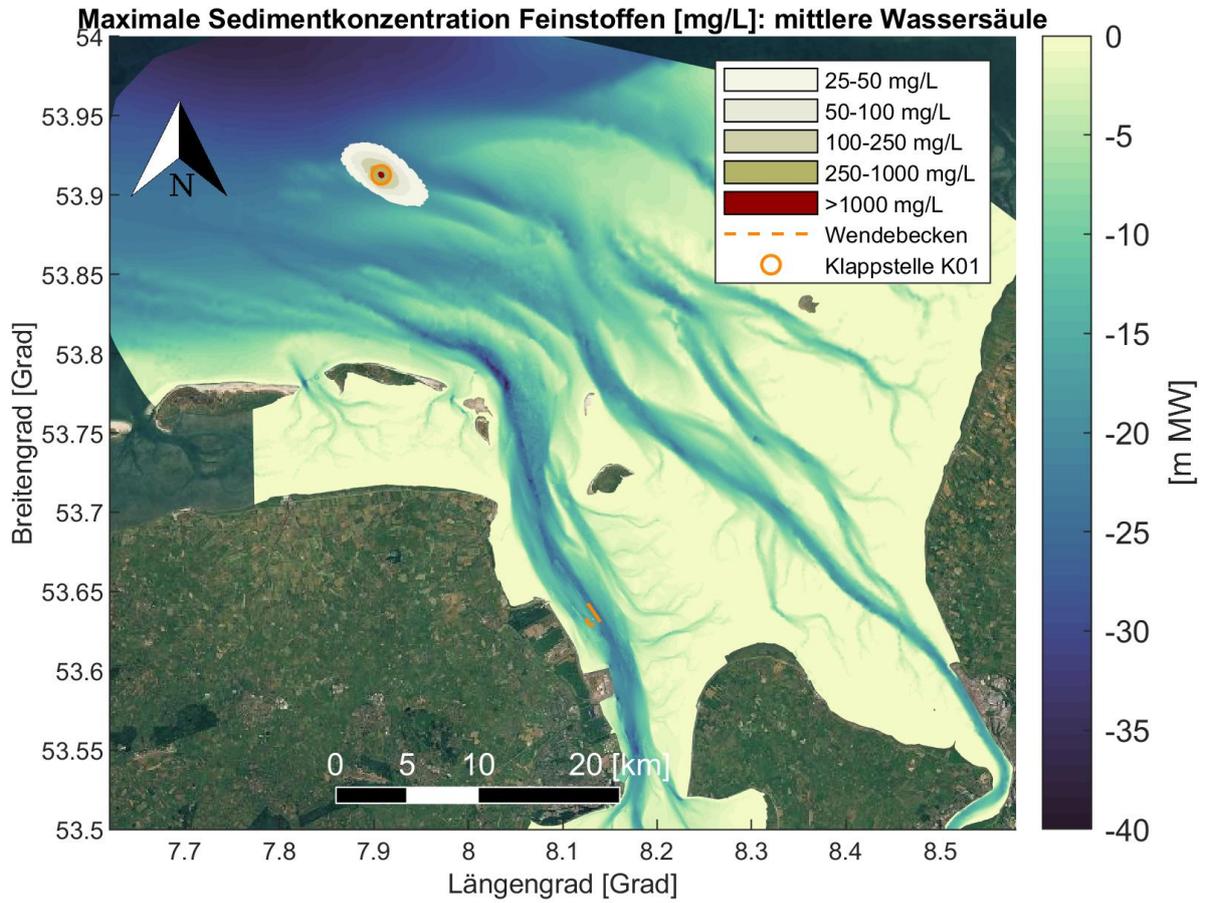


Abbildung 4-10 Maximale vorgefundene Sedimentkonzentration [mg/L] von Feinstoffen (< 210 [µm]) in der Mitte der Wassersäule während des Simulationszeitraums. Baggerszenario A, Nipptide-Bedingungen.

|  |   |  |
|--|---|--|
| <br>  | Umgebung  |  |
| TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN  | Wilhelmshaven FSRU: Bericht über die Ausbreitung von Sedimentfahnen | Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2025_05  |
| TES-Code: TES-WHV-VGN-   |   | Seite 44 von 55  |

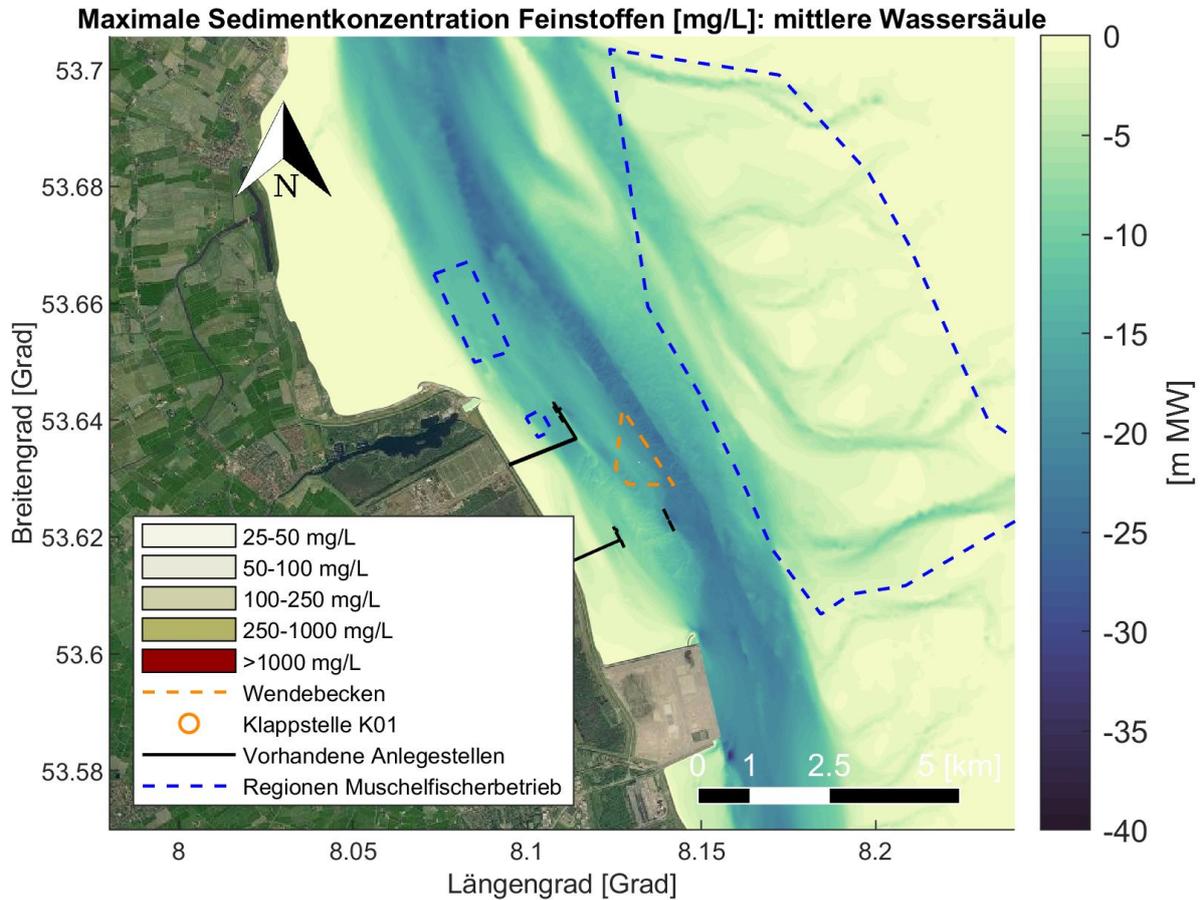


Abbildung 4-11 Maximale vorgefundene Sedimentkonzentration [mg/L] von Feinstoffen (< 210 [µm]) in der Mitte der Wassersäule während des Simulationszeitraums. Baggerszenario A, Nipptide-Bedingungen. Vergrößerte Darstellung rund um das Wendebekken und die Muschelfischerbetriebe.

|  |   |  |
|--|---|--|
| <br>  | Umgebung  |  |
| TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN  | Wilhelmshaven FSRU: Bericht über die Ausbreitung von Sedimentfahnen | Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2025_05  |
| TES-Code: TES-WHV-VGN-   |   | Seite 45 von 55  |

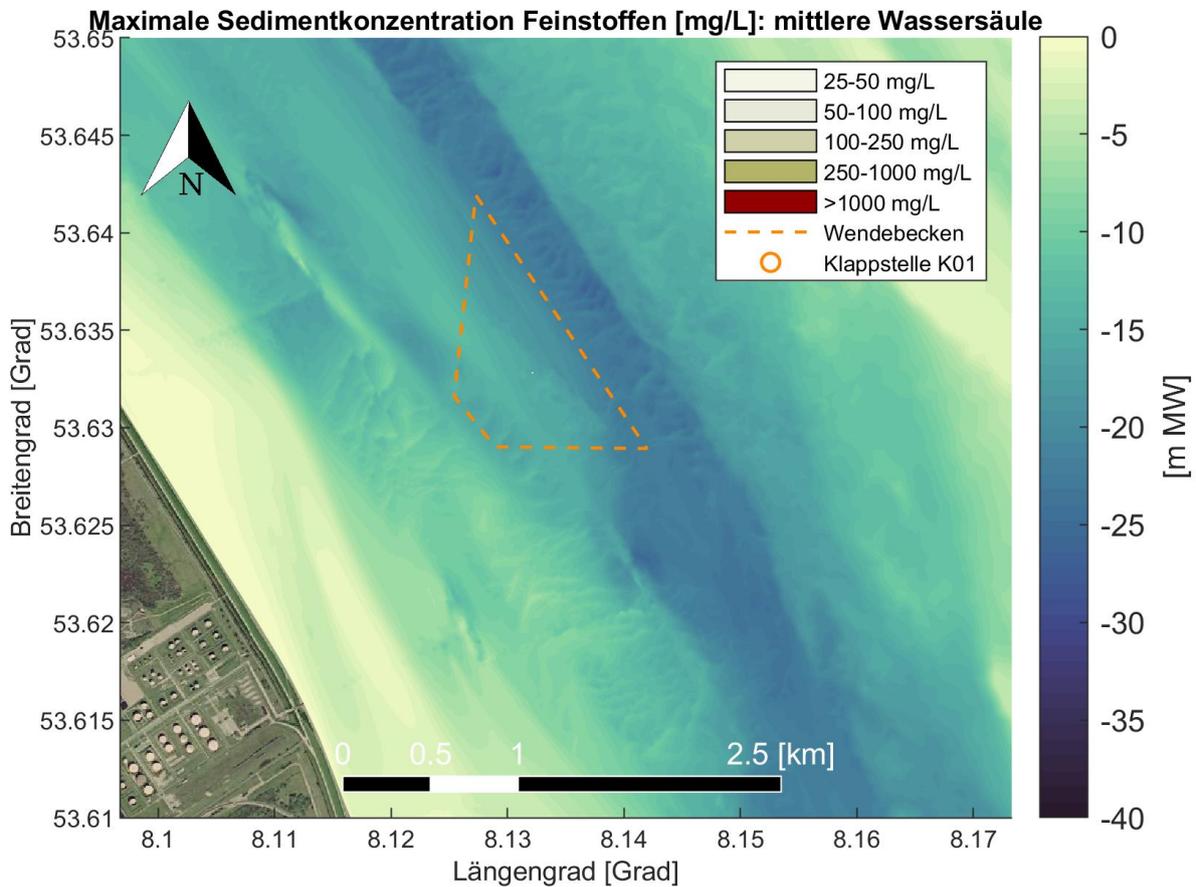


Abbildung 4-12 Maximale vorgefundene Sedimentkonzentration [mg/L] von Feinstoffen (< 210 [µm]) in der Mitte der Wassersäule während des Simulationszeitraums. Baggerszenario A, Nipptide-Bedingungen. Vergrößerte Darstellung rund um das Wendebecken.

#### 4.2.2 Baggerszenario B – Szenario mit hohem Prozentsatz an Feinstoffen

Abbildung 4-13 bis Abbildung 4-16 zeigen gefüllte Konturflächen der maximalen Sedimentkonzentration von Feinstoffen (< 210 µm) an der Wasseroberfläche und in der mittleren Wassersäule während des Simulationszeitraums, in dem Baggeraktivitäten im Zusammenhang mit dem Baggerszenario B stattgefunden haben. Aus der Ausdehnung dieser Konturen wird ersichtlich, dass der Schwellenwert von 250 mg/L an der Baggerstelle nicht überschritten wird. Am auffälligsten ist die Überschreitung des Wertes von 25 mg/L innerhalb des Wendebeckens. Hier sind streifenförmige Muster zu erkennen (entsprechend der Form der lokalen Gezeiten-Ellipse), die sich aus der schematisierten Positionsänderung des TSHD im Laufe der Zeit in Kombination mit der Phase der Gezeiten ergeben. Da der Wert von 25 mg/L in den Gebieten mit Muschelfischerbetrieben nicht überschritten wird, ist anzunehmen, dass keine nennenswerte Fahne in diese Bereiche gelangt. An der Klappstelle (K01) wird der Grenzwert von 250 mg/L nur innerhalb einer Ellipse mit einem Hauptradius von ca. 1,5 Kilometern überschritten. Die Gesamtfläche der Überschreitung ist in Tabelle 4-4 angegeben.

|  |   |  |
|--|---|--|
| <br>  | Umgebung  |  |
| TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN  | Wilhelmshaven FSRU: Bericht über die Ausbreitung von Sedimentfahnen | Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2025_05  |
| TES-Code: TES-WHV-VGN-   |   | Seite 46 von 55  |

Tabelle 4-4 Gesamtfläche mit Überschreitung der über die Tiefe gemittelten Konzentrationen in [km<sup>2</sup>]. Bagger szenario B, Springtide-Bedingungen.

| Über die Tiefe gemittelte Konzentrationen (c) von Feinstoffen [mg/L] | Gesamtfläche [km <sup>2</sup> ] |
|--|---------------------------------|
| c > 25 [mg/L]  | 37,3                            |
| c > 50 [mg/L]  | 24,5                            |
| c > 100 [mg/L]   | 13,0                            |
| c > 250 [mg/L]   | 4,8                             |
| c > 1000 [mg/L]  | 0,9                             |

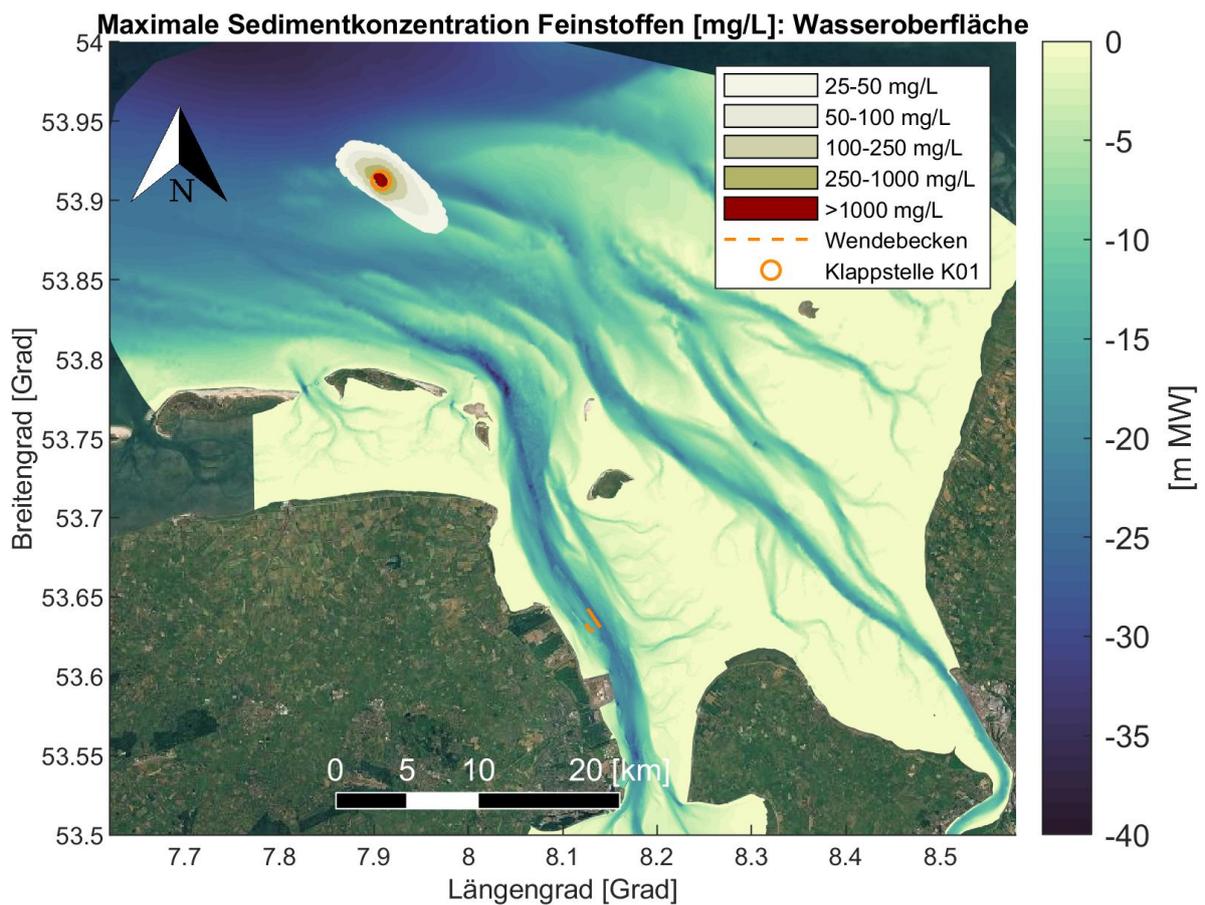


Abbildung 4-13 Maximale vorgefundene Sedimentkonzentration [mg/L] von Feinstoffen (< 210 [µm]) an der Wasseroberfläche während des Simulationszeitraums. Bagger szenario B, Nipptide-Bedingungen.

|  |   |  |
|--|---|--|
| <br>  | Umgebung  |  |
| TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN  | Wilhelmshaven FSRU: Bericht über die Ausbreitung von Sedimentfahnen | Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2025_05  |
| TES-Code: TES-WHV-VGN-   |   | Seite 47 von 55  |

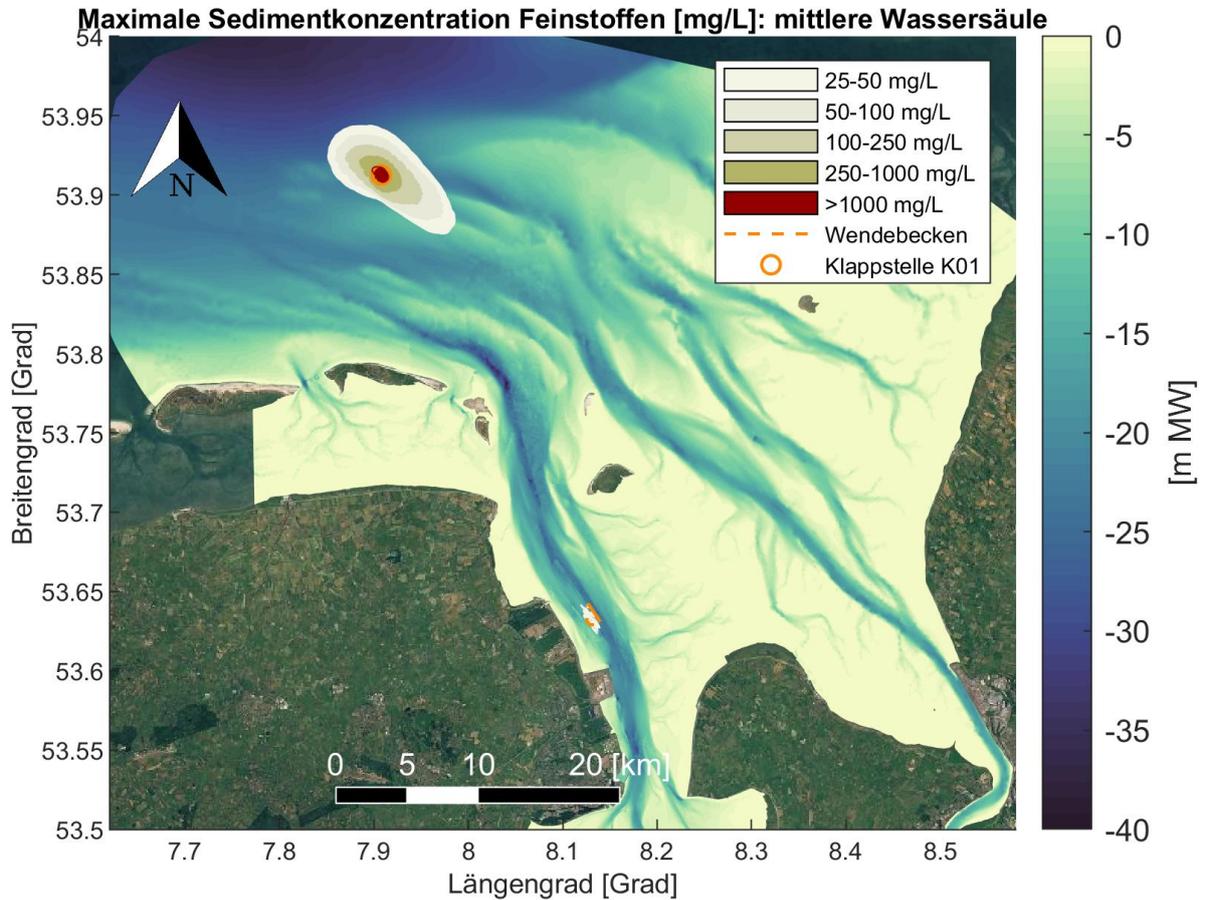


Abbildung 4-14 Maximale vorgefundene Sedimentkonzentration [mg/L] von Feinstoffen (< 210 [µm]) in der Mitte der Wassersäule während des Simulationszeitraums. Baggerszenario B, Nipptide-Bedingungen.

|  |   |  |
|--|---|--|
| <br>  | Umgebung  |  |
| TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN  | Wilhelmshaven FSRU: Bericht über die Ausbreitung von Sedimentfahnen | Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2025_05  |
| TES-Code: TES-WHV-VGN-   |   | Seite 48 von 55  |

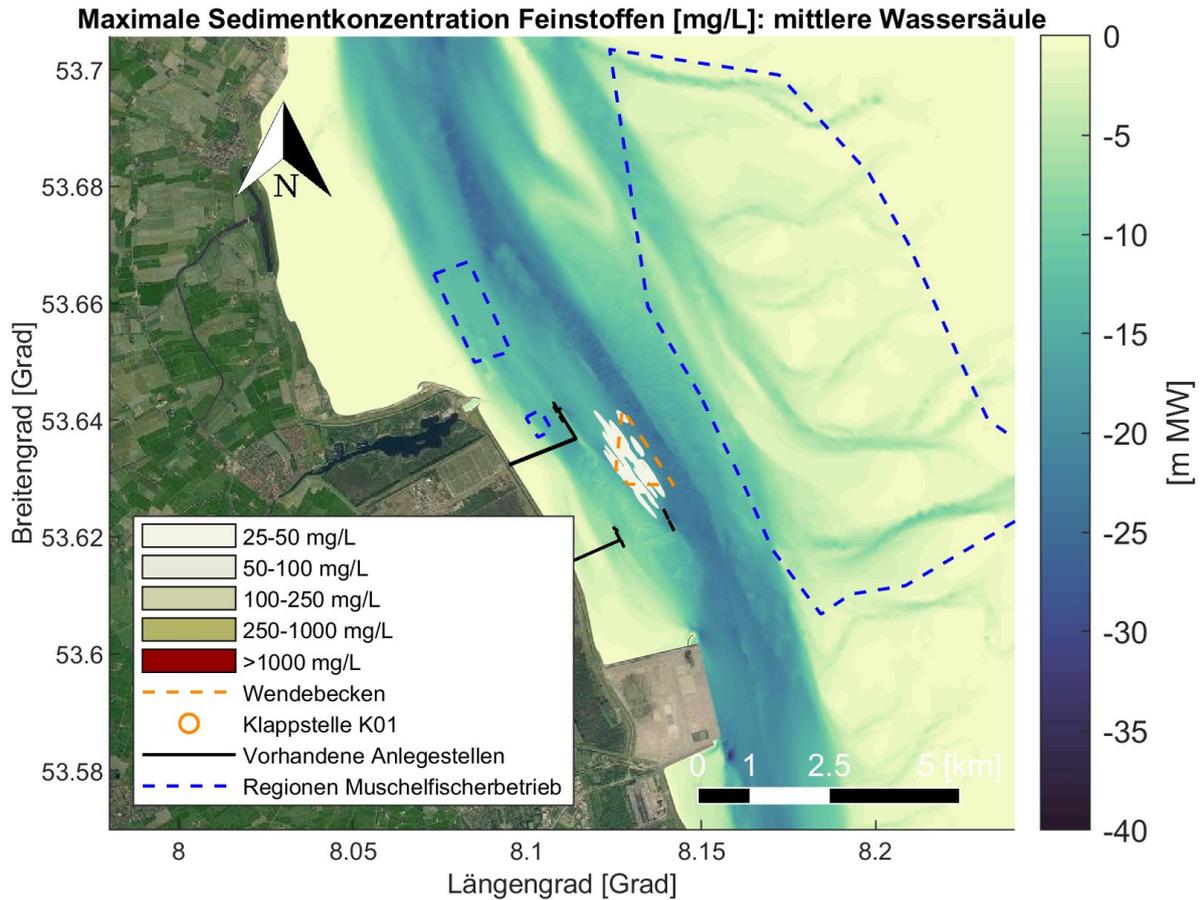


Abbildung 4-15 Maximale vorgefundene Sedimentkonzentration [mg/L] von Feinstoffen (< 210 [µm]) in der Mitte der Wassersäule während des Simulationszeitraums. Baggerszenario B, Nipptide-Bedingungen. Vergrößerte Darstellung rund um das Wendebucken und die Muschelfischerbetriebe.

|  |   |  |
|--|---|--|
| <br>  | Umgebung  |  |
| TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN  | Wilhelmshaven FSRU: Bericht über die Ausbreitung von Sedimentfahnen | Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2025_05  |
| TES-Code: TES-WHV-VGN-   |   | Seite 49 von 55  |

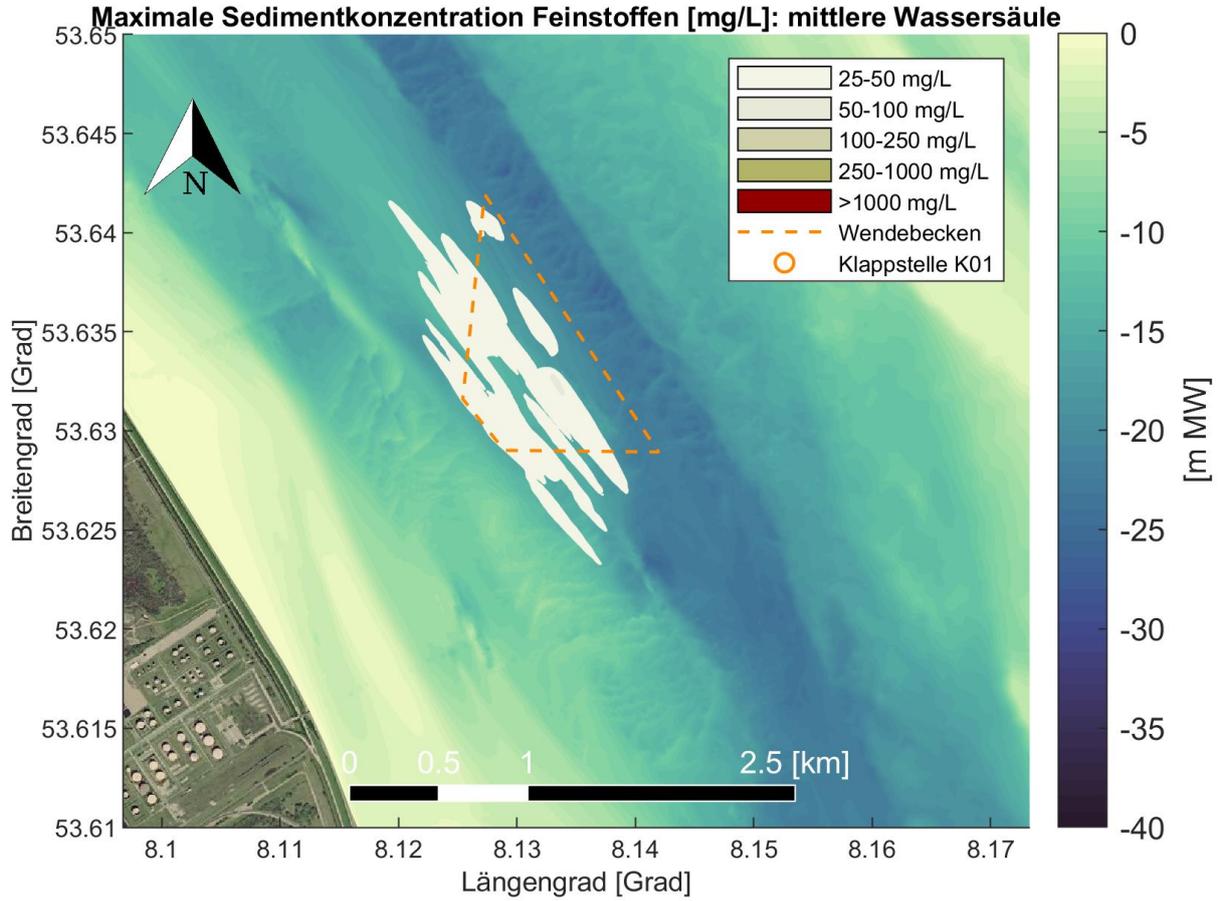


Abbildung 4-16 Maximale vorgefundene Sedimentkonzentration [mg/L] von Feinstoffen (< 210 [µm]) in der Mitte der Wassersäule während des Simulationszeitraums. Baggerszenario B, Nipptide-Bedingungen. Vergrößerte Darstellung rund um das Wendebecken.

|  |   |  |
|--|---|--|
| <br>  | Umgebung  |  |
| TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN  | Wilhelmshaven FSRU: Bericht über die Ausbreitung von Sedimentfahnen | Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2025_05  |
| TES-Code: TES-WHV-VGN-   |   | Seite 50 von 55  |

## 5 Schlussfolgerungen

In dieser Studie wurde ein Modell zur Ausbreitung von Sedimentfahnen verwendet, um die Ausbreitung von Feinsedimenten zu untersuchen, die durch die Baggerarbeiten im Wendebassin (einschließlich Liegewanne und Zufahrt) des Kurzzeitprojekts freigesetzt werden. Dazu wurde ein bestehendes hydrodynamisches TELEMAC-3D-Modell (IMDC, 2022a) mit dem Sedimenttransportmodul GAIA kombiniert. Es wurde nur die durch die Baggerarbeiten entstehenden Sedimente“ simuliert. Natürliche Sedimente in Suspension wurden nicht berücksichtigt. Angesichts der derzeitigen Phase des Projekts müssen die genauen Einzelheiten der Baggerarbeiten noch festgelegt werden. Daher wurden repräsentative Szenarien für die durchschnittlichen Spring- und Nipptidebedingungen erstellt (entsprechend dem Bericht über die Methodik (IMDC, 2022b)), die eine Bandbreite für die Interpretation der Modellergebnisse bieten.

Es wurden zwei Szenarien betrachtet: ein Referenzszenario und ein Szenario mit einem hohen Prozentsatz an Feinstoffen. Ausgehend von der durchschnittlichen Hintergrundkonzentration an Schwebstoffen im Projektgebiet von 250 mg/L wird ein Schwellenwert in ähnlicher Höhe festgelegt, um eine Grundlage für den Vergleich der Szenarienergebnisse zu schaffen. Die Auswirkungen der Szenarien wurden durch Überprüfung der maximalen Konzentrationen innerhalb der Simulationszeiträume bewertet.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Form der Sedimentfahnen mit der Form der Gezeiten-Ellipsen im Jadebusen übereinstimmt, d. h. in der Nähe des Baggerbereichs des Wendebassins länglich und in der Nähe der Klappstelle K01 runder ist. Für das Referenzszenario (während der Springtide) wird der Bereich, in dem die Spitzenkonzentration der Sedimente das Doppelte des festgelegten Schwellenwerts von 250 mg/L betragen würde, nur sehr lokal innerhalb des Wendebassins auf einem Sandrücken und innerhalb einer Ellipse mit einem Hauptradius von einem Kilometer um die Klappstelle überschritten. Bei einem hohen angenommenen Prozentsatz an Feinstoffen (Obergrenze der Feldbeobachtungen) nimmt das Ausmaß der Überschreitung des Schwellenwerts von 250 mg/L an der Baggerstelle nicht zu. Der Hauptradius der ellipsenförmigen Form des Ausmaßes der Überschreitung an der Klappstelle hingegen weitet sich auf bis zu zwei Kilometer.

Bei Nipptidebedingungen gibt es für das Referenzszenario an der Baggerstelle keine Überschreitung. An der Klappstelle hingegen wird eine Überschreitung innerhalb einer Ellipse mit einem Hauptradius von knapp einem Kilometer um die Klappstelle festgestellt. Bei einem hohen angenommenen Prozentsatz an Feinstoffen (Obergrenze der Feldbeobachtungen) ist im Baggerbereich immer noch keine Überschreitung festzustellen. Der Hauptradius der ellipsenförmigen Überschreitung an der Klappstelle hingegen weitet sich auf bis zu 1,5 Kilometer.

In keinem der Szenarien wird der Wert von 25 mg/L in den Gebieten mit Muschelfischerbetrieben überschritten. Es ist daher anzunehmen, dass keine nennenswerte Fahne in diese Bereiche gelangt.

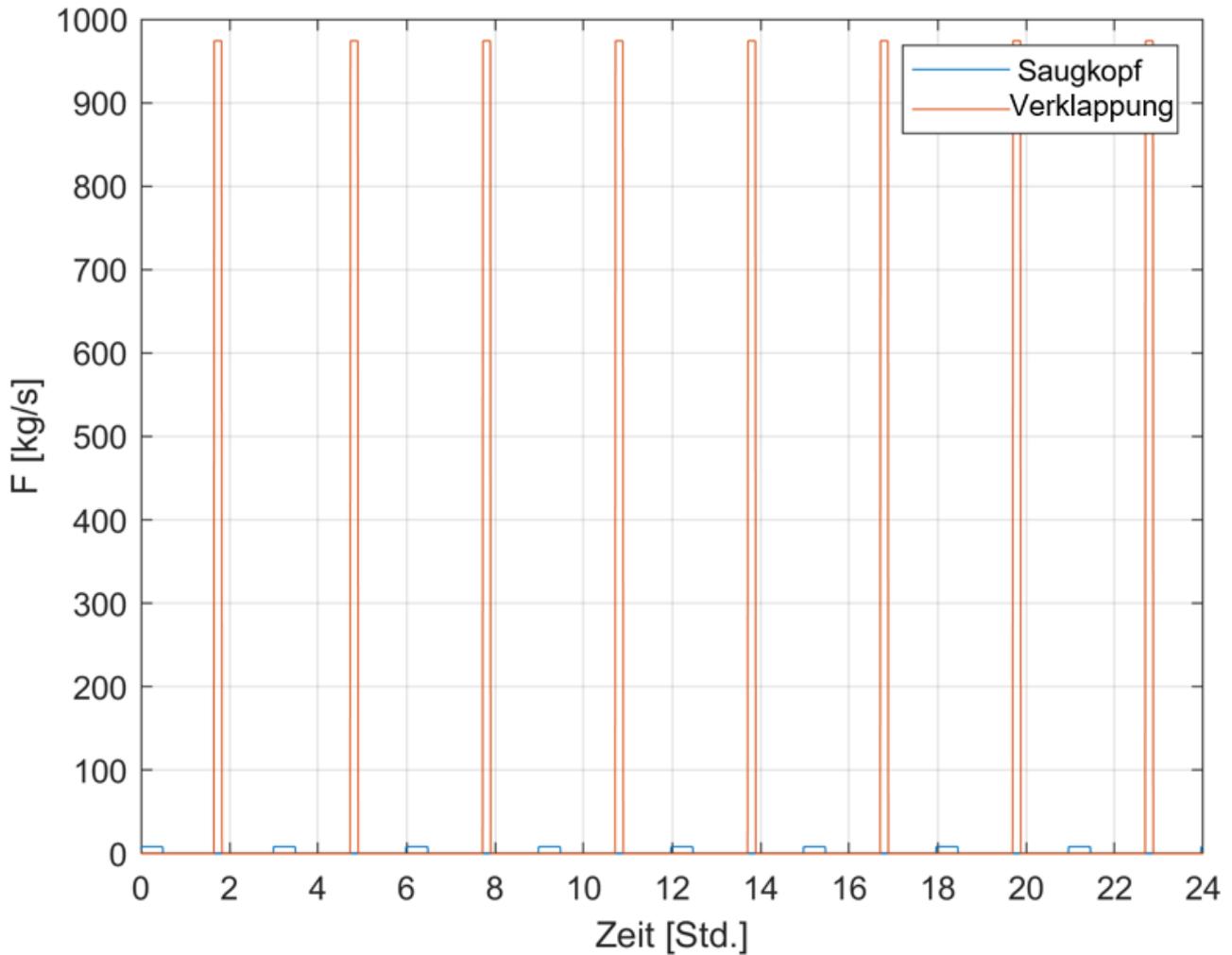
|  |   |  |
|--|---|--|
| <br>  | Umgebung  |  |
| TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN  | Wilhelmshaven FSRU: Bericht über die Ausbreitung von Sedimentfahnen | Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2025_05  |
| TES-Code: TES-WHV-VGN-   |   | Seite 51 von 55  |

## 6 Referenzen

- Anchor Environmental CA L.P. (2003). Literature review of effects of resuspended sediments due to dredging operations. Prepared for Los Angeles Contaminated Sediments Task Force.
- Decrop B. (2018). Onderbouwende nota slibpercentage in suspensie bij kleppen van specie. IMDC.
- Decrop B. (2015). Numerical and Experimental Modelling of Near-Field Overflow Plumes, PhD Thesis. Ghent University, KULeuven.
- Decrop B. & Bollen M. (2016). Innovative Simulation Tools for Turbidity Management. Proc. Twenty First World Dredg. Congr. WODCON XXI, Miami.
- IMDC (2022a). Environmental Conditions Report. I/RA/14330/22.186/SDO/JDG.
- IMDC (2022b). Wilhelmshaven FSRU: Preliminary Sediment Plume Dispersion Methodology. IMDC.
- IMP (2022). Erläuterungsbericht zum wasserrechtlichen Erlaubnis Antrag für die Einbringung von Baggergut in die Jade aus der Initial- und Unterhaltungsbaggerung zum geplanten LNG Terminal WHV. IMP-Bericht Nr. 430.
- Jensen J.H. & Saremi S. (2014). Overflow concentration and sedimentation in hoppers. *J. Waterw. Port Coast. Ocean Eng.*, 140(6).
- Winterwerp J.C. & van Kesteren W.G.M. (2004). Introduction to the physics of cohesive sediment in the marine environment. Elsevier, The Netherlands.

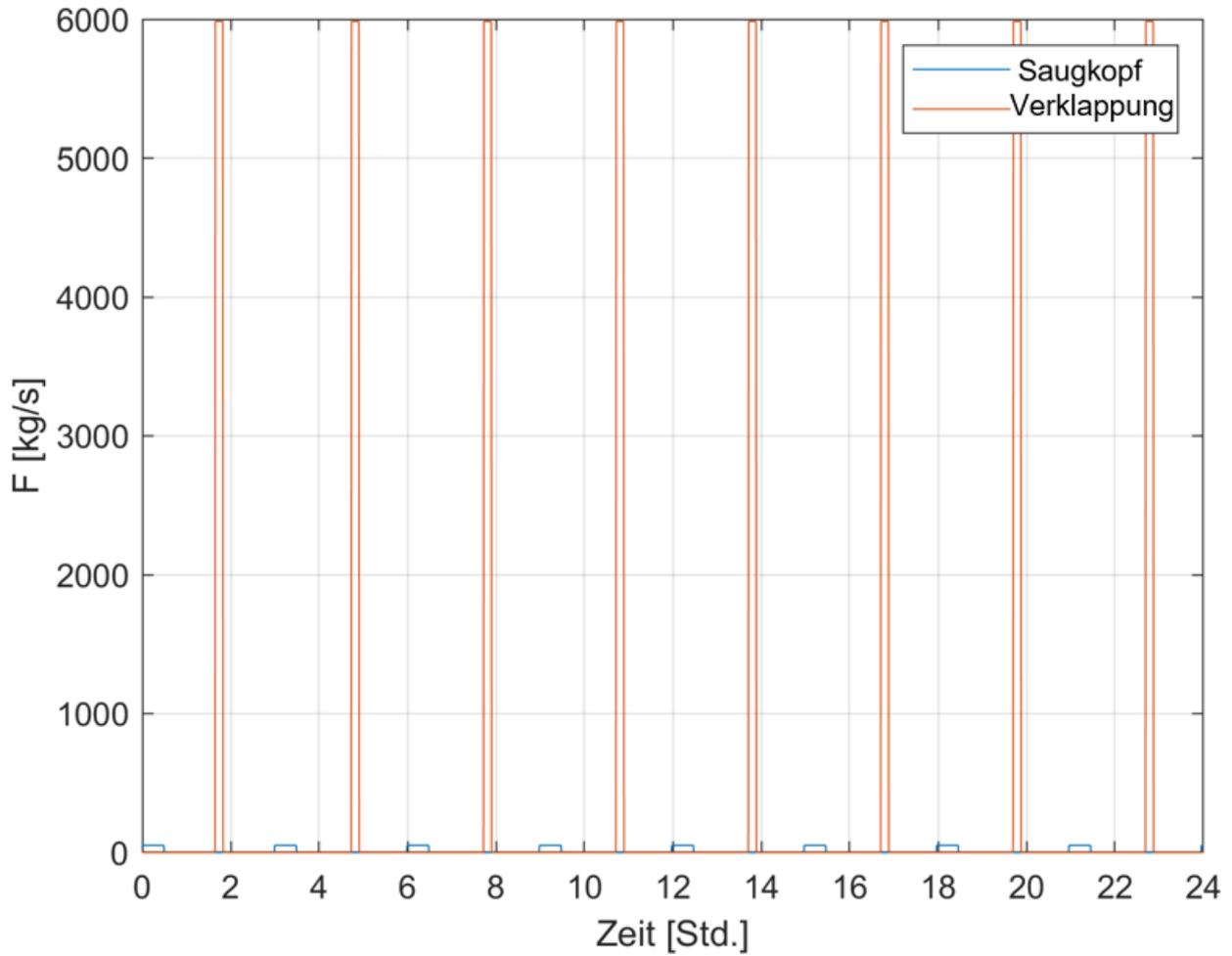
|  |   |  |
|--|---|--|
| <br>  | Umgebung  |  |
| TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN  | Wilhelmshaven FSRU: Bericht über die Ausbreitung von Sedimentfahnen | Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2025_05  |
| TES-Code: TES-WHV-VGN-   |   | Seite 52 von 55  |

## Anhang A



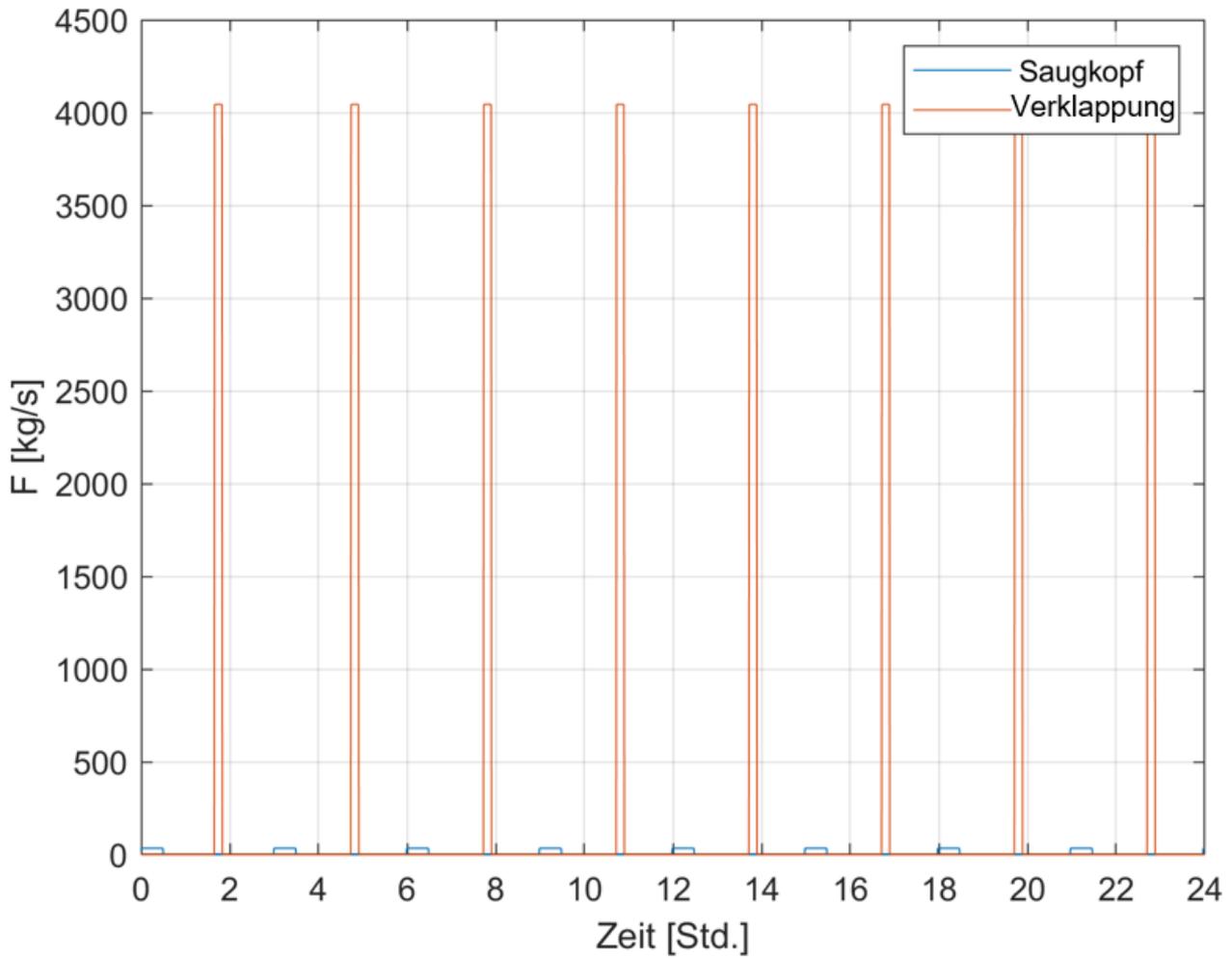
Abbildung\_Anhang A-1: Zeitreihe (24-Stunden-Snapshot) der berücksichtigten Quelle von Feinstoffen ( $dp < 63 \text{ mm}$ ) [ $\text{kg/s}$ ] als Ergebnis der Baggeraktivitäten von Szenario A.

|  |   |  |
|--|---|--|
| <br>  | Umgebung  |  |
| TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN  | Wilhelmshaven FSRU: Bericht über die Ausbreitung von Sedimentfahnen | Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2025_05  |
| TES-Code: TES-WHV-VGN-   |   | Seite 53 von 55  |



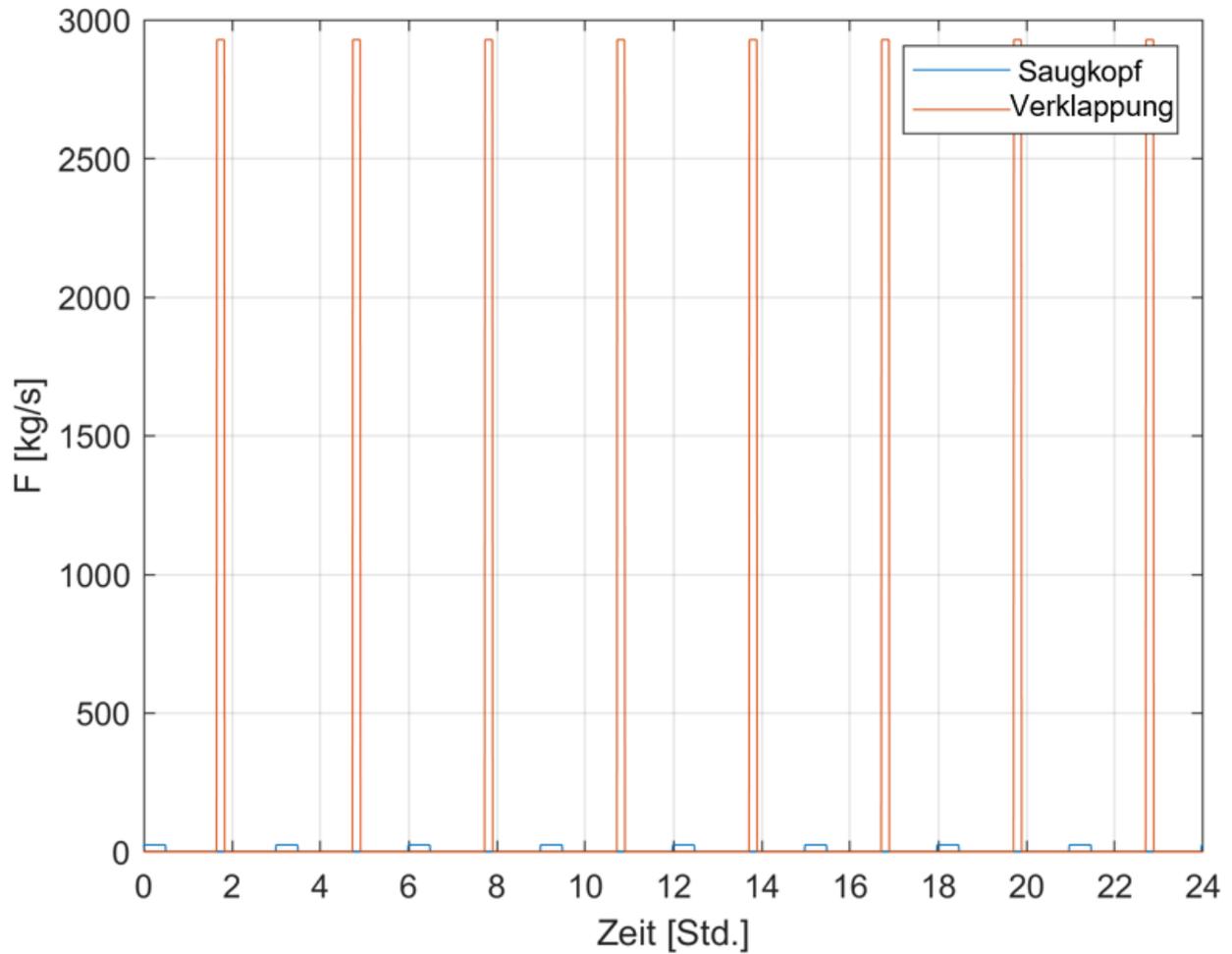
Abbildung\_Anhang A-2: Zeitreihe (24-Stunden-Snapshot) der berücksichtigten Quelle von feinem Sand ( $d_p=210 \text{ mm}$ ) [kg/s] als Ergebnis der Baggeraktivitäten von Szenario A.

|  |   |  |
|--|---|--|
| <br>  | Umgebung  |  |
| TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN  | Wilhelmshaven FSRU: Bericht über die Ausbreitung von Sedimentfahnen | Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2025_05  |
| TES-Code: TES-WHV-VGN-   |   | Seite 54 von 55  |



Abbildung\_Anhang A-3: Zeitreihe (24-Stunden-Snapshot) der berücksichtigten Quelle von Feinstoffen ( $dp < 63 \text{ mm}$ ) [kg/s] als Ergebnis der Baggeraktivitäten von Szenario D.

|  |   |  |
|--|---|--|
| <br>  | Umgebung  |  |
| TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN  | Wilhelmshaven FSRU: Bericht über die Ausbreitung von Sedimentfahnen | Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2025_05  |
| TES-Code: TES-WHV-VGN-   |   | Seite 55 von 55  |



Abbildung\_Anhang A-4: Zeitreihe (24-Stunden-Snapshot) der berücksichtigten Quelle von feinem Sand ( $d_p=210$  mm) [kg/s] als Ergebnis der Baggeraktivitäten von Szenario D.