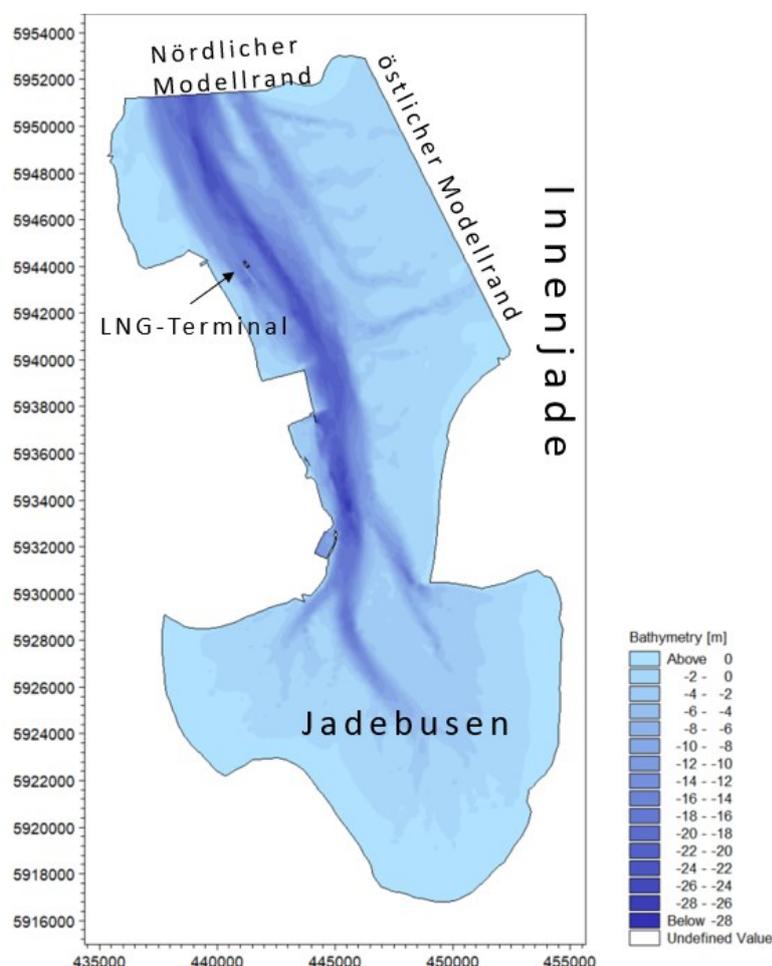


LNG Terminal Wilhelmshaven

Ausbreitung des eingeleiteten Biozids durch die FSRU und den LNG Tanker in die Jade

Aktualisierung 2022



Uniper Global Commodities SE

Bericht

Juni 2022

This report has been prepared under the DHI Business Management System certified by Bureau Veritas to comply with ISO 9001 (Quality Management)



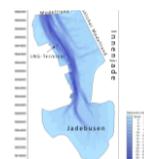
Erstellt von		Genehmigt von
<p style="text-align: right;">15.08.2022</p> <p>X </p> <hr/> <p>Approved by</p> <p>Signed by: Hendrik Gohmann</p>		<p style="text-align: right;">15/08/2022</p> <p>X </p> <hr/> <p>Approved by</p> <p>Signiert von: Christian Pohl</p>

LNG Terminal Wilhelmshaven

Ausbreitung des eingeleiteten Biozids durch die FSRU und den LNG Tanker in die Jade

Aktualisierung 2022

Erstellt für: Uniper Global Commodities SE
Vertreten durch: Ansgar Brauer, Lukas Kivilip
Adresse: Holzstraße 6
40221 Düsseldorf, Germany



© DHI WASY

Projektmanager	Hendrik Göhmann
Qualitätssicherung	Antje Becker
Projektbearbeiter	ASC, HELS
Projektnummer	14806622
Datum Freigabe	30.06.2022
Revision	Version: 2.0
Einstufung	Vertraulich

INHALT

1	Veranlassung und Zielsetzung.....	1
2	Vorgehensweise und Anforderungen.....	2
2.1	Modellgebiet.....	2
2.2	Datengrundlage und verwendete Unterlagen	4
3	Modell	5
3.1	Aktualisierung der Bathymetrie	5
3.2	Software MIKE 3 Flow Model FM für 3D hydrodynamische Modellierung	6
3.3	Advektions-Dispersions-Transportmodul	8
3.4	Particle Tracking Modul	8
4	Hydraulische Daten und Randbedingungen	9
4.1	Hydraulische Randwerte	9
4.2	Randwerte Transportmodul	9
4.3	Randwerte Particle Tracking Module	11
5	Ergebnisse Biozidausbreitung.....	13
5.1	Auswertung im Bereich der Innenjade und des Jadebusens	13
5.1.1	Vorherrschende Strömungen.....	13
5.1.2	Maximal- und Mittelwertauswertung im Nahbereich	14
5.1.3	Zeitlicher Verlauf der Biozidkonzentration im Nahbereich des LNG-Terminals	18
5.1.4	Zeitlicher Verlauf der Biozidkonzentration in Innenjade und Jadebusen.....	24
5.2	Untersuchungen zum Transport- und Sedimentationsverhalten von Partikeln	27
6	Zusammenfassung.....	30
7	Literatur	32

ABBILDUNGEN

Abbildung 2-1:	Bathymetrie des 3D- Jade-Modells mit Lage des LNG-Terminals. Die gestrichelte Linie symbolisiert die Grenze zwischen Innenjade und Jadebusen.....	3
Abbildung 3-1:	Angepasstes Berechnungsgitter im Bereich des geplanten Terminals mit Darstellung der FSRU und des LNG-Tankers	5
Abbildung 3.2:	Prinzip eines 3D-Netzes nach σ -Methode.....	8
Abbildung 4-1:	Wasserstand Pegel Schillig am Modellrand für den Modellzeitraum 01.03.2021 bis 31.5.2021.....	9
Abbildung 4-2:	Lage der modellierten Auslässe im Modell.....	10
Abbildung 5-1:	Tiefengemittelte mittlere Strömungsgeschwindigkeiten für den modellierten Zeitraum 15.03.2021-31.05.2021.....	14
Abbildung 5-2:	Maximale tiefengemittelte Biozidkonzentration	15
Abbildung 5-3:	Maximale sohlnahe Biozidkonzentration	16
Abbildung 5-4:	Mittlere tiefengemittelte Biozidkonzentration	17
Abbildung 5-5:	Mittlere sohlnahe Biozidkonzentration.....	17
Abbildung 5-6:	Lage der Liegewanne und Auswertungspunkten im Nahbereich an relevanten Standorten aus umweltschutzfachlicher Sicht	18

Abbildung 5-7: Zeitlicher Verlauf der Biozidausbreitung im Bereich der Liegewanne über die Wassersäule	19
Abbildung 5-8: Zeitlicher Verlauf der Biozidausbreitung (Wassersäule) an der Muschelbank (Langleinenkulturen) und Wasserstand am Pegel Schillig (oben: gesamter Modellzeitraum, unten: exemplarische Detailansicht vom 10.04. bis 13.04.2021)..	20
Abbildung 5-9: Zeitlicher Verlauf der Biozidausbreitung (Wassersäule) im §30 Biotop und Wasserstand am Pegel Schillig (oben: gesamter Modellzeitraum, unten: exemplarische Detailansicht vom 10.04. bis 13.04.2021)	22
Abbildung 5-10: Zeitlicher Verlauf der Biozidausbreitung am Auswertepunkt Hooksiel Nord (NP Niedersächsisches Wattenmeer)	23
Abbildung 5-11: Zeitlicher Verlauf der Biozidausbreitung am Auswertepunkt Hohe Weg Watt (NP Niedersächsisches Wattenmeer)	23
Abbildung 5-12: Zeitlicher Verlauf der Biozidausbreitung am Auswertepunkt Hooksiel Watt (NP Niedersächsisches Wattenmeer)	24
Abbildung 5-13: Auswertepunkte für den Fernbereich im Jadebusen (Vareler Fahrwasser) und an der Grenze Innenjade/Jadebusen	25
Abbildung 5-14: Zeitlicher Verlauf der tiefengemittelten Biozidkonzentration im Fernbereich an den Auswertepunkten „Nördlicher Modellrand“ (oben), „Grenze Innenjade/Jadebusen“ (Mitte) und „Innenjade“ (unten)	26
Abbildung 5-15: Gemittelttes sedimentiertes Material der 20 µm (links) und 63 µm Korngrößenfraktion (rechts) über den gesamten Modellzeitraum	27
Abbildung 5-16: Alter der sedimentierten Partikel zum Ende des Modelllaufs bei Hochwasser (Strömungskenterpunkt)	29
Abbildung 5-17: Alter der sedimentierten Partikel zum Ende des Modelllaufs bei Niedrigwasser (Strömungskenterpunkt)	29

TABELLEN

Tabelle 2-1: Verwendete Daten	4
Tabelle 4-1: Volumenstrom und Biozidkonzentration an den modellierten Auslässen	10
Tabelle 4-2: Berücksichtigte Korngrößen-spezifische Sinkgeschwindigkeiten und kritische Sohlschubspannungen /5/	11

1 Veranlassung und Zielsetzung

Uniper Global Commodities SE (UNIPER SE) plant den Betrieb eines Flüssigerdgas- (LNG-) Import-Terminals zur Anlandung und Regasifizierung von LNG in Wilhelmshaven. Dabei soll das LNG- Terminal wasserseitig als LNG-Tankschiff mit Regasifizierungsanlage (Floating Storage and Regasification Unit, FSRU) ausgeführt werden. Über LNG-Tankschiffe wird das Flüssigerdgas angeliefert und auf der FSRU gespeichert.

Es ist vorgesehen, dass bei Betrieb des LNG-Terminals Seewasser zu verschiedenen Zwecken an Bord der FSRU genutzt wird. Das aus der Jade entnommene Wasser wird im Anschluss mit einer bekannten und konstanten Biozidkonzentration zurück ins Gewässer eingeleitet. Auch über den LNG-Tanker erfolgt eine Einleitung von Biozid.

Ziel der vorliegenden Studie ist es, die Einmischung und Ausbreitung des eingeleiteten Biozids mittels hydrodynamischer Modellrechnung zu untersuchen.

Für die Berechnung der Ausbreitung der eingeleiteten Substanzen wurden die Eingangsparameter konservativ gewählt, um durch das Simulationsergebnis die größten möglichen Auswirkungen (worst-case) abzubilden.

Für die Simulation wurde eine Einleitkonzentration von 0,2 mg/l Cl₂ im Seewasser ohne Berücksichtigung von Abbauprozessen angenommen. Hier handelt es sich um einen im Gutachten zu Grunde gelegten theoretischen Wert, der eher auf der konservativen Seite liegt. In der Realität sind geringere Werte zu erwarten.

Neben dieser Untersuchung der Ausbreitung von Bioziden als gelöster Stoff soll eine Abschätzung erfolgen, an welchen Orten durch Anhaften von Chlornebenprodukte wie z.B. Brom an Sedimentpartikel ggf. Akkumulationen durch Sedimentation auftritt. Hierfür wird der Partikel-Verfolgungs-Ansatz (sog. Particle Tracking) verwendet, in dem eine mögliche Anlagerung der Biozidmoleküle an Schwebstoffpartikel (partikuläre Phase) anhand der Berechnung von Transport-, Sedimentations- sowie Erosionsprozessen ohne Abbau- und Ausgasungsprozesse betrachtet werden.

DHI WASY hat 2021 bereits eine Studie zur Ausbreitung des eingeleiteten Biozids durch die FSRU und den LNG-Tanker in die Jade /1/ durchgeführt. Infolge von Planungsänderungen bezüglich der Position des Anlegers der FSRU sowie der Einleitmengen des Seewassers in die Jade ist eine Aktualisierung der bestehenden Studie zur Biozidausbreitung erforderlich.

2 Vorgehensweise und Anforderungen

Zur Untersuchung der Ausbreitung des eingeleiteten Biozids wurde das bestehende 3-dimensionale (3D) numerische Jade-Modell aus vorheriger Studie /1/ an die neuen Planungen angepasst, wobei gleichzeitig aktuellere Peildaten verwendet wurden.

Die Berechnung der Szenarien für gelöstes Biozid und an Schwebstoffpartikel haftende Biozid-Moleküle erfolgte über einen Simulationszeitraum von 12 Wochen. Die Auswertung der Szenarien erfolgte in Form von Maximal- und Mittelwerten. Weiterhin wurden die Biozid-Konzentrationen als Zeitreihen an umweltrelevanten Positionen (im Nationalpark Niedersächsisches Wattenmeer, Muschelbank (Langleinkulturen), §30-Biotop nach BNatSchG /6/, Grenze Innenjade-Jadebusen, Jadebusen) dargestellt.

Die Ergebnisse wurden analog zur vorigen Studie vom März 2021 ermittelt, analysiert und dargestellt.

Im Einzelnen lässt sich die vorliegende Studie in folgende Arbeitsschritte gliedern:

- Übernahme des 3D-Modells aus den Untersuchungen zur Biozidausbreitung bei Einleitung durch die FSRU und den LNG Tanker /1/
- Optimierung der Berechnungsgitter im Bereich von Liegewanne und Zufahrtsbereich zur Verminderung der Rechenzeit
- Aktualisierung der Gewässertiefen anhand aktueller Peildaten
- Berechnung der Einleitung und Einmischung von Biozid ins Gewässer für einen Simulationszeitraum über 12 Wochen
- Statistische Auswertung der ermittelten Biozid-Konzentrationen im Gewässer
- Analyse und Darstellung der Konzentrationsänderungen im Nahbereich des LNG-Terminals und im Fernbereich inkl. Besonderer Berücksichtigung umweltrelevanter Standorte
- Erweiterung des 3D-Modells um das sog. Particle Tracking Modul zur approximierten Modellierung der Transportprozesse, um anhand von zwei repräsentativen Größenklassenfraktionen den Transport und mögliche Akkumulationen zu analysieren
- Berechnung des Transports und des Verbleibs von partikulären Biozidmolekülen über 12 Wochen

2.1 Modellgebiet

Die geplante Lage des LNG-Terminals Wilhelmshaven befindet sich wasserseitig im Umfeld des Voslapper Grodens Wilhelmshaven in der Innenjade. Innenjade und Jadebusen sind zusammen ca. 36 km lang und zwischen 4 km und 15 km breit, während die Tiefe auf mehr als 20 m zunehmen kann. Ungefähr 60 % der Fläche kann zeitweise trockenfallen (Wattgebiete), wobei fast die Hälfte davon (46 %) auf den Jadebusen entfällt /3/. Der überwiegende Teil der Innenjade und des Jadebusens ist dem FFH-Gebiet Nationalpark „Niedersächsisches Wattenmeer“ zugehörig.

Das 3D-Modell umfasst vom Untersuchungsgebiet die Bereiche der Innenjade und den gesamten Jadebusen und wird im Norden auf Höhe des Pegels Schillig

begrenzt. Im Osten wird das Modell durch das Hohe-Weg-Watt begrenzt. Der östliche Modellrand verläuft von Süd nach Nord durch das Watt.

Abbildung 2-1 zeigt die Bathymetrie im verwendeten 3D-Modell der Jade.

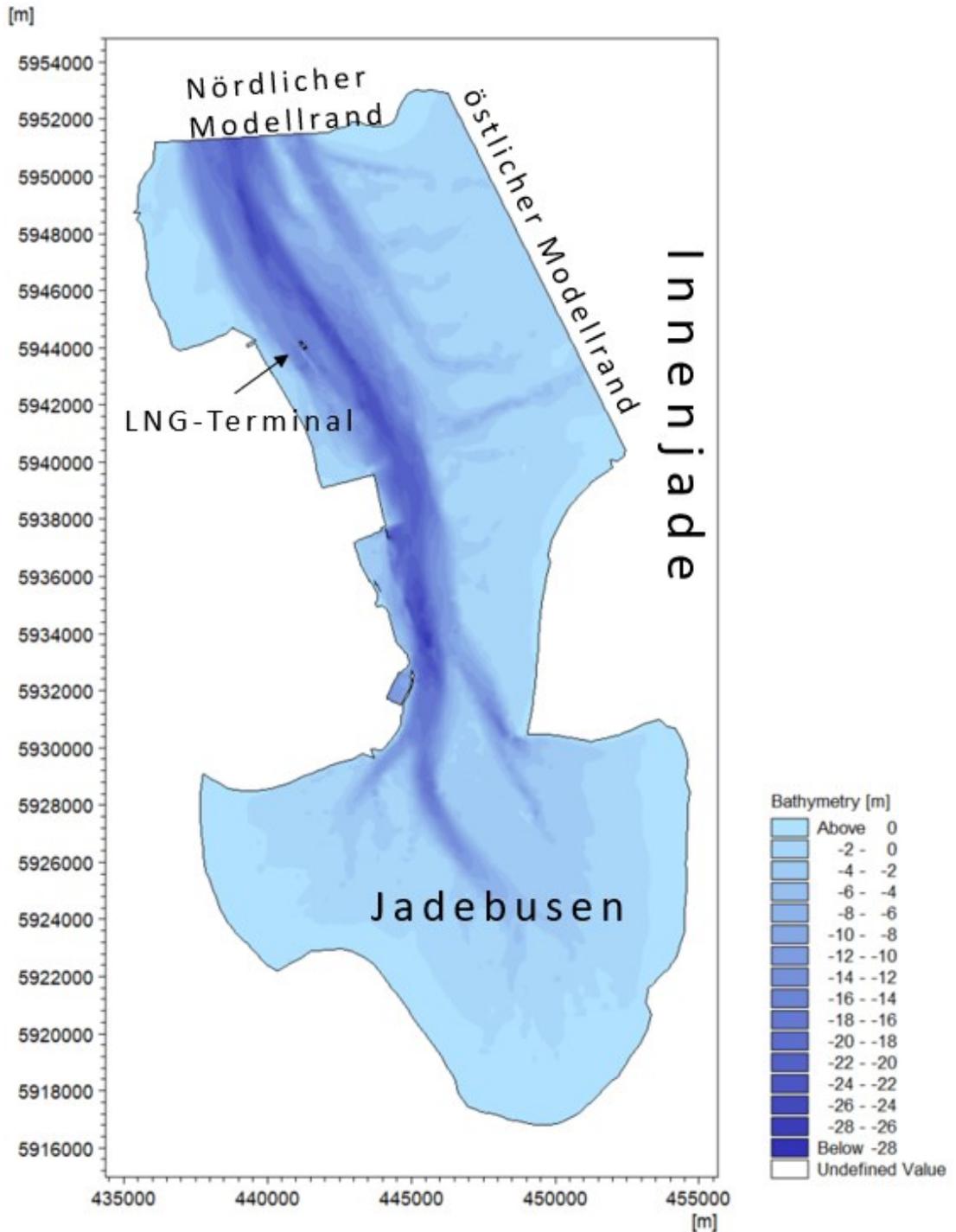


Abbildung 2-1: Bathymetrie des 3D- Jade-Modells mit Lage des LNG-Terminals. Die gestrichelte Linie symbolisiert die Grenze zwischen Innenjade und Jadebusen.

2.2 Datengrundlage und verwendete Unterlagen

Für das numerische Modell und die Erweiterungsmodule für Transport und Partikelverfolgung wurden die in Tabelle 2-1 angegebenen Datensätze verwendet.

Tabelle 2-1 Verwendete Daten

Bereitgestellt durch	Datensatz	Stand
DHI WASY	Numerisches Modell Jade	2021
WSA Wilhelmshaven	Wasserstand Pegel Schillig für das Jahr 2021	2021
WSV	Digitales Geländemodell der Jade	2018
UNIPER	lokalen Peilungen und derzeitigen Planungsdaten zu Liegewanne	2022
UNIPER	Shapefile zur Lage von FSRU, LNG-Tanker	Mai 2022
UNIPER	Geographische Lage & Tiefe der Einleitstellen; Informationen zu den Einleitmengen (Volumenstrom und Biozidkonzentration)	2022

Alle Daten wurden, wenn nicht bereits entsprechend vorliegend, in das Koordinatensystem ETRS 1989 UTM 32N überführt.

3 Modell

Basis der Untersuchung bildet das 3D-Modell der Jade aus vorheriger Ausbreitungsstudie /1/, dass, wie nachfolgend, beschrieben aktualisiert wurde. Als hydrodynamische Modellsoftware wurden MIKE 3 FM HD sowie die Erweiterungen Advektions-Dispersions-Transportmodul und Particle Tracking Modul verwendet, die in den Kapiteln 3.2 bis 3.4 beschrieben sind.

3.1 Aktualisierung der Bathymetrie

Die neueren Bathymetrie-Daten der WSV von 2018 wurden zusammen mit den lokalen Peilungen integriert. Derzeitige Planungsdaten zur Liegewanne wurden in das bestehende Modell eingebaut.

Das Modellgebiet ist in horizontaler Richtung in Bereiche mit quadrangulären (viereckigen) sowie triangulären (dreieckigen) Elementen unterschiedlicher Größe eingeteilt. Das Berechnungsnetz (Mesh) besteht in der Horizontalen aus 30353 Elementen. In der Vertikalen ist das Mesh in 8 Schichten (sogenannten Layer) aufgeteilt, wobei sich die Schichtdicke während der Simulation variabel sowohl dem tidebeeinflussten Wasserstand als auch der anstehenden Sohllagen anpasst

Die höchste Modellauflösung in der Horizontalen ist im Bereich der Liegewanne gegeben (Abbildung 3-1). Hier haben die Elemente eine Größe von $<200 \text{ m}^2$. Die größte Elementauflösung befindet sich im Jadebusen und westlich der Fahrinne in der Innenjade mit maximal 76.000 m^2 pro Element.

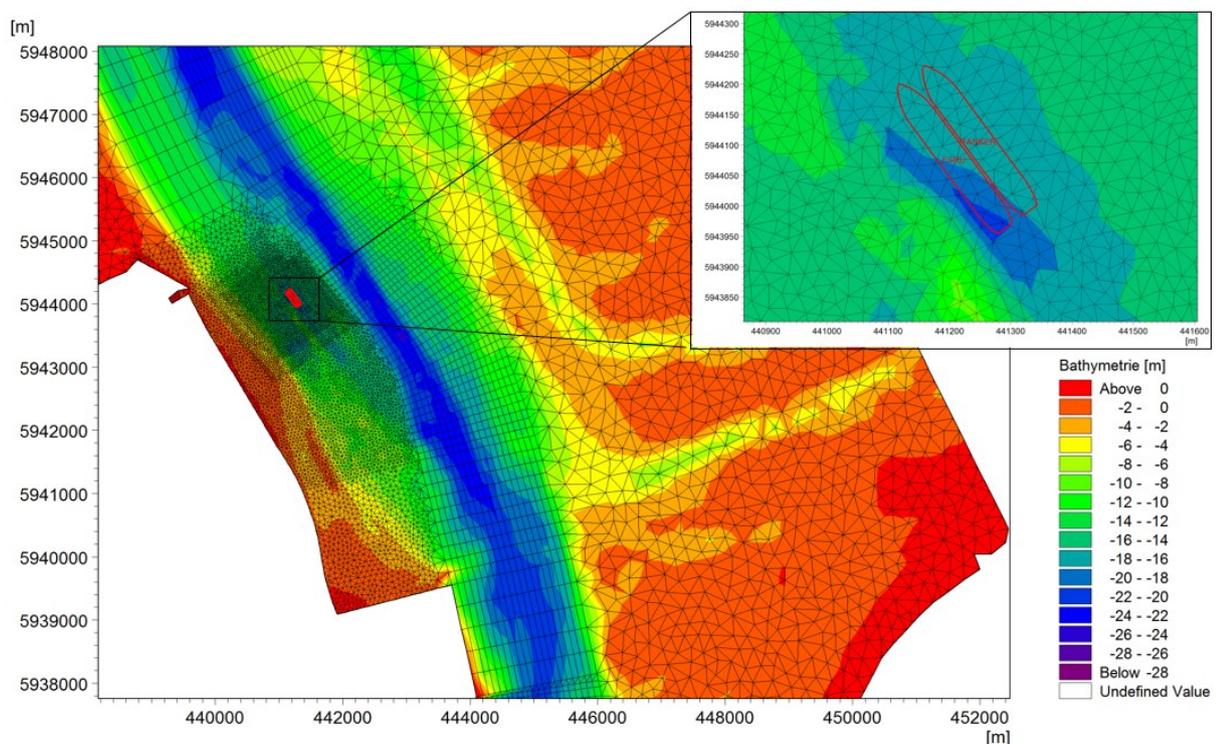


Abbildung 3-1: Angepasstes Berechnungsgitter im Bereich des geplanten Terminals mit Darstellung der FSRU und des LNG-Tankers

3.2 Software MIKE 3 Flow Model FM für 3D hydrodynamische Modellierung

Das MIKE 3-Programmsystem¹ wurde speziell für die Modellierung von 3-dimensionalen (3D), instationären Strömungsprozessen in Ästuaren und Fließgewässern entwickelt. Die Software basiert auf der Lösung partieller Differenzialgleichungen für inkompressible Flüssigkeiten mit wahlweise hydrostatischem (Flachwassergleichungen) oder nicht-hydrostatischem (Navier-Stokes-Gleichungen).

Zur Berechnung der hydrodynamischen Prozesse werden in den Gleichungen u.A. folgende Einflüsse berücksichtigt:

- Gezeitenströmungen
- Einfluss von Auftrieb und Schichtung auf Grund unterschiedlicher Dichten
- Turbulente Diffusion, Advektion und Dispersion
- Variable Bathymetrien und Sohlrauheiten
- Überflutung und Trockenfallen von gezeitenbeeinflussten Bereichen
- Sohlrauheit nach Nikuradse
- Effekte von Zuflüssen und Rückgabebauwerken
- Turbulenz mit einem gemischten k-ε Modells im vertikalen und einen Smagorinsky-Ansatz in der Horizontalen
- Wirkung von Salinität oder Temperatur

Beispielhaft sind hier die Gleichungen für den hydrostatischen Druckansatz wiedergegeben, der in diesem Projekt zur Anwendung kam.

Die 3D-Kontinuitätsgleichung lautet:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = S$$

Unter der Verwendung von kartesischen Koordinaten lauten die zwei horizontalen Reynolds-gemittelten Navier-Stokes-Gleichungen für die x- und y-Komponenten:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial vu}{\partial y} + \frac{\partial wu}{\partial z} \\ = f \cdot u - g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} \\ - \frac{g}{\rho_0} \int_z^n \frac{\partial \rho}{\partial x} \partial z + F_u + \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu_t \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu_t \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu_t \frac{\partial u}{\partial z} \right) + u_s S \end{aligned}$$

¹ <https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-21-3>

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial vu}{\partial x} + \frac{\partial v^2}{\partial y} + \frac{\partial wv}{\partial z} \\ = f \cdot v - g \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial y} \\ - \frac{g}{\rho_0} \int_z^\eta \frac{\partial \rho}{\partial y} dz + F_u + \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu_t \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu_t \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu_t \frac{\partial v}{\partial z} \right) + v_s S \end{aligned}$$

Mit:

x, y, z	Kartesische Koordinaten
u, v, w	Strömungsgeschwindigkeitskomponenten in x, y, z Richtung [m/s]
ν_t	Wirbelviskosität [m ² /s]
t	Zeit [s]
f	Coriolisbeschleunigung = $2\Omega \sin \phi$
η	Lage der Gewässeroberfläche
g	Erdbeschleunigung [m/s ²]
ρ_0	Referenzdichte des Wassers [kg/m ³]
p_a	Atmosphärischer Druck [N/m ²]
S	Betrag des Zuflusses aus Punktquellen [m ³ /s/m ³]
u_s, v_s	Einleitgeschwindigkeit an der Punktquelle [m/s]

Für die Abbildung des Fließwiderstandes an der Sohle kann zwischen den empirischen Ansätzen des Chezy-Koeffizienten C , der Mannings' Rauheit n oder der Nikuradse Rauheit k_n bzw. als äquivalente Sandrauheit k_s , gewählt werden.

Die Wirbelviskositäten ν_t können als konstanter Wert, als zeitveränderliche Funktion der lokalen Gradienten der Strömungsgeschwindigkeiten (Ansatz nach Smagorinsky) oder als Ergebnis eines gemischten k - ε Modells (1D- k - ε -Modell in der Vertikalen und des Smagorinsky-Ansatzes in der Horizontalen) angegeben werden.

Die räumliche Diskretisierung wird mit Hilfe der elementzentrierten Finite-Volumen-Methode vorgenommen. Die Topographie und Bathymetrie wird in der Ebene in ein unstrukturiertes Netz aus dreieckigen und viereckigen Elementen diskretisiert. Die vertikale Auflösung erfolgt strukturiert nach der z -, σ - oder der kombinierten σ - z -Methode.

Bei der z -Methode wird die Gesamtwassersäule in Schichten sogenannte Layer mit gleichbleibender Mächtigkeit aufgeteilt. Die vertikalen Elemente können innerhalb der Wassersäule unterschiedlich mächtig definiert werden, variieren aber weder räumlich noch zeitlich.

Mittels der σ -Methode wird die vertikale Diskretisierung auf Basis der vertikalen Ausprägung der Wasserspiegeloberfläche und der Sohltopographie realisiert

(Abbildung 3.2). D.h. die Mächtigkeit der vertikalen Elemente variiert je nach Wassertiefe.

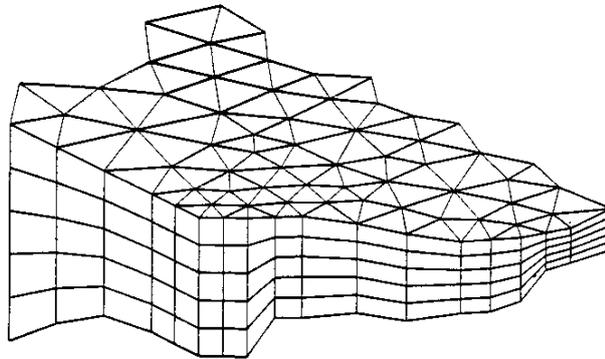


Abbildung 3.2. Prinzip eines 3D-Netztes nach σ -Methode.

Bei der $\sigma - z$ -Methode können beide Vorgehensweisen miteinander kombiniert werden. Teile der Wassersäule könne mit einer gleichbleibenden vertikalen Elementgröße definiert werden, während andere Teile der Wassersäule in ihrer vertikalen Elementgröße variieren.

3.3 Advektions-Dispersions-Transportmodul

Für die Berechnung von Ausbreitung und Verdünnung von eingeleitetem Biozid unter dem Einfluss von Strömung und den damit verbundenen Dispersionsprozessen ist das Modell wie bereits in der vorherigen Studie mit dem vorhandenen Asvektions-Dispersions- (AD-) Transportmodul verknüpft.

Das AD-Modul simuliert die Advektion (Mitbewegung durch die Strömung) der Biozidmoleküle als Konzentrationen (mg/l). Es berücksichtigt zusätzlich die turbulente Dispersion (Verwirbelung und Ausbreitung) in horizontaler und vertikaler Richtung.

3.4 Particle Tracking Modul

Das Particle Tracking (PT-) Modul berechnet den Transport und den Verbleib von gelösten, suspendierten und sedimentierten Substanzen, die in Seen, Ästuarien und Küstengebieten oder auf offener See eingeleitet werden. Das Modul ist kein Sedimenttransportmodell, sondern stellt die passive Bewegung von Teilchen im Wasserkörper anhand von zu definierenden Teilcheneigenschaften (wie z.B. Sinkgeschwindigkeit und kritischer Sohlschubspannung) nach.

Basierend auf den hydrodynamischen Berechnungen, mit Informationen zu Wassertiefe und genauen Strömungssituation, kann über die Erweiterung um das PT-Modul die Verteilung von Partikeln in der Wassersäule und die Orte möglicher Absetzungen vorhergesagt werden. Zusätzlich kann das Partikelalter, welche sich in Ort und Zeit ändert, angegeben werden, um Verweilzeiten der Partikel an Absetzungsorten besser analysieren zu können.

4 Hydraulische Daten und Randbedingungen

4.1 Hydraulische Randwerte

Das hydrodynamische Modell wird über den Modellrand im Norden gesteuert. Der gemessene Wasserstand am Pegel Schillig stellt die alleinige hydrodynamische Randbedingung dar (Abbildung 4-1). Um in der Szenarienberechnung einen stabilen Zustand der Biozidverteilung im Untersuchungsraum abzubilden, wurde ein Modellzeitraum von 12 Wochen gewählt. Dieser Zeitraum entspricht dem repräsentativsten aktuellen Zeitraum, welcher ohne Datenlücken am Pegel Schillig zur Verfügung stand.



Abbildung 4-1: Wasserstand Pegel Schillig am Modellrand für den Modellzeitraum 01.03.2021 bis 31.5.2021

Beide für diese Untersuchung verwendeten Module (AD und PT) basieren auf Informationen zur genauen Strömungssituation des hydrodynamischen Modells.

4.2 Randwerte Transportmodul

Für die vorliegende Studie zur Ausbreitung und Einmischung des eingeleiteten Biozids wurden in Abstimmung mit dem Auftraggeber die in Tabelle 4-1 aufgeführten Werte angesetzt:

Tabelle 4-1: Volumenstrom und Biozidkonzentration an den modellierten Auslässen

Auslass	FSRU Regas SW Auslass	FSRU Ballastwasser Auslass	Auslass LNG-Tanker
Position	E 441245 N 5944064 1 m unterhalb der Wasseroberfläche	E 441245 N 5943987 8 m unterhalb der Wasseroberfläche	E 441285 N 5944017 8 m unterhalb der Wasseroberfläche
Volumenstrom	20.000 m ³ /h Seewasser	Wechselnd: über 24h 5200 m ³ /h über 36h 0 m ³ /h	Wechselnd: über 30h 2500 m ³ /h über 30h 0 m ³ /h
Biozid- konzentration	0.2 mg/l		

Die Abbildung 4-2 zeigt die Lage der betrachteten Auslässe im Modell. Aufgrund des Volumenstroms von 20.000 m³/h am FSRU Regas SW Auslass (steuerbord) erfolgte eine Teilung der Auslässe auf die gegenüberliegende Seite der FSRU (backbord). Diese bewirkt, dass der Volumenstrom über zwei Berechnungselemente im Mesh, bei möglichst kleinster räumlicher Distanz, erfolgt und gewährleistet somit eine stabileres Modellverhalten.

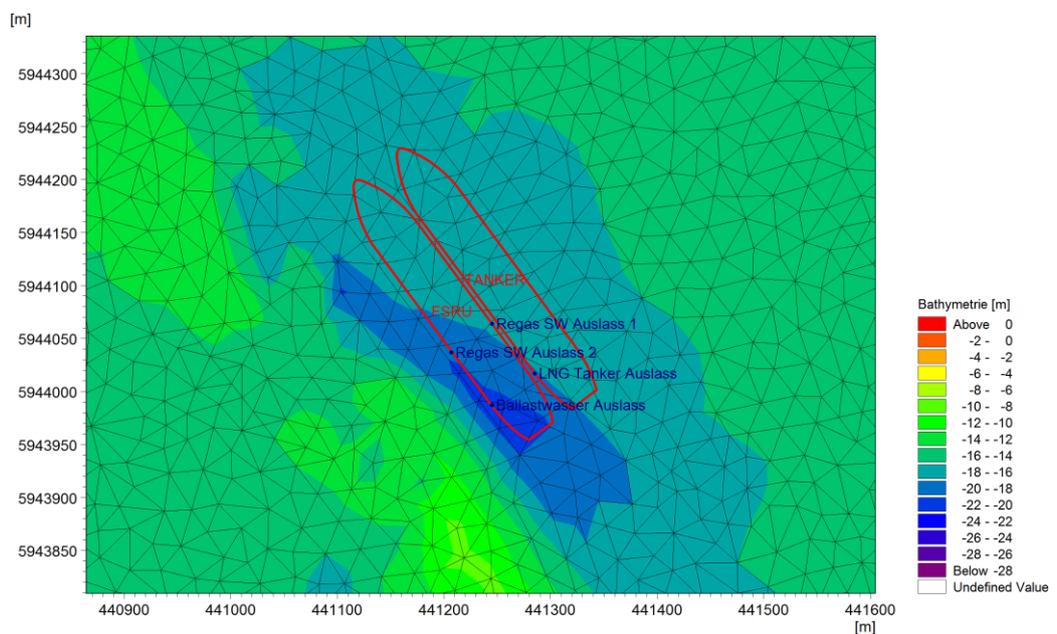


Abbildung 4-2: Lage der modellierten Auslässe im Modell

4.3 Randwerte Particle Tracking Module

Um den Transport und die Akkumulation von Partikeln, und deren Anhaftung an Sedimenten und Schwebstoffen zu untersuchen, wurden repräsentativ die Partikelgrößen 20 µm und 63 µm als Größenklassen ausgewählt.

Zur Bestimmung der Verteilung dieser beiden Größenklassen lagen Schwebstoffanalysen am Standort des LNG Terminals vor /7/. Daraus wurde abgeleitet, dass die beiden Größenklassen in einem Verhältnis von etwa 50:50 Prozent auftreten.

Die Partikel können sich mit einer bestimmten Sinkgeschwindigkeit absetzen und die abgesetzten Partikel können resuspendiert (aufgewirbelt) werden. Mit welcher vertikalen Geschwindigkeit die Partikel sinken, ist u.a. von der Größe der Partikel abhängig. Wenn ein Partikel absinkt, ist die Sinkgeschwindigkeit positiv.

Für beide Größenklassenfractionen wurde jeweils die Sinkgeschwindigkeit anhand der Größe nach dem Stokes'schen Gesetz abgeschätzt.

$$v_p = \frac{2}{9} \cdot \frac{r^2 g (\rho_p - \rho_f)}{\eta}$$

Die einzelnen [Formelzeichen](#) stehen für folgende [Größen](#):

- v_p – Sedimentationsgeschwindigkeit
- r – Radius des sinkenden Gegenstandes
- V_p – Volumen des Partikels (für Kugeln: $V_k = \frac{4}{3}\pi r^3$)
- g – Erdbeschleunigung
- ρ_p – Dichte des Partikels
- ρ_f – Dichte des Fluids
- η – dynamische Viskosität des Fluids.

Die für das Modell verwendeten Sinkgeschwindigkeiten sind in Tabelle 4-2 dargestellt.

Der Prozess der Erosion beschreibt über die kritische Schubspannung, wie die abgesetzten (sedimentierten) Partikel mit einer größeren Dichte als Wasser in die Wassersäule resuspendiert werden können. Die kritische Schubspannung kennzeichnet den Zustand, in dem das Bodenmaterial von der Strömungskraft des fließenden Wassers in Bewegung gesetzt (aufgewirbelt) wird und ist vor allem abhängig von der Korngröße. Für sehr feine Sandpartikel (63 µm) liegt die kritische Sohlschubspannung im Bereich von 0.11 bis 0.14 N/m², für Mittelschluff (20 µm) sind die Werte fast um die Hälfte geringer /5/.

In Tabelle 4-2 sind die für das Modell verwendeten kritische Sohlschubspannungen dargestellt.

Tabelle 4-2: Berücksichtigte korngößenspezifische Sinkgeschwindigkeiten und kritische Sohlschubspannungen /5/

Korngrößen	Sinkgeschwindigkeit [m/s]	Kritische Sohlschubspannung [N/m ²]
63 µm	0.003 m/s	0.11 N/m ²
20 µm	0.0003 m/s	0.068 N/m ²

Für die Modellierung wurde eine konstante Temperatur von 15 °C und ein Salzgehalt von 32 PSU im gesamten Wasserkörper angesetzt. Beide Parameter wurden in dieser Untersuchung konservativ betrachtet, d.h. die an Sedimente und Schwebstoffe angehafteten Biozidpartikel unterliegen keinem temperaturabhängigen Abbau und es wird auch keine Flokkulation (Flockenbildung), die u.a. vom Salzgehalt beeinflusst wird, einbezogen.

Alle Austrittskonzentrationen der FSRU wurden vereinfacht an einer Punktquelle (Mittelpunkt der beiden im Transportmodul modellierten Auslässe des FSRU als Eintragsort) zusammengefasst und ins Modell als Menge pro Sekunde (Flux) kontinuierlich bzw. stoßweise eingelegt. Eine weitere Punktquelle bildet der LNG Tanker.

Bei jedem Zeitschritt werden jeweils pro Eintragsquelle zwei für den Biozideintrag repräsentative Partikel der Größenklassenfraktion 20 µm und 63 µm ins Modellgebiet eingetragen.

5 Ergebnisse Biozidausbreitung

Die Ergebnisse zum Transportverhalten der eingeleiteten Biozide auf Basis der Strömungsverhältnisse werden in Abschnitt 5.1 analysiert. Die Biozidausbreitung wird zunächst quantitativ im Nahbereich der FSRU und des LNG-Tankers ausgewertet. Hierbei wird der Fokus auf umweltfachlich relevante Gebiete gelegt. Die Ergebnisse bilden die Grundlage für die Beurteilung der Biozidausbreitung im Untersuchungszeitraum.

Die Ergebnisse zu möglichen Absetzungsstellen im Bereich des Jadebusens und an Flachwassergebieten über das Particle Tracking für zwei Größenklassenfraktionen sind in Abschnitt 5.2 beschrieben.

5.1 Auswertung im Bereich der Innenjade und des Jadebusens

5.1.1 Vorherrschende Strömungen

Eine Beschreibung der Strömungsverhältnisse in der Jade wurde ausführlich im Rahmen der Kolkstudie vorgenommen. Darauf sei an dieser Stelle verwiesen /4/

Zum besseren Verständnis der im nachfolgenden Kapitel beschriebenen Ergebnisse sind in (Abbildung 5-1) die für den Modellzeitraum errechneten mittleren Strömungsgeschwindigkeiten in Innenjade und Jadebusen dargestellt. Die typischen Tideströmungen sind in der Abbildung (vereinfacht) schematisch eingezeichnet.

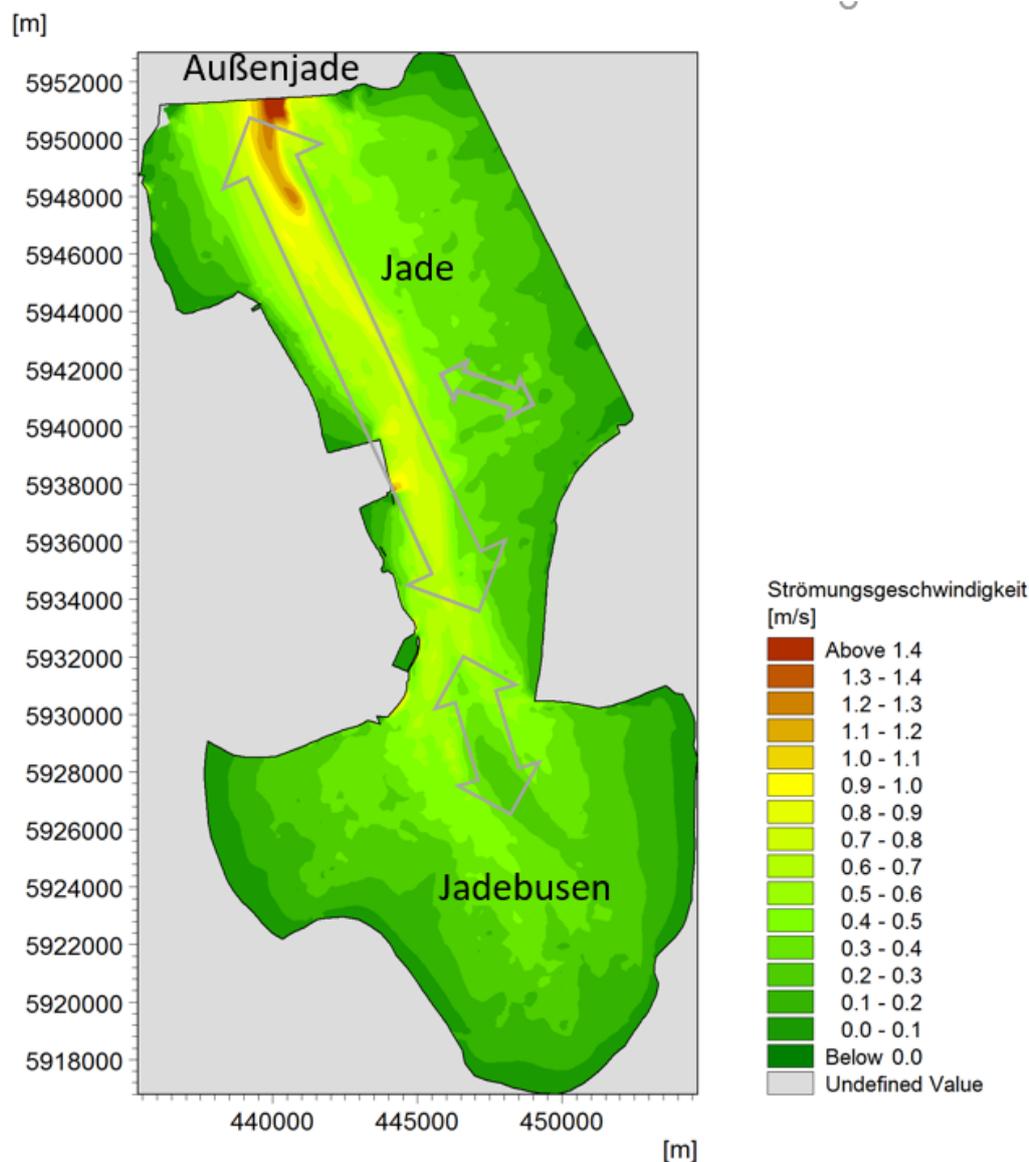


Abbildung 5-1: Tiefengemittelte mittlere Strömungsgeschwindigkeiten für den modellierten Zeitraum 15.03.2021-31.05.2021

5.1.2 Maximal- und Mittelwertauswertung im Nahbereich

Für eine quantitative Darstellung im direkten Nahbereich der FSRU und des LNG-Tankers wurden die (über den gesamten Modellzeitraum von 12 Wochen) tiefengemittelten Konzentrationen und zudem die sohnahen Konzentrationen im sohnahen Layer des Modells statistisch ausgewertet.

Abbildung 5-2 und Abbildung 5-3 zeigen die Ergebnisse zu den tiefengemittelten maximalen sowie zu den sohnahen maximalen Biozidkonzentrationen. Für beide Abbildungen gilt, dass ausgehend von den Einleitstellen mit den höchsten Konzentrationen von bis zu 30 µg/l eine mit der Tideströmung längs gezogene Konzentrationswolke berechnet wurde. Diese erstreckt sich mit Werten von über 1 µg/l etwa 10 km in südlicher und etwa 4 km in nordwestlicher Richtung in der

Innenjade. In einer Entfernung von etwa 500 m in Flut- und Ebb-Strömungsrichtung zur FSRU liegen die Konzentrationen unter 5 µg/l.

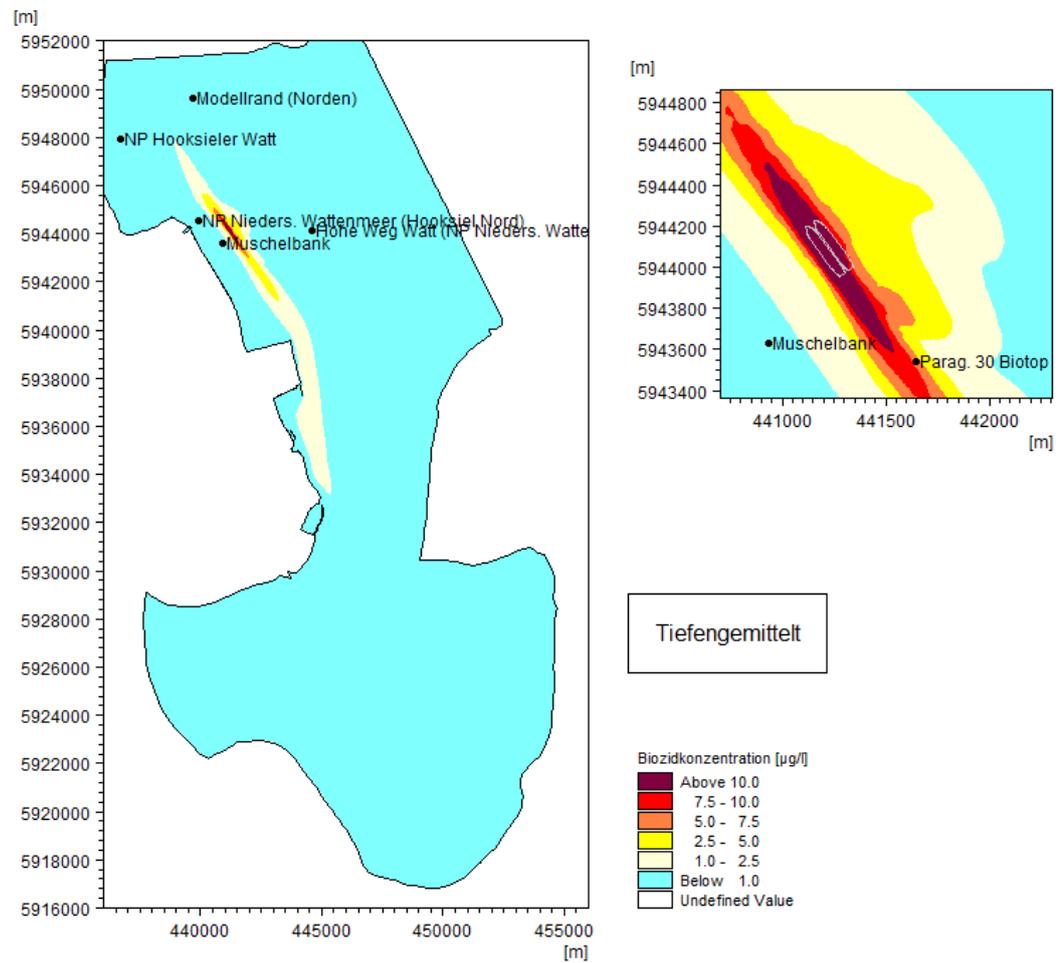


Abbildung 5-2: Maximale tiefengemittelte Biozidkonzentration

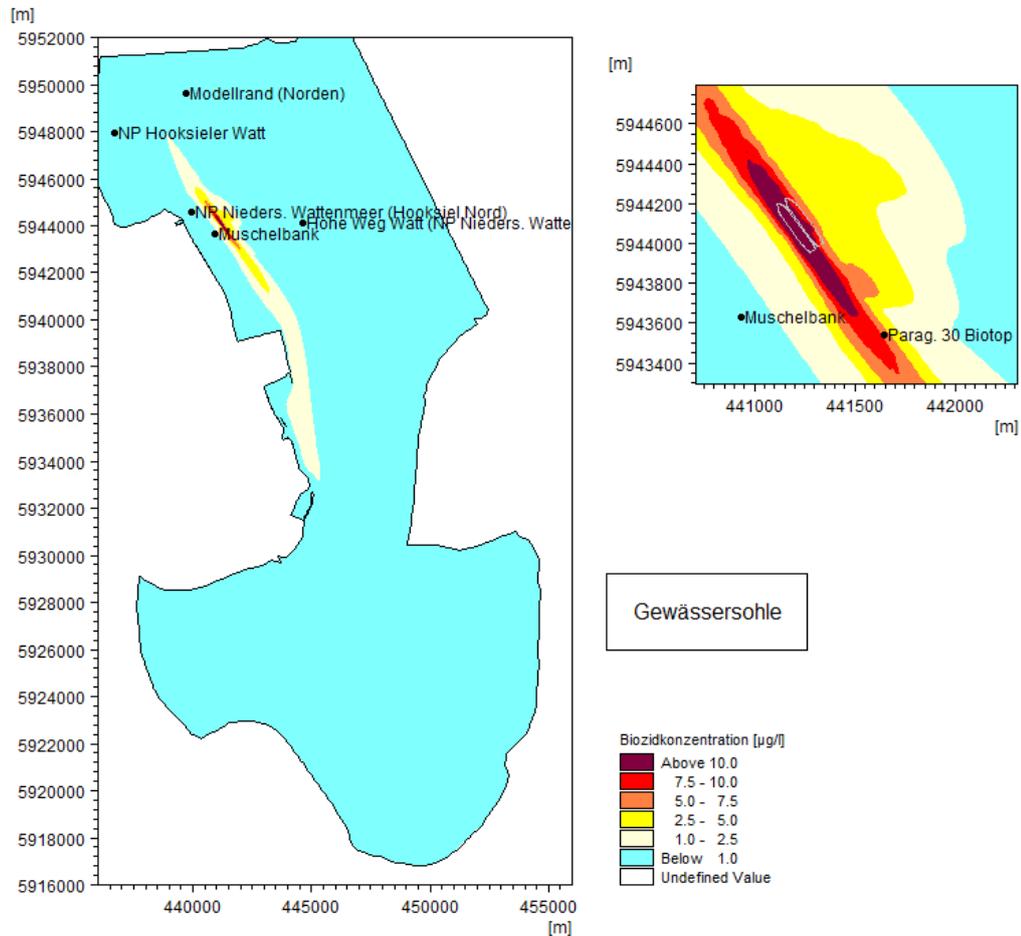


Abbildung 5-3: Maximale sohlnahe Biozidkonzentration

Die Wolke der mittleren Konzentrationen während des gesamten Modellzeitraums erstreckt sich mit über 1 µg/l in der Draufsicht in ähnlicher Ausdehnung (Abbildung 5-4 und Abbildung 5-5). Jedoch liegen die Biozidkonzentrationen im Bereich der Liegewanne deutlich unter den Maximalwerten, da es sich bei den Maximalwerten lediglich um kurzzeitige lokale Ereignisse handelt, hervorgerufen durch den periodischen Biozideintrag (Ballastwasserauslass am FSRU und Auslass am LNG Tanker).

Die tiefengemittelten mittleren Konzentrationen ergaben an der FSRU Werte unter 2,5 µg/l und außerhalb der Liegewanne unter 1,5 µg/l (Abbildung 5-4). Sohl nah wurden mittlere Biozidkonzentrationen im gesamten Untersuchungsraum unter 1 µg/l ermittelt (Abbildung 5-5).

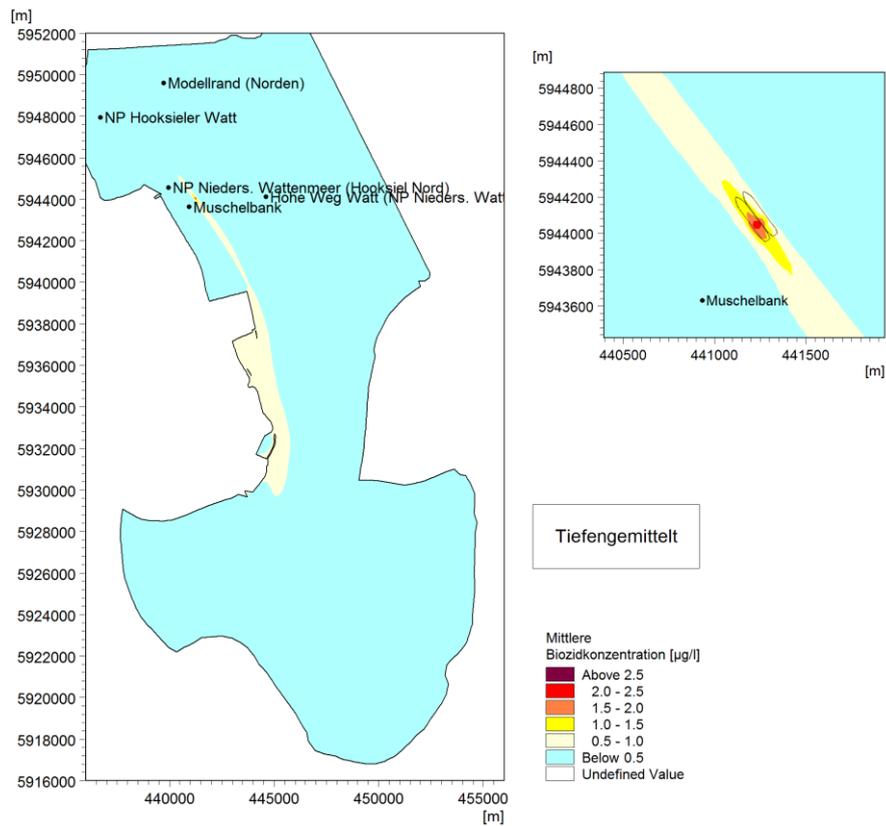


Abbildung 5-4: Mittlere tiefengemittelte Biozidkonzentration

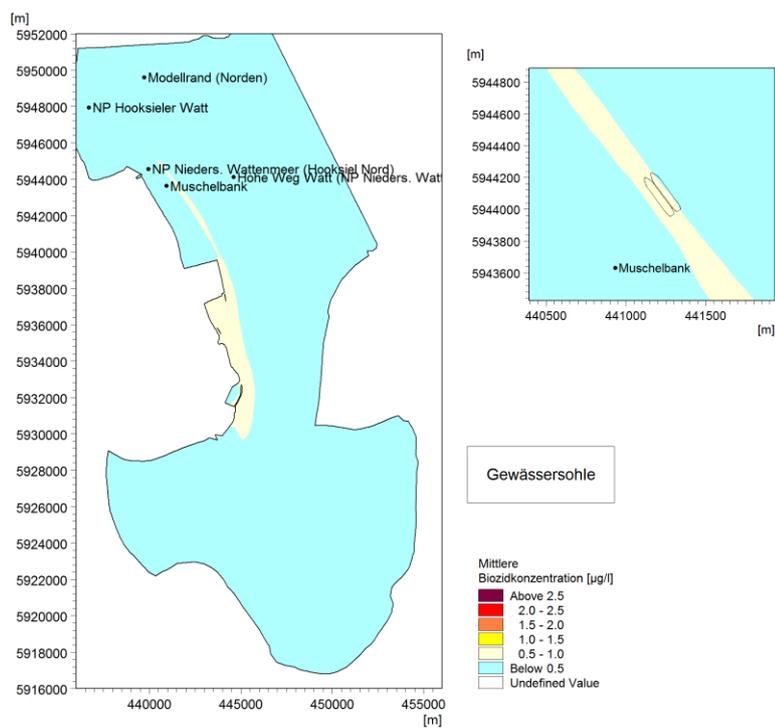


Abbildung 5-5: Mittlere sohnnahe Biozidkonzentration

5.1.3 Zeitlicher Verlauf der Biozidkonzentration im Nahbereich des LNG-Terminals

Die Untersuchung des zeitlichen Verlaufs der Biozidkonzentration im Nahbereich erfolgte an den in Abbildung 5-6 gezeigten Auswertepunkten in der Innenjade. Neben der Liegewanne werden Auswertepunkte im Hinblick auf nachfolgende umweltfachliche und -rechtliche Bewertungen betrachtet:

Es erfolgen Auswertungen an der in unmittelbarer Nähe befindlichen Muschelbank (Langleinkulturen) und dem §30 BnatSchG geschütztes Biotop. Westlich der Fahrrinne werden die im Bereich des Nationalparks Niedersächsisches Wattenmeer liegenden Punkte Hooksiel Nord und Hooksielier Watt ausgewertet. Östlich der Fahrrinne wird der Punkt Hohe Wege Watt ausgewertet. Die an den beschriebenen Punkten aus dem Modell extrahierten Zeitreihen sind in den Abbildungen Abbildung 5-7 bis Abbildung 5-12 dargestellt.

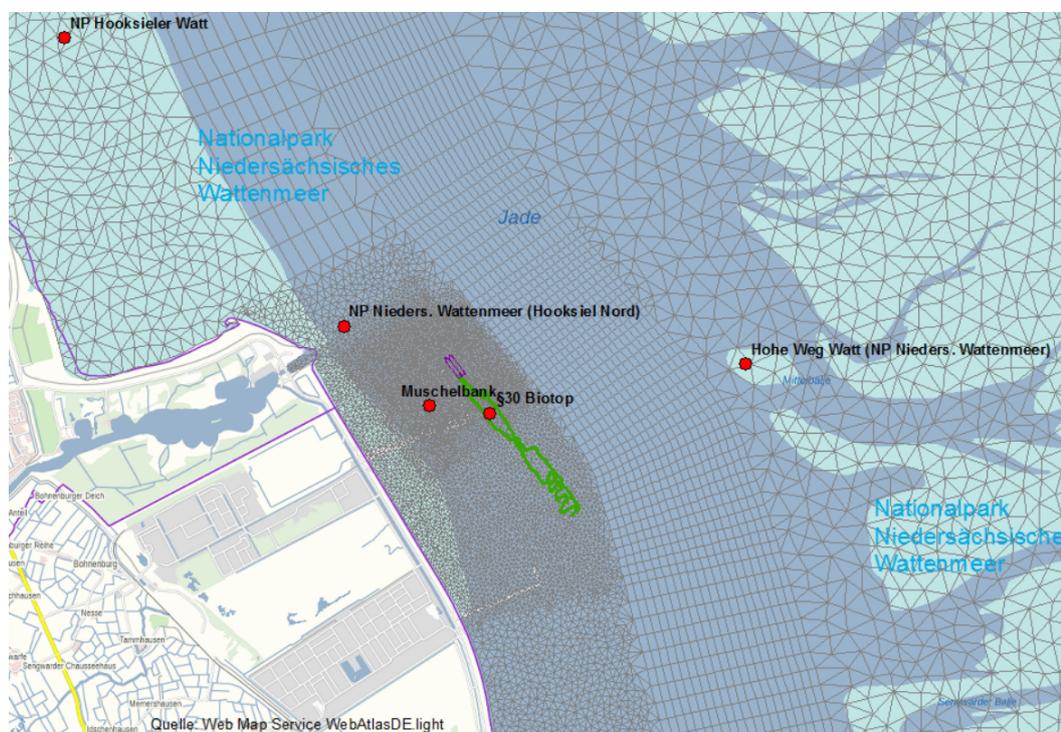


Abbildung 5-6: Lage der Liegewanne und Auswertungspunkten im Nahbereich an relevanten Standorten aus umweltschutzfachlicher Sicht

In Abbildung 5-7 ist der zeitliche Verlauf der Biozidkonzentration im Bereich der Liegewanne dargestellt. Es werden die berechneten Konzentrationen oberflächennah (Layer 8), exemplarisch für die mittleren Wassertiefen die Layer 4 und Layer 6 und sohnah (Layer 1) gezeigt. Zu erkennen ist ein regelmäßiger Anstieg bzw. Abfall der Konzentrationen, welcher durch die Tideströmungen induziert wird. In Folge des, im Verhältnis gesehen, größten Eintrags über den Regas SW Auslass bei 1 m unterhalb der Wasseroberfläche (Tabelle 4-1) treten erwartungsgemäß die höchsten Konzentrationen oberflächennah auf. Es werden am Auswertepunkt der Liegewanne im obersten Modell-Layer Biozidkonzentrationen von bis zu 28 µg/l berechnet. Sohnah wurden Konzentrationen von bis zu 16 µg/l ermittelt.



Abbildung 5-7: Zeitlicher Verlauf der Biozidausbreitung im Bereich der Liegewanne über die Wassersäule

In der Abbildung 5-8 zur Biozidkonzentration an der Muschelbank (Langleinenkulturen) ist zusätzlich die Wasserspiegellage am Pegel Schillig eingetragen. Dies veranschaulicht den Einfluss der Tide auf den periodisch schwankenden Biozidgehalt in der Wassersäule, der sich im Gegensatz zu den Konzentrationen in der Liegewanne (FSRU-nah) unregelmäßigeren Schwankungen analog zum (auch Wind-beeinflussten) Wasserstand darstellt. Generell treten im Modell die höchsten Werte bei Niedrigwasser, insbesondere während einer Nipptide auf. Bereits nach einem Spring-Nipp-Tidezyklus stellt sich ein stabiler Zustand in der Modellrechnung ein. Die berechneten Biozidkonzentrationen nach Einschwingen des Modells liegen im Bereich von 0,05 µg/l bis 0,9 µg/l.

Bezüglich der vertikalen Durchmischung ist an dem Auswertepunkt Muschelbank (Langleinenkulturen) eine nahezu gleichförmige Verteilung in der Wassersäule zu erkennen.

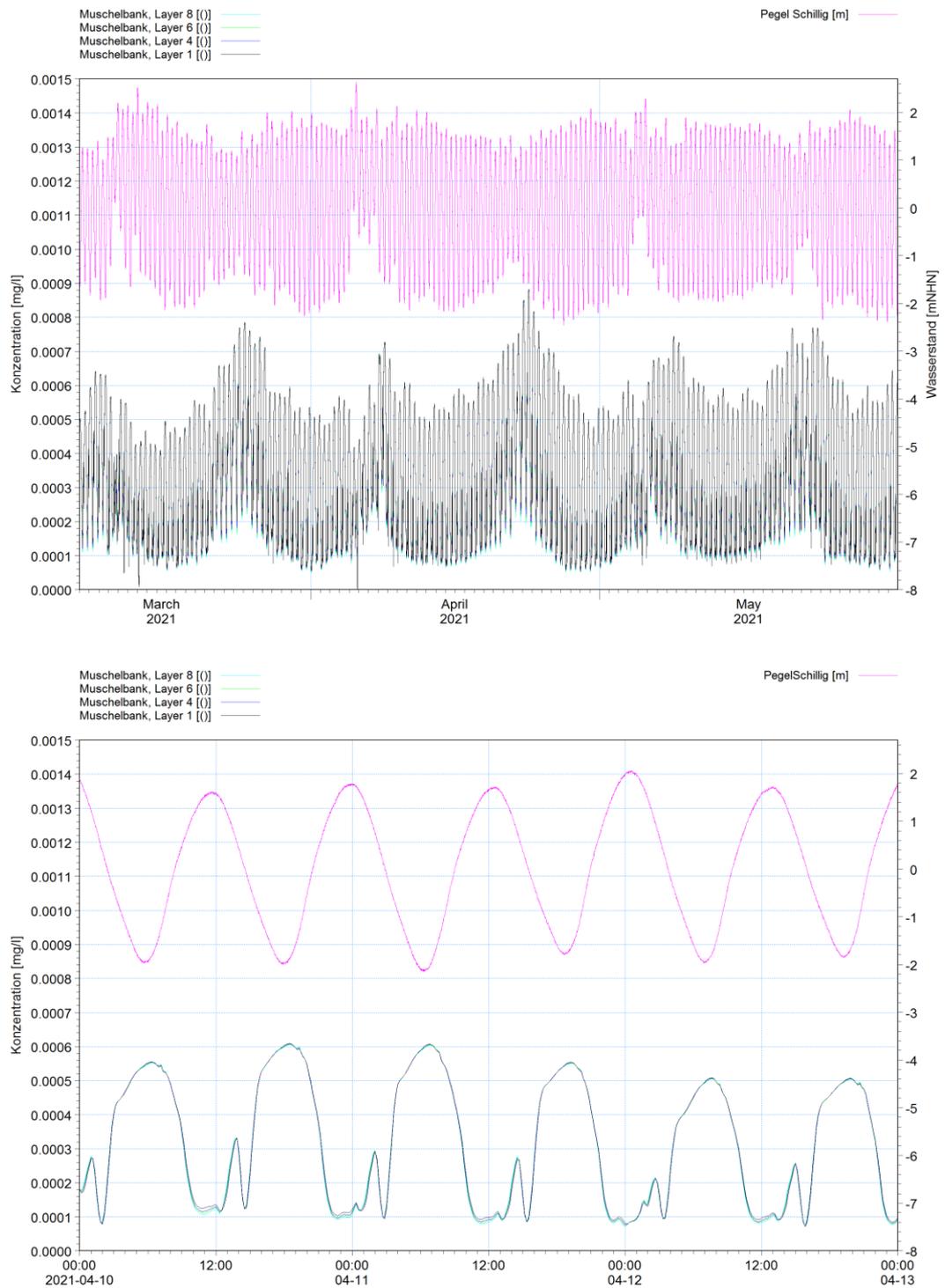
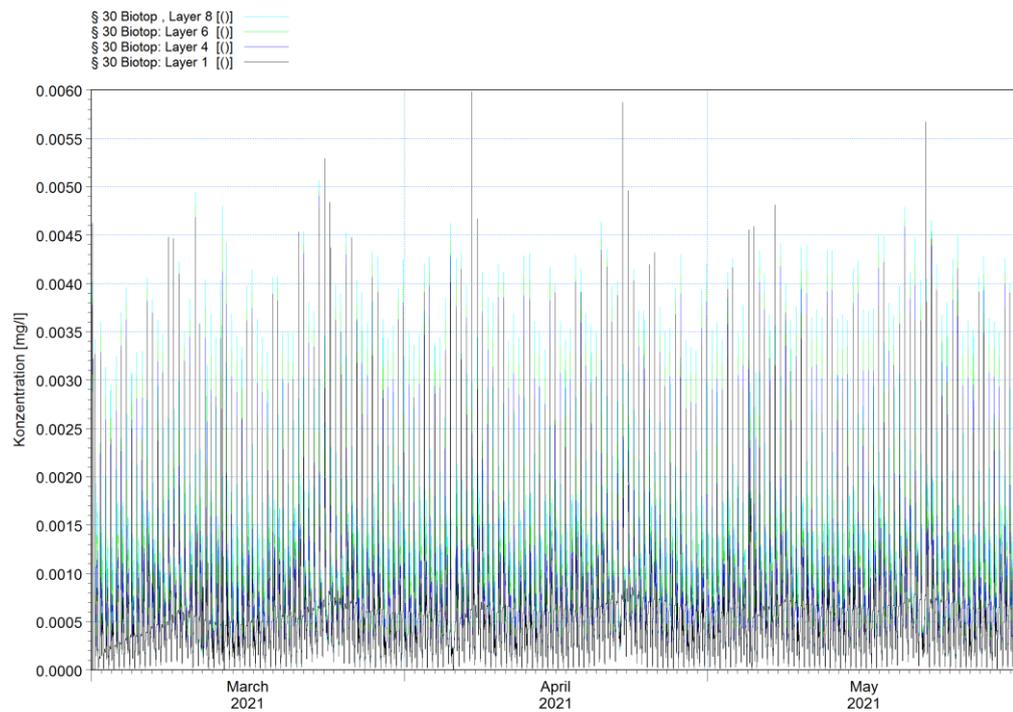


Abbildung 5-8: Zeitlicher Verlauf der Biozidausbreitung (Wassersäule) an der Muschelbank (Langleinenkulturen) und Wasserstand am Pegel Schillig (oben: gesamter Modellzeitraum, unten: exemplarische Detailansicht vom 10.04. bis 13.04.2021)

Der Auswertepunkt § 30 Biotop liegt mit seiner südöstlichen Lage zur FSRU (in Strömungsrichtung bei Flut) stärker als die Muschelbank (Langleinenkulturen) im Einflussbereich (Abbildung 5-9). Das eingeleitete Biozid erreicht hier bei geringem Wasserstand und einsetzendem Flutstrom die höchsten berechneten Konzentrationen. Es werden kurzzeitige Maximalwerte von bis zu 6 µg/l errechnet. Im Mittel liegen die Werte in den betrachteten Wasserschichten bei 0,6 µg/l bis 0,8 µg/l.



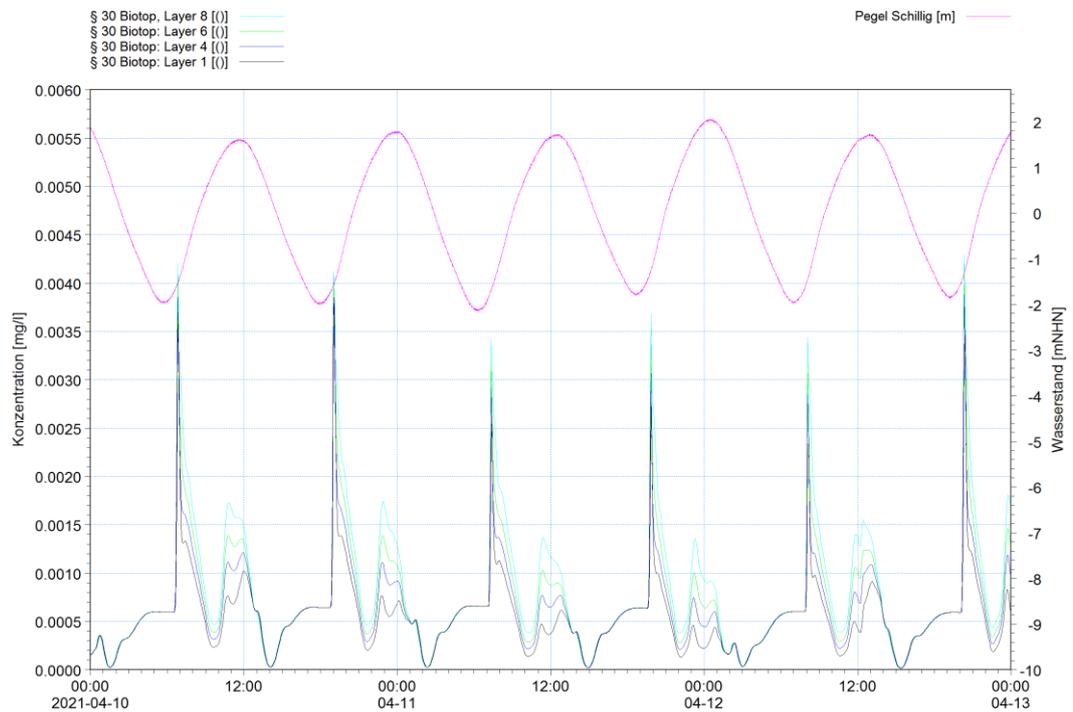


Abbildung 5-9: Zeitlicher Verlauf der Biozidausbreitung (Wassersäule) im §30 Biotop und Wasserstand am Pegel Schillig (oben: gesamter Modellzeitraum, unten: exemplarische Detailansicht vom 10.04. bis 13.04.2021)

Im Grenzbereich des Nationalparks Niedersächsisches Wattenmeer werden an den Auswertepunkten Hooksiel Nord und Hohe Weg Watt maximale Konzentrationen von bis zu 0,8 $\mu\text{g/l}$ sowie 0,3 $\mu\text{g/l}$ berechnet (Abbildung 5-10 und Abbildung 5-11). Für den weiter nördlich liegenden Punkt Hooksiel Watt treten Konzentrationen von bis zu 0,3 $\mu\text{g/l}$ auf (Abbildung 5-12).

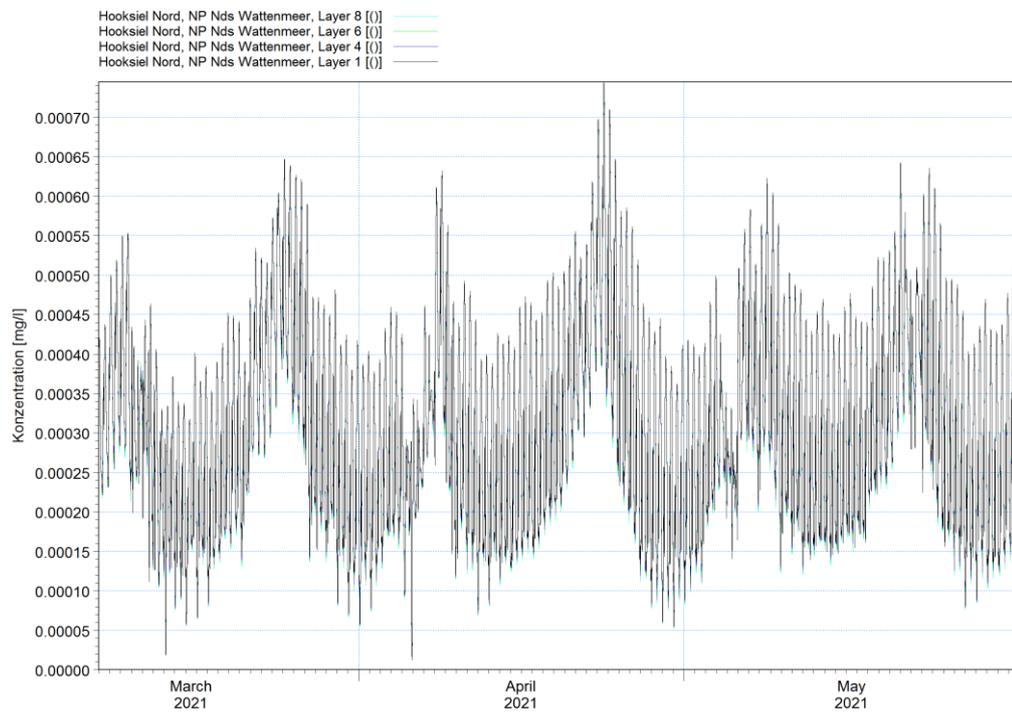


Abbildung 5-10: Zeitlicher Verlauf der Biozidausbreitung am Auswertepunkt Hooksiel Nord (NP Niedersächsisches Wattenmeer)

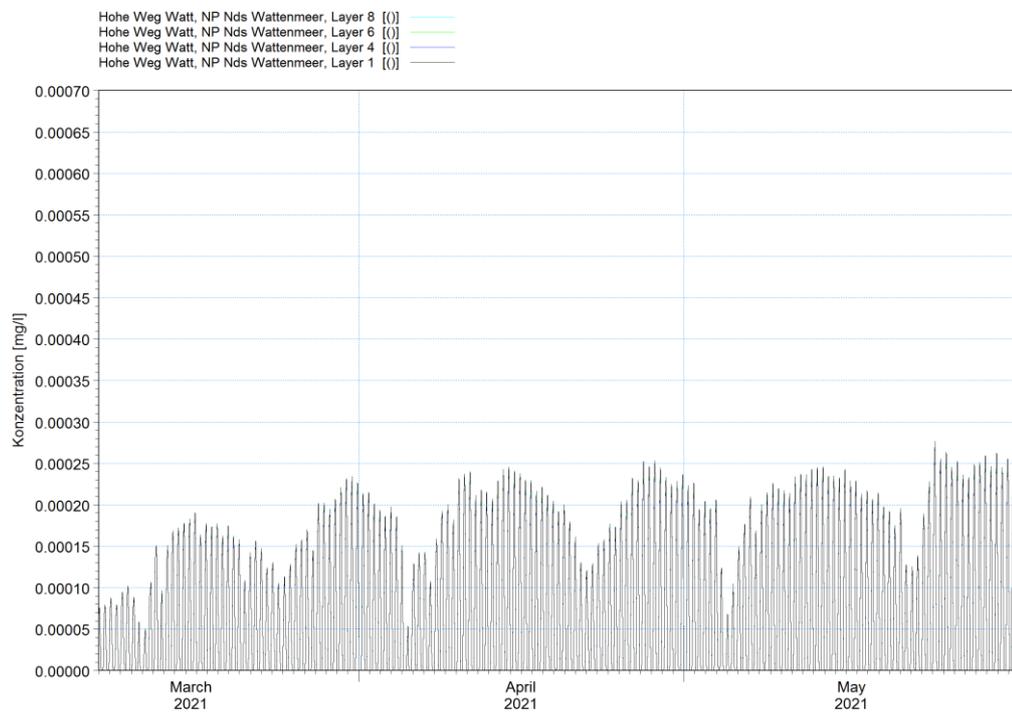


Abbildung 5-11: Zeitlicher Verlauf der Biozidausbreitung am Auswertepunkt Hohe Weg Watt (NP Niedersächsisches Wattenmeer)

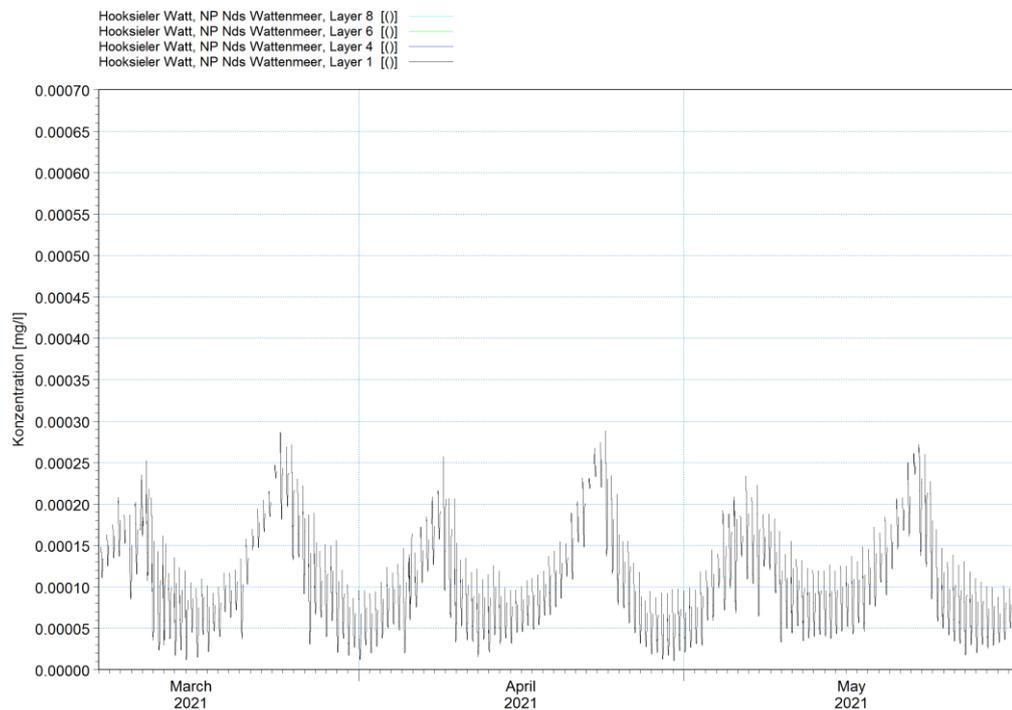


Abbildung 5-12: Zeitlicher Verlauf der Biozidausbreitung am Auswertepunkt Hooksielier Watt (NP Niedersächsisches Wattenmeer)

5.1.4 Zeitlicher Verlauf der Biozidkonzentration an Auswertepunkte in Innenjade und Jadebusen

Fast 50 % des Tidevolumens, das in die Innenjade bei Flutstrom einströmt, fließt weiter in den Jadebusen.

Für die Einschätzung, wie die Biozidmoleküle über den Modellzeitraum in den Jadebusen mit Flut- und Ebbströmung hinein- und heraustransportiert werden, wurden Zeitreihen an einem Punkt an der Grenze von Innenjade/Jadebusen und an einem Punkt im Jadebusen (Bereich Vareler Fahrwasser) (Abbildung 5-13) sowie an der nördlichen Grenze der Innenjade (am nördlichen Modellrand, siehe Abbildung 2-1) ausgewertet.



Abbildung 5-13: Auswertepunkte für den Fernbereich im Jadebusen (Vareler Fahrwasser) und an der Grenze Innere Jade/Jadebusen

Durch die gezeitengetriebene Strömung wird ein Teil der Konzentrationswolke mit Flutstrom in den Jadebusen hinein- und mit dem Ebbstrom wieder aus dem Jadebusen heraustransportiert.

In Abbildung 5-14 sind die Biozidkonzentrationen an den o.g. Auswertepunkten für die gesamte Modelllaufzeit dargestellt. Ein stabiler Zustand stellt sich hierbei mit zunehmender Entfernung von der Einleitquelle in Richtung Jadebusen leicht zeitlich verzögert ein. Für die Auswertepunkte innerhalb des Jadebusens erfolgt dies nach rund 6-8 Wochen.

Im Grenzbereich zwischen Innere Jade und Jadebusen werden maximale Werte von bis zu 0,9 µg/l ermittelt.

Im Inneren des Jadebusens im Bereich des Vareler Fahrwassers liegen die modellierten Konzentrationen maximal bei 0,7 µg/l.

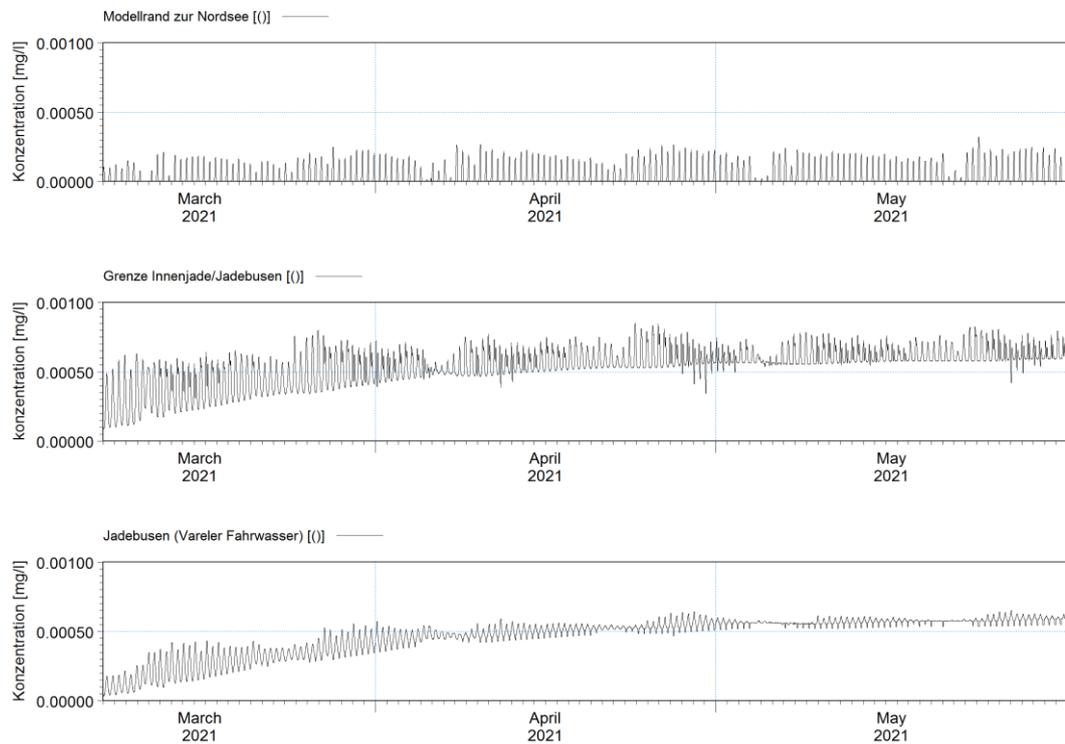


Abbildung 5-14: Zeitlicher Verlauf der tiefengemittelten Biozidkonzentration im Fernbereich an den Auswertepunkten „Nördlicher Modellrand“ (oben), „Grenze Innenjade/Jadebusen“ (Mitte) und „Innenjade“ (unten)

Die Auswertungen an der nördlichen Grenze der Innenjade in Richtung Außenjade zeigen, dass vor allem im Jadedfahrwasser durch die intensive Tidedynamik und eine intensive Durchmischung der Wasserkörper mit einer rascheren Verdünnung der Biozidkonzentrationen gerechnet werden kann. So werden maximale Werte von 0,3 µg/l Biozid berechnet.

5.2 Untersuchungen zum Transport- und Sedimentationsverhalten von Partikeln

Um die Bewegung der Biozidmoleküle in der Wassersäule und mögliche Absetzungsorte im Bereich der Innenjade und des Jadebusens und in Flachwassergebieten zu analysieren, wurde das Particle Tracking für zwei unterschiedliche Größenklassenfraktionen durchgeführt. Die repräsentativen Partikel verkörpern dabei sowohl passive organische wie auch anorganische Teilchen.

Die berechneten sedimentierten Partikel (sedimentierte Partikelmasse pro m^2) wurden über den Modellzeitraum von 12 Wochen gemittelt. Sie sind für die zwei untersuchten Korngrößenfraktionen in Abbildung 5-15 dargestellt.

Da die, im Modell eingetragenen, Biozide vollständig an den repräsentativen Partikeln anhaften und sich im weiteren Verlauf konservativ verhalten (d.h. kein Abbau von Biozid, keine Desorptionsprozesse), werden an dieser Stelle keine quantitativen Aussagen getroffen, um Fehlinterpretationen zu vermeiden. Final werden qualitativ mögliche Ablagerungsorte aufgezeigt.

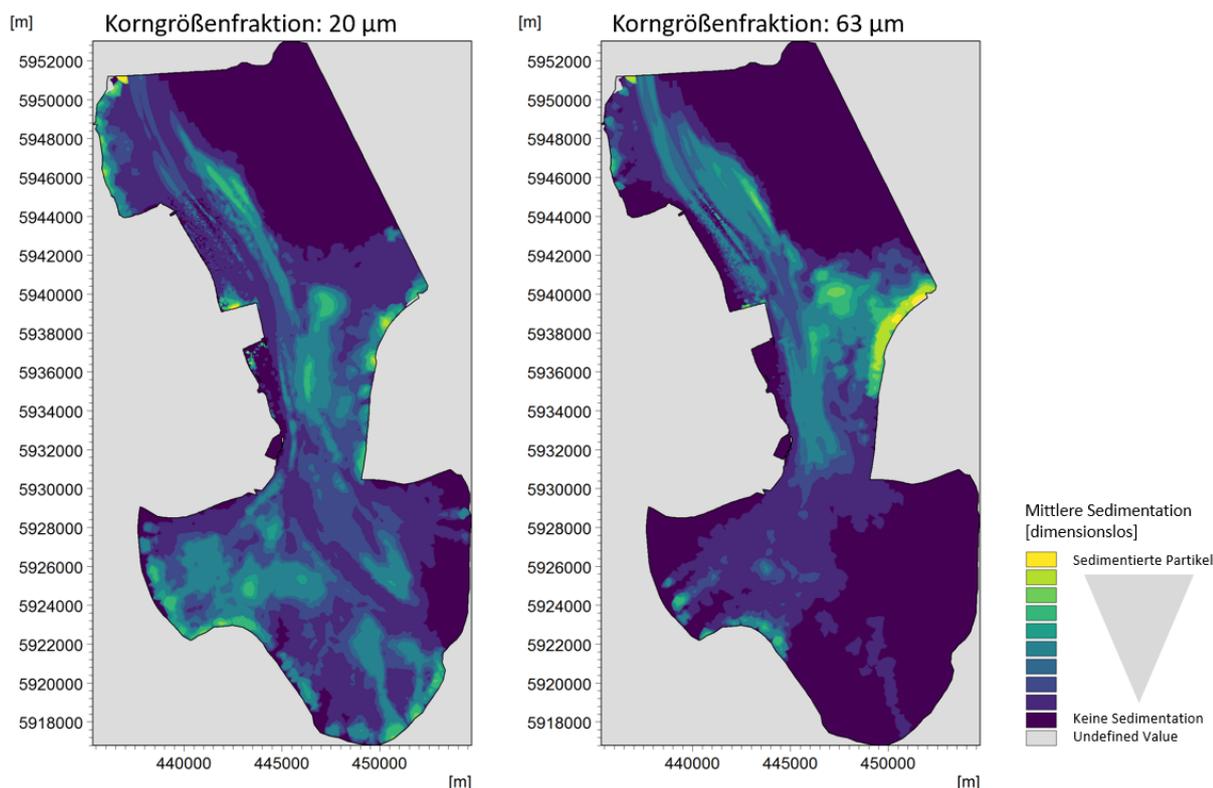


Abbildung 5-15: Gemittelttes sedimentiertes Material der 20 µm (links) und 63 µm Korngrößenfraktion (rechts) über den gesamten Modellzeitraum

Für die 20 µm-Korngrößenfraktion zeigt sich im Vergleich zur 63 µm-Fraktion ein großflächigerer Bereich, in der Sedimentation stattfindet (Abbildung 5-15). Die Fraktion ist durch eine geringere Sinkgeschwindigkeit sowie geringere Sohlschubspannung für die Erosion charakterisiert (vgl. Tabelle 4-2). Die leichteren 20 µm-Partikel, die mit der Flutströmung in den Jadebusen transportiert werden, können sich daher bei Verringerung der Strömungsgeschwindigkeiten (Kenterpunkt) in nahezu allen Wattbereichen des

Jadebusens absetzen. Der Flutstrom Richtung Außenweser (vergl. Auch Abbildung 5-1) bewirkt einen Transport in die östlich zur Fahrinne gelegenen Wattbereiche. Im Bereich von etwa km 5940000 N bis zur Grenze des Jadebusens ist mit sedimentierte 20 μm -Partikel zu rechnen. Weiter nördlich sind einschließlich der Fahrinne Sedimentationsbereiche bis ins Hooksieder Watt zu erkennen. Die Modellergebnisse zeigen für die strömungsberuhigten Bereiche um den JadeWeserPort lokale Sedimentationsbereiche.

Die 63 μm -Partikel sinken und sedimentieren schneller als die 20 μm -Partikel. Mit Blick auf den Jadebusen liefert die Auswertung der mittleren Sedimentation ein deutlich kleineres Areal und eine insgesamt geringere mittlere Sedimentationsmenge. In der Innenjade bewegen sich und sedimentieren die 63 μm -Partikel vorrangig in der Fahrinne und in größerem Umfang auch in den Wattbereichen Richtung Außenweser, da diese Bereiche von den Partikeln noch erreicht werden können und sie sich dort aufgrund der geringeren Strömungsgeschwindigkeiten absetzen können.

Die folgenden zwei Abbildungen zeigen das Alter der Partikel zum Ende des Modelllaufs. Der Zeitpunkt liegt nahe der Tidekenterung, also einem Zeitpunkt mit geringer Strömung, wo sich besonders viel Material absetzt und verhältnismäßig wenig Material in der Wassersäule anzutreffen ist. Die Abbildung 5-16 zeigt das Hochwasser und Abbildung 5-17 das Niedrigwasser nach 12 Wochen.

Vergleicht man das Alter der beiden Partikelfractionen nach 12 Wochen in Tagen (Abbildung 5-16 und Abbildung 5-17), ist zu erkennen, dass sich bevorzugt „ältere“ Partikel der feineren Fraktion in strömungsberuhigten Bereichen im Jadebusen ablagern.

In den strömungsexponierten Bereichen der Fahrinne verweilen die Partikel ungefähr 10 – 20 Tage, während der Wasseraustausch im Jadebusen viel langsamer erfolgt. Hier besitzen die Partikel nach 12 Wochen ein durchschnittliches mittleres Alter von ca. 50 Tagen.

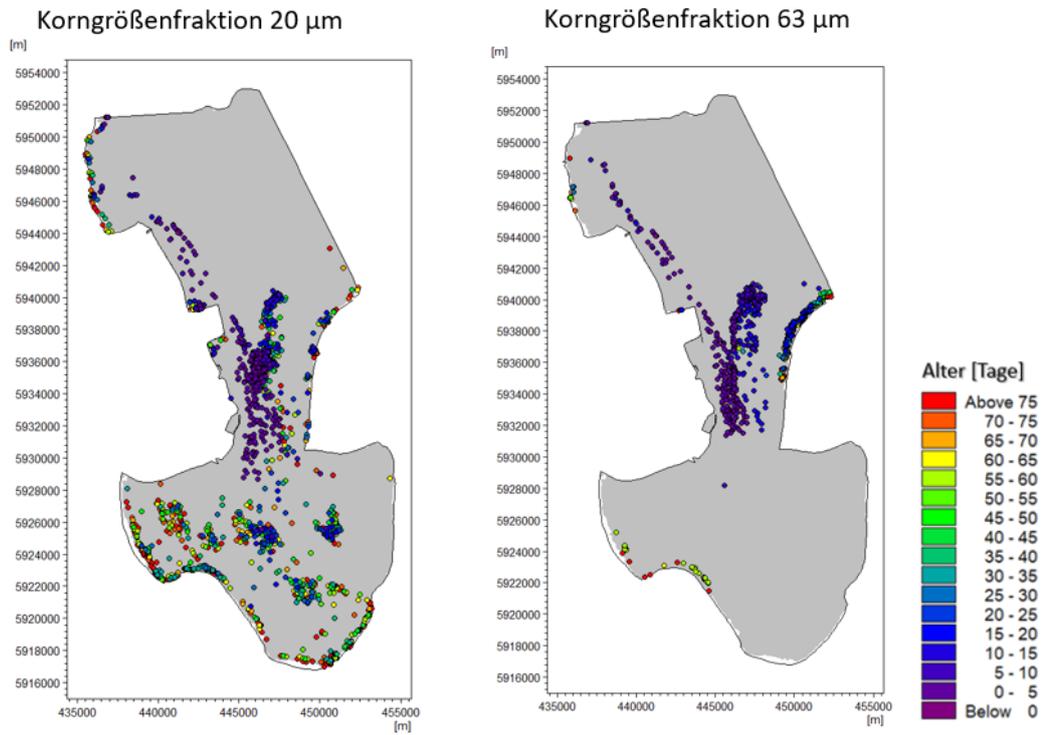


Abbildung 5-16: Alter der sedimentierten Partikel zum Ende des Modelllaufs bei Hochwasser (Strömungskenterpunkt)

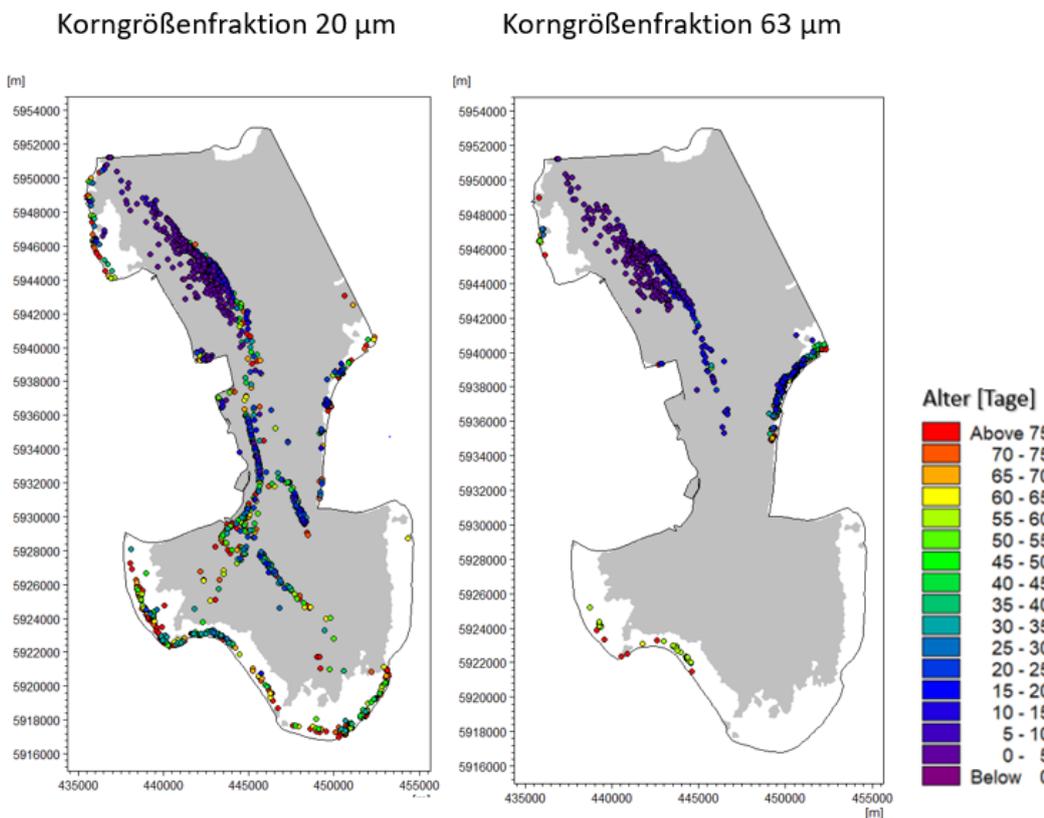


Abbildung 5-17: Alter der sedimentierten Partikel zum Ende des Modelllaufs bei Niedrigwasser (Strömungskenterpunkt)

6 Zusammenfassung

Für den geplanten Floating Storage Regasification Unit (FSRU-) Anleger des neuen Flüssiggas- (LNG-) Terminals in Wilhelmshaven soll Seewasser der Jade für verschiedene Zwecke an Bord der FSRU genutzt werden. Das anschließend in die Jade eingeleitete Betriebswasser enthält Biozide als wachstumshemmende Substanz. Auch über den LNG-Tanker erfolgt eine Einleitung von Bioziden. Die in diesem Bericht dargestellten simulierten Werte sind als Ergebnis eines annähernd physikalischen Computermodells zu verstehen und spiegeln keine in situ Messwerte wider.

Infolge von Planungsänderungen bezüglich der Position des Anlegers sowie der Einleitmengen wurde die vorliegende Studie als Aktualisierung des Gutachtens zur Biozidausbreitung von 2021 /1/ erstellt. Der Modellzeitraum umfasste wie in der Untersuchung von 2021 insgesamt 12 Wochen.

Auf Basis des 3-dimensionalen (3D) hydronumerischen Jade-Modells aus genannter Studie wurde, nach Aktualisierung der Bathymetrie und Anpassung des Berechnungsnetzes, die Ausbreitung und Einmischung des Biozids nach Einleitung sowie die möglichen Verteilungen der Biozidmoleküle in der Wassersäule und angehaftet an Sedimenten und Schwebstoffen untersucht.

Die Ergebnisse wurden in Form von Maximal- und Mittelwerten der Biozidkonzentrationen über den simulierten Zeitraum von 12 Wochen präsentiert. Des Weiteren wurde an umweltrelevanten Positionen im Untersuchungsgebiet der zeitliche Verlauf der Biozidkonzentrationen ausgewertet.

Unmittelbar an der Einleitstelle werden Maximalwerte von bis zu 30 µg/l errechnet. Die modellierten maximalen Konzentrationen verringern sich sowohl tiefengemittelt als auch sohnah in Flut- und Ebb-Strömungsrichtung zur FSRU nach etwa 500 m auf unter 5 µg/l. An der Grenze zum Jadebusen verdünnen sich die maximalen Biozidkonzentrationen unter 1 µg/l. In nordwestlicher Richtung sind maximale Biozidkonzentrationen von > 1 µg/l bis zu einer Entfernung von etwa 4 km zur Einleitstelle berechnet worden.

Die Auswertung der tiefengemittelten Modellergebnisse anhand statistischer Mittelwerte zeigt mit < 2,5 µg/l an der FSRU deutlich geringere Biozidkonzentrationen im Nahbereich. Sohnah wurden die mittleren Konzentrationen im gesamten Untersuchungsraum < 1 µg/l bestimmt.

In nächster Entfernung zum Eintragsort befinden sich eine Muschelbank (Langleinenkulturen) und das ein nach §30BNatSchG geschütztes Biotop. Hierbei liegt das §30 Biotop mit seiner südöstlichen Lage zur FSRU (Strömungsrichtung bei Flut) stärker im Einflussbereich der Einleitungen. Bei geringem Wasserstand und einsetzendem Flutstrom werden kurzzeitig Höchstwerte von < 6 µg/l errechnet. Im Mittel liegen die Werte in der Wassersäule zwischen 0,6 µg/l und 0,8 µg/l. Die berechneten Biozidkonzentrationen an der Muschelbank (Langleinenkulturen) liegen nach Einschwingen des Modells im Bereich von 0,05 µg/l bis 0,9 µg/l.

Sowohl für die Muschelbank (Langleinenkulturen) als auch für die anderen im Nahbereich liegenden umweltrelevanten Auswertepunkte an der Grenze zum Nationalpark „Niedersächsisches Wattenmeer“ Hooksiel Nord, Hooksiel Watt und Hohe Wege Watt ist eine nahezu vollständige Durchmischung der Biozidkonzentrationen über die Wassersäule und ein mit der Tide schwankender

Biozidgehalt zu beobachten. Die berechneten Biozidkonzentrationen liegen bei $< 0,9 \mu\text{g/l}$ an der Muschelbank (Langleinenkulturen), $< 0,8 \mu\text{g/l}$ bei Hooksiel Nord und $< 0,3 \mu\text{g/l}$ im Hooksiel Watt sowie Hohe Wege Watt.

Im Grenzbereich zwischen Innere Jade und Jadebusen werden maximale Werte von $< 0,9 \mu\text{g/l}$ erreicht. Im Jadebusen im Bereich des Vareler Fahrwassers liegen die Konzentrationen bei $< 0,7 \mu\text{g/l}$. Am Modellrand zur Nordsee haben sich die Konzentrationen auf $< 0,3 \mu\text{g/l}$ verdünnt.

Für die weitere Einschätzung möglicher Absetzungsorte im Bereich des Jadebusens und in Flachwassergebieten wurde ein Partikel Tracking für zwei repräsentative Partikelklassen mit unterschiedlichen Größenklassenfraktionen ($63 \mu\text{m}$, $20 \mu\text{m}$) durchgeführt. Die Partikel verkörpern dabei sowohl organische wie auch anorganische Teilchen.

Die Partikel der kleineren und damit leichteren Größenklassenfraktion ($20 \mu\text{m}$) werden weiter in den Jadebusen hineingetragen als Partikel der größeren Fraktion ($63 \mu\text{m}$). Eine Absetzung der Partikel erfolgt vorwiegend außerhalb des Fahrwassers auf eher strömungsberuhigten Wattflächen.

7 Literatur

- /1/ DHI WASY GmbH (03/2021): Studie zur Ausbreitung des eingeleiteten Biozids durch die FSRU und den LNG Tanker in die Jade
- /2/ DHI "MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM, Hydrodynamic and Transport Module, Scientific Documentation", Horsholm Dänemark, 2014
- /3/ Lang, G. 2003. Ein Beitrag zur Tidedynamik der Innenjade und des Jadebusens. Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau Nr. 86. S. 33-42.
- /4/ DHI WASY GmbH (11/2019): WHV LNG Kolkanfälligkeit - 3D Strömungs-Modellierung: Berechnung von Strömungen am bestehenden und geplanten LNG Terminal in Wilhelmshaven zur Bewertung der Kolkanfälligkeit (14804873)
- /5/ UGS (2008): Critical shear stress particle-size classification for determining approximate condition for sediment mobility at 20 degrees Celsius, <https://pubs.usgs.gov/sir/2008/5093/table7.html>
- /6/ BNatSchG (2009): Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz - BNatSchG) vom 29. Juli 2009 (BGBl. I S. 2542), zuletzt geändert durch Art. 1 des Gesetzes vom 18. August 2021 (BGBl. I S. 3908).
- /7/ IMP Ingenieure GmbH & Co. KG (09/2020): LNG-Terminal Wilhelmshaven – Feinkornanteile im wasserseitigen Planungsraum