

# **Wasserrechtlicher Planfeststellungsantrag für die Errichtung eines FSRU-Schiffsanlegers mit Liegewanne und Zufahrtbereich**

## **LNG Voslapper Groden Nord 2**

**Teil B - Antragsunterlagen  
12 Umweltbedingungen und Hydrodynamische  
Studien  
FSRU Wilhelmshaven GmbH**

19. September 2023

## Kontakt

**KERSTIN ZÜLCH**  
Senior Consultant  
Genehmigungsverfahren

M +49 173 4102391  
E [kerstin.zuelch@arcadis.com](mailto:kerstin.zuelch@arcadis.com)

Arcadis Germany GmbH  
EUREF-Campus 10  
10829 Berlin  
Deutschland

---

**WEITERE BETEILIGTE**  
Georg Fank (extern)

## Inhalt

<b>12 Umweltbedingungen und Hydrodynamische Studien</b>	<b>6</b>
12.1 Einleitung und Methodik	6
12.2 Kurzzusammenfassung der Ergebnisse	8
12.3 Wind	8
12.4 Wasserstände an Pegelstationen	10
12.5 Strömungen und Strömungsmodellierung	11
12.5.1 Modellaufbau	11
12.5.1.1 Grundlagen	11
12.5.1.2 Begrenzung und Modellverschachtelung	14
12.5.2 Kalibrierung / Validierung des hydrodynamischen Modells	16
12.5.3 Bauliche Strukturen für die Modellrechnungen	18
12.5.4 Ergebnisse der Szenarien (Normal und Extrem)	19
12.5.4.1 Referenzszenario: Durchschnittliche Bedingungen	19
12.5.4.2 Referenzszenario: Sturm Felix (hohe Flutgeschwindigkeiten)	19
12.5.4.3 Referenzszenario: Sturm Ciara (hohe Ebbegeschwindigkeiten)	20
12.5.4.4 Vergleich der Szenarien	20
12.5.4.5 Fazit:	20
12.5.4.6 Ergebnisse bei Extremströmungen	22
12.6 Wellenklima	23
12.6.1 Offshore	23
12.6.2 Wellenklima und Wellenmodell	23
12.6.3 Wellenklima am Projektstandort	24
12.6.4 Extreme Wellen	25
12.7 Zusammenfassung der extremen Umweltbedingungen	26
12.8 Sonstige Umweltbedingungen	29
12.8.1 Wasserstandsdaten und Referenzwerte am LNG-Terminal Uniper	29
12.8.2 Dichte des Meerwassers	29
12.8.3 Temperatur des Meerwassers	29
12.8.4 Schwebstoffverhältnisse	30
12.9 Übersicht der Dokumente	31

## Abbildungen

Abbildung 1: Nautische Referenzniveaus für den Projektstandort	7
Abbildung 2: Referenzort „Leuchtturm Alte Weser“	7
Abbildung 3: Windverteilung am NORA3, in der Nähe des Projektstandorts	9
Abbildung 4: Spitzenwindgeschwindigkeiten für jeden Windsektor für verschiedene Wiederkehrperioden.	9
Abbildung 5: Wasserstände am Pegel Alte Weser	10
Abbildung 6: Korrelationskoeffizient zwischen Hooksielplate und Leuchtturm Alte Weser unter Berücksichtigung verschiedener Zeitabstände	11
Abbildung 7: Berechnungsnetz des Jade-Weser-Modells	12
Abbildung 8: Vergrößerte Darstellung in der Nähe des Projektstandorts des Berechnungsrasternetzes für das Jade-Weser-Modell	13
Abbildung 9: Modell-Bathymetrie [m MW] des Jade-Weser-Modells	14
Abbildung 10: Jade-Weser-Modellgitter und Grenzpunkte. Die grünen Dreiecke zeigen die Grenzpunkte des Offshore-Wasserstands an.	15
Abbildung 11: Pegelstationen, die zur Modellkalibrierung herangezogen wurden	17
Abbildung 12: Zeitreihen des modellierten (blau) und gemessenen (orange) Wasserstands [m MW] am Pegel Hooksielplate für den Modellierungszeitraum 28-Aug-2018 bis 13-Sep-2018.	18
Abbildung 13: Vergrößerung der Modell-Bathymetrie [m MW] des Jade-Weser-Modells in der Nähe des Projektstandorts einschließlich der kurzfristigen Projektstrukturen	19
Abbildung 14: Maximale, über die Tiefe gemittelte Strömungsgeschwindigkeit [m/s] und Vektoren, berechnet für den Zeitpunkt der maximalen Flut-Strömungsgeschwindigkeit im Modellierungszeitraum von 28. Aug. 2018 bis 13. Aug. 2018. Ergebnisse des Kurzzeitszenarios	21
Abbildung 15: Vergrößerte Darstellung: Maximale, über die Tiefe gemittelte Strömungsgeschwindigkeitsdifferenz [m/s] (temporäres Szenario – Referenz-Szenario) und Vektoren (grün: Referenz, violett: Szenario), berechnet für den Zeitpunkt der maximalen Flut-Strömungsgeschwindigkeit im Modellierungszeitraum von 28. Aug. 2018 bis 13. Sept. 2018.	21
Abbildung 16: Über die Tiefe gemittelte Größe der Strömungsgeschwindigkeit [m/s] (Median, Minimum und Maximum über den gesamten Simulationszeitraum) am Wendebecken in Bezug auf den Zeitpunkt des oberen Pegelstands. Berechnet für den gesamten Modellierungszeitraum vom 28. Aug. 2018 bis 13. Sept. 2018.	22
Abbildung 17: Umrisslinie des grundlegenden Wellenmodells (türkis) und des erweiterten Wellenmodells (grün).	23
Abbildung 18: Rasternetz und Bathymetrie vom erweiterten Rasternetz	24
Abbildung 19: Ausgangsorte des Wellenmodells für das Normalklima an dem betreffenden Standort	24
Abbildung 20: Wellenrosen für normale Wellenbedingungen am Projektstandort (Beispiel BD3 und MD4)	25
Abbildung 21: Korngrößenverteilungen von Sedimentproben, die am 05.05.2022 in der Nähe des LNG-Terminals WHV	30

## Tabellen

Tabelle 1: Spitzenwindgeschwindigkeiten für jeden Windsektor für verschiedene Wiederkehrperioden 9	
Tabelle 2: Extreme obere und untere Pegelstände für verschiedene Wiederkehrzeiträume am Leuchtturm Alte Weser und am Projektstandort	10
Tabelle 3: Datenquellen Modell-Bathymetrie	13
Tabelle 4: Simulationszeiträume der hydrodynamischen Modellierung	16
Tabelle 5 Statistische Parameter des Vergleichs zwischen gemessenem und simuliertem Wasserstand für relevante Wasserstandsstationen in der Nähe des Projektstandorts	17
Tabelle 6: Maximale Strömungsgeschwindigkeiten	22
Tabelle 7: Extreme Windwelleneigenschaften bei bd3, simuliert für die gemeinsamen Extremwertverteilungen von Windgeschwindigkeit und oberem und unterem Pegelstand	25
Tabelle 8: Dünungswellenverhältnisse im 100-jährigen Wiederkehrzeitraum	27
Tabelle 9: Spitzenwindgeschwindigkeiten (m/s) am Projektstandort für jeden Windsektor für verschiedene Wiederkehrzeiträume	27
Tabelle 10: Extreme Strömungsverhältnisse am Projektstandort	27
Tabelle 11: Extreme obere und untere Pegelstände für verschiedene Wiederkehrzeiträume am Projektstandort.	28
Tabelle 12: Windwellenverhältnisse im 100-jährigen Wiederkehrzeitraum	28
Tabelle 13 Andere Windwellenverhältnisse im Wiederkehrzeitraum	28
Tabelle 14: Wasserstandsdaten am Nachbarterminal LNG Terminals WHV	29
Tabelle 15: Durchschnittliche monatliche Wassertemperatur in Wilhelmshaven	30

## 12 Umweltbedingungen und Hydrodynamische Studien

### 12.1 Einleitung und Methodik

Für Planung, den Bau, Unterhalt und Betrieb des Vorhabens sind detaillierte Kenntnisse der Umweltbedingungen auch bei seltenen Extremwetterverhältnissen erforderlich. Hierzu gehören u.a. minimale und maximale Wasserstände, Windgeschwindigkeiten und Richtungen, Wellen (Höhe, Frequenz), Gezeitenströmungen. Im Offshore- und Küsteningenieurwesen wird dafür „Metozean“ als Abkürzung von Meteorologie und Ozeanographie verwendet.

Am Projektstandort befinden sich direkt keine baulichen Strukturen an denen regelmäßige und umfassende Messungen der Umgebungsbedingungen durchgeführt wurden. Es ist deshalb notwendig, die relevanten Umweltbedingungen durch vorhandene Daten aus dem Umfeld, Messungen am Standort und der Hilfe von numerischen Modellen zu ermitteln. Hierbei sind sowohl die Bedingungen unmittelbar am Projektstandort relevant, beispielsweise zur Bestimmung der Mindesttiefe der Liegewanne und Zufahrt, sowie auf die Bauwerke wirkenden Wind- und Wellenkräfte, als auch die Umweltbedingungen in einem größeren Umfeld. Diese Daten sind erforderlich für die Verteilung der Sedimentfahnen während der Baggerarbeiten sowie die lang- und kurzfristigen morphologischen Veränderungen durch das Vorhaben. Die Daten werden auch für Ausbreitungsrechnungen der Temperaturfahnen von eingeleiteten Prozesswässern in der Jade verwendet (nachrichtlich).

Für die Planung des Vorhabens relevante, wesentliche Umweltbedingungen (bzw. Umgebungsbedingungen) sind beschrieben in „12.1\_Bericht über die Umweltbedingungen\_2014.07\_Rev01“. Dieser Bericht beschreibt auch die Grundlagen für die hydrodynamischen Simulationen und stellt daher eine wichtige Datenbasis dar.

Ziel des Berichts ist die Untersuchung der metoceanen Verhältnisse im Jadebusen und speziell am Projektstandort. Zu diesem Zweck wurden gemessene historische Wind-, Wellen- und Wasserbaumaßnahmen aus der näheren Umgebung sowie standortbezogene Daten untersucht, die durch numerische Modellierung von Wellen und Gezeitenströmungen gewonnen wurden. Für Letztere wurden hydrodynamische Simulationen des Referenzstadiums (ohne Vorhaben) und des Projektstadiums (mit Vorhaben) durchgeführt, um einen Einblick in die lokalen hydrodynamischen Verhältnisse zu gewinnen und die Auswirkungen des Vorhabens auf die lokale Hydrodynamik zu bewerten. Im Bericht wird das Vorhaben zum Teil als „Kurzzeitprojekt“ bezeichnet. Dies bezieht sich auf die schnelle Umsetzung des Projekts und wurde zur Unterscheidung des Langzeitprojektes (Energiepark) von IMDC verwendet.

Es werden verschiedene Referenzpegel zur Beschreibung der Wasserstände verwendet.

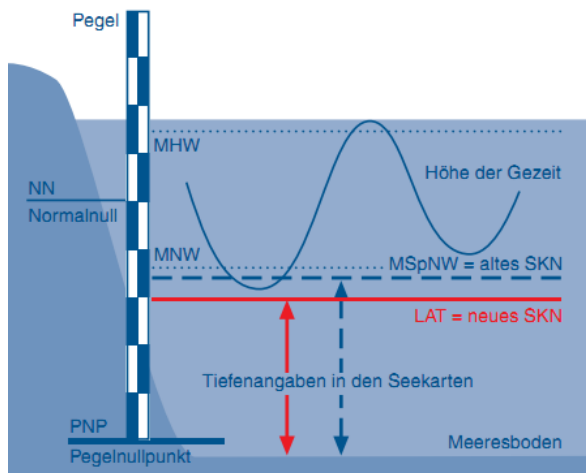


Abbildung 1: Nautische Referenzniveaus für den Projektstandort

MW = Mittel Wasser = NHN = Normalhöhenull

SKN = Seekartennull = LAT (Niedrigste astronomische Tide).

Am Projektstandort beträgt der Unterschied: MW [m] zu SKN [m] - 2.49



Abbildung 2: Referenzort „Leuchtturm Alte Weser“

## 12.2 Kurzzusammenfassung der Ergebnisse

Die umfangreichen Details zur Ermittlung der Umweltbedingungen lassen sich für die wichtigen Parameter für die Planung und Auslegung auf der Grundlage der Ergebnisse der 100-jährlichen wiederkehrenden Verhältnisse am Projektstandort wie folgt zusammenfassen:

- Windgeschwindigkeit = 27,8 m/s, kommend aus einer NNW-Richtung
- Oberer Pegelstand = 4,67 m MW (Mittel Wasser)
- Unterer Pegelstand = -3,21 m MW (Mittel Wasser)
- Dünungswellenverhältnisse = 0,4 m aus NNO und Nord mit einer Tp von 6,7 bzw. 8,7 s.
- Lokale, vom Wind erzeugte Wellenverhältnisse = 2,1 m, Richtung 347°N und mit einer Tp von 5,2 s
- Maximale, über die Tiefe gemittelte Gezeitenströmung = 1,88 m/s (erhöht sich mit Wendebecken und FSRU um 0,1 m/s)

Dies wird in den folgenden Abschnitten näher erläutert.

## 12.3 Wind

Windmessungen vom Leuchtturm Alte Weser sind beim Deutschen Wetterdienst (DWD) Climate-Data-Center (CDC) erhältlich. Der Leuchtturm Alte Weser befindet sich auf 53,86 °N; 8,13 °E am äußeren Rand der Wesermündung in der Deutschen Bucht. Die Windmessungen werden bis zum 25. April 2007 auf einer Höhe von 42,6 m über MW und seitdem auf 41 m über MW durchgeführt. Die Daten werden „wie beobachtet“ zur Verfügung gestellt, eine Homogenisierung wurde vom DWD nicht vorgenommen. Die Daten sind auf 10 m über NHN skaliert, wobei ein logarithmisches vertikales Windprofil und eine Oberflächenrauigkeit von 0,0002 m angenommen wird.

Die Windmessungen an der Alten Weser werden als repräsentativ für die Wesermündung angesehen. Darüber hinaus werden die an der Alten Weser gemessenen mittleren Windgeschwindigkeiten als konservativ für den Projektstandort angesehen. Im Untersuchungsgebiet werden die Winde aus der westlichen Hälfte durch die Oberflächenrauigkeit des angrenzenden Landes beeinflusst. Die im Vergleich zur Wasseroberfläche relativ hohe Oberflächenrauigkeit über Land übt eine höhere Widerstandskraft auf die Windgeschwindigkeit aus, wodurch die mittlere Windgeschwindigkeit abnimmt, und die Turbulenz zunimmt.

Abbildung 3 zeigt, dass in der Region südwestliche Winde vorherrschen. Die richtungsbezogenen Extremwertverteilungen für jeden Sektor sind in Abbildung 4 zu sehen. Die maximale Spitzenwindgeschwindigkeit beträgt 27,8 m/s, kommend aus einer NNW-Richtung.



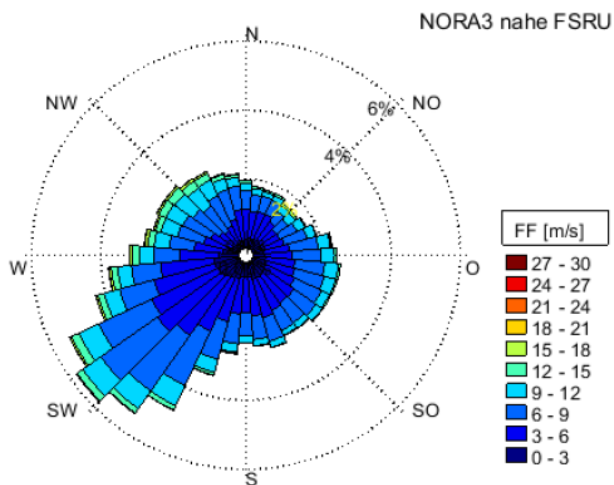


Abbildung 3: Windverteilung am NORA3, in der Nähe des Projektstandorts

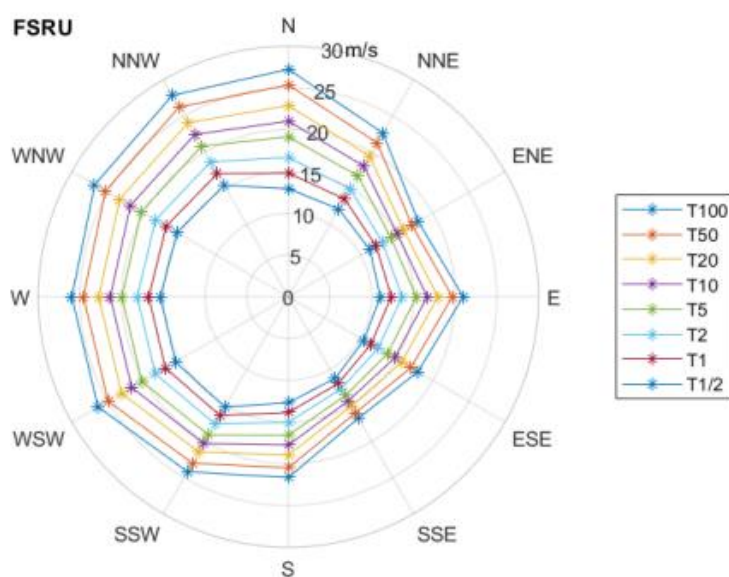


Abbildung 4: Spitzenwindgeschwindigkeiten für jeden Windsektor für verschiedene Wiederkehrperioden.

Tabelle 1: Spitzenwindgeschwindigkeiten für jeden Windsektor für verschiedene Wiederkehrperioden

		ständige mittlere Windgeschwindigkeit											
		Nord	NNO	ONO	Ost	OSO	SSO	Süd	SSW	WSW	West	WNW	NNW
Wiederkehrperioden [Jahre]	100	27.2	22.6	18.0	21.0	17.9	16.8	21.6	24.2	26.4	26.0	26.8	27.8
	50	25.4	21.3	17.1	19.7	17.0	16.1	20.5	23.0	25.0	24.6	25.3	26.2
	20	22.9	19.4	15.9	17.9	15.7	15.1	18.9	21.5	23.1	22.7	23.3	24.1
	10	21.0	18.1	15.1	16.6	14.7	14.4	17.7	20.3	21.7	21.4	21.9	22.4
	5	19.1	16.7	14.2	15.3	13.7	13.6	16.6	19.1	20.3	20.0	20.4	20.8
	2	16.7	14.9	13.0	13.6	12.4	12.7	15.0	17.6	18.4	18.1	18.4	18.7
	1	14.8	13.5	12.1	12.3	11.4	12.0	13.8	16.4	17.0	16.7	16.9	17.0
0.5	12.9	12.1	11.3	11.0	10.4	11.2	12.7	15.2	15.6	15.3	15.4	15.4	

## 12.4 Wasserstände an Pegelstationen

Die Wasserstandsmessungen sind über die Küstendaten der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) verfügbar. Hauptmessstelle für diesen Abschnitt ist die Pegelstation Alte Weser. Die an dieser Station gemessenen Wasserstandsdaten liegen für den Zeitraum 1994 bis 2021 vor und werden, obwohl sie nicht den 18,6-jährigen Gezeitenzyklus abbilden, für eine sinnvolle weitere Analyse als ausreichend angesehen.

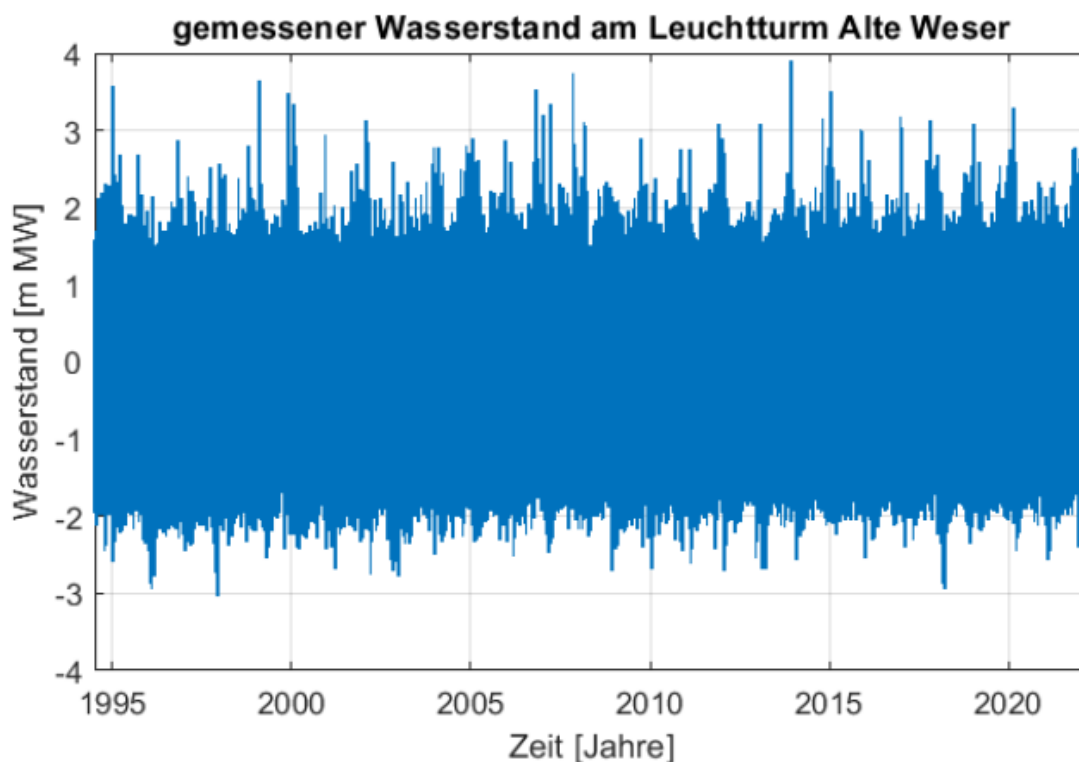


Abbildung 5: Wasserstände am Pegel Alte Weser

Tabelle 2: Extreme obere und untere Pegelstände für verschiedene Wiederkehrzeiträume am Leuchtturm Alte Weser und am Projektstandort

Rückgabefrist [Jahre]	Alte Weser		Projektstandort	
	Hochwasser [m MSL]	Niedrigwasser [m MSL]	Hochwasser [m MSL]	Niedrigwasser [m MSL]**
100	4.40	-3.21	4.67	-3.51
50	4.18	-3.13	4.44	-3.41
20	3.89	-3.01	4.14	-3.30
10	3.67	-2.92	3.91	-3.20
5	3.45	-2.81	3.68	-2.10
2	3.15	-2.68	3.37	-2.98
1	2.90	-2.58	3.11	-2.92

\*\* Die 95%-Konfidenzintervall-Linie verwendet, um der niedrigen Wasserstände abzuschätzen

Für den Pegelort „Alte Weser“ liegen lückenlose, vollständige Daten auch zu anderen Bedingungen vor. Die Pegel an der Station „Alte Weser“ korrelieren sehr gut mit den Pegelständen Hooksielplate in der Nähe des Projektstandortes. Der Zusammenhang zwischen den Wasserständen am Leuchtturm Alte Weser und der Hooksielplate ist am stärksten ( $R^2 = 0,9968$ ), wenn ein zeitlicher Abstand von 25 Minuten berücksichtigt wird, siehe **Error! Reference source not found..** Eine Umrechnung auf der Projektstand ist damit gut möglich.

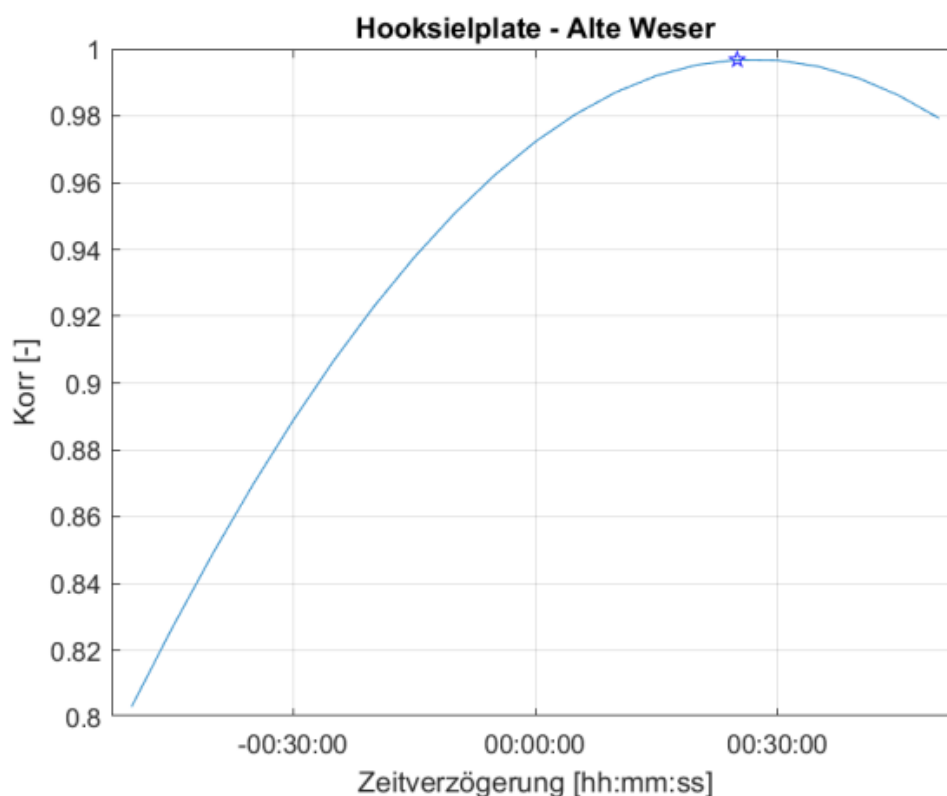


Abbildung 6: Korrelationskoeffizient zwischen Hooksielplate und Leuchtturm Alte Weser unter Berücksichtigung verschiedener Zeitabstände

## 12.5 Strömungen und Strömungsmodellierung

### 12.5.1 Modellaufbau

#### 12.5.1.1 Grundlagen

Für die hydrodynamischen Berechnungen wurde die Software TELEMAC-3D (v8p1 goblinsark) eingesetzt. TELEMAC-3D verwendet die Flachwassergleichungen, 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.

Das Modell umfasst das gesamte Gebiet des Jade-Ästuars und einen großen Teil des Weser-Ästuars bis Bremen. Die Anzahl der Rechenknoten im Modellrasternetz variiert je nach Szenario, es besteht jedoch aus mehr als 150.000 Knoten in der Horizontalen, mit einer Elementgröße von 5 m bis 1.000 m. Für die vertikale Diskretisierung werden fünf vertikale Knoten verwendet. Dies führt zu einer

Gesamtanzahl von mehr als 750.000 Knoten. Diese vertikalen Knoten befinden sich bei 0 %, 12 %, 30 %, 60 % und 100 % (ausgedrückt als Prozentsatz der Wassertiefe). Die Anzahl der vertikalen Knoten kann flexibel angepasst werden und wird zum Beispiel erhöht, wenn das vertikale Profil der Strömung untersucht wird.

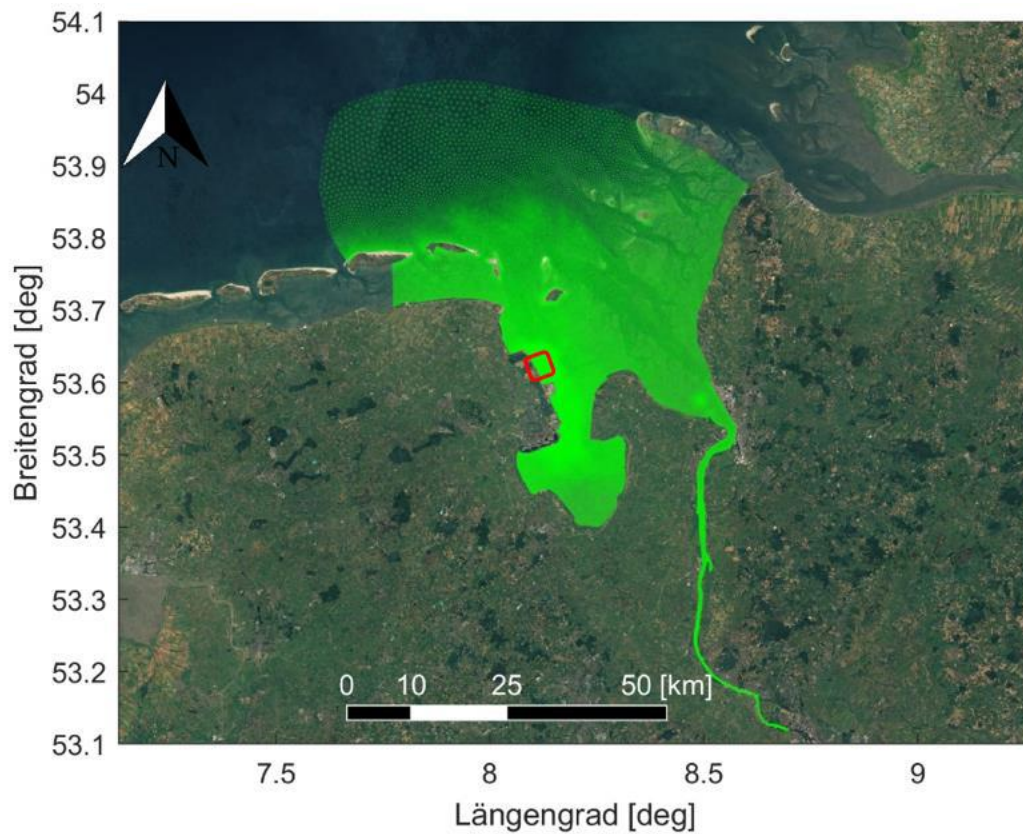


Abbildung 7: Berechnungsnetz des Jade-Weser-Modells

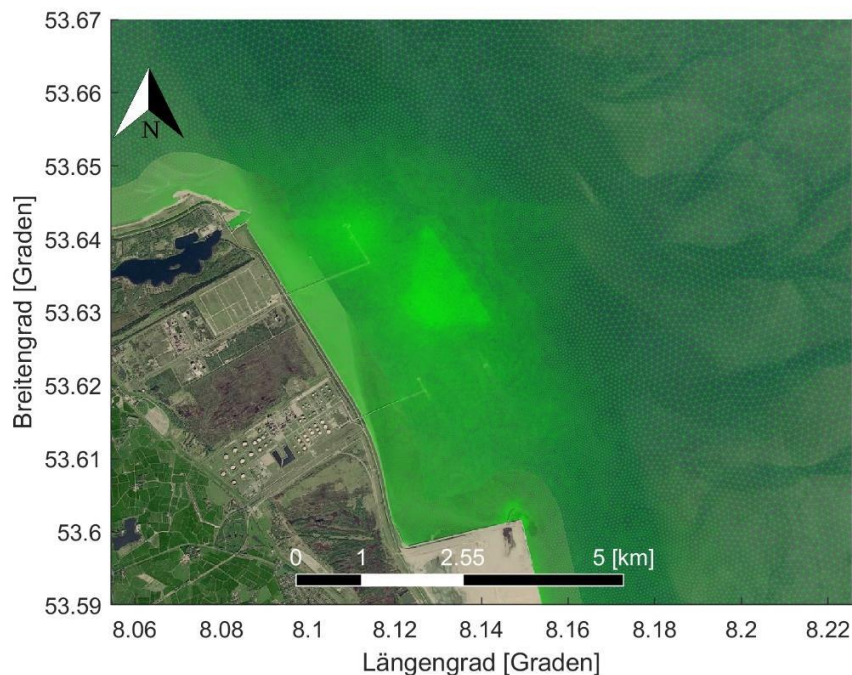


Abbildung 8: Vergrößerte Darstellung in der Nähe des Projektstandorts des Berechnungsrasternetzes für das Jade-Weser-Modell

Die Modell-Bathymetrie wurde mit Daten aus vier verschiedenen Datenquellen erstellt, die Daten aus den Jahren 2012 bis 2022 enthalten:

Tabelle 3: Datenquellen Modell-Bathymetrie

Name	Auflösung (m)	Quelle
„014_Zufahrt HES und LNG-Anleger_5 m Grid_19.24.01.22_SKN“	5x5	Kunde / TES
Emodnet 2020 Daten	150 x 150	<a href="https://www.emodnet-bathymetry.eu/">https://www.emodnet-bathymetry.eu/</a>
„DGM-W_2018_Jade_5x5m“	5x5	<a href="https://www.kuestendaten.de/Tideweser/DE/Service/Kartenthemen/Kartenthemen_node.html">https://www.kuestendaten.de/Tideweser/DE/Service/Kartenthemen/Kartenthemen_node.html</a>
„DGM-W_2012_Unterweser_Nebeanfluesse_5x5m“	5x5	<a href="https://www.kuestendaten.de/Tideweser/DE/Service/Kartenthemen/Kartenthemen_node.html">https://www.kuestendaten.de/Tideweser/DE/Service/Kartenthemen/Kartenthemen_node.html</a>

Alle Daten werden auf den MW umgerechnet und anschließend auf das Berechnungsnetz interpoliert.

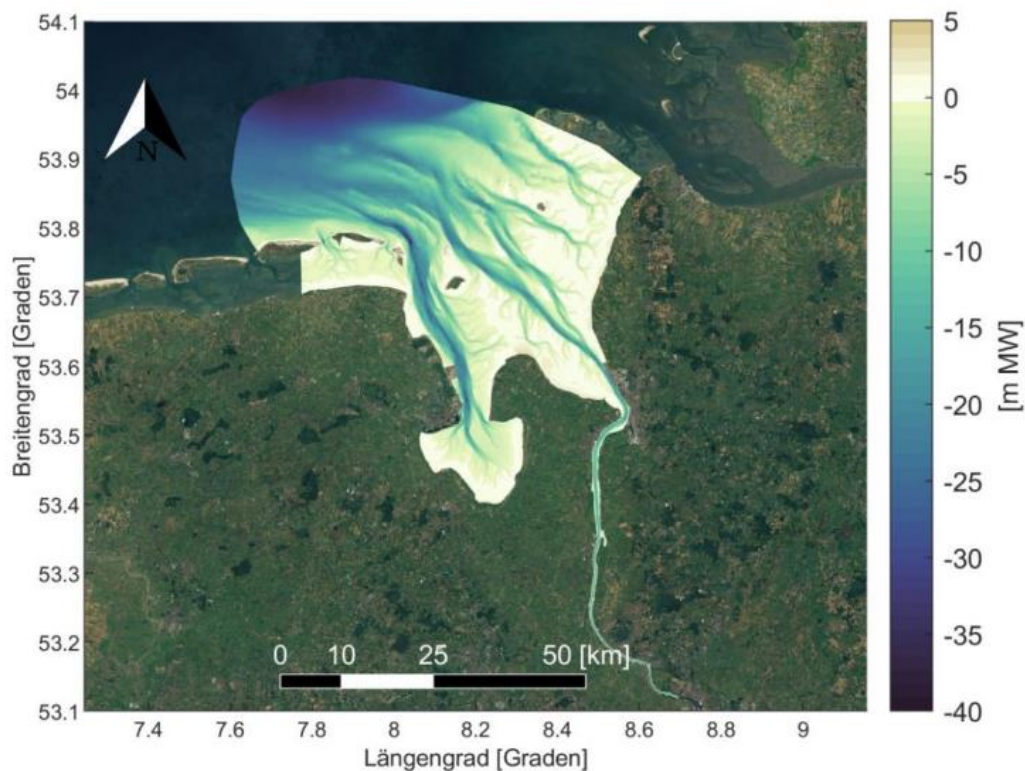


Abbildung 9: Modell-Bathymetrie [m MW] des Jade-Weser-Modells

### 12.5.1.2 Begrenzung und Modellverschachtelung

Das Modell enthält eine offene Offshore-Wasserstandsgrenzung und eine Abflussgrenze für die Weser. An der Offshore-Grenze werden beobachtete Wasserstandswerte des Pegels Alte Weser verwendet. Den Zeitreihen wurde eine Phasenverzögerung hinzugefügt, um die geografische Verschiebung zwischen dem westlichen und dem östlichen Endpunkt der Grenze zu berücksichtigen. Für die Abflussgrenze wird ein konstanter Abflusswert von 325 m<sup>3</sup>/s angenommen, der einen Jahresmittelwert darstellt (Gundlach et al., 2021).

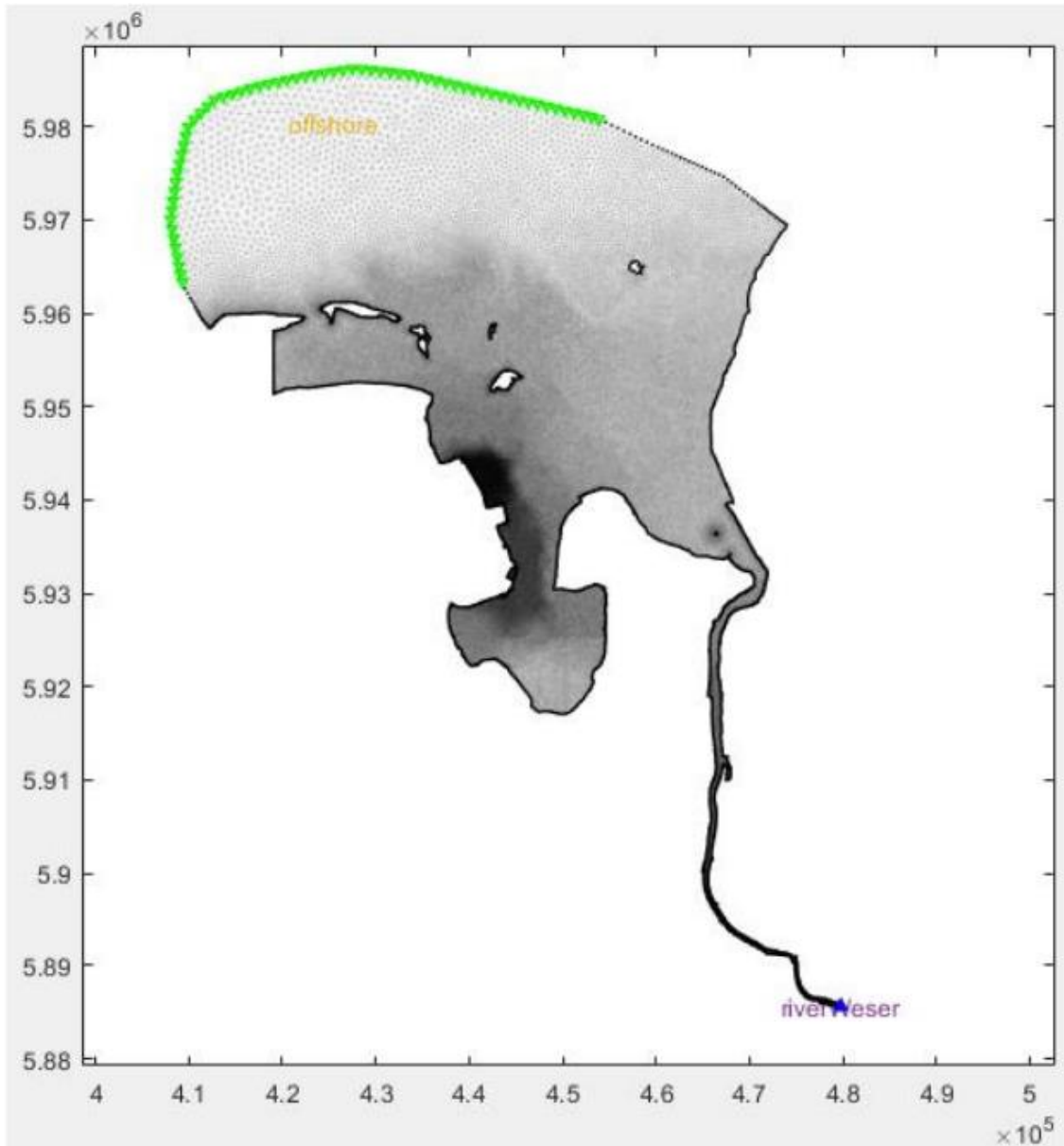


Abbildung 10: Jade-Weser-Modellgitter und Grenzpunkte. Die grünen Dreiecke zeigen die Grenzpunkte des Offshore-Wasserstands an.

Verwendete Simulationszeiträume für die hydrodynamische Modellierung:

Tabelle 4: Simulationszeiträume der hydrodynamischen Modellierung

Beschreibung des Zeitraums	Simulationszeitraum
Zeitraum Aug-Sep 2018, entspricht den durchschnittlichen Verhältnissen	28-Aug-2018 bis 13-Sep-2018
Zeitraum Jan 2015, entspricht am nächsten den Verhältnissen eines T100-Sturms	04 -Jan-2015 bis 19-Jan -2015
Zeitraum Feb 2020, zweitstärkster Sturm in der Zeitreihe	08-Feb-2020 bis 23-Feb-2020

## 12.5.2 Kalibrierung / Validierung des hydrodynamischen Modells

Die modellierten Wasserstände werden kalibriert, indem die Modellergebnisse mit den Messdaten der Stationen im gesamten Modellgebiet, die in der durchschnittlichen Spring-Nipp-Periode vom 28. Aug bis 13. Sept. 2019 erfasst wurden, verglichen werden. Die Ergebnisse der Modellkalibrierungssimulation sind in Tabelle 4-3 im Bericht dargestellt. Die Zeitreihen der gemessenen und modellierten Wasserstände der relevanten Stationen in der Nähe des Projektstandorts sind in Abbildung 4-10 bis Abbildung 4-11 (*im Bericht*) dargestellt. Die Tabelle und die Abbildung zeigen, dass das Modell bei der Berechnung der hydrodynamischen Bedingungen in dem Gebiet gut abschneidet, mit einem **RMSE unter 0,1 m** (RMSE = mittlerer quadratischer Fehler) für die Wasserstände in der Nähe von Wilhelmshaven.



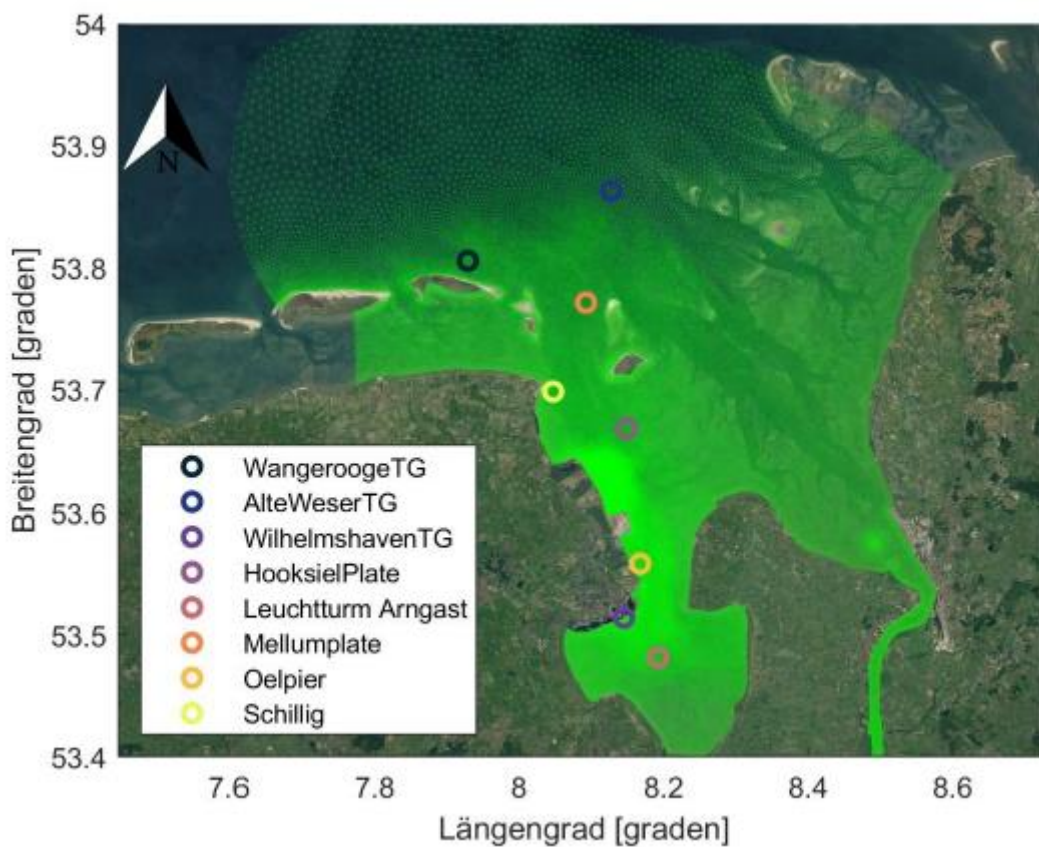


Abbildung 11: Pegelstationen, die zur Modellkalibrierung herangezogen wurden

Tabelle 5 Statistische Parameter des Vergleichs zwischen gemessenem und simuliertem Wasserstand für relevante Wasserstandsstationen in der Nähe des Projektstandorts

Station	Bias [m]	RMSE [m]	RMSEO [m]
Wangerooge	0	0,09	0,09
Leuchtturm 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

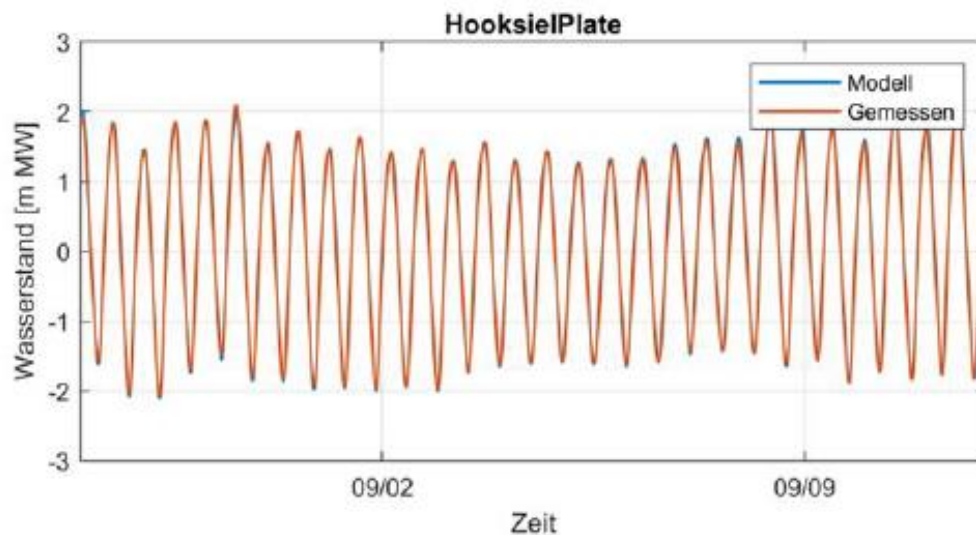


Abbildung 12: Zeitreihen des modellierten (blau) und gemessenen (orange) Wasserstands [m MW] am Pegel Hooksielplate für den Modellierungszeitraum 28-Aug-2018 bis 13-Sep-2018.

Die modellierten Strömungsgeschwindigkeiten wurden durch den Vergleich der simulierten Strömungen mit Punktmessungen an verschiedenen Stationen entlang der Jade validiert. Hierzu wurden sowohl Daten des WSA als auch eigene Strömungsmessungen verwendet, siehe auch Punkt **Error! Reference source not found.** „**Error! Reference source not found.**“. Weitere Details zur Strömungsmodellierung sind in „12.1\_Bericht über die Umweltbedingungen\_2014.07“ zu finden.

### 12.5.3 Bauliche Strukturen für die Modellrechnungen

Für die weiteren Berechnungen und Simulationen wurden in das Jade-Weser-Modell folgende bauliche Strukturen eingefügt:

- Liegewanne/Wendebecken (gemäß den Grundrisszeichnungen), realisiert durch Anpassung der Bathymetrie auf -17 m MHN
- FSRU, umgesetzt durch eine Neudefinition des Berechnungsrasters um die Umrisslinie der FSRU. Hier wird die FSRU als eine Struktur schematisiert, die sich über die gesamte Wassertiefe erstreckt. Dies ist ein konservativer Ansatz, der zu einer Überbewertung der Auswirkungen der FSRU auf die Strömung führt.
- Dalben, die durch Hinzufügen eines Impulsquellentерms (der die von den Dalben verursachte Widerstandskraft berücksichtigt) zum Modell an ihren Standorten implementiert werden.

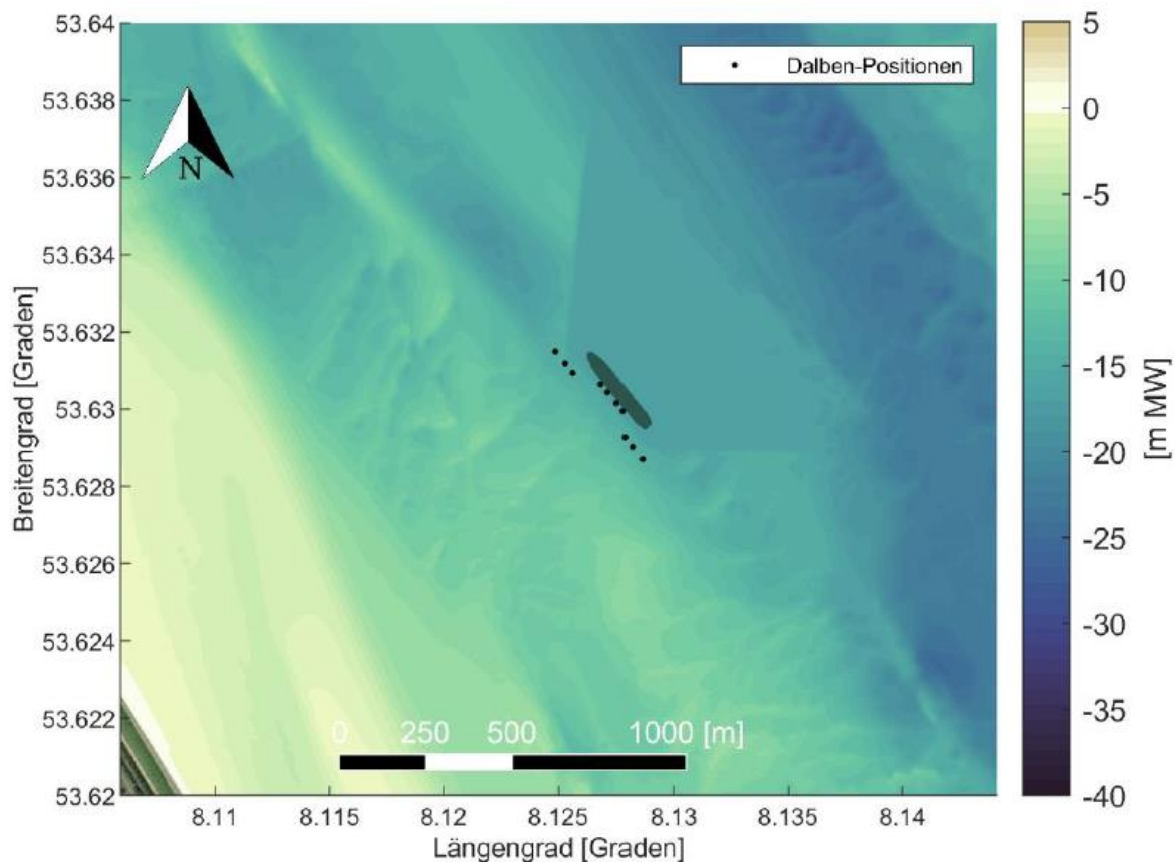


Abbildung 13: Vergrößerung der Modell-Bathymetrie [m MW] des Jade-Weser-Modells in der Nähe des Projektstandorts einschließlich der kurzfristigen Projektstrukturen

## 12.5.4 Ergebnisse der Szenarien (Normal und Extrem)

Zum Vergleich wurde das Modell auf unterschiedliche Szenarien angewendet.

### 12.5.4.1 Referenzszenario: Durchschnittliche Bedingungen

Während dieses durchschnittlichen Simulationszeitraums (28. Aug. 2018 bis 13. Sept. 2018) betrug die maximalen Geschwindigkeiten am Standort des Wendebeckens 1,09 m/s, während der Flut und 1,16 m/s und während der Ebbe. Die Strömungsrichtung variiert im Laufe der Zeit nur wenig und zeigt eine vorherrschende Flut- und Ebberichtung, beziehungsweise 141,5°N und 323,5°N (am Anlegedalben selbst 141°N und 323°N). Karten der maximalen Ebbe- und Flutströmungen zeigen, dass die höchsten über die Tiefe gemittelten Strömungen bei Flut in der Mitte der Fahrrinne vorzufinden sind, während die höchsten Strömungen bei Ebbe etwas weiter westlich vorzufinden sind. In beiden Fällen ist eine allmähliche Größenabnahme in Richtung der seitlichen Ufer zu beobachten.

### 12.5.4.2 Referenzszenario: Sturm Felix (hohe Flutgeschwindigkeiten)

Die Ergebnisse der stürmischen Simulationsperiode (04. Januar 2015 bis 19. Januar 2015), in der Sturm Felix vorbeizog, werden in diesem Szenario dargestellt. Während dieses Zeitraums betragen die maximalen Geschwindigkeiten am Standort der FSRU 1,34 m/s bei Flut und 1,1 m/s bei Ebbe. Trotz eines solchen Sturms in der Zeitreihe variiert die Strömungsrichtung im Laufe der Zeit nur wenig und zeigt, dass die vorherrschenden Flut- und Ebberichtungen (141,5 °N bzw. 323,5 °N) durch den Sturm nicht beeinflusst werden. Im Wendebecken und näher an der Fahrrinne wurde eine maximale Flutgeschwindigkeit von 1,45 m/s ermittelt.

#### **12.5.4.3 Referenzszenario: Sturm Ciara (hohe Ebbegeschwindigkeiten)**

Die Ergebnisse der stürmischen Simulationsperiode (08. Februar 2020 bis 23. Februar 2020), in der der Sturm Ciara vorbeizog, wurden herangezogen. Während dieses Zeitraums betragen die maximalen Geschwindigkeiten an der Stelle der FSRU 1,22 m/s bei Flut und 1,24 m/s bei Ebbe. Die höchsten Ebbestromgeschwindigkeiten wurden kurz nach dem Vorbeiziehen des Sturms Ciara festgestellt, was zum größten Wasserstandsabfall, während eines Ebbstroms im Zeitraum zwischen 2013 und 2022 führte (gemessen am Pegel Alte Weser). Trotz eines solchen Sturms in der Zeitreihe ändert sich die Strömungsrichtung im Laufe der Zeit nur wenig und zeigt immer noch die gleichen vorherrschenden Flut- und Ebberichtungen (141,5 °N bzw. 323,5 °N) wie beim Szenario der durchschnittlichen Strömung. Im Wendebassin und näher an der Fahrrinne wurde eine maximale Ebbegeschwindigkeit von 1,5 m/s ermittelt.

#### **12.5.4.4 Vergleich der Szenarien**

Die Ergebnisse zum Vergleich für Sturm Felix zeigen, dass bei einer extremen Flut hinter der FSRU eine Nachströmung entsteht, in der die über die Tiefe gemittelten Strömungsgeschwindigkeiten abnehmen. Die Nachströmung hat eine Breite von ca. 200–300 m und ist bis zu 3 km stromabwärts der FSRU bemerkbar. Durch die Vertiefung der Bathymetrie am Standort des Wendebassins nimmt die über die Tiefe gemittelte Strömungsgeschwindigkeit unmittelbar stromaufwärts und stromabwärts des Bassins um 0,05 bis 0,1 m/s zu und innerhalb des Bassins in ähnlichem Maße ab. Die Größe der Nachströmung bei Sturm Felix ist vergleichbar mit der Größe der Nachströmung bei durchschnittlichen Verhältnissen. Darüber hinaus ist eine Geschwindigkeitsabnahme bis zu 0,1 m/s im westlichen Bereich der FSRU, sowie auf beiden Seiten der Nachströmung eine geringe Geschwindigkeitszunahme (bis zu 0,05 m/s) zu beobachten.

Die Ergebnisse zum Vergleich für Sturm Ciara sind ähnlich zu Sturm Felix und zeigen, dass bei einer extremen Ebbe hinter der FSRU eine Nachströmung entsteht, in der die über die Tiefe gemittelten Strömungsgeschwindigkeiten abnehmen. Die Nachströmung hat eine Breite von ca. 200–300 m und ist bis zu 3 km stromaufwärts der FSRU bemerkbar. Die Größe der Nachströmung beim Sturm Ciara ist vergleichbar mit der Größe der Nachströmung bei durchschnittlichen Verhältnissen. Durch die Vertiefung der Bathymetrie am Standort des Wendebassins nimmt die über die Tiefe gemittelte Strömungsgeschwindigkeit unmittelbar stromaufwärts und stromabwärts des Bassins um 0,05 bis 0,1 m/s zu und innerhalb des Bassins in ähnlichem Maße ab. Darüber hinaus ist ein geringer Anstieg parallel zur Nachströmung auf der Ostseite (bis zu 0,05 m/s) zu beobachten.

#### **12.5.4.5 Fazit:**

Die Ergebnisse des temporären Projekt-Szenarios und ihre Unterschiede zum Referenz-Szenario für den Sturm Felix (04. Jan. 2015 bis 19. Jan. 2015) und für den Sturm Ciara (08. Feb. 2020 bis 23. Feb. 2020) zeigen keine wesentlichen Unterschiede im Vergleich zum durchschnittlichen simulierten Zeitraum.

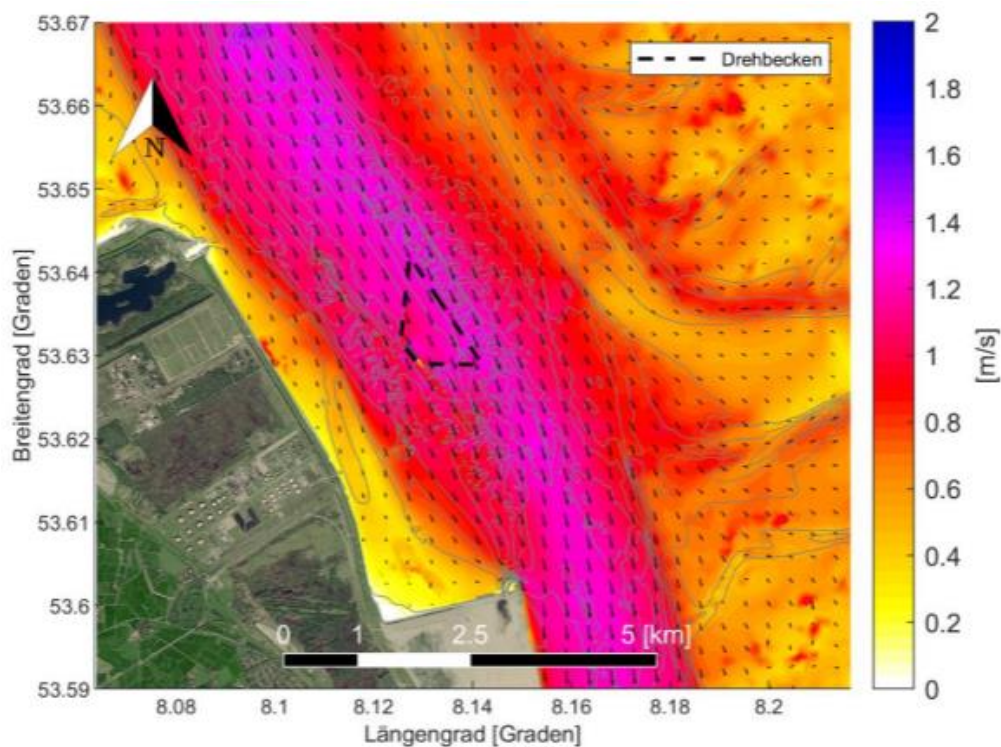


Abbildung 14: Maximale, über die Tiefe gemittelte Strömungsgeschwindigkeit [m/s] und Vektoren, berechnet für den Zeitpunkt der maximalen Flut-Strömungsgeschwindigkeit im Modellierungszeitraum von 28. Aug. 2018 bis 13. Aug. 2018. Ergebnisse des Kurzzeitszenarios

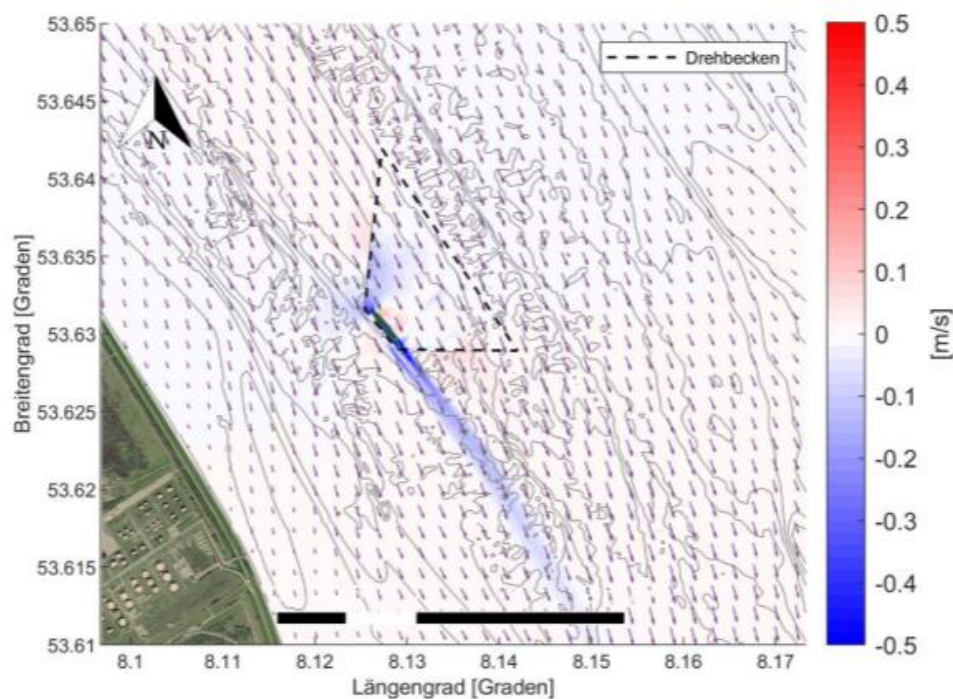


Abbildung 15: Vergrößerte Darstellung: Maximale, über die Tiefe gemittelte Strömungsgeschwindigkeitsdifferenz [m/s] (temporäres Szenario – Referenz-Szenario) und Vektoren (grün: Referenz, violett: Szenario), berechnet für den Zeitpunkt der maximalen Flut-Strömungsgeschwindigkeit im Modellierungszeitraum von 28. Aug. 2018 bis 13. Sept. 2018.

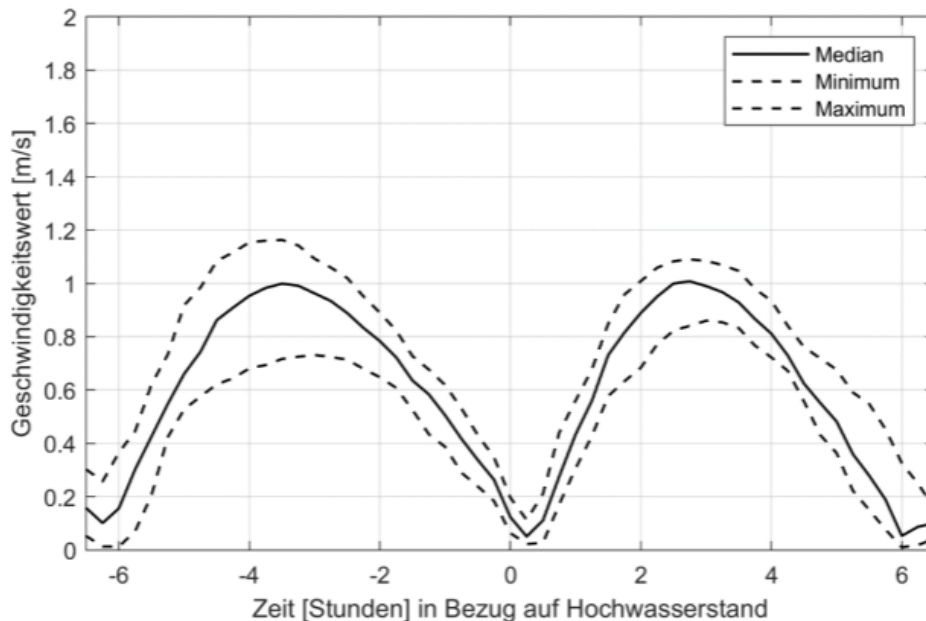


Abbildung 16: Über die Tiefe gemittelte Größe der Strömungsgeschwindigkeit [m/s] (Median, Minimum und Maximum über den gesamten Simulationszeitraum) am Wendebecken in Bezug auf den Zeitpunkt des oberen Pegelstands. Berechnet für den gesamten Modellierungszeitraum vom 28. Aug. 2018 bis 13. Sept. 2018.

#### 12.5.4.6 Ergebnisse bei Extremströmungen

Die Modellierungsergebnisse zeigen, dass unter den bestehenden Verhältnissen am Projektstandort die Ebbe- und Flutströmungsrichtungen bei Extremereignissen nach wie vor mit der vorherrschenden Flut- und Ebberichtung (141,5°N bzw. 323,5°N) übereinstimmen und somit über die Zeit nur eine sehr geringe Variabilität aufweisen. Am Standort der Anlegedalben selbst entsprechen diese Richtungen 141°N bzw. 323°N. Für die extremen Strömungsgeschwindigkeiten wird festgestellt, dass bei Flut die maximale über die Tiefe gemittelte Strömungsgeschwindigkeit innerhalb des Wendebeckens und nahe an der Fahrrinne ca. 1,45 m/s beträgt, nahe dem FSRU-Standort hingegen 1,34 [m/s]. Bei Ebbe beträgt die maximale über die Tiefe gemittelte Fließgeschwindigkeit innerhalb des Wendebeckens und nahe der Fahrrinne 1,5 [m/s], während der entsprechende Wert nahe der FSRU bei 1,24 [m/s] liegt

Um die derzeitige Unsicherheit in der Projektplanung bei der Angabe von Werten für den 100-jährigen Wiederkehrzeitraum zu vermindern, wird ein Sicherheitsfaktor (von 25 %) auf die Geschwindigkeitswerte hinzugerechnet. Hierdurch wird innerhalb des Wendebeckens und nahe der Fahrrinne eine maximale Fließgeschwindigkeit von 1,81 [m/s] bei Flut bzw. 1,88 [m/s] bei Ebbe ermittelt. Nahe der FSRU hingegen beträgt die maximale Geschwindigkeit bei Anwendung eines Sicherheitsfaktors etwa 1,7 [m/s] bei Flut und 1,6 [m/s] bei Ebbe.

Mit FSRU und Wendebecken zeigt das Modell, dass die maximale, über die Tiefe gemittelte Strömungsgeschwindigkeit sehr lokal um 0,05 bis 0,1 m/s zunehmen kann.

Tabelle 6: Maximale Strömungsgeschwindigkeiten

Strömungen				
Richtung Gehend nach (°N)	Geschwindigkeit (m/s) - innerhalb des Wendebeckens	+25%	Geschwindigkeit (m/s) - nahe der FSRU	+25%
324 (Ebbe)	1,5	1,88	1,24	1,6
142 (Flut)	1,45	1,81	1,34	1,7

## 12.6 Wellenklima

### 12.6.1 Offshore

Wellenmessungen sind über das „GeoSeaPortal“ des Bundesamts für Seeschifffahrt und Hydrografie (BSH) verfügbar. Hier relevante Überwachungsstandorte sind Nordergründe (NOR) und Elbe (ELB), die beide mit einer Richtboje ausgestattet sind. Über die Datenbank und das Datenmodell „Windsurfer“ wurden die Welleneigenschaften ermittelt. Zur Bestimmung des extremen Offshore-Wellenklimas wurden die Welleneigenschaften von Windsurfer für den Ort 8,0852°O; 54,1489°N (an der offenen Offshore-Begrenzung des großen Wellenmodells) genutzt.

### 12.6.2 Wellenklima und Wellenmodell

Die Bewertung des Wellenklimas kann sich nicht auf Messungen stützen, wie dies beim Windklima der Fall ist. Wellenmessungen in der Nähe decken nur einige Monate ab, was für die Wellenanalyse nicht ausreicht. Offshore-Wellenmessungen decken einen längeren Zeitraum ab, sind aber nicht stellvertretend für das Wellenklima am Projektstandort, das von den lokalen Gegebenheiten bestimmt wird. Daher wird zur Bestimmung des Wellenklimas in dem zu untersuchenden Gebiet ein lokales Wellenmodell erstellt:

1. Zur Übertragung der Offshore-Wellen auf den Projektstandort.
2. Zur Nachbildung von Windwellen, die lokal durch Windeinflüsse erzeugt werden.

Für die Modellierung werden das hochmoderne spektrale Wellenmodell SWAN für das extreme Wellenklima und TOMAWAC für das normale Wellenklima verwendet. Der Vorteil von SWAN ist, dass es über einen stationären Modus verfügt, der für die Berechnung der extremen Verhältnisse geeignet ist. Zur Berechnung des normalen Klimas wird TOMAWAC gegenüber SWAN bevorzugt, da das TOMAWAC-Modell problemlos mit dem morphologischen Modell im Rahmen der TELEMAC-Suite gekoppelt werden kann, damit dem morphologischen Modell die Wellenverhältnisse zur Verfügung zu stellen.



Abbildung 17: Umrisslinie des grundlegenden Wellenmodells (türkis) und des erweiterten Wellenmodells (grün).

Die Bathymetrie beschreibt den Meeresboden und die Tiefe der Wassersäule, über die sich die Wellen ausbreiten müssen. Die Bathymetrie bestimmt zusammen mit dem Wasserstand die Höhe der Wassersäule, die für die Zwischen- und Flachwasserprozesse der Wellen eine wichtige Rolle spielt.

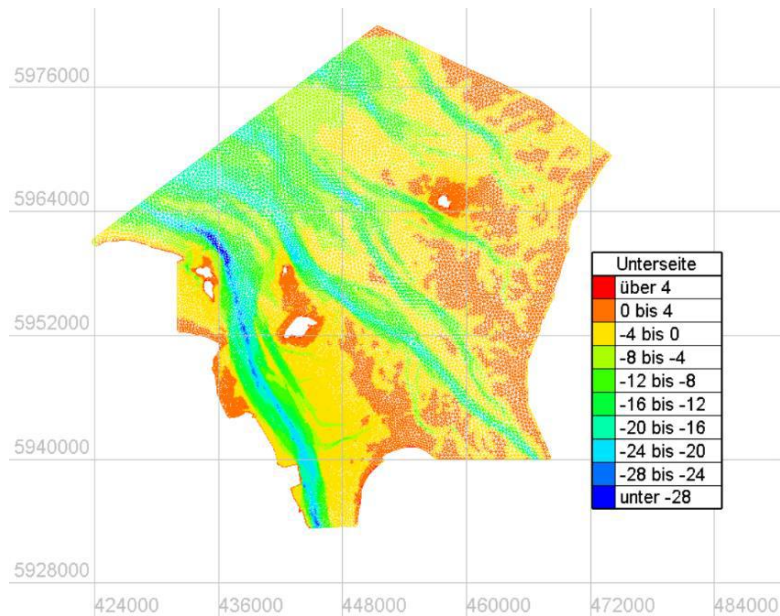


Abbildung 18: Rasternetz und Bathymetrie vom erweiterten Rasternetz

### 12.6.3 Wellenklima am Projektstandort

Mit dem beschriebenen Wellenmodell lassen sich für einzelne Punkte im Vorhaben berechnen. Als relevante Punkte sind gewählt die Dalbenkoordinaten (BD1 – BD4 und MD1 – MD6) sowie 2 Punkte ADCP1 und ADCP2 am Rande des Wendbeckens, an dem Messungen der Bedingungen durchgeführt wurden, vgl. **Error! Reference source not found..**



Abbildung 19: Ausgangsorte des Wellenmodells für das Normalklima an dem betreffenden Standort



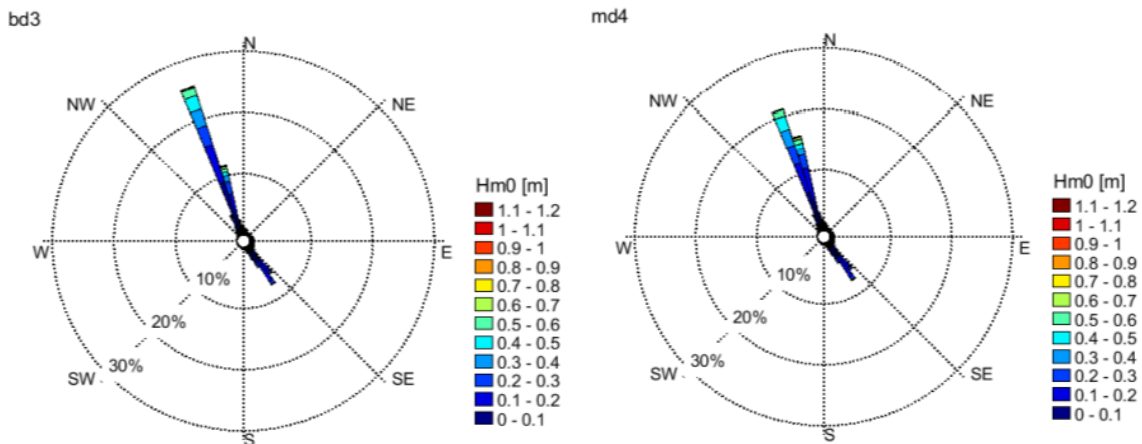


Abbildung 20: Wellenrosen für normale Wellenbedingungen am Projektstandort (Beispiel BD3 und MD4)

Die meisten Wellen am Standort der FSRU kommen aus NNW-Richtung. Die höchsten Wellen kommen aus den nördlichen Richtungen NNW bis NE. Mehr als 90 % des Wellenklimas ist mild, mit signifikanten Wellenhöhen von weniger als 0,6 m. Weniger als 1 % der Wellen sind höher als 1 m. Die Wellenhöhen aus südlichen Richtungen sind niedriger, da es sich um lokal erzeugte Wellen handelt.

### 12.6.4 Extreme Wellen

Entsprechend der gemeinsamen Extremwertverteilungen von Windgeschwindigkeit und Pegelstand am Projektstandort ist nachfolgend die höchste maßgebliche Wellenhöhe bei bd3 für die gemeinsamen Extremkombinationen von Windgeschwindigkeit und Wellenhöhe je Windrichtung und je Wiederkehrpegel dargestellt. Der maximale lokale vom Wind erzeugte Wellenverhältnis beträgt 2,10 m, in Richtung 347°N und mit einer Tp von 5,2 s.

Tabelle 7: Extreme Windwelleneigenschaften bei bd3, simuliert für die gemeinsamen Extremwertverteilungen von Windgeschwindigkeit und oberem und unterem Pegelstand

Windsektor	Eigenschaften	HW-T100	HW-T50	HW-T20	HW-T10	HW-T5	HW-T2	LW-T100
Norden 0°	Hm0 [m]	2,08 m	1,96 m	1,81 m	1,66 m	1,51 m	1,30 m	1,97 m
	Tp [s]	5,1 [s]	5,0 [s]	4,9 [s]	4,7 [s]	4,5 [s]	4,3 [s]	5,0 [s]
	mDir [°N]	347°	346°	347°	348°	348°	349°	343°
NNO 30°	Hm0 [m]	1,62 m	1,53 m	1,41 m	1,31 m	1,2 m	1,06 m	1,43 m
	Tp [s]	4,4 [s]	4,3 [s]	4,2 [s]	4,1 [s]	3,9 [s]	3,8 [s]	4,3 [s]
	mDir [°N]	9°	9°	9°	10°	11°	12°	357°
ONO 60°	Hm0 [m]	1,18 m	1,13 m	1,04 m	0,98 m	0,92 m	0,84 m	0,92 m
	Tp [s]	3,8 [s]	3,7 [s]	3,5 [s]	3,5[s]	3,4 [s]	3,7 [s]	3,1 [s]
	mDir [°N]	51°	51°	51°	51°	51°	52°	52°
Osten 90°	Hm0 [m]	1,32 m	1,24 m	1,13 m	1,04 m	0,95 m	0,83 m	1,07 m
	Tp [s]	3,8 [s]	3,7 [s]	3,6 [s]	3,5[s]	3,4 [s]	3,2 [s]	3,4 [s]
	mDir [°N]	94°	94°	93°	92°	91°	90°	101°
OSO 120°	Hm0 [m]	1,13 m	1,07 m	0,98 m	0,91 m	0,84 m	0,74 m	0,95 m
	Tp [s]	3,7 [s]	3,6 [s]	3,5 [s]	3,4 [s]	3,3 [s]	3,1 [s]	3,4 [s]
	mDir [°N]	123°	123°	123°	123°	122°	122°	128°
SSO 150°	Hm0 [m]	0,98 m	0,93 m	0,88 m	0,83 m	0,78 m	0,71 m	0,91 m
	Tp [s]	3,7 [s]	3,6 [s]	3,5 [s]	3,4 [s]	3,4 [s]	3,3 [s]	3,5 [s]

	mDir [°N]	139°	139°	139°	139°	139°	139°	140°
Süden	Hm0 [m]	1,30 m	1,22 m	1,13 m	1,05 m	0,98 m	0,88 m	1,21 m
	Tp [s]	4,1 [s]	4,1 [s]	4,0 [s]	3,8 [s]	3,7 [s]	3,6 [s]	4,1 [s]
	mDir [°N]	151°	151°	151°	151°	151°	152°	146°
SSW 210°	Hm0 [m]	1,17 m	1,11 m	1,04 m	0,98 m	0,92 m	0,83 m	1,08 m
	Tp [s]	3,8 [s]	3,7 [s]	3,6[s]	3,5[s]	3,4 [s]	3,3 [s]	4,0 [s]
	mDir [°N]	171°	171°	171°	172°	172°	173°	168°
WSW 240°	Hm0 [m]	1,02 m	0,97 m	0,90 m	0,84 m	0,79 m	0,71 m	0,90 m
	Tp [s]	3,0 [s]	2,9 [s]	2,9 [s]	2,8 [s]	2,7 [s]	2,6 [s]	2,8 [s]
	mDir [°N]	239°	240°	240°	240°	242°	240°	245°
Westen	Hm0 [m]	1,33 m	1,26 m	1,17 m	1,09 m	1,01 m	0,91 m	1,22 m
	Tp [s]	4,3 [s]	4,2 [s]	4,1 [s]	4,0 [s]	3,8 [s]	3,7 [s]	4,1 [s]
	mDir [°N]	314°	314°	314°	314°	314°	313°	315°
WNW 300°	Hm0 [m]	1,83 m	1,74 m	1,61 m	1,51 m	1,41 m	1,26 m	1,76 m
	Tp [s]	4,9 [s]	4,8 [s]	4,6 [s]	4,5 [s]	4,5 [s]	4,3 [s]	4,8 [s]
	mDir [°N]	333°	333°	334°	334°	335°	335°	333°
NNW	Hm0 [m]	2,10 m	2,01 m	1,85 m	1,73 m	1,61 m	1,43 m	2,01 m
	Tp [s]	5,2 [s]	5,1 [s]	5,0 [s]	4,9 [s]	4,7 [s]	4,5 [s]	5,0 [s]
	mDir [°N]	339°	339°	339°	340°	339°	340°	338°

Die Extremwertanalysen für die Offshore-Wellen und die Extremwertanalyse für den oberen Pegelstand am Projektstandort werden unabhängig voneinander durchgeführt. Die Offshore-Wellenhöhe mit einem Wiederkehrzeitraum von 100 Jahren aus einer bestimmten Richtung wird mit einem oberen Pegelstand von 4,33 m kombiniert (was einem Wiederkehrzeitraum von ca. 35 Jahren am Projektstandort entspricht)

Für die höchste maßgebliche Wellenhöhe für die gemeinsamen Extremkombinationen von Windgeschwindigkeit und Wellenhöhe je Windrichtung und je Wiederkehrpegel, siehe Tabelle 6-2 für bd3 im Bericht.

## 12.7 Zusammenfassung der extremen Umweltbedingungen

Nachfolgend wird eine Übersicht der extremen Verhältnisse für Wasserstände, Strömungen, Wind- und Wellenverhältnisse für jeden am Projektstandort berechneten Wiederkehrzeitraum gegeben. Der Betrachtungszeitraum der Wiederkehr beträgt 100 Jahre.

Tabelle 8: Dünungswellenverhältnisse im 100-jährigen Wiederkehrzeitraum

Windsektor	Wasserstand [m]	Offshore-Welleneigenschaften			Welleneigenschaften am Projektstandort				
		Hochwasser [m MSL]	Niedrigwasser [m MSL]	Tp [s]	Hm0 [m]	Tp [s]	mRicht [°N]	Dspr	Gamma
West	4.33	270	8.82	13.5	0.11	13.5	345	13.5	1.84
WNW	4.33	300	8.41	14.8	0.14	14.7	348	14.5	1.84
NNW	4.33	330	7.19	15.5	0.21	15.4	356	18.1	1.84
Nord	4.33	0	4.89	8.7	0.40	8.7	358	21.9	1.09
NNO	4.33	30	3.12	6.7	0.40	6.7	0	25	1.66

Tabelle 9: Spitzenwindgeschwindigkeiten (m/s) am Projektstandort für jeden Windsektor für verschiedene Wiederkehrzeiträume

		ständige mittlere Windgeschwindigkeit											
		Nord	NNO	ONO	Ost	OSO	SSO	Süd	SSW	WSW	West	WNW	NNW
Wiederkehrperioden [Jahre]	100	27.2	22.6	18.0	21.0	17.9	16.8	21.6	24.2	26.4	26.0	26.8	27.8
	50	25.4	21.3	17.1	19.7	17.0	16.1	20.5	23.0	25.0	24.6	25.3	26.2
	20	22.9	19.4	15.9	17.9	15.7	15.1	18.9	21.5	23.1	22.7	23.3	24.1
	10	21.0	18.1	15.1	16.6	14.7	14.4	17.7	20.3	21.7	21.4	21.9	22.4
	5	19.1	16.7	14.2	15.3	13.7	13.6	16.6	19.1	20.3	20.0	20.4	20.8
	2	16.7	14.9	13.0	13.6	12.4	12.7	15.0	17.6	18.4	18.1	18.4	18.7
	1	14.8	13.5	12.1	12.3	11.4	12.0	13.8	16.4	17.0	16.7	16.9	17.0
	0.5	12.9	12.1	11.3	11.0	10.4	11.2	12.7	15.2	15.6	15.3	15.4	15.4

Tabelle 10: Extreme Strömungsverhältnisse am Projektstandort

Bedingungen	Strömungsrichtung	Maximale, über die Tiefe gemittelte Strömungsgeschwindigkeit innerhalb des Wendebeckens – in der Nähe von FSRU [m/s]	Maximale, über die Tiefe gemittelte Strömungsgeschwindigkeit innerhalb des Wendebeckens – in der Nähe von Fahrinne [m/s]	Maximale, über die Tiefe gemittelte Strömungsgeschwindigkeit innerhalb des Wendebeckens mit FSRU und Wendebecken* [m/s]
Extreme Flut	141° - 141,5° N	1,34	1,45	1,46
Extreme Flut	323° - 323,5° N	1,24	1,50	1,51
100 – jähr. WK Flut	141° - 141,5° N	1,70	1,81	1,82
100 – jähr. WK Ebbe	323° - 323,5° N	1,60	1,88	1,89

\*Mit FSRU und Wendebecken zeigt das Modell, dass die maximale, über die Tiefe gemittelte Strömungsgeschwindigkeit sehr lokal um 0,05 bis 0,1 m/s zunehmen kann.

Tabelle 11: Extreme obere und untere Pegelstände für verschiedene Wiederkehrzeiträume am Projektstandort.

Wiederkehrzeiträume [Jahre]	Projektstandort	
	Oberer Pegelstand [m MW]	Unterer Pegelstand [m MW]
100	4,67	-3,52
50	4,44	-3,41
20	4,14	-3,30
10	3,91	-3,2
5	3,68	-3,1
2	3,37	-2,98
1	3,11	-2,92

Tabelle 12: Windwellenverhältnisse im 100-jährigen Wiederkehrzeitraum

Windsektor	HW-T100			LW-T100		
	Hm0 [m]	Tp [s]	mRicht	Hm0 [m]	Tp [s]	mRicht
Nord	2,08 m	5,1 s	347°	1,97 m	5,0 s	343°
NNO	1,62 m	4,4 s	9°	1,43 m	4,3 s	357°
ONO	1,18 m	3,8 s	51°	0,92 m	3,1 s	52°
Ost	1,32 m	3,8 s	94°	1,07 m	3,4 s	101°
OSO	1,13 m	3,7 s	123°	0,95 m	3,4 s	128°
SSO	0,98 m	3,7 s	139°	0,91 m	3,5 s	140°
Süd	1,30 m	4,1 s	151°	1,21 m	4,1 s	146°
SSW	1,17 m	3,8 s	171°	1,08 m	4,0 s	168°
WSW	1,02 m	3,0 s	239°	0,90 m	2,8 s	245°
West	1,33 m	4,3 s	314°	1,22 m	4,1 s	315°
WNW	1,83 m	4,9 s	333°	1,76 m	4,8 s	333°
NNW	2,10 m	5,2 s	339°	2,01 m	5,0 s	338°

Tabelle 13 Andere Windwellenverhältnisse im Wiederkehrzeitraum

Wind sector	HW-T50			HW-T20			HW-T10			HW-T5			HW-T2		
	Hmo	Tp [s]	MDir	Hmo	Tp [s]	MDir	Hmo	Tp [s]	MDir	Hmo	Tp [s]	MDir	Hmo	Tp [s]	MDir
North	1.96 m	5.0 s	346°	1.81 m	4.9 s	347°	1.66 m	4.7 s	348°	1.51 m	4.5 s	348°	1.30 m	4.3 s	349°
NNE	1.53 m	4.3 s	9°	1.41 m	4.2 s	9°	1.31 m	4.1 s	10°	1.20 m	3.9 s	11°	1.06 m	3.8 s	12°
ENE	1.13 m	3.7 s	51°	1.04 m	3.5 s	51°	0.98 m	3.5 s	51°	0.92 m	3.4 s	51°	0.84 m	3.7 s	52°
East	1.24 m	3.7 s	94°	1.13 m	3.6 s	93°	1.04 m	3.5 s	92°	0.95 m	3.4 s	91°	0.83 m	3.2 s	90°
ESE	1.07 m	3.6 s	123°	0.98 m	3.5 s	123°	0.91 m	3.4 s	123°	0.84 m	3.3 s	122°	0.74 m	3.1 s	122°
SSE	0.93 m	3.6 s	139°	0.88 m	3.5 s	139°	0.83 m	3.4 s	139°	0.78 m	3.4 s	139°	0.71 m	3.3 s	139°
South	1.22 m	4.1 s	151°	1.13 m	4.0 s	151°	1.05 m	3.8 s	151°	0.98 m	3.7 s	151°	0.88 m	3.6 s	152°
SSW	1.11 m	3.7 s	171°	1.04 m	3.6 s	171°	0.98 m	3.5 s	172°	0.92 m	3.4 s	172°	0.83 m	3.3 s	173°
WSW	0.97 m	2.9 s	240°	0.90 m	2.9 s	240°	0.84 m	2.8 s	240°	0.79 m	2.7 s	242°	0.71 m	2.6 s	240°
West	1.26 m	4.2 s	314°	1.17 m	4.1 s	314°	1.09 m	4.0 s	314°	1.01 m	3.8 s	314°	0.91 m	3.7 s	313°
WNW	1.74 m	4.8 s	333°	1.61 m	4.6 s	334°	1.51 m	4.5 s	334°	1.41 m	4.5 s	335°	1.26 m	4.3 s	335°
NNW	2.01 m	5.1 s	339°	1.85 m	5.0 s	339°	1.73 m	4.9 s	340°	1.61 m	4.7 s	339°	1.43 m	4.5 s	340°

## 12.8 Sonstige Umweltbedingungen

### 12.8.1 Wasserstandsdaten und Referenzwerte am LNG-Terminal Uniper

Für das benachbarte LNG-Terminal Uniper wurden Wasserstände aus einer Hindcast-Studie auf der Grundlage des Pegels „Hooksieplate“ (LNG-Terminal WHV Report 429, IMP Engineers 2022) unter Einbeziehung von Wasserstandsdaten der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes ermittelt.

Tabelle 14: Wasserstandsdaten am Nachbarterminal LNG Terminals WHV

Wasserstände	Höhe	Quelle
HThw (06.12.2013)	+4,53 mNHN	WSV
HAT	+2,28 mNHN	DHI
MSpThw	+2,06 mNHN	DHI
MThw	+1,58 mNHN	WSV
Mittlerer Wasserstand	+0,05 mNHN	DHI
MTnw	-1,76 mNHN	WSV
MSpTnw	-1,96 mNHN	DHI
LAT (SKN)	-2,49 mNHN	GDWS7
NTnw (26.12.2012)	-3,07 mNHN	WSV

Am Standort der geplanten FSRU beträgt der Unterschied zwischen dem mittleren Meeresspiegel (MSL) und dem LAT 2,49 m. Dieser Unterschied von 2,49 m entspricht auch dem Unterschied zwischen NHN und SKN.

### 12.8.2 Dichte des Meerwassers

Die Dichte von Meerwasser wird mit 1.025 kg/m<sup>3</sup> angenommen.

### 12.8.3 Temperatur des Meerwassers

Ein Überblick über die monatlichen durchschnittlichen Wassertemperaturen wurde aus öffentlich zugänglichen meteorologischen Datenbanken gewonnen.

Tabelle 15: Durchschnittliche monatliche Wassertemperatur in Wilhelmshaven

Jahr	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember
2007	6,70	5,20	6,40	9,70	13,40	16,80	18,40	18,90	16,40	13,60	9,20	6,90
2008	5,80	5,30	5,80	7,90	12,90	16,20	18,50	18,80	16,60	12,80	9,20	6,50
2009	4,20	3,50	5,00	9,00	12,60	15,30	18,80	19,60	16,80	12,60	9,90	6,70
2010	3,30	1,80	3,20	7,80	11,10	15,30	19,50	19,30	16,10	12,60	8,80	3,20
2011	2,50	3,00	3,60	8,50	12,20	15,80	17,70	18,20	16,30	13,30	9,70	5,50
2012	4,90	2,60	5,30	8,10	12,20	15,00	18,10	19,20	16,70	12,30	8,60	4,90
2013	4,00	2,20	2,10	5,90	11,70	14,90	18,30	19,00	16,20	12,40	8,70	5,50
2014	4,40	2,70	5,90	9,90	13,30	16,60	19,60	18,90	17,10	14,30	10,10	5,10
2015	4,10	3,10	5,30	8,00	11,90	15,10	18,10	18,70	15,70	12,50	9,50	6,90
2016	3,50	3,60	4,50	8,60	12,90	17,00	18,90	19,20	18,60	12,50	8,20	5,50
2017	3,70	2,70	5,70	9,10	12,60	17,10	18,70	18,80	16,40	13,00	8,90	5,30
2018	3,90	2,50	1,90	8,40	15,00	18,90	20,10	20,70	17,00	12,80	8,10	5,00
2019	3,70	3,80	5,80	9,80	12,50	18,20	19,20	19,80	16,80	13,00	8,50	5,60
2020	4,30	5,20	6,20	9,30	12,90	17,60	18,70	20,70	17,00	12,90	9,20	6,00
2021	3,70	2,30	5,70	7,80	11,10	16,70	20,10	19,20	17,90	13,20	8,60	5,10

### 12.8.4 Schwebstoffverhältnisse

Die Sedimenteigenschaften in der Nähe geplanten Anlegers wurden aus der Literatur entnommen (IMP, 2022), darunter:

- Korngrößenverteilungen

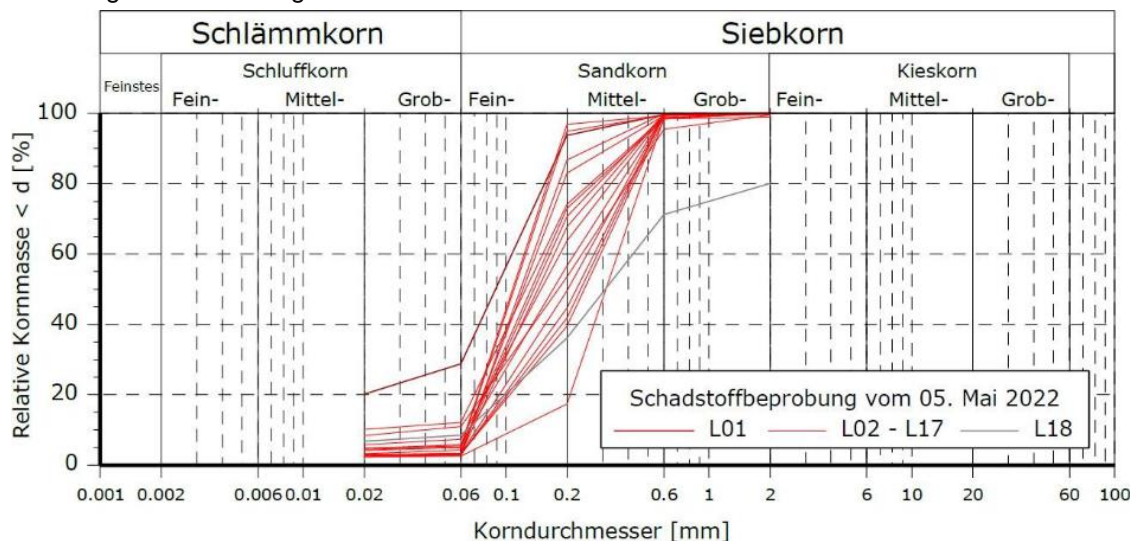


Abbildung 21: Korngrößenverteilungen von Sedimentproben, die am 05.05.2022 in der Nähe des LNG-Terminals WHV

#### Sedimentkonzentrationen

Langfristige Zeitreihen zeigen mittlere Schwebstoffkonzentrationen von 100 bis 250 mg/l in dem Gebiet. Die höchsten Schwebstoffkonzentrationen liegen im Bereich von 1.000 bis 2.000 mg/l.

## 12.9 Übersicht der Dokumente

Kap.	Pos	Bezeichnung	Seiten
12	00	12.00_Umweltbedingungen und Hydrodynamische Studien	31
	01	12.01_Bericht über die Umweltbedingungen_2014.07	123

## Impressum

WASSERRECHTLICHER PLANFESTSTELLUNGSANTRAG  
FÜR DIE ERRICHTUNG EINES FSRU-SCHIFFSANLEGERS  
MIT LIEGEWANNE UND ZUFAHRTBEREICH  
LNG VOSLAPPER GRODEN NORD 2  
TEIL B - ANTRAGSUNTERLAGEN  
12 UMWELTBEDINGUNGEN UND HYDRODYNAMISCHE STUDIEN

**AUFTRAGGEBER**  
FSRU Wilhelmshaven GmbH

**AUTOR**  
Georg Fank (extern)  
Lena de Koning

**DATUM**  
19. September 2023



## Über Arcadis

Arcadis ist das führende globale Planungs- und Beratungsunternehmen für die natürliche und die vom Menschen gestaltete Umwelt. Durch die weltweite Bündelung von lokalem Wissen und die Kombination unserer Expertise mit neusten digitalen Errungenschaften erzielen wir herausragende und nachhaltige Ergebnisse für unsere Kunden und deren Abnehmer. Wir sind 36.000 Menschen, die in mehr als 70 Ländern tätig sind und einen Umsatz von 4,2 Milliarden Euro erwirtschaften (basierend auf Pro-forma-Zahlen für das gesamte Jahr 2021). Wir unterstützen UN-Habitat mit Wissen und Expertise, um die Lebensqualität in schnell wachsenden Städten auf der ganzen Welt zu verbessern.

[www.arcadis.com](http://www.arcadis.com)

### **Arcadis Germany GmbH**

EUREF-Campus 10  
10829 Berlin  
Deutschland

T 030 767585900