

# **Energiedrehscheibe Wilhelmshaven – FSRU Phase 1**

**Antrag auf Erlaubnis der Einleitung von Ab- und Prozesswässern  
aus der FSRU in die Jade gemäß § 8 WHG**

**Umweltfachliche Bewertung**


**Anhang 4 - Schutzgut Wasser; Bestand und Bewertung, Umwelt-  
auswirkungen**


**Antragsteller:**





**Uniper Global Commodities SE**



Rev.-Nr. 2-0	27.09.2022	K. Zorn	C. Ketzner
Version	Datum	geprüft	freigegeben 

<b>Antragsteller</b>			
	Uniper Global Commodities SE Holzstraße 6 40221 Düsseldorf	Ansprechpartner:	H. Pantwich, T. Schönhoff
		Tel.:	+49 (0)151 72317420 +49 (0)170 9258802
		E-Mail:	<a href="mailto:Hanna.pantwich@uniper.energy">Hanna.pantwich@uniper.energy</a> <a href="mailto:Thomas.schoenhoff@uniper.energy">Thomas.schoenhoff@uniper.energy</a>

<b>Auftragnehmer</b>			
	IBL Umweltplanung GmbH Bahnhofstraße 14a 26122 Oldenburg Tel.: +49 (0)441 505017-10 <a href="http://www.ibl-umweltplanung.de">www.ibl-umweltplanung.de</a>	Zust. Abteilungsleitung:	K. Zorn
		Projektleitung:	K. Zorn
		Bearbeitung:	I. Meyer-Graft, R. Richter
		Projekt-Nr.:	1458

<b>Subunternehmer/Partner</b>			
	BioConsult GmbH & Co. KG Auf der Muggenburg 30 28217 Bremen Tel.: +49 (0)421 694981-21 <a href="https://www.bioconsult.de">https://www.bioconsult.de</a>	Projektleitung:	F. Bachmann
		Bearbeitung:	S. Jaklin, F. Bachmann N. Peschel
		Projekt-Nr.	888

## Inhalt

1	Schutzgut Wasser - Oberflächenwasser (und Sedimente) .....	1
1.1	Beschreibung und Bewertung des Zustandes der Umwelt .....	1
1.1.1	Art und Umfang der Untersuchung .....	1
1.1.2	Beschreibung des Bestandes .....	2
1.1.2.1	Hydrologie.....	2
1.1.2.2	Morphologie/Sedimente.....	6
1.1.2.3	Hydrochemie.....	12
1.1.3	Bewertung des Bestandes.....	20
1.2	Hinweise zur Bestandsbeschreibung vor dem Hintergrund der Planänderungen 2022 ...	28
1.3	Beschreibung und Bewertung der Umweltauswirkungen.....	32
1.3.1	Betriebsbedingter Eintrag von flüssigen/festen Schadstoffen .....	33
1.3.2	Betriebsbedingter Eintrag von temperaturverändertem Wasser.....	35
1.3.3	Übersicht über die vorhabenbedingten Auswirkungen.....	38
1.4	Literatur- und Quellenverzeichnis .....	39

## Anhangsabbildungen

Anhangsabbildung 1-1:	Untersuchungsgebiet Schutzgut Wasser seeseitig (Oberflächenwasser und Sedimente).....	1
Anhangsabbildung 1-2:	Entwicklung der Wasserstände im Jaderevier .....	3
Anhangsabbildung 1-3:	Wellenrose (Wellenhöhe und Wellenrichtung) für den Vorhabenbereich.....	5
Anhangsabbildung 1-4:	Sedimente des Jadesystems (nach Laurer et al. 2014) .....	8
Anhangsabbildung 1-5:	Korngrößenzusammensetzung der Sedimente im Vorhabenbereich .....	9
Anhangsabbildung 1-6:	Wattflächen im Vorhabenbereich .....	10
Anhangsabbildung 1-7:	Mittlere Konzentration (Jahresmittel) an Gesamt-Phosphor [TP mg/l] Gesamt-Stickstoff [TN mg/l] an den drei Stationen im Längsverlauf.....	16
Anhangsabbildung 1-8:	Mittlere Konzentration (Winterwerte) an Gesamt-Phosphor [TP mg/l] und Gesamt-Stickstoff [TN mg/l] an den drei Stationen im Längsverlauf der Jade aus den Jahren 2015-2019.....	17
Anhangsabbildung 1-9:	Konzentration an Gesamt-Phosphor [TP mg/l] und Gesamt-Stickstoff [TN mg/l] an Station JaBu_W_1 für das Jahr 2019 .....	18
Anhangsabbildung 1-10:	Schwermetalleinträge (in %, linke y-Achse) über die deutschen Flüsse in die Nordsee im Vergleich zum jährlichen Abfluss (Mio. m <sup>3</sup> Wasser/Jahr, rechte y- Achse).....	19
Anhangsabbildung 1-11:	Seekarten der Innenjade aus dem Jahr 1907 .....	22
Anhangsabbildung 1-12:	Veränderung des MThw (oben) und des MTnw (unten) am Pegel Wilhelmshaven Alter Vorhafen zwischen 1853 und 2002 .....	23
Anhangsabbildung 1-13:	Generalisierte Übersicht der Teilbereiche der Innenjade mit direkt und indirekt anthropogen beeinflusster Morphologie .....	25
Anhangsabbildung 1-14:	Tiefen der zuletzt vorgenommenen Peilung aus März und April 2022 mit den Bestandsbauwerken und den aktuellen Planungen zu dem neuen Terminal sowie des Zufahrtsbereiches mit Liegewanne .....	30
Anhangsabbildung 1-15:	Tiefen der zuletzt vorgenommenen Peilung aus März und April 2022 mit den Bestandsbauwerken und den aktuellen Planungen zu dem neuen Terminal sowie des Zufahrtsbereiches mit Liegewanne .....	32
Anhangsabbildung 1-16:	Modellierte maximale Temperaturabsenkung im Umfeld der FSRU und des LNG-Tankers.....	36

Anhangsabbildung 1-17: Modellierte maximale Temperaturerhöhungen im Umfeld der FSRU und des LNG-Tankers ..... 37

## Anhangstabellen

Anhangstabelle 1-1: Mittlere Tidekennwerte an den Pegelstandorten im Untersuchungsgebiet (BSH 2020 – Gezeitenkalender) ..... 4

Anhangstabelle 1-2: Erwartete Extremwerte der Pegelstände im Vorhabenbereich ..... 4

Anhangstabelle 1-3: Erwartete Extremwerte der signifikanten Wellenhöhen im Vorhabenbereich ..... 5

Anhangstabelle 1-4: Erwartete Extremwerte der Strömungsgeschwindigkeiten im Vorhabenbereich ..... 6

Anhangstabelle 1-5: Monatliche Werte der Seewassertemperatur in der Innenjade ..... 6

Anhangstabelle 1-6: Klassifizierung der Ergebnisse gemäß GÜBAK ..... 11

Anhangstabelle 1-7: Kennwerte (Mittelwert, Minimum, Maximum) der Salinität S (Sondennmessungen, PSU) an drei Stationen im Längsverlauf der Jade aus den Jahren 2015-2019 ..... 13

Anhangstabelle 1-8: Kennwerte (Mittelwert, Minimum, Maximum) des Sauerstoffgehaltes [mg/l] an drei Stationen im Längsverlauf der Jade aus den Jahren 2015-2019 ..... 14

Anhangstabelle 1-9: Mittlere Konzentrationen an Schwebstoffen (mg/l) in Wasserproben in der Jade für den Zeitraum 2015-2019 ..... 14

Anhangstabelle 1-10: Bewertungsrahmen für die Nährstoffe Gesamtphosphor (TP mg/l) und Gesamtstickstoff (TN mg/l) nach BfG (2011) ..... 26

Anhangstabelle 1-11: Bewertungsrahmen für Schadstoffe in Sedimenten nach BfG (2011) ..... 28

Anhangstabelle 1-12: Vorschlag für Grenzwerte der maximalen absoluten Wassertemperatur am Rand der Mischungszone ..... 38

Anhangstabelle 1-13: Vorhabenbedingte Auswirkungen auf das Schutzgut Wasser (Oberflächenwasser) ..... 38

# 1 Schutzgut Wasser - Oberflächenwasser (und Sedimente)

Das Schutzgut Wasser ist im Zusammenhang mit dem wasserrechtlichen Erlaubnisverfahren nur see-seitig betrachtungsrelevant, es erfolgt daher keine Betrachtung des Grundwassers.

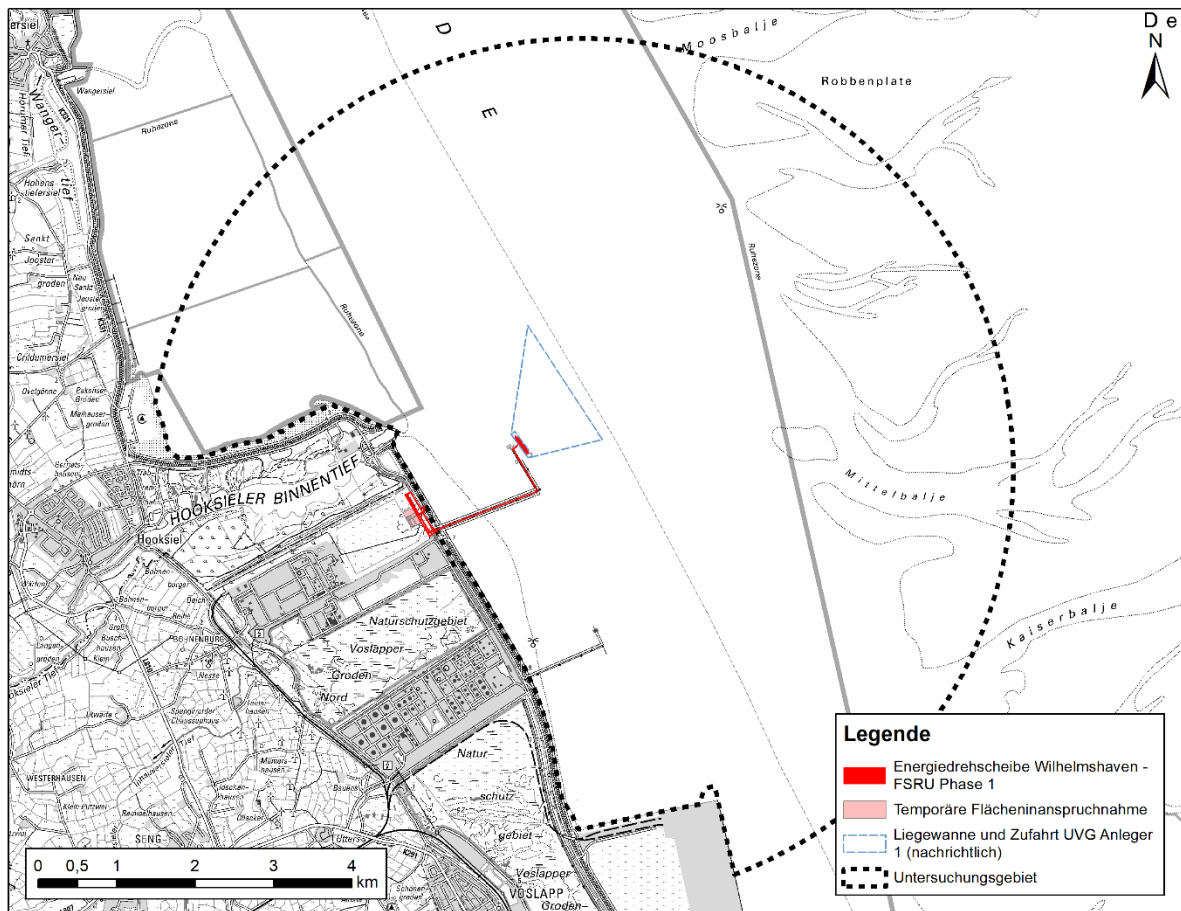
## 1.1 Beschreibung und Bewertung des Zustandes der Umwelt

### 1.1.1 Art und Umfang der Untersuchung

#### Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet für das Schutzgut Wasser umfasst sämtliche seeseitigen Wasserflächen im Umkreis von 5,5 km um das Vorhaben. Die Abgrenzung basiert auf den Vorgaben des Untersuchungsrahmens und damit auch den Modellergebnissen und Abschätzungen zur Ausbreitung von Einleitungsstoffen, Trübungsfahnen, Temperaturveränderungen etc.. Das Untersuchungsgebiet schließt den Außenhafen und den Badestrand Hooksiel mit ein.

Die Abgrenzung des Untersuchungsgebietes für das Schutzgut Wasser zeigt Anhangsabbildung 1-1.



Anhangsabbildung 1-1: Untersuchungsgebiet Schutzgut Wasser seeseitig (Oberflächenwasser und Sedimente)

## **Datengrundlagen**

Hinsichtlich der Datengrundlagen für das Schutzgut Wasser ist zwischen der Hydrologie auf der einen Seite und der Morphologie/Sedimente auf der anderen Seite zu differenzieren.

Die Charakterisierung der hydrologischen Parameter erfolgt im Wesentlichen auf der Grundlage allgemein zugänglicher Daten aus behördlichen Messnetzen (insbesondere des NLWKN) sowie allgemein zugänglicher Literatur bzw. Informationen (z.B. Lang 2003). Darüber hinaus wurden folgende Parameter standortspezifisch von LTeW (2020) ausgewertet und zusammengestellt, die für die Bestandscharakterisierung verwendet werden: Pegelstände, Strömungsgeschwindigkeiten und Strömungsrichtung, Wellenhöhe, Wellenrichtung und Wellenperiode, Wellenkammhöhe sowie Seewassertemperatur.

Die großräumige morphologische Situation wurde aus der Literatur zur Jade entnommen (Dörjes et al. 1969, Götschenberg & Kahlfeld 2008), die großräumige sedimentologische Situation ergibt sich aus der Karte der Sedimentverteilung auf dem Meeresboden in der deutschen Nordsee (Laurer et al. 2014). Für den Vorhabenbereich und das unmittelbare Umfeld stehen flächendeckende Untersuchungen mittels SideScanSonar und Multibeam zur Verfügung, die die morphologischen Strukturen des Meeresgrundes abbilden (Geo Ingenieurservice Nord-West 2019a, b, c). Zur Charakterisierung der Sedimentstrukturen und Schadstoffe in den Sedimenten im Vorhabenbereich kann auf Korngrößenanalysen an insgesamt 78 Stationen zurückgegriffen werden, die im Rahmen der Bestandserfassung Makrozoobenthos durchgeführt wurden (BioConsult 2020).

Die hydrochemische Charakterisierung der Jade (Salzgehalt, Nährstoffe, Schadstoffe) basiert auf Literaturangaben (Jestaedt & Partner 2010) und Datenauswertungen (Senckenberg-Institut, WRRL-Monitoring). Eine vorhabenspezifische Erfassung der Schadstoffe in Sedimenten fand an 20 Stationen durch Nowak (2019) statt.

## **Bewertung der Datenbasis und Hinweise auf Kenntnislücken**

Die Datenbasis zum Schutzgut Wasser (Oberflächenwasser und Sedimente) ist zur Beschreibung und Bewertung des Bestandes sowie zur Prognose der vorhabenbedingten Auswirkungen ausreichend. Aufgrund der vorliegenden, standortspezifischen, aktuellen Kenntnisse zu hydrologischen, morphologischen und sedimentologischen Parametern sind Kenntnislücken nicht zu besorgen.

### **1.1.2 Beschreibung des Bestandes**

Die Beschreibung des Schutzgutes Oberflächenwasser/Sedimente erfolgt anhand der Hydrologie (Tidegeschehen, Seegang, Strömung und Temperatur), Morphologie und Sedimente sowie Hydrochemie (Salzgehalte, Sauerstoff, Schwebstoffe, Nähr- und Schadstoffe).

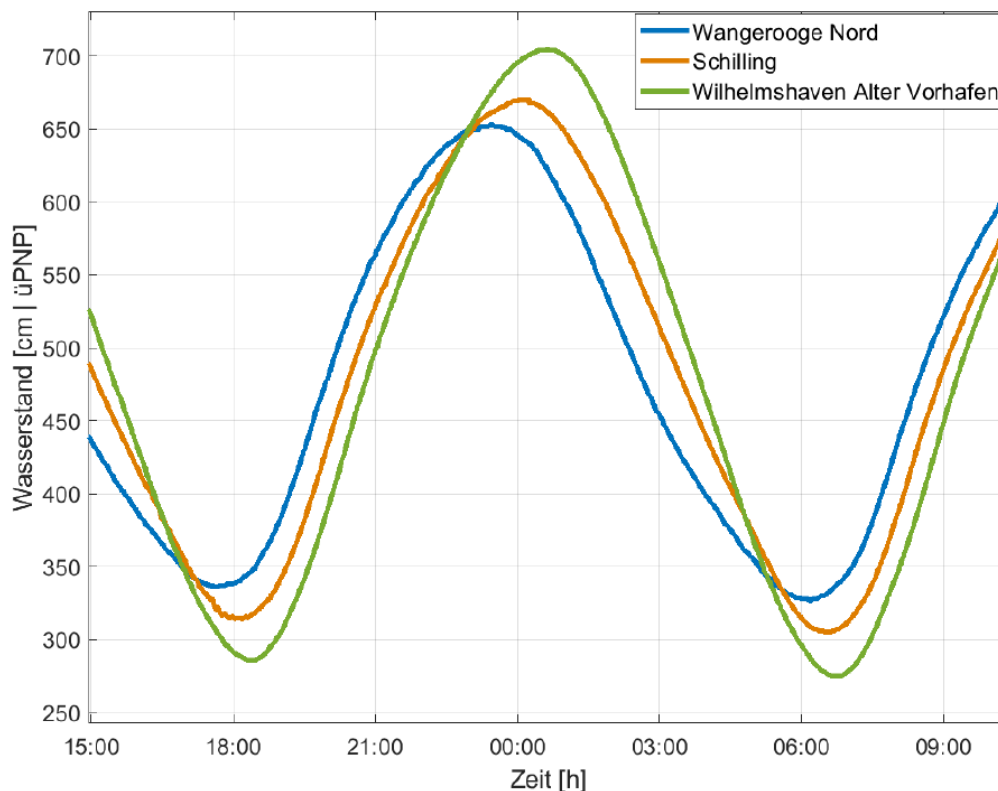
#### **1.1.2.1 Hydrologie**

Die Jade besitzt an der deutschen Nordseeküste eine Sonderstellung, da sie als einziges, tief in das Binnenland eingeschnittenes Gewässersystem nahezu keinen Oberwasserzufluss besitzt und zudem ein verhältnismäßig „neuzeitliches“ Gewässer darstellt. Das Jade-System wird in die Bereiche Jadebusen, Innenjade und Außenjade differenziert. Der Übergang von Jadebusen und Innenjade ist die Verbindungslinie Wilhelmshaven/Eckwarderhörn. Grenze zwischen Innen- und Außenjade ist die Verbindungslinie Schillig – Mellum (Lang 2003).

Das hydrodynamische Geschehen in der Nordsee wird maßgeblich durch die Gezeiten bestimmt und wirkt sich in z.T. starken Strömungen und örtlich erhöhten Sedimentbewegungen aus. Das Spektrum der Tiden liegt im mesotidalen Bereich (2–4 m), was besonders die ökologischen und geomorphologischen Bedingungen im Küstengebiet prägt. Die mit dem Tidegeschehen einhergehenden Strömungsverhältnisse treten in Wechselwirkung mit der Morphologie und bilden die Grundlage für ständige Veränderungen der Gewässersohle. Meteorologische Großereignisse wie z.B. Sturmfluten wirken zusätzlich auf die dynamische Entwicklung der Gewässersohle.

### Tidegeschehen

Die Tidedynamik der Jade ist durch eine Zunahme des Tidenhubs um ca. einen Meter von der Außenjade (Wangerooge, Langes Riff, Nord, MTH = 2,9 m) in den Jadebusen (Arngast, Leuchtturm, MTH = 3,9 m) geprägt (BSH 2020 – Gezeitenkalender). Ursache hierfür ist die Trichterförmigkeit des Systems, die ein Aufsteilen der Tidewelle in Richtung Jadebusen bedingt. Im Wesentlichen wird die Tidedynamik im Jade-System durch die Topographie (Morphologie), die von See einschwingende Tidewelle und die meteorologisch induzierten Veränderungen beeinflusst. Die Entwicklung der Tidewasserstände entlang der Jade, exemplarisch für eine Tide, zeigt Anhangsabbildung 1-2.



**Anhangsabbildung 1-2: Entwicklung der Wasserstände im Jaderevier**

Quelle: Graphik BfG (2019)

Das mittlere Tideniedrigwasser nimmt in den Jadebusen hinein ab. Während sich in der Innenjade Kennwerte zwischen -1,60 m (Schilling) und -1,80 m NHN (Voslapp) einstellen, fällt das Tideniedrigwasser im Jadebusen auf -1,90 m NHN (Wilhelmshaven, Neuer Vorhafen) bzw. -2,00 m NHN (Wilhelmshaven, Ölpier; Wilhelmshaven, Alter Vorhafen; Arngast, Leuchtturm) ab. Das mittlere Tidehochwasser steigt von der Innenjade in den Jadebusen hinein von 1,60 m NHN (Schilling) auf 1,90 m NHN

(Arngast, Leuchtturm) um insgesamt ca. 30 cm an. Für den mittleren Tidenhub resultiert somit ein Anstieg von einem Meter zwischen der Außenjade (2,80 m) und dem Jadebusen (3,8 m) (BSH 2020 – Gezeitenkalender).

Die mittleren Tidekennwerte an den im Untersuchungsgebiet liegenden Pegeln zeigt Anhangstabelle 1-1.

**Anhangstabelle 1-1: Mittlere Tidekennwerte an den Pegelstandorten im Untersuchungsgebiet (BSH 2020 – Gezeitenkalender)**

Pegel	MHW		MTH	MNW	
	NHN	SKN		NHN	SKN
Hooksiel	1,6 m	4,1 m	3,4 m	- 1,8 m	0,7 m
Voslapp	1,7 m	4,2 m	3,5 m	- 1,8 m	0,7 m
WHV, Ölpier	1,8 m	4,5 m	3,8 m	- 2,0 m	0,7 m

Erläuterung: MHW = Mittleres Hochwasser, MNW = Mittleres Niedrigwasser, MTH = Mittlerer Tidenhub, NHN = Normalhöhennull, SKN = Seekartennull

Für den geplanten Standort der FSRU hat LTeW (2020) auf der Grundlage von hydrodynamischen Modellrechnungen aus dem Zeitraum 01.03.1979 bis 28.02.2019 und unter Zuhilfenahme von aktuellen Pegeldaten der Messstelle „Hooksielplate“ die zu erwartenden Extremwerte für Tidehochwasser und Tideniedrigwasser in Abhängigkeit der Jährlichkeit ermittelt. Diese stellen sich wie folgt dar (Anhangstabelle 1-2):

**Anhangstabelle 1-2: Erwartete Extremwerte der Pegelstände im Vorhabenbereich**

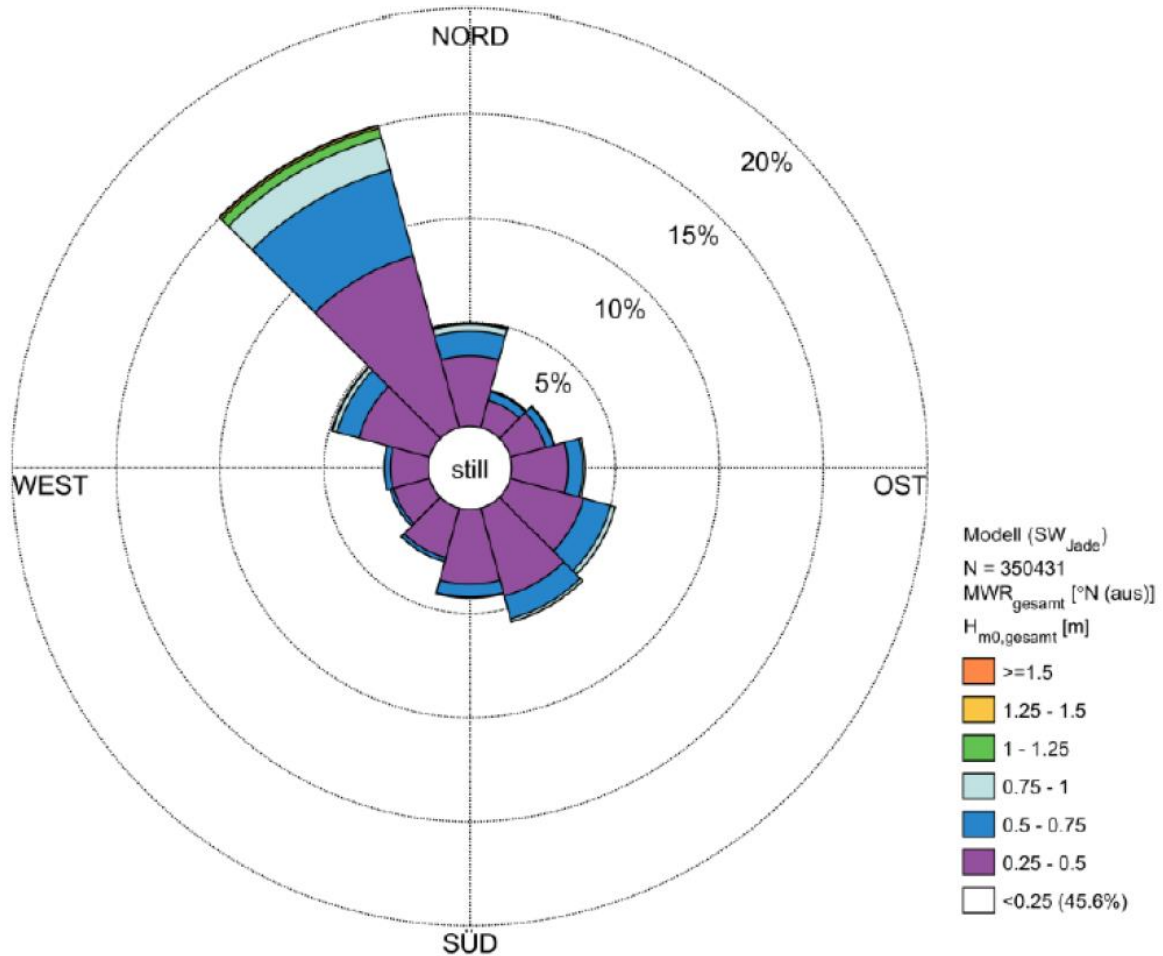
Jährlichkeit (Jahre)	Extremwerte Pegelstand [mNHN]					
	0,1	1	10	20	50	100
Tidehochwasser	2,6	3,31	4,02	4,23	4,51	4,72
Tideniedrigwasser	- 2,5	- 3,0	- 3,4	- 3,52	- 3,67	- 3,78

Quelle: LTeW (2020)

## Seegang

Die Wellen kommen vorwiegend aus 330°N also von der offenen See in die Jade hinein. Die folgende Abbildung zeigt die Verteilung der signifikanten Wellenhöhen und Wellenrichtungen in der Jade als Wellenrose.





**Anhangsabbildung 1-3: Wellenrose (Wellenhöhe und Wellenrichtung) für den Vorhabenbereich**

Quelle: LTeW (2020)

Die zu erwartenden Extremwerte für die signifikante Wellenhöhe in Abhängigkeit von Wellenrichtung und Jährlichkeit im Vorhabenbereich zeigt Anhangstabelle 1-3.

**Anhangstabelle 1-3: Erwartete Extremwerte der signifikanten Wellenhöhen im Vorhabenbereich**

Jährlichkeit (Jahre)	Extremwerte Signifikante Wellenhöhe [m]					
	0,1	1	10	20	50	100
0°N	0,71	1,12	1,53	1,65	1,82	1,94
30°N	0,47	0,79	1,04	1,12	1,21	1,28
60°N	0,43	0,74	1,00	1,07	1,17	1,23
90°N	0,51	0,78	1,00	1,06	1,13	1,18
120°N	0,62	0,88	1,07	1,13	1,19	1,24
150°N	0,64	0,91	1,12	1,18	1,26	1,31
180°N	0,55	0,80	1,08	1,17	1,29	1,37
210°N	0,46	0,66	0,84	0,89	0,96	1,01
240°N	0,43	0,66	0,88	0,95	1,04	1,11
270°N	0,48	0,73	0,97	1,04	1,13	1,20
300°N	0,70	1,07	1,36	1,44	1,55	1,62
330°N	0,97	1,45	1,88	2,00	2,16	2,28
<b>Alle Richtungen</b>	<b>1,01</b>	<b>1,48</b>	<b>1,90</b>	<b>2,02</b>	<b>2,19</b>	<b>2,31</b>

Quelle: LTeW (2020)

## Strömung

Die Strömungsgeschwindigkeiten im Jade-System werden wesentlich durch die Gezeiten beeinflusst. Die höchsten Strömungsgeschwindigkeiten treten folglich in den Richtungen 150°N (Flutströmung) und 330°N (Ebbströmung) auf. Für den Vorhabenbereich haben LTeW (2020) die folgenden Extremwerte der Strömungsgeschwindigkeit für die Ebb- und Flutströmung in Abhängigkeit der Jährlichkeit ermittelt (Anhangstabelle 1-4). Alle anderen Strömungsrichtungen sind zu vernachlässigen. Generell nehmen die Geschwindigkeiten von den Wattflächen zu den tieferen Fahrwassern deutlich zu.

**Anhangstabelle 1-4: Erwartete Extremwerte der Strömungsgeschwindigkeiten im Vorhabenbereich**

Jährlichkeit (Jahre)	Extremwerte Strömungsgeschwindigkeiten [m/s]					
	0,1	1	10	20	50	100
150°N (Flut)	1,2	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8
330°N (Ebbe)	1,5	1,6	1,6	1,7	1,8	1,8

Quelle: LTeW (2020)

## Temperatur

Angaben zur Seewassertemperatur wurden von LTeW (2020) auf der Grundlage eines Datensatzes aus der Innenjade, welchem der Zeitraum 2008-2018 zugrunde liegt, zusammengestellt. Ausgewertet wurden die 5-Minuten-Werte der Seewassertemperatur am Messpunkt „Südlich HES-Küstenanleger (Innenjade)“ (Koordinaten: 53°37,05'N; 8°07,65'O). Der Jahresverlauf der Seewassertemperaturen stellt sich demnach wie folgt dar (Anhangstabelle 1-5).

**Anhangstabelle 1-5: Monatliche Werte der Seewassertemperatur in der Innenjade**

Monat	Niedrigster Wert [°C]	Mittelwert [°C]	Höchster Wert [°C]
Januar	- 0,7	3,5	8,0
Februar	- 0,7	2,7	6,1
März	- 0,7	4,7	8,7
April	1,2	8,6	13,9
Mai	8,5	12,9	19,3
Juni	12,9	16,7	20,0
Juli	14,8	19,1	23,3
August	15,9	19,5	23,6
September	13,7	17,0	20,6
Oktober	8,8	13,0	17,9
November	3,4	9,0	12,9
Dezember	1,5	5,5	8,7
<b>Gesamt</b>	<b>- 0,7</b>	<b>11,0</b>	<b>23,6</b>

Quelle: LTeW (2020)

### 1.1.2.2 Morphologie/Sedimente

#### Morphologie

Tidegeschehen und Seegang sind die wesentlichen formenden Prozesse der Morphologie des Wattenmeeres und der Ästuare. Der Einfluss der Tide auf die Morphologie ist dabei größer als der des Seeganges.

Das Hohe Weg Watt mit der Insel Mellum trennt die Rinnen von Jade und Außenweser. Dort liegt auch die Wattwasserscheide, die die Watteinzugsgebiete von Jade und Weser trennt, wobei ein Wasseraustausch zwischen Innenjade und Außenweser über das Hohe Weg-Watt stattfindet (Lang 2003). Entlang der Innenjade befinden sich am östlichen Ufer als Teil des Hohe Weg Watts bzw. des südlicher liegenden Solthörner Watts größere Wattflächen. Diese setzen sich in der Außenjade fort. Auf der Westseite der Innenjade sind erst ab der Hafeneinfahrt Hooksiel in nördlicher Richtung größere Wattflächen ausgeprägt, die bei Minsener Oog in das Ostfriesische Wattenmeer übergehen. Der Jadebusen mit einer Fläche von 160 km<sup>2</sup> bildet das südliche Ende der Jade-Bucht und ist durch den 4 km breiten Querschnitt zwischen Wilhelmshaven und Eckwarden mit der Innenjade verbunden. Der Jadebusen ist durch ausgeprägte Wattflächen charakterisiert. Die 20 km lange Rinne der Innenjade hat eine Wassertiefe zwischen 10 und 20 m (Dörjes et al. 1969).

Insgesamt ist die Morphologie des Jadesystems sehr dynamisch. Schnell ablaufende Veränderungen können eine Größenordnung von mehreren Metern Höhenänderung pro Jahr erreichen (IM+P & GeCon Geophysik GmbH 2014). Etwas ruhigere Verhältnisse mit geringerer Bandbreite der morphologischen Änderungen werden in den Flachwasser- und insbesondere Wattenbereichen angetroffen. Hier ist allerdings zu beachten, dass der Verlauf von Prielen und Baljen nicht statisch ist, sondern z.T. starken lokalen Veränderungen unterliegt (Seedorf & Meyer 1992). Dörjes et al. (1969) und Svenson et al. (2009) berichten vom Vorkommen subaquatischer Dünen in den Jaderinnen, die konstant durch die Strömungen umgelagert werden. Diese Dünen treten in unterschiedlicher Größe auf und bestehen aus Mittel- und Grobsand.

Ein Großteil der Ufer, insbesondere an der Westseite der Jade, ist durch Küstenschutzbauwerke gesichert. In diesen Bereichen ist die natürliche Morphodynamik stark eingeschränkt. Im Bereich von Minsener Oog wird die Lage der Inseln bzw. Sände durch Strombauwerke stabil gehalten. Eine weitere Einschränkung der natürlichen Morphodynamik stellen die Baggerungen in der Fahrrinne der Jade dar (BfG 2019). Das Jade-Fahrwasser schneidet in einigen Bereichen aufgrund der Vertiefungsprogramme seit den 1950er Jahren deutlich in die natürliche Sohle ein (IM+P & GeCon Geophysik GmbH 2014).

Die morphologischen Strukturen im unmittelbaren Vorhabenbereich wurden mittels SideScanSonar und Multibeam aufgenommen (Geo Ingenieurservice Nord-West 2019a, b, c). Auch hier zeigen sich morphologisch aktive Bereiche durch das Vorhandensein von Großrippeln.

In den Bauwerksbereichen sind Kolke ausgeprägt. Die Verdachtsflächen für Sabellaria-Riffe, die von Geo Ingenieurservice Nord-West 2019a, b, c) als besondere morphologische Strukturen anhand der SideScans identifiziert wurden, konnten im Rahmen der Untersuchungen nicht nachgewiesen werden (BioConsult 2020).

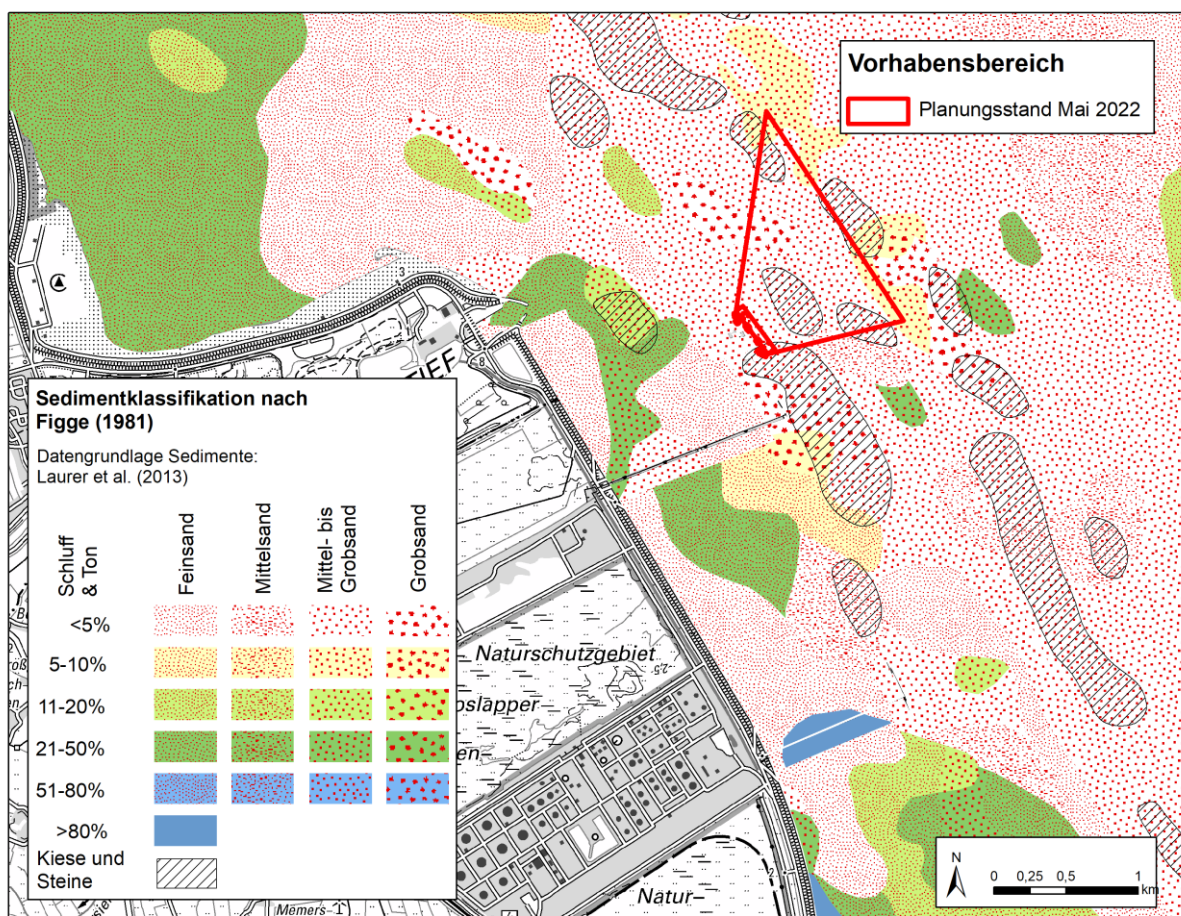
Die Morphologie ist durch die bestehenden Küstenschutzbauwerke (befestigter Deichfuß) sowie die bereits am Standort befindlichen Umschlagsbrücken anthropogen verändert.

### **Sedimente – Allgemeine Charakterisierung**

Die Sedimentstruktur des Jadesystems stellt sich heterogen dar. Es dominieren Sande unterschiedlicher Korngröße (Fein-, Mittel-, Grobsand), daneben kommen aber auch schluffige bis tonige und kiesige bis steinige Sedimente vor. Die letztgenannten Fraktionen treten häufig in unterschiedlichen Anteilen als Beimengung zu den sandigen Sedimenten auf. Die Sedimentstrukturen des Jadesystems nach Laurer et al. (2014) zeigt Anhangsabbildung 1-4. Im Allgemeinen ist die Oberflächenverteilung der Sedimente die Folge des zeitlichen und räumlichen Zusammenwirkens von Strömung und Seegang in Abhängigkeit der Morphologie. In der stark durchströmten Innenjade kommen die größten

Sedimente vor, die durch Mittel- und Grobsandzonen mit z.T. hohen Kies- und Schillanteilen gekennzeichnet sind, wobei die Kiese anstehendes Pleistozän darstellen (Dörjes et al. 1969). Die Randbereiche der Rinnen zeichnen sich durch feinere Sedimente (mittelsandige Feinsande bis Silte) aus. Die Silte treten nach Dörjes et al. (1969) vorwiegend an den Watträndern der südlichen Innenjade und in den Rinnen des Jadebusens auf. Die Wattränder bestehen aus Fein- bis Mittelsanden.

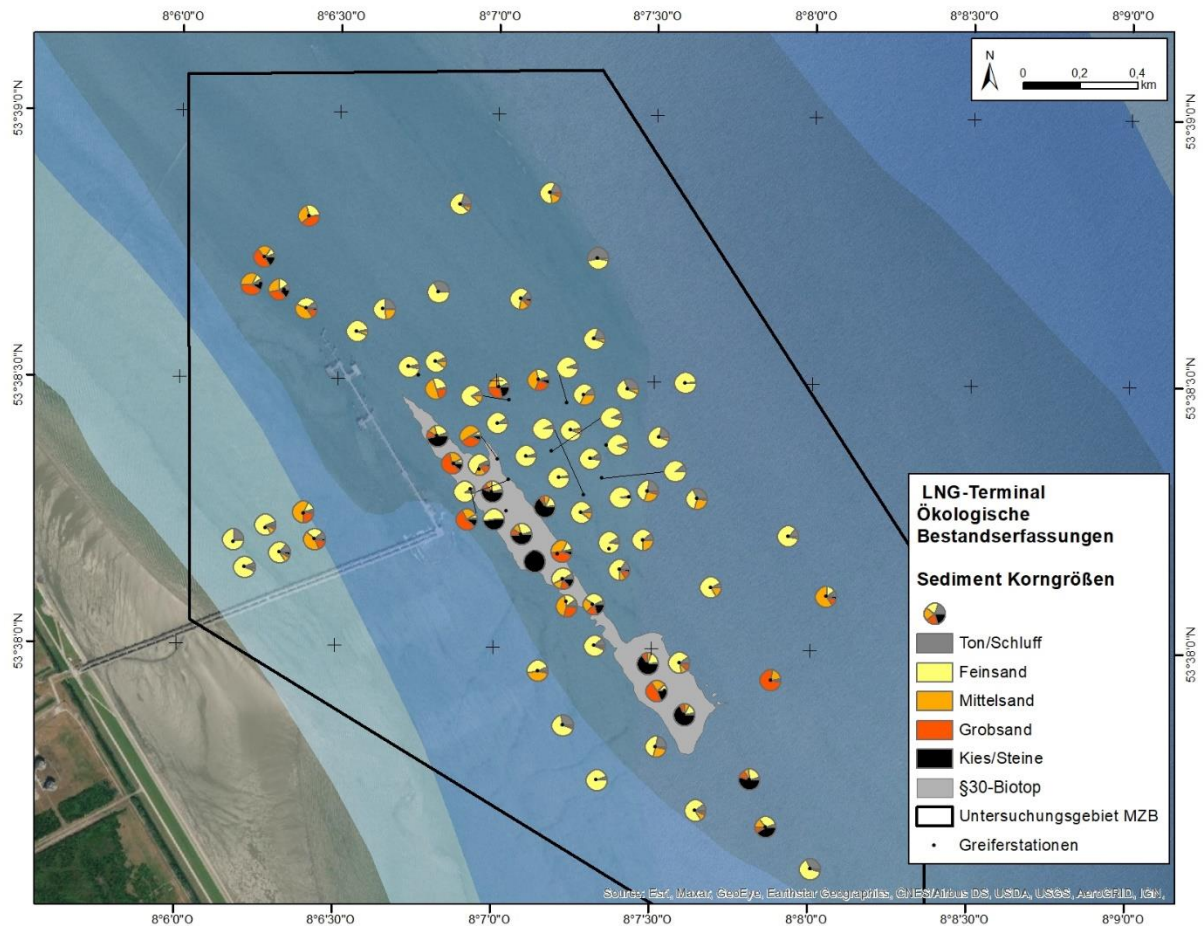
Die Sedimente der Watten lassen sich anhand ihres Sand- bzw. Ton-/Schluffanteils den drei Typen Sandwatt, Mischwatt und Schlickwatt zuordnen (Meyer & Ragutzki 1999, Ragutzki 1982). Da die Ablagerungsprozesse in den Wattgebieten durch einen in Richtung auf das Festland abnehmenden Energieeintrag charakterisiert sind, kommt es tendenziell zu einer küstenparallelen Anordnung zunehmend schluff- und tonreicherer Sedimente (Eitner & Ragutzki 1994, Flemming & Ziegler 1995). Insbesondere in den strömungsberuhigten Randbereichen des Jadebusens herrschen Sedimente mit einem hohen Schluff-/Tonanteil vor.



Anhangsabbildung 1-4: Sedimente des Jadesystems (nach Laurer et al. 2014)

### Sedimente – Vorhabensbereich

Aus dem unmittelbaren Vorhabensbereich liegen aktuelle Erkenntnisse zu den Sedimentstrukturen vor. Sedimentologische Untersuchungen haben im Frühjahr 2019 (15.-16.05.), im Herbst 2019 (07.-08.10.) und im Frühjahr 2020 (14.-15.05.) stattgefunden. Insgesamt liegen Ergebnisse aus Korngrößenanalysen von 78 Stationen vor, die vorhabenbezogen durchgeführt wurden (BioConsult 2020). Die Lage der Probenahmestationen und Zusammensetzung der Sedimente zeigt Anhangsabbildung 1-5.



#### Anhangsabbildung 1-5: Korngrößenzusammensetzung der Sedimente im Vorhabenbereich

Quelle: BioConsult (2020)

Die Korngrößenzusammensetzung an den 78 Stationen zeigt, dass die zuvor beschriebene Heterogenität der Sedimente auch kleinräumig innerhalb des Vorhabenbereiches zu beobachten ist (Anhangsabbildung 1-5). Das Gros der Stationen wird zwar von Feinsand dominiert, dem Ton-/Schluffanteile zwischen 5 und 15 % beigemischt sind; lokal kommen aber hiervon abweichende Sedimente vor. Höhere Ton-/Schluffanteile von >15 % kommen v.a. an den Stationen vor, die sich in Fahrwassernähe befinden oder im Flachwasser im Übergang zum Eulitoral liegen. Mittelsand ist in geringen Anteilen Bestandteil der meisten Stationen; als dominante Fraktion trat Mittelsand nur an sechs Stationen auf, die sich verteilt im untersuchten Gebiet befinden. Hohe Anteile (>50 %) an Grobsand mit Kies sind ebenfalls zu beobachten. Dies sind zum einen die überwiegenden Stationen des § 30-Biotops (graue Fläche in Anhangsabbildung 1-5) und zum anderen Bereiche, die sich in Verlängerung des § 30-Biotops entlang eines Bandes parallel zu Ufer und Fahrrinne befinden.

Die Wattflächen des Untersuchungsgebietes sind nur als schmaler Saum ausgebildet und vorwiegend als Mischwatten, z.T. aber auch als helle Sandwatten zu charakterisieren. Eulitoraluntersuchungen, die im Sommer/Herbst 2003 durchgeführt wurden, ergaben, dass im nördlichen Teil des Untersuchungsgebietes und im unmittelbaren Vorhabenbereich Mischwatt vorherrscht, welches in Richtung südlicher Untersuchungsraumgrenze in helles Sandwatt übergeht (BioConsult 2004). Aktuelle Biotoptypenkartierungen, die im unmittelbaren Vorhabenbereich durchgeführt wurden, haben diese Einschätzung bestätigt (IBL Umweltplanung 2021). Wattflächen wurden als Vegetationsfreies Schlick-,

Sand- Mischwatt kartiert, bei denen das Mischwatt vorherrschte (mündl. Mittlg. IBL; Anhangsabbildung 1-6).



**Anhangsabbildung 1-6: Wattflächen im Vorhabenbereich**

Quelle:

IBL Umweltplanung 2021

### **Schadstoffe in Sedimenten**

In Sedimenten und dabei besonders in Sedimenten der Feinkornfraktion ( $< 63\mu\text{m}$ ) können sich Schadstoffe wie z. B. Schwermetalle akkumulieren. Für die gesamte Deutschen Bucht lässt sich aus Übersichtskartierungen (z.B. BSH 2016, 2017) ableiten, dass insgesamt von einer leicht erhöhten Belastungsintensität auszugehen ist, wobei für die Schwermetalle durchgehend ein abnehmender Trend zu beobachten ist (BSH 2016). Hinsichtlich der Nährstoffe ist ebenfalls von einem erhöhten Nährstoffgehalt des Sedimentes auszugehen, wie er derzeit für die gesamte Deutschen Bucht anzunehmen ist (z.B. BMU 2018).

Für das Jadesystem liegen Schadstoffmessungen aus der Fahrinne (Baggerstrecken) und von den WSV-Unterbringungsstellen vor, die von der BfG (2019) 2015/2016 gemäß GÜBAK (Gemeinsamen Übergangsbestimmung zum Umgang mit Baggergut in den Küstengewässern) untersucht wurden. Die chemischen Untersuchungen nach GÜBAK fokussieren auf solche Schadstoffe, die von besonderer Bedeutung für marine Arten und Lebensräume sind. Es wurden Verbindungen untersucht, die aufgrund ihrer Verwendung oder Entstehung (z.B. als Abbauprodukte und Metabolite) häufig vorkommen, sich im Sediment oder in der Biomasse anreichern, nur langsam abgebaut werden und/oder toxisch wirken. Die Belastungssituation der Innenjade stellt sich nach Untersuchungen der BfG (2019) als gering bis mäßig belastet im Vergleich zu den Sedimenten des Küstennahbereiches dar. Die Schwermetalle befanden bis auf wenige Einzelwerte für Kupfer unterhalb des GÜBAK-Richtwertes R1. Die nach GÜBAK zu bewertenden organischen Schadstoffen lagen unterhalb des Richtwertes R1.

Für Teile des Vorhabenbereiches liegen aktuelle Analyseergebnisse für ausgewählte chemisch-analytische Parameter gemäß GÜBAK vor. An insgesamt 20 Stationen wurden im Mai 2019 Sedimentproben entnommen und analysiert (Nowak 2019). An zwei Stationen wurde feinkörniges Sediment mit Feinkornanteilen  $< 63\mu\text{m}$  von 57,5 % bzw. 38,7 % angetroffen. An sechs weiteren Stationen betrug der Feinkornanteil zwischen 10 % und 15,8 %. Diese insgesamt 8 Proben wurden chemisch untersucht. An den übrigen Stationen wurde sandiges Material mit Feinkornanteilen unter 10 % angetroffen, für die Proben dieser Stationen wurde, entsprechend der Vorgaben der GÜBAK, auf weitere chemische Untersuchungen verzichtet.

Die Schadstoffbelastung in den 8 Proben vom Mai 2019 mit einem höheren Feinkornanteil war hinsichtlich einer Verbringung des Baggergutes im Gewässer unkritisch (Anhangstabelle 1-6). Der Richtwert R2 wurde für alle Schadstoffe in allen Fällen eingehalten. Der Richtwert R1 für polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) von 1,8 mg/kg TS wurde in einem Fall (3,049 mg/kg TS) über-

schritten. Für Kohlenwasserstoffe wurde der Richtwert R1 von 200 mg/kg TS in fünf Fällen (Werte zwischen 206 – 284 mg/kg TS) geringfügig überschritten. Die Überschreitungen waren nach Nowak (2019) v.a. in der Korngrößenkorrektur aufgrund dem nur geringfügig über 10 % liegenden Feinkornanteil begründet. In der feinkörnigen Probe P03 überschreiten die Nährstoffe (Gesamt-Stickstoff) die R1/R2-Zuordnungswerte und fallen gemäß der Vorgehensweise der BfG in den Fall 2. Die Sauerstoffzehrungen waren alle als gering einzustufen. In den ökotoxikologischen Untersuchungen war keine Toxizität der Sedimente festzustellen.

**Anhangstabelle 1-6: Klassifizierung der Ergebnisse gemäß GÜBAK**

Parameter	Einheit	Proben-Nr. Messstelle			
		19-10475 P03	19-10477 P05	19-10482 P10	19-10487 P15
<b>aus der Originalsubstanz</b>					
Fraktion <80 µm		57,5	10,2	12,4	10,3
TOC	% TS	1,5	0,37	0,29	0,25
Sauerstoffzehrung nach 3 h	g O <sub>2</sub> /kg TS	0,64	0,17	0,14	0,32
Stickstoff (Gesamt-N)	% TS	0,16	0,026	0,028	<0,02
Phosphor	mg/kg TS	540	220	210	180
<b>aus der Fraktion &lt; 20 µm</b>					
Arsen	mg/kg TS	25	28	25	28
Blei	mg/kg TS	46	48	47	50
Cadmium	mg/kg TS	0,4	0,3	0,4	0,4
Chrom	mg/kg TS	97	99	95	102
Kupfer	mg/kg TS	25	23	23	22
Nickel	mg/kg TS	39	39	38	40
Quecksilber	mg/kg TS	0,24	0,22	0,21	0,24
Zink	mg/kg TS	174	165	162	164
<b>aus der Fraktion &lt; 2 mm</b>					
<b>Polychlorierte Biphenyle (PCB)</b>					
PCB Summe	µg/kg TS	3,635	<BG	<BG	<BG
<b>Organochlorpestizide</b>					
Pentachlorbenzol	µg/kg TS	<BG	<BG	<BG	<BG
Hexachlorbenzol	µg/kg TS	0,261	<BG	<BG	<BG
alpha-HCH	µg/kg TS	<BG	<BG	<BG	<BG
gamma-HCH (Lindan)	µg/kg TS	<BG	<BG	<BG	<BG
p-p DDD	µg/kg TS	0,226	<BG	<BG	<BG
p-p DDE	µg/kg TS	0,417	<BG	<BG	<BG
p-p DDT	µg/kg TS	<BG	<BG	<BG	<BG
<b>PAK (Sedimente)</b>					
PAK EPA Summe	mg/kg TS	0,977	3,049	0,500	<BG
<b>Kohlenwasserstoffe</b>					
Kohlenwasserstoffe (C10-C40)	mg/kg TS	89	284	250	243
<b>Organische Zinnverbindungen</b>					
Tributylzinn Kation	µg/kg TS	1	<1	<1	<1
<b>aus dem Ökotox-Eluat</b>					
<b>mariner Algentest</b>					
GmA		1	n.b.	n.b.	n.b.
pT-Wert		0	n.b.	n.b.	n.b.
<b>Leuchtbakterientest</b>					
GL		1	n.b.	n.b.	n.b.
pT-Wert		0	n.b.	n.b.	n.b.
Ammonium-Stickstoff (NH <sub>4</sub> -N)	mg/l	8,1	n.b.	n.b.	n.b.
<b>aus dem Eluat (S4)</b>					
Stickstoff (Gesamt-N; TNb)	mg/l	6	2,7	2,3	2,6
Phosphor (Gesamt-P)	mg/l	0,2	0,25	0,16	0,22
Die markierten Parameter sind in der Übersicht korngroßenkorrigiert auf die Fraktion <63 µm					
R1-Wert ist eingehalten -> Fall 1					
R2-Wert ist eingehalten -> Fall 2					
R2-Wert ist überschritten -> Fall 3					
R2-Wert für Wattenmeer ist überschritten, R2-Wert außerhalb des Wattenmeers ist eingehalten					

Quelle: Nowak (2019)

### Fortsetzung von Anhangstabelle 4-7

Parameter	Einheit	Proben-Nr. Messstelle			
		19-10489 P17	19-10490 P18	19-10491 P19	19-10492 P20
aus der Originalsubstanz					
Fraktion <80 µm		10,7	15,8	38,7	12,4
TOC	% TS	0,23	0,49	0,95	0,36
Sauerstoffzehrung nach 3 h	g O2/kg TS	0,2	0,71	0,53	0,29
Stickstoff (Gesamt-N)	% TS	<0,02	0,046	0,083	0,021
Phosphor	mg/kg TS	220	250	380	220
aus der Fraktion < 20 µm					
Arsen	mg/kg TS	26	33	30	38
Blei	mg/kg TS	45	59	61	59
Cadmium	mg/kg TS	0,3	0,5	0,6	0,5
Chrom	mg/kg TS	98	98	90	103
Kupfer	mg/kg TS	22	24	25	24
Nickel	mg/kg TS	39	39	37	41
Quecksilber	mg/kg TS	0,21	0,32	0,35	0,26
Zink	mg/kg TS	151	185	176	192
aus der Fraktion < 2 mm					
Polychlorierte Biphenyle (PCB)					
PCB Summe	µg/kg TS	<BG	6,582	7,984	2,500
Organochlorpestizide					
Pentachlorbenzol	µg/kg TS	<BG	<BG	<BG	<BG
Hexachlorbenzol	µg/kg TS	<BG	<BG	0,879	<BG
alpha-HCH	µg/kg TS	<BG	<BG	<BG	<BG
gamma-HCH (Lindan)	µg/kg TS	<BG	<BG	<BG	<BG
p-p DDD	µg/kg TS	<BG	<BG	<BG	<BG
p-p DDE	µg/kg TS	<BG	<BG	<BG	<BG
p-p DDT	µg/kg TS	<BG	<BG	<BG	<BG
PAK (Sedimente)					
PAK EPA Summe	mg/kg TS	<BG	1,133	1,271	0,702
Kohlenwasserstoffe					
Kohlenwasserstoffe (C10-C40)	mg/kg TS	206	133	116	226
Organische Zinnverbindungen					
Tributylzinn Kation	µg/kg TS	<1	1	5	<1
aus dem Okotox-Eluat					
mariner Algentest					
GmA		n.b.	n.b.	1	n.b.
pT-Wert		n.b.	n.b.	0	n.b.
Leuchtbakterientest					
GL		n.b.	n.b.	1	n.b.
pT-Wert		n.b.	n.b.	0	n.b.
Ammonium-Stickstoff (NH4-N)	mg/l	n.b.	n.b.	<0,4	n.b.
aus dem Eluat (S4)					
Stickstoff (Gesamt-N; TNb)	mg/l	2,9	1,8	1,9	1,9
Phosphor (Gesamt-P)	mg/l	0,34	0,12	0,12	0,24
Die markierten Parameter sind in der Übersicht komgrößenkorrigiert auf die Fraktion <83 µm					
R1-Wert ist eingehalten -> Fall 1					
R2-Wert ist eingehalten -> Fall 2					
R2-Wert ist überschritten -> Fall 3					
R2-Wert für Wattenmeer ist überschritten; R2-Wert außerhalb des Wattenmeers ist eingehalten					

Quelle: Nowak (2019)

### 1.1.2.3 Hydrochemie

#### Salzgehalt

Aufgrund des weitgehend fehlenden Oberwasserabflusses ist ein horizontaler Dichtegradient des Salzgehaltes in der Jade zu vernachlässigen. Selbiges gilt für eine vertikale Schichtung durch Salz-



gehalten. Nach STANEV et al. (2015) (aus GÜBAK BfG 2019) ist die Wassersäule in der Jade annähernd komplett durchmischt, die Salzgehaltsunterschiede betragen < 0,1 PSU.

Die Jade weist im Gegensatz zu Elbe, Weser und Ems keinen nennenswerten Oberwasserzufluss auf und ist daher kein Ästuar, sondern eine Bucht. An den Pegeln in der Jade werden nach Auskunft des WSA Weser-Jade-Nordsee (Hr. Götschenberg) keine automatischen Leitfähigkeitsmessungen vorgenommen. In Jestaedt & Partner (2010) sind für die Jade Salzgehaltsmessungen der Jahre 1988-2009 an sieben Messpunkten vom Jadebusen (Vareler Tief) bis zur Außenjade (Minsener Oog) im Längsprofil der Jade zusammengestellt. Hiernach war im langjährigen Mittel eine leichte Salzgehaltsabnahme von Norden (30 und 31 PSU bei Minsener Oog) nach Süden (29 und 30 PSU im Jadebusen) festzustellen. Die Maximalwerte für die zwei Bereiche lagen zwischen 34 und 33 PSU, die Minimalwerte betragen 27 bis 23 PSU.

Aktuelle Salzgehaltsmessungen liegen durch die Überwachungsprogramme der Wasserkörper für die WRRL vor. Hier werden im Wasserkörper „Jadebusen und angrenzende Küstengewässer“ drei Stationen innerhalb der überblicksweisen und operativen Überwachung in annähernd 14-täglichen (Station JaBu\_W\_1) bzw. quartalsweisen (Stationen Jade\_W\_1 und Jade\_W\_2) Abständen beprobt und Nährstoffe sowie allgemein physikalisch-chemische Qualitätskomponenten gemessen. Die Daten wurden uns vom NLWKN (M. Reetz, schriftl.) zur Verfügung gestellt. Station Jade\_W\_1 liegt nördlich, Jade\_W\_2 südlich des Vorhabens, JaBu\_W\_1 befindet sich im Jadebusen. Die Kennwerte an den drei Stationen für den Zeitraum 2015-2019 sind in Anhangstabelle 1-7 dargestellt. An der nördlichsten Station (Jade\_W\_1) betrug die Salinität durchschnittlich 32,4 PSU und nahm bis zum Jadebusen (JaBu\_W\_1) auf 30,6 PSU ab. Die gesamte Spannbreite der Werte lag zwischen minimal 26,8 PSU und maximal 35,7 PSU.

**Anhangstabelle 1-7: Kennwerte (Mittelwert, Minimum, Maximum) der Salinität S (Sondenmessungen, PSU) an drei Stationen im Längsverlauf der Jade aus den Jahren 2015-2019**

Station	N Werte	Mittel	Min	Max
Jade_W_1	59	32,4	29,5	35,7
Jade_W_2	10	31,2	29,4	32,3
JaBu_W_1	95	30,6	26,8	33,0

Quelle: Daten: NLWKN Brake-Oldenburg, schriftl.

## Sauerstoff

Die Sauerstoffgehalte des Nordseewassers weisen einen ausgeprägten saisonalen Verlauf mit einem Minimum im Juli bis September auf. In Bereichen mit thermohaliner Schichtung kann es in den Bodenschichten aufgrund der im Sommer vorhandenen Sauerstoffzehrung durch den bakteriellen Abbau organischer Substanz zu Mangelsituationen kommen. Sauerstoffmessungen aus dem Betrachtungsraum lagen durch den NLWKN für drei Stationen vor, die innerhalb des WRRL-Monitorings (s. Salzgehalt) beprobt werden. Die Kennwerte an den drei Stationen für den Zeitraum 2015-2019 sind in Anhangstabelle 1-8 dargestellt.

**Anhangstabelle 1-8: Kennwerte (Mittelwert, Minimum, Maximum) des Sauerstoffgehaltes [mg/l] an drei Stationen im Längsverlauf der Jade aus den Jahren 2015-2019**

Station	N Werte	Mittel	Min	Max
JaBu_W_1	119	9,1	4,6	13,0
Jade_W_1	21	10,0	7,8	13,1
Jade_W_2	14	10,1	7,8	12,8

Quelle: Daten: NLWKN Brake-Oldenburg, schriftl. M. Reetz

Eine ausreichende Versorgung des Gewässers mit Sauerstoff ist eine Grundvoraussetzung für das Überleben, die Reproduktion und das Wachsen aquatischer Organismen. Ab <4 mg/l spricht man von einem reduzierten Sauerstoffgehalt (Sauerstoffmangel). Eine allgemeine gebräuchliche Definition von Sauerstoffmangel (Hypoxie) ist eine Konzentration gelösten Sauerstoffs von <2 mg/l bzw. ca. <30 % Sättigung (Diaz & Rosenberg 1995). Solche Sauerstoffdefizite führen zu (überwiegend noch subletalen) Beeinträchtigungen der aquatischen Fauna.

Bei der Beschreibung der Sauerstoffverhältnisse in Gewässern sind Angaben als Konzentration (mg/l) und in Sättigung (%) üblich. In der Jade lagen die mittleren Sauerstoffgehalte an allen drei Stationen zwischen 9,1 und 10,1 mg/l. Der Minimalwert im Zeitraum 2015-2019 betrug 4,6 mg/l an der Jadebusen-Station und der Maximalwert 13,1 mg/l an der nördlichsten Station. Für die dem Vorhaben nächstgelegenen Station Jade\_W\_1 standen nur 14 Messwerte zur Verfügung, die zwischen 7,8 mg/l und 12,8 mg/l lagen. Aufgrund der guten Durchmischung ist im Untersuchungsraum somit i.d.R. nicht mit Sauerstoffmangel-Situationen zu rechnen.

**Schwebstoffe**

Die hohe Turbulenz im Wasserkörper des Jadesystems führt durch die damit verbundenen Umlagerungsprozesse zu einer zeitweise hohen Trübung durch in der Wassersäule befindliche Schwebstoffe. Die mittleren Schwebstoffgehalte im Jadesystem zeigen im Übergangsbereich von Außenjade zu Innenjade (Jade\_W\_1) fast doppelt so hohe Werte, wie im Jadebusen (JaBu\_W\_1) und im Bereich der Innenjade (Jade\_W\_2). Zu berücksichtigen ist hier allerdings die unterschiedliche Anzahl der Messungen.

**Anhangstabelle 1-9: Mittlere Konzentrationen an Schwebstoffen (mg/l) in Wasserproben in der Jade für den Zeitraum 2015-2019**

Station	SPM (mg/l)	n Messungen
JaBu_W_1	33,75	118
Jade_W_1	62,90	61
Jade_W_2	34,26	15

Quelle: Daten: NLWKN Brake-Oldenburg, schriftl. M. Reetz

## Nährstoffe

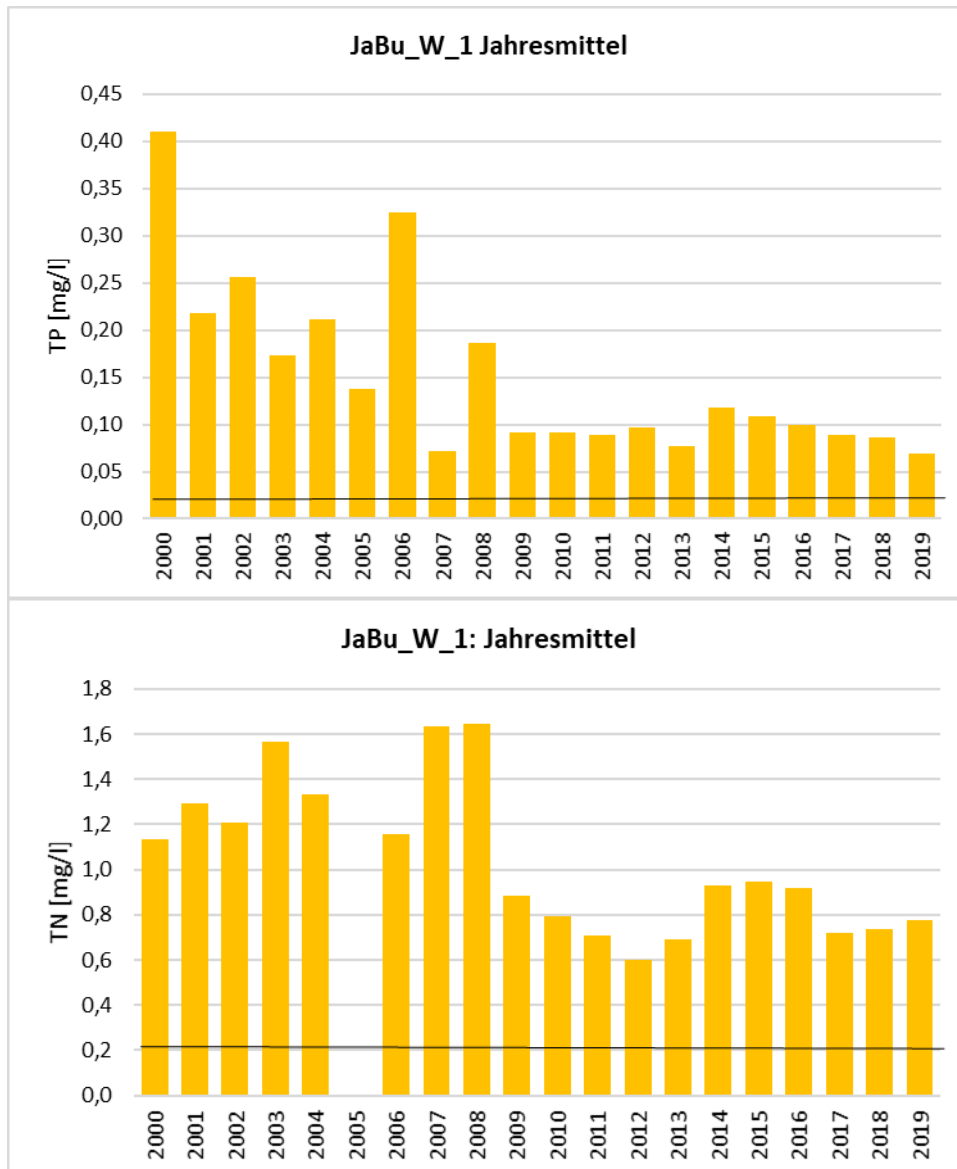
Eutrophierung ist ein Faktor, der die Qualität des Ökosystems bestimmt und sich in einer erhöhten Primärproduktion als Folge hoher Nährstoffkonzentrationen ausdrückt. Zu den Nährstoffen zählen, neben Kohlenstoff sowohl organische als auch anorganische Phosphor- und Stickstoffverbindungen. Die in löslicher Form vorliegenden Phosphat-, Ammonium-, Nitrit- und Nitrat-Verbindungen werden auch als anorganische Nährsalze bezeichnet. Zu den organischen Nährstoffen zählen u.a. Harnstoff und Aminosäuren sowie organische Phosphorverbindungen. Für Gesamt-Phosphor und Gesamt-Stickstoff werden sowohl die anorganischen Nährsalze als auch die organischen und partikulären Nährstoffkomponenten als Summenparameter erfasst. Phosphat, Stickstoff und Silikat sind wesentliche Bausteine des Phytoplanktons, welches wiederum die Basis des marinen Nahrungsnetzes bildet.

Bereits seit den 1980er Jahren werden durch die OSPAR-Kommission Strategien zur Reduzierung der Nährstoffeinträge in die Meeresgewässer entwickelt. Das Ziel war, bis zum Jahr 2000 eine Halbierung der Nährstoffeinträge, bezogen auf das Jahr 1985, zu erreichen. Nach OSPAR sollte im Jahr 2010 eine gesunde Meeresumwelt hergestellt sein, in der Eutrophierung nicht mehr auftritt. Die Ziele der Nordseeschutzkonferenzen wurden bis 2010 für Phosphor, nicht jedoch für Stickstoff erreicht. Der größte Bereich der Deutschen Bucht wird derzeit von OSPAR weiterhin als Eutrophierungs-Problemgebiet eingestuft und nach MSRL die Belastung „Anreicherung mit Nährstoffen“ mit „nicht gut“ bewertet (BMU 2018). Die Nährstoffbilanz für die Deutsche Bucht wird von grenzüberschreitenden Nährstoffimporten v.a. über die großen Flüsse (Rhein, Maas, Ems, Weser, Elbe) bestimmt, deren Frachten entweder direkt in die Küstengewässer fließen oder indirekt über Residualströmungen von Frankreich, Belgien und den Niederlanden transportiert werden. Weitere z.T. beträchtliche Einträge erfolgen über eine atmosphärische Deposition. In der südlichen Nordsee nehmen die Nährstoffkonzentrationen tendenziell von Südwest nach Nordost, infolge einer Zumischung von nährstoffreichem Küstenwasser aus den angrenzenden Ländern, zu (Brockmann et al. 2017).

Auch im Wattenmeer und den angrenzenden Küstengewässern sind zu hohe Nährstoffkonzentrationen und die damit verbundenen Eutrophierungsprozesse ein Hauptfaktor für die Verfehlung eines guten ökologischen Zustands (WRRL) bzw. guten Umweltzustands (MSRL). Für Stickstoff wurde gemäß § 14 OGewV (Novelle 2016) ein Bewirtschaftungszielwert festgelegt, der für die in die Nordsee einmündenden Flüsse 2,8 mg/l Gesamtstickstoff beträgt. Die Bewirtschaftungspläne und Maßnahmenprogramme in den Flussgebietseinheiten richten sich zum Schutz der Meeresgewässer an diesem Zielwert aus. Im 5-jährigen Mittel der Periode 2011-2015 hielt nur der Rhein mit 2,7 mg/l diesen Zielwert ein; der höchste Wert wurde in der Ems mit 4,7 mg/l gemessen (BMU 2018 Indikatorblatt).

Die Nährstofffrachten in den Jadebusen und das angrenzende Küstenmeer der Jade resultieren zum einen aus Einträgen aus dem Einzugsgebiet selbst und zum anderen aus Einträgen aus benachbarten Gebieten des Wattenmeeres. Neben dem Jadedfluss münden eine größere Anzahl weiterer Fließgewässer in Jadebusen und Binnenjade ein, deren Nährstoffkonzentrationen im gesamten Einzugsgebiet erhöht sind (Bormann & Neumann 2015). Der überwiegende Teil der Nährstoffe stammt - wie in anderen Küstengewässern auch - aus der Landwirtschaft. In Anhangsabbildung 1-7 sind die mittleren Konzentrationen (Jahresmittel) an Gesamtphosphor und Gesamtstickstoff für die Station JaBu\_W\_1 dargestellt, die im Zeitraum 2000 bis 2019 annähernd 14-täglich beprobt wurde. Für Gesamtphosphor ist zwischen 2000 bis 2008 bei größeren interannuellen Schwankungen generell eine Abnahme der mittleren Konzentration von 0,41 mg/l (2000) auf 0,19 mg/l (2008) zu erkennen. Im Folgezeitraum ist keine weitere Abnahme festzustellen, sondern die Werte liegen bei insgesamt geringeren interannuellen Variationen zwischen 0,12 und 0,07 mg/l. Für Gesamtstickstoff ist im Zeitraum 2000 bis 2008 keine Abnahme der mittleren Konzentrationen festzustellen und die Werte schwanken zwischen 1,6 und 1,1 mg/l. Erst nach 2008 ist ein stetiger Rückgang der Konzentrationen bis 2013 von 1,6 auf 0,7 mg/l

zu beobachten. Nach 2013 steigen die Werte wieder an, verbleiben aber mit maximal 0,9 mg/l auf einem niedrigeren Niveau. Sowohl die Gesamtphosphor- als auch die Gesamtstickstoffwerte liegen deutlich über dem Hintergrundwert der OGewV 2016, welcher für den sehr guten Zustand repräsentiert.



**Anhangsabbildung 1-7: Mittlere Konzentration (Jahresmittel) an Gesamt-Phosphor [TP mg/l] Gesamt-Stickstoff [TN mg/l] an den drei Stationen im Längsverlauf**

Erläuterung:  
 Quelle:

die schwarzen Linien kennzeichnen die Hintergrundwerte nach Anlage 7 OGewV 2016  
 Daten NLWKN Brake-Oldenburg, schriftl. M. Reetz

Trotz des geringen Oberwasserzuflusses ist auch im Jadesystem ein räumlicher Gradient mit abnehmenden Konzentrationen (Jahresmittel 2015-2019) vom Jadebusen in Richtung offener Nordsee zu beobachten (Anhangsabbildung 1-8). Im Jadebusen (JaBu\_W\_1) finden sich sowohl höhere Phosphor- als auch Stickstoff-Konzentrationen als in Innenjade (Jade\_W\_2) und Außenjade (Jade\_W\_1). Alle Messwerte befinden sich aber weiterhin oberhalb der Hintergrundwerte nach WRRL (Anlage 7, schwarze Linie in Anhangsabbildung 1-8), deren Einhaltung den Übergang zum sehr guten Zustand

für Phosphor und Stickstoff widerspiegeln würde und hierdurch die Entwicklung eines guten ökologischen Zustands der biologischen Qualitätskomponenten erlauben würde.

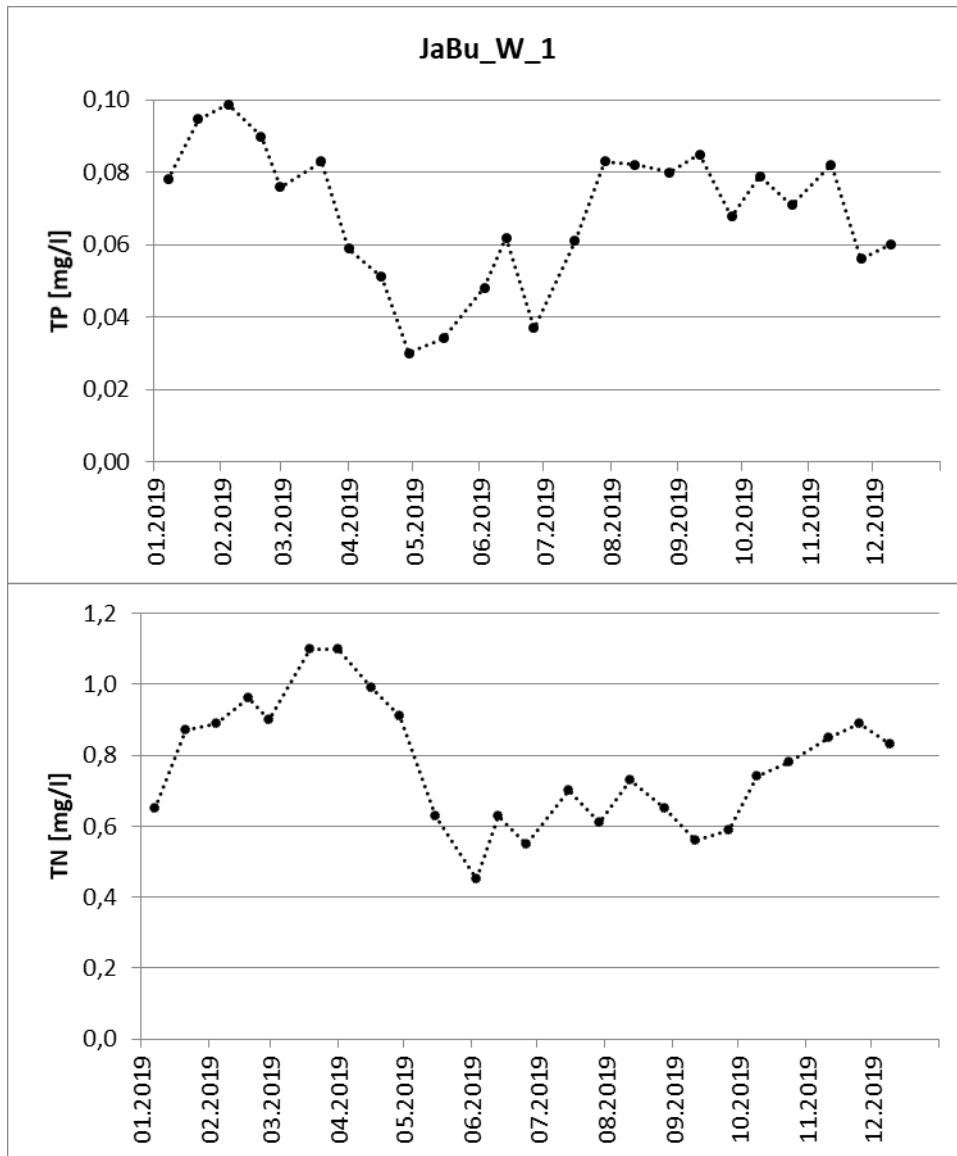


**Anhangsabbildung 1-8: Mittlere Konzentration (Winterwerte) an Gesamt-Phosphor [TP mg/l] und Gesamt-Stickstoff [TN mg/l] an den drei Stationen im Längsverlauf der Jade aus den Jahren 2015-2019**

Erläuterung:  
Quelle:

die schwarzen Linien kennzeichnen die Hintergrundwerte nach Anlage 7 OGewV 2016  
Daten NLWKN Brake-Oldenburg, schriftl. M. Reetz

Die Verteilung der biologisch verfügbaren Nährstoffe unterliegt einer saisonalen Veränderung durch Strömungen, Abbau, Remineralisierung, Denitrifizierung oder Remobilisierung. Der typischerweise vorhandene Jahresgang der Nährstoffkonzentrationen mit höchsten Konzentrationen am Ende des Winters und einer Abnahme mit beginnendem Algenwachstum im Frühjahr kann auch in der Jade beobachtet werden (Anhangsabbildung 1-9).



Anhangsabbildung 1-9: Konzentration an Gesamt-Phosphor [TP mg/l] und Gesamt-Stickstoff [TN mg/l] an Station JaBu\_W\_1 für das Jahr 2019

Quelle:

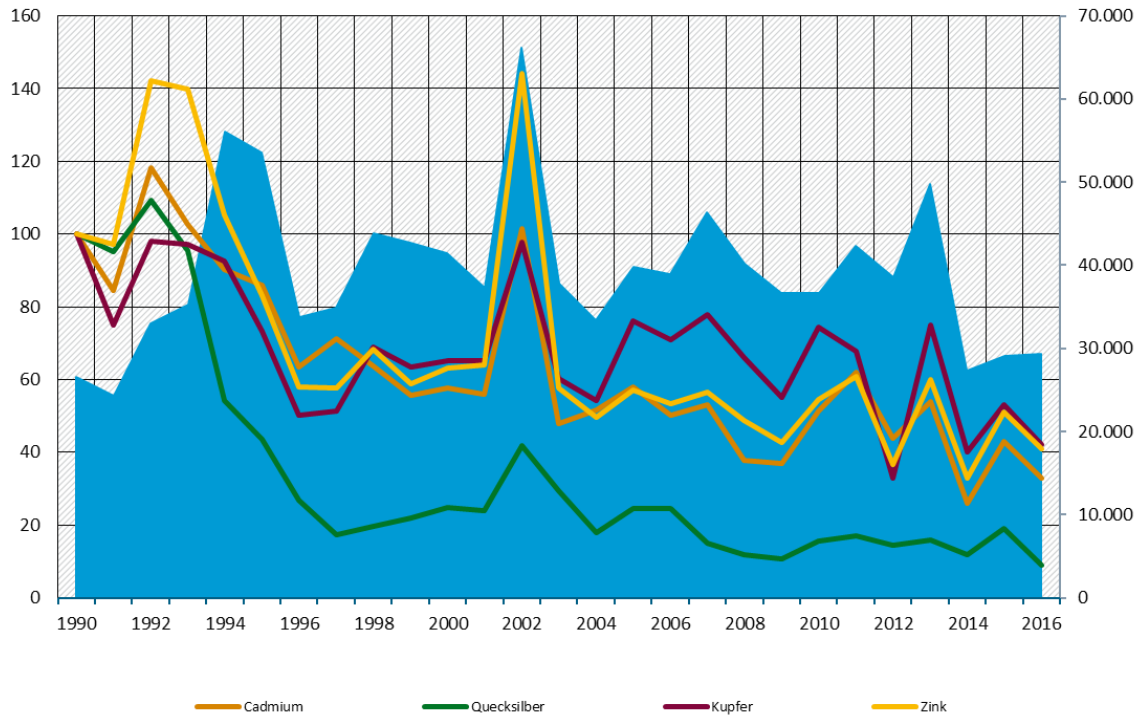
Daten NLWKN Brake-Oldenburg, schriftl. M. Reetz

### Schadstoffe

Der Eintrag von Schwermetallen in deutsche Küstengewässer erfolgt größtenteils über die Flüsse. Entsprechend nehmen die Schwermetallbelastungen im Wasser und in den Sedimenten mit zunehmender Entfernung zur Küste und den Mündungen von Elbe und Weser ab (Loewe 2009, Loewe et al. 2013). Belastungsschwerpunkte sind die innere Deutsche Bucht und das Elbeästuar, aber auch in den Mündungsgebieten von Weser und Ems wurden in der Vergangenheit erhöhte Konzentrationen nachgewiesen.

Bei den Schwermetallen stehen Cadmium, Blei und Quecksilber als prioritäre gefährliche Schadstoffe gemäß WRRL im Fokus. Die Anliegerstaaten der Nordsee vereinbarten, die Einträge über alle Eintragspfade bis zum Jahr 2020 um mindestens 70 Prozent (%) gegenüber dem Basisjahr 1990 zu senken. In Anhangsabbildung 1-10 sind prozentuale Einträge gemessen am Stand 1990 von Cadmium, Quecksilber, Kupfer und Zink über die deutschen Zuflüsse in die Nordsee dargestellt. Die Einträge

werden maßgeblich vom Abfluss bestimmt; tendenziell ist aber eine Verringerung über den Zeitraum 1990 bis 2016 ersichtlich.



**Anhangsabbildung 1-10: Schwermetalleinträge (in %, linke y-Achse) über die deutschen Flüsse in die Nordsee im Vergleich zum jährlichen Abfluss (Mio. m<sup>3</sup> Wasser/Jahr, rechte y-Achse)**

Quelle: Umweltbundesamt 2017, Daten der Bundesländer und der Flussgebietsgemeinschaften - Berichterstattung an die OSPAR-Kommission; Datenstand 2016  
<https://www.umweltbundesamt.de/daten/wasser/nordsee/flusseintraege-direkte-eintraege-in-die-nordsee#deutlich-weniger-schwermetalle>

Für die meisten organischen Schadstoffe ist die Elbe die Haupteintragsquelle für die Deutsche Bucht. Generell nehmen die Schadstoffgehalte mehr oder minder schnell von der Küste zur offenen See hin ab. Die höchsten Schadstoffkonzentrationen werden in der Deutschen Bucht nicht mehr für klassische, lipophile Schadstoffe beobachtet, sondern für „moderne“, eher polare und persistente Pestizide. Deren räumliche Verteilung gibt klare Hinweise darauf, dass die großen in die südliche Nordsee entwässernden Flüsse als Haupteintragsquellen zu sehen sind (BMU 2018).

Die Einstufung des chemischen Zustands eines Oberflächenwasserkörpers richtet sich nach den in Anlage 8 OGewV (2016) aufgeführten Umweltqualitätsnormen, die überwiegend in der Wasserphase und zum Teil in Biota bzw. in Schwebstoffen gemessen werden (s. Anlage 8). Die aktuelle Bewertung für den 3. Bewirtschaftungszeitraum (2021-2027) des chemischen Zustands nach WRRL ergibt für den Wasserkörper „Jadebusen und angrenzende Küstengewässer eine Überschreitung der UQN nach Anlage 8 der OGewV (2016), sodass sich der Wasserkörper in einem nicht guten chemischen Zustand befindet (FGG Weser 2020). Die Überschreitung ist auf ubiquitäre Schadstoffe in Biota (Quecksilber, Bromierte Diphenylether) sowie auf den ubiquitären Schadstoff Benzo(ghi)perylen in der Wasserphase zurückzuführen (Messung 2017, NLWKN Hildesheim, Fr. Minuth, schriftl.). Nach den Handlungsanweisungen der LAWA (2019) ist zur Zeit auch eine Überschreitung der UQN bei ubiquitären Stoffen als für den chemischen Zustand mit „nicht gut“ zu bewerten. Zukünftig soll eine differenzierte Bewertung erfolgen, die noch in Überarbeitung ist.

Die flussgebietsspezifischen Schadstoffe nach Anlage 6 OGewV (2016), welche zur Beurteilung des ökologischen Zustands herangezogen werden, befinden sich nach Bewertung für den 3. Bewirtschaftungszeitraum (2021-2027) in einem guten Zustand (FGG Weser 2020).

### 1.1.3 Bewertung des Bestandes

Die Beurteilung des Umweltzustandes für das Schutzgut Wasser - Oberflächenwasser (und Sedimente) erfolgt mittels einer fünfstufigen Bewertung angelehnt an BfG (2011), mit Blick auf den historischen Referenzzustand.

Mit Ausnahme der Herstellung einer geschlossenen Deichlinie nach Abschluss der umfangreichen Maßnahmen zur Landgewinnung, lassen sich größere Veränderungen im Jade-System mit Gründung der Stadt Wilhelmshaven und der anschließenden Entwicklung der verschiedenen Hafenanlagen, Landgewinnungsmaßnahmen und des sukzessiven Ausbaus der Zufahrt in der Innen- und Außenjade terminieren. Dies begann etwa zum Ende des 19. Jahrhunderts und setzte sich schrittweise bis heute fort bzw. wird aktuell durch die Planungen weiterer Hafen-/Industrieanlagen fortgesetzt. Idealerweise müsste folglich das Ende des 19. Jahrhunderts als Referenzzeitraum festgelegt werden, wobei aus diesem Zeitraum nur wenige Vergleichsdaten vorliegen.

Folgende Kriterien werden bei der Bewertung des Ist-Zustandes berücksichtigt:

- Hydrologie
- Hydromorphologie
- Wasserbeschaffenheit
- Schadstoffe im Gewässersediment

#### Hydrologie

Die Bewertung des Ist-Zustandes für den Teilaspekt Hydrologie wird anhand der Parameter Gewässerzustand, Tidedynamik und Wasserstand vorgenommen (BfG 2011).

Der Zeitraum 1907 bis 1957 ist als erste wesentliche Eingriffsperiode in den Gewässerzustand zu charakterisieren. In diesem Zeitraum erfolgten die Süd- bzw. Süd-Ost-Erweiterung von Wilhelmshaven, die Festlegung der Insel Minsener Oog und die Eindeichung des Heppenser Grodens. Einen Eindruck der morphologischen Struktur den Innenjade vor dem Ausbau zur Schifffahrtsstraße gibt die abgebildete Seekarte aus dem Jahr 1907 (Anhangsabbildung 1-11).

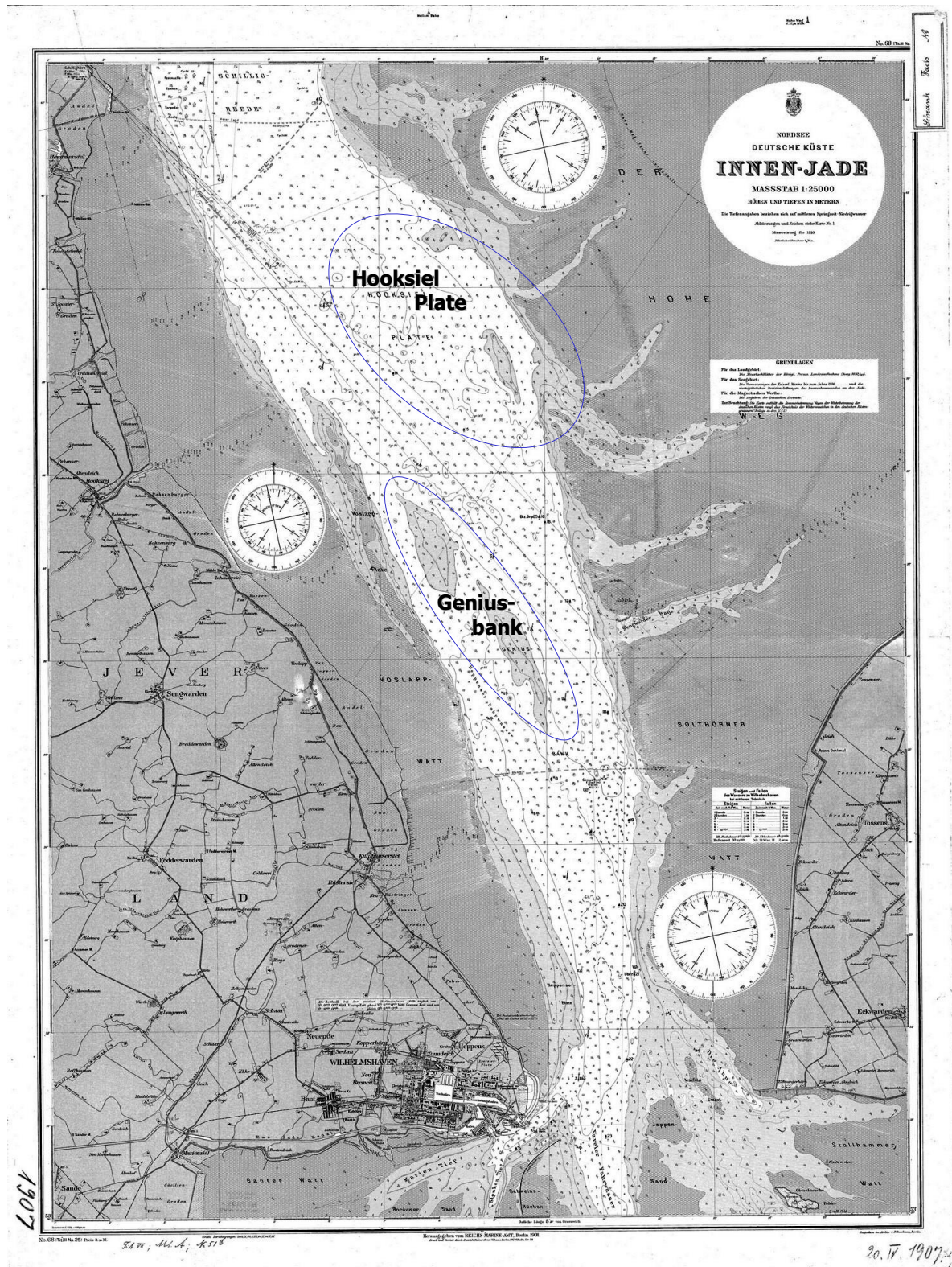
Die zweite Eingriffsperiode im Zeitraum seit 1957 ist durch eine dichte Abfolge morphologisch bedeutender anthropogener Eingriffe in die Struktur der Innenjade geprägt. Im Einzelnen wurden v.a. die folgenden Veränderungen vorgenommen:

- Eindeichung des Rüstersieler Grodens mit Verlegung der Maade und dem Bau des neuen Siels, Eindeichung des Voslapper Grodens,
- Stufenweise Vertiefung des Fahrwassers von SKN - 12 m auf SKN - 18,5 m,
- Gestaffelte Installation von insgesamt 4 Umschlagsanlagen und es JadeWeserPorts,
- Sektorielle Verlegung (Begradigung) des Fahrwassers.

Der Gewässerzustand des Untersuchungsgebietes stellt sich zweigeteilt dar. Auf der einen Seite stehen die Flächen östlich des Jadefahrwasser, die neben den Flachwasserbereichen ausgeprägte Watten und Rinnenstrukturen enthalten, die der natürlichen Dynamik unterliegen. Zur Lage des Jadefahr-



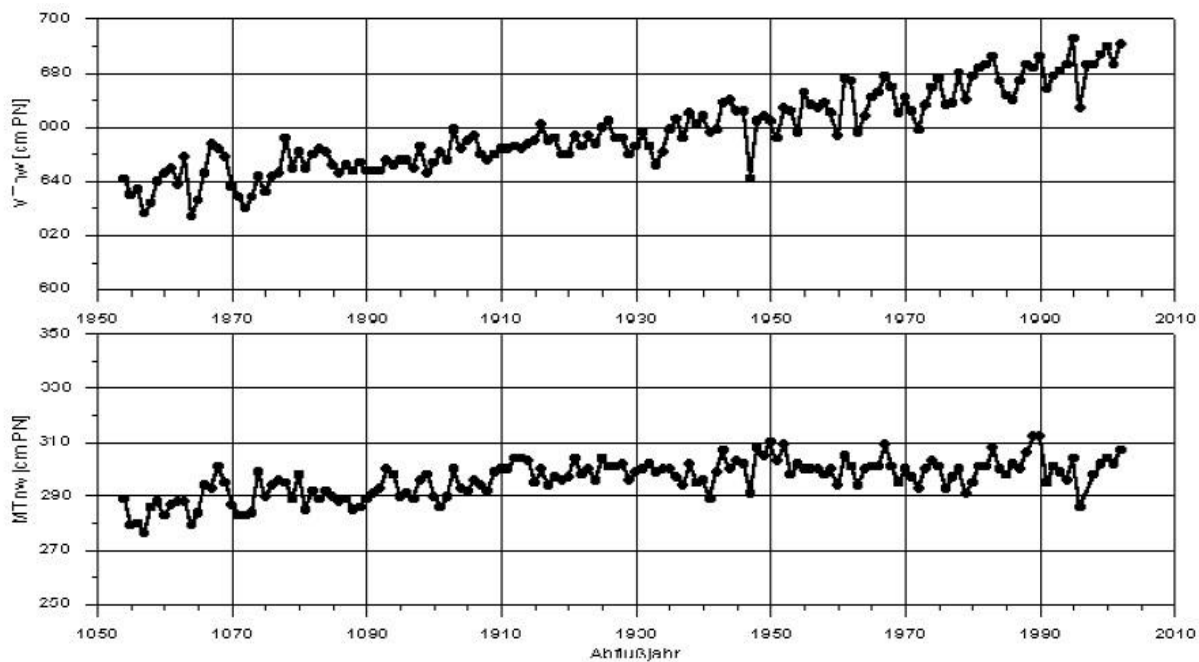
wassers im Untersuchungsraum s. Anhangsabbildung 1-1. Die Charakteristik dieses Teilraumes als mesotidales Wattgebiet mit vorherrschend Sandwatt ist über die Zeit erhalten geblieben. Der Bereich ist anthropogen nur sehr gering beeinflusst und wird daher mit der **Wertstufe 5 (sehr hoch)** bewertet. Auf der anderen Seite stehen das regelmäßig unterhaltene Jade-Fahrwasser (Baggerschwerpunkte km 8,0 bis 10,5 sowie km 18 bis 24; BfG 2019) sowie die oben angeführten Eingriffe entlang der Westseite der Innenjade. Der Gewässerzustand ist hier durch Ausbau- und/oder Unterhaltungsbaggerungen (Fahrwasser sowie Liegewannen und Zufahrtsbereich der Häfen und Industrieanlagen), Sandentnahmen, Hafenanlagen, Uferbefestigungen etc. in seinem Zustand fixiert und festgelegt. Die gesamte Westseite der Innenjade ist anthropogen überprägt und erhält die **Wertstufe 3 (mittel)**.



Anhangsabbildung 1-11: Seekarten der Innenjade aus dem Jahr 1907

Hinsichtlich der Entwicklung bzw. Veränderung der Tidedynamik im Bereich der Innenjade kann auf Pegelaufzeichnungen am Pegel Alter Vorhafen in Wilhelmshaven zurückgegriffen werden, die – mit zunehmender Informationsdichte – seit 1853 aufgezeichnet werden. Eine von Frels (1995) vorgenommene Auswertung der Wasserstände am Pegel Wilhelmshaven Alter Vorhafen ergibt einen nahezu gradlinigen Anstieg des mittleren Tidehochwassers um 29 cm in 100 Jahren. Zusammen mit einem

nahezu gleichbleibenden Tideniedrigwasserwert ergibt sich hieraus ein Anstieg des Tidehubs um 26 cm in 100 Jahren (s.a. Anhangsabbildung 1-12).



**Anhangsabbildung 1-12: Veränderung des MThw (oben) und des MTnw (unten) am Pegel Wilhelmshaven Alter Vorhafen zwischen 1853 und 2002**

Quelle: Göttschenberg (2003)

Bei einer vergleichenden Betrachtung der mittleren Tidekurven von 1966 und 1996 wird deutlich, dass v.a. im Flutast eine Veränderung in Richtung Sinuskurve stattgefunden hat. Diese Entwicklung geht mit einer Reduzierung der maximalen Tidesteigggeschwindigkeit um nahezu 10 % einher (Frels 1995). Die Laufzeitdifferenzen zwischen dem Pegel Alte Mellum und dem Pegel Wilhelmshaven Alter Vorhafen haben nach Göttschenberg (2003) im Zeitraum seit 1957 eine deutliche Veränderung erfahren. Sowohl die Laufzeitdifferenz der Hochwasserwelle als auch die der Niedrigwasserwelle hat sich um etwa 20 Minuten verkürzt. Dies entspricht einer Steigerung der Fortschrittsgeschwindigkeit der Hochwasserwelle um rund 50 % und der Niedrigwasserwelle um rund 100 %.

Angelehnt an den Bewertungsrahmen der BfG (2011) wird dem Parameter Tidedynamik die **Wertstufe 4 (hoch)** zugeordnet. Wie oben dargelegt, sind zwar im Zeitraum 1853 bis heute Änderungen in der Tidedynamik zu verzeichnen (Anstieg des mittleren Tidehochwassers um 29 cm und des Tidehubs um 26 cm in 100 Jahren, Veränderung der Laufzeitdifferenzen). Diese fallen jedoch, auch im Vergleich mit den anderen deutschen Ästuaren, vergleichsweise moderat aus.

Der Parameter Wasserstand ist von den oben beschriebenen Ausbaumaßnahmen und den Änderungen in der Tidedynamik beeinflusst. Durch die Herstellung einer vergleichsweise einheitlichen und durchgehenden hydraulisch leistungsfähigen Rinnenstruktur in der Innenjade durch die Befestigung von Minsener Oog und der daraus resultierenden Unterbindung von Platenwanderungen nördlich der Innenjade sowie durch den Ausbau des Jedefahrwassers kommt es zu einer Strömungsbündelung bei gleichzeitiger Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeiten im Fahrwasserbereich. Verstärkt wird dieser Effekt durch Eindeichungen sowie Brücken- und Hafenbauwerke. Analog zum Parameter Gewässerzustand wird der Wasserstand zweigeteilt bewertet. Die Flächen östlich des Jade-Fahrwassers sind demnach wenig verändert und werden der **Wertstufe 5 (sehr hoch)** zugeordnet. Das vertiefte und

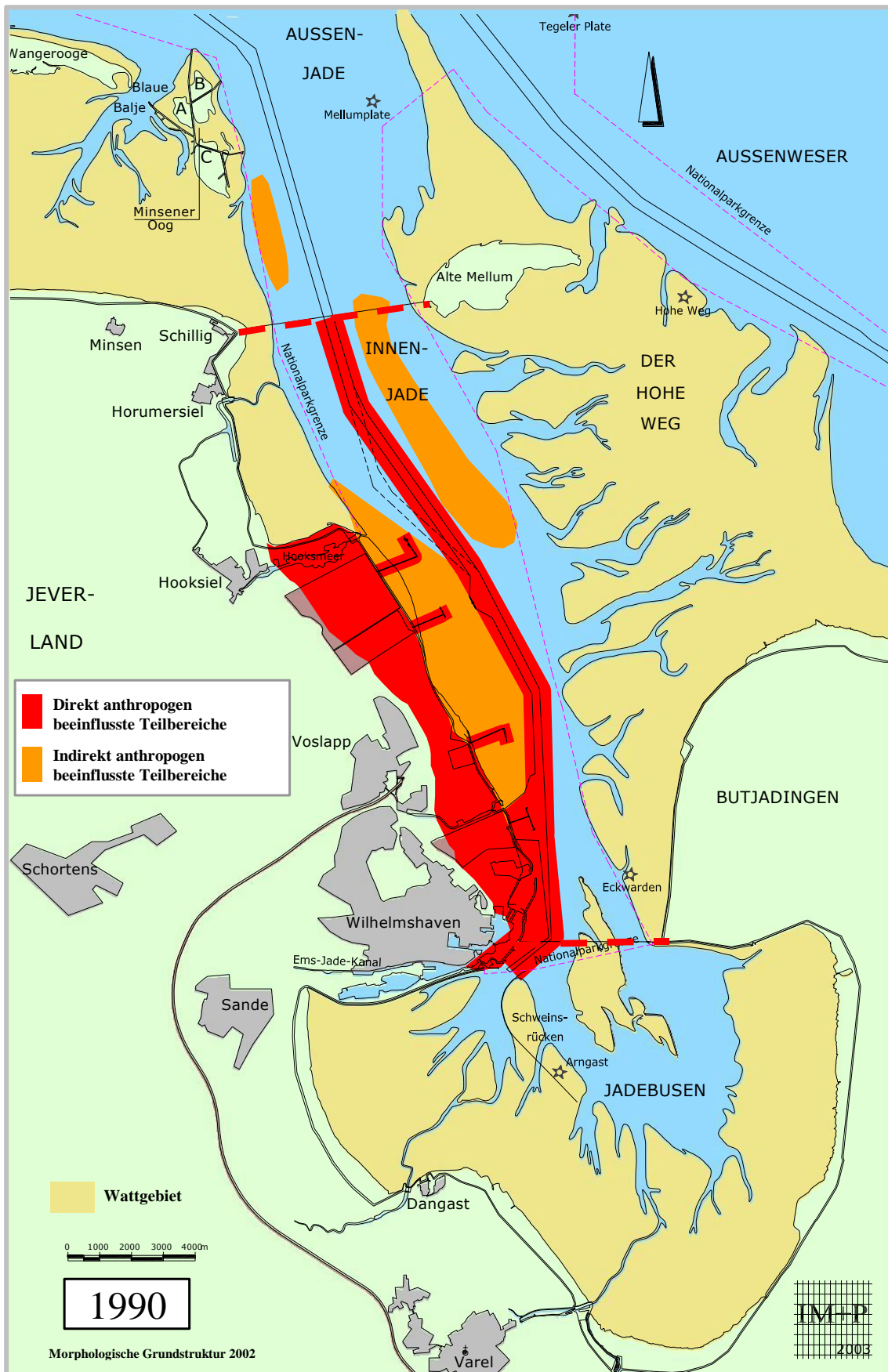
regelmäßig unterhaltene Fahrwasser sowie die Westseite der Innenjade mit diversen Zufahrten und Liegewannen der Häfen und Brücken sind in ihrem Wasserstand deutlich verändert. Ihnen wird die **Wertstufe 3 (mittel)** zugeordnet.

### Hydromorphologie

Der Begriff „Hydromorphologie“ beschreibt die durch wechselseitige Beeinflussung geprägte Beziehung zwischen dem Sedimenthaushalt und den Gewässerstrukturen auf der einen Seite und dem Wasserhaushalt bzw. Tidenregime auf der anderen Seite. Der Schwerpunkt liegt beim Bewertungsrahmen Hydromorphologie auf dem Sedimenthaushalt und den hydromorphologischen Strukturen (BfG 2011). Für das Teilverfahren Küste sind die folgenden Bewertungskriterien zu berücksichtigen: Grundriss, Längsprofil, Feststoffhaushalt, Sublitoral/Gewässerbett, Eulitoral inkl. Uferlinie/Ufer, Supra- und Epilitoral/Aue/Marsch. Die Bewertungskriterien werden nachfolgend zusammenfassend beschrieben und bewertet.

Die östlich des Jedefahrwassers gelegenen Teile des Untersuchungsgebietes haben in der Vergangenheit nur geringe Veränderung der hydromorphologischen Hauptparameter gegenüber den Referenzbedingungen erfahren. Der Grundriss der Gewässerstrukturen ist naturnah ausgeprägt. Die Eulitoralflächen und die Sublitoralflächen der Rinnenstrukturen unterliegen einer weitgehend ungestörten Dynamik. Das Gewässerprofil unterliegt durch Sedimentumlagerungen einem stetigen Wandel. Insgesamt entsprechen die für das Teilgebiet relevanten hydromorphologischen Parameter in ihrer Ausprägung weitgehend der Referenz. Die Hydromorphologie wird für die Flächen östlich des Fahrwassers mit der **Wertstufe 5 (sehr hoch)** bewertet.

Die Charakteristik des westlichen Teils des Untersuchungsgebietes mit dem Jedefahrwasser ist durch eine Vielzahl direkt und indirekt anthropogen veränderter Teilbereiche geprägt. Große Teile sind durch Eindeichung und die Ausbauten der Fahrrinne gegenüber der historischen Referenz deutlich verändert. Von den um 1900 vorhandenen Eulitoralflächen sind ca. 68 % durch Eindeichung verloren gegangen. Durch die sukzessive Erhöhung der Querschnittsfläche der Rinne und der Wassertiefen wurden das ehemals eher breite und flache Profil der Jade in eine V-förmige Struktur umgewandelt. Im Ergebnis zeigt sich eine vergleichsweise einheitliche und durchgehende hydraulisch leistungsfähige Rinnenstruktur in der Innenjade. Dies hat, neben der Strömungsbündelung, ein deutlich verändertes Sedimentations-/Erosionsgeschehen mit Ausbildung von Rückenstrukturen in mehreren Abschnitten der Innenjade in den Seitenbereichen außerhalb des Fahrwassers zur Folge. An anderen Stellen ging die Strukturierung der Querprofile sowie die kleinräumliche Variabilität der Querprofiliefen verloren. Die Ufer sind vollständig verbaut und lassen keine eigendynamische Entwicklung des Gewässers und der Uferbereiche zu. In den Bereichen mit Baggerungen (Fahrwasser, Zufahrten, Liegewannen) findet eine direkte und wiederkehrende Veränderung/Störung von Morphologie und Sedimenten statt. Eine generalisierte Übersicht der Teilbereiche der Innenjade mit direkt und indirekt anthropogen beeinflusster Morphologie zeigt nachfolgende Anhangsabbildung 1-13. Insgesamt stellt sich die hydromorphologische Situation als gegenüber den Referenzbedingungen deutlich verändert dar. Die relevanten Bewertungsparameter haben durch anthropogene Eingriffe eine deutliche Modifikation erfahren. Die Hydromorphologie im Westteil des Untersuchungsgebietes wird deshalb mit der **Wertstufe 2 (gering)** bewertet.



Anhangsabbildung 1-13: Generalisierte Übersicht der Teilbereiche der Innenjade mit direkt und indirekt anthropogen beeinflusster Morphologie

Quelle: IMP (2003)

## Wasserbeschaffenheit

Der Bewertungsrahmen der BfG (2011) umfasst die drei Bewertungskriterien „Biologische Qualitätskomponenten“, „Sauerstoffhaushalt“ und „Physikalisch-chemische Qualitätskomponenten“. Alle Bewertungen orientieren sich an Verfahren zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie, die nachstehend spezifiziert werden. Das Vorhaben soll in dem WRRL-Oberflächenwasserkörper „Jadebusen und angrenzende Küstengewässer realisiert“ werden. Im Rahmen der Bestandsbeschreibung ist für die relevanten Parameter bereits jeweils auf die aktuelle Bewertung nach WRRL eingegangen worden.

Die „Biologische Qualitätskomponente“ nach WRRL, die im Bewertungsrahmen nach BfG (2011) berücksichtigt wird, ist das Phytoplankton. Die Bewertung des Phytoplanktons erfolgt durch das „Deutsche Phytoplanktonverfahren für Küstengewässer der Nordsee“ anhand der Konzentrationen von Chlorophyll a (90 % Perzentile der Konzentration der Monate März bis September) (OGewV 2016). Aufgrund der immer noch deutlich zu hohen Nährstoffwerte werden weiterhin zu hohe Chlorophyll a-Werte als Ausdruck für die Biomasse des Phytoplanktons gemessen. Der Zustand des Phytoplanktons wurde daher für den dritten Bewirtschaftungszeitraum 2021-2027 mit unbefriedigend eingestuft (FGG Weser 2020), was entsprechend BfG (2011) der **Wertstufe 2 (gering)** entspricht.

Der Sauerstoffhaushalt wird in den Küstengewässern nicht bewertet (BfG 2011). Die Ausführungen zum Bestand zeigten aber, dass aufgrund der guten Durchmischung in der Jade i.d.R. keine Sauerstoffmangelsituationen vorliegen.

Zu den „Physikalisch-chemischen Qualitätskomponenten“ der WRRL zählen u.a. die Nährstoffverhältnisse, welche nach BfG (2011) mit fünf Stoffen (TN, TP, NO<sub>3</sub>, DIN, PO<sub>4</sub>) in den Bewertungsrahmen eingehen. Die Stoffauswahl orientiert sich an der OGewV 2011 bzw. an der Rahmenkonzeption Monitoring (RAKON) der LAWA (LAWA-AO 2007). Die Wertstufen wurden anhand der Hintergrundwerte aus der OGewV 2011 bzw. dem RAKON-Arbeitspapier entnommen. Hiernach entsprechen die Hintergrundwerte dem Übergang vom „sehr guten“ zum „guten“ Zustand aus der OGewV 2011 bzw. LAWA-AO (2007) dem Übergang der Wertstufe von 5 zu 4 nach BfG (2011). Die Orientierungswerte für den Übergang „guter“ zu „mäßiger“ Zustand sind nur in LAWA-AO (2007) genannt und nicht in der OGewV 2011 verankert. Nach dem Bewertungsrahmen der BfG (2011) werden die Orientierungswerte als Übergang von Wertstufe 4 zu 3 definiert. Für die unterstützenden Qualitätskomponenten (u.a. Nährstoffe) werden nach WRRL keine weiteren Schwellenwerte zum unbefriedigenden bzw. schlechten Zustand definiert. Sie wurden daher von der BfG (2011) wie folgt gesetzt: Die Wertstufe 2 ist bei einer Überschreitung des Hintergrundwertes um das 3-fache erreicht. Eine Überschreitung um mehr als das 5-fache führt zur Wertstufe 1. Inzwischen ist die OGewV (2011) durch die OGewV (2016) ersetzt worden. Die Hintergrundwerte für die Nährstoffe sind nach neuer OGewV 2016 etwas höher, d.h. weniger streng. Zudem sind nur noch die Stoffe Gesamtphosphor (TP), Gesamtstickstoff (TN) und anorganischer gelöster Stickstoff (DIN) zu bewerten. Die Orientierungswerte befinden sich in der Überarbeitung (LAWA-AO 2015). Für die Bestandsbewertung in der Jade wird auf die für in Kap. 1.1.2.3 behandelten Stoffe TN und TP mit den in BfG (2011) genannten Schwellenwerte zurückgegriffen (Anhangstabelle 1-10).

### Anhangstabelle 1-10: Bewertungsrahmen für die Nährstoffe Gesamtphosphor (TP mg/l) und Gesamtstickstoff (TN mg/l) nach BfG (2011)

Wertstufe	5	4	3	2	1
<b>TN</b>	≤0,17	≤0,27	≤0,51	≤0,85	>0,85
<b>TP</b>	≤0,02	≤0,034	≤0,06	≤0,1	>0,1

Erläuterung: Zu bewerten sind Jahresmittelwerte

Die Jahresmittel für Gesamtphosphor bewegten sich im Zeitraum 2015 und 2019 zwischen 0,11 mg/l (2015) und 0,07 mg/l (vgl. Anhangsabbildung 1-7). Nach BfG (2011) entspricht der Wert 2015 der Wertstufe 1 während in den vier Folgejahren jeweils die Wertstufe 2 erreicht wurde (Mittel 1,8). Entsprechend ergibt sich für Gesamtstickstoff die Wertstufe 1 für 2015 und 2016 (0,95 bzw. 0,92 mg/l, vgl. Anhangsabbildung 1-7) während die Jahresmittel in den drei Folgejahren (0,72 – 0,77 mg/l) der Wertstufe 2 zuzuordnen sind (Mittel 1,6). Im Mittel ergibt sich somit für die Nährstoffe die **Wertstufe 2 (gering)**.

Die abschließende Bewertung für die Wasserbeschaffenheit erfolgt nach BfG (2011) durch Mittelwertbildung der Wertstufen der einzelnen Bewertungskriterien (biologische Qualitätskomponenten, physikalisch-chemische Qualitätskomponenten). Damit ist die Wasserbeschaffenheit mit der **Wertstufe 2 (gering)** zu bewerten.

### Schadstoffe in Gewässersedimenten

In Sedimenten können sich über das Wasser und die Atmosphäre eingetragene Schadstoffe ablagern und anreichern und somit einen schädlichen Einfluss auf die aquatische Umwelt haben. Der Bewertungsrahmen der BfG (2011) orientiert sich an den Schadstoffen welche im Rahmen der GÜBAK in Küstengewässern zu bewerten sind bevor eine Umlagerung von Baggergut im Gewässer erfolgt. Für die Belastung von Sedimenten/Schwebstoffen mit Schwermetallen und organischen Schadstoffen orientiert sich die höchste Wertstufe 5 an den natürlichen Hintergrundwerten, welche bei Schwermetallen der Belastung der Sedimente in der Nordsee entspricht. Bei organischen Stoffen (Ausnahme PAK<sub>16</sub>) wird die Hintergrundbelastung gleich Null gesetzt. Jedem Schwermetall bzw. jedem organischen Schadstoff wird einzeln für den Istzustand eine Wertstufe (1 bis 5) zugeordnet. In Anhangstabelle 1-11 sind die im Rahmen der GÜBAK bewerteten Stoffe gelistet und die Konzentrationen für die Ermittlung der Wertstufen nach BfG (2011) genannt. Die grün hinterlegten Felder kennzeichnen die Wertstufen, welche für das Untersuchungsgebiet auf Basis der Bestandserfassung (Anhangstabelle 1-6) anhand der Mittelwertbildung aus den acht analysierten Proben berechnet wurde. Im Untersuchungsgebiet wiesen die meisten Schadstoffe eine geringe bis mittlere Belastung auf und wurden der Wertstufe 4 oder 3 zugeordnet. Ebenso wurde keine Toxizität der Sedimente festgestellt und entsprechend die Wertstufe 5 vergeben. Das Mittel aller stoffspezifischen Wertstufen und der Toxizität liegt bei 3,8. Damit sind Schadstoffe im Sediment mit der **Wertstufe 4 (hoch)** zu bewerten.

**Anhangstabelle 1-11: Bewertungsrahmen für Schadstoffe in Sedimenten nach BfG (2011)**

Wertstufe		5	4	3	2	1
Schwermetalle, Werte aus der Messung in der < 20 µm Fraktion	Einheit	Hintergrundwert Nordsee	mittlere Belastung GÜBAK	Richtwert R1 GÜBAK	3-fach R1	>3-fach R1
Cadmium	[mg/kg TS]	0,3	1	1,5	4,5	>4,5
Quecksilber	[mg/kg TS]	0,2	0,47	0,7	2,1	>2,1
Chrom	[mg/kg TS]	80	80	120	360	>360
Kupfer	[mg/kg TS]	20	20	30	90	>90
Blei	[mg/kg TS]	25	60	90	270	>270
Nickel	[mg/kg TS]	30	47	70	210	>210
Zink	[mg/kg TS]	100	200	300	900	>900
Arsen	[mg/kg TS]	10	27	40	120	>120
Organische Verbindungen, berechnet auf >63 µm Kornfraktion		Hintergrundwert (BfG 2011)	Richtwert R1 GÜBAK	3-fach R1	6-fach R1	>6-fach R1
Summe PCB 7	[µg/kg TS]	0	13	39	78	>78
PAK 16 Summe (EPA)	[mg/kg TS]	0,2	1,8	5,4	10,8	>10,8
Kohlenwasserstoffe gesamt	[mg/kg TS]	0	200	600	1200	>1200
Hexachlorbenzol	[µg/kg TS]	nicht bewertet, da mehr als 75 % der Messwerte <BG				
Pentachlorbenzol	[µg/kg TS]					
α-Hexachlorcyclohexan	[µg/kg TS]					
γ-Hexachlorcyclohexan	[µg/kg TS]					
p,p DDT	[µg/kg TS]					
p,p DDE	[µg/kg TS]					
p,p DDD	[µg/kg TS]					
Tributylzinn	[µg/kg TS OZ-KAT]					
Toxizität						
Toxizitätsklasse		0	I-II	III-IV	V	VI

Erläuterung: Stoffauswahl und Schwellenwerte (Konzentrationen) für die Ermittlung der Wertstufen nach BfG (2011). Grün: Wertstufe der Schadstoffbelastung im Untersuchungsgebiet basierend auf der Mittelwertbildung aus 8 Proben; bei Messwerten <BG wurde ½ BG angesetzt

## 1.2 Hinweise zur Bestandsbeschreibung vor dem Hintergrund der Planänderungen 2022

Die vorliegende Bestandsdarstellung wurde in den Jahren 2019-2021 unter Berücksichtigung der seinerzeit zugrundeliegenden Planungen erstellt. Die Planung wurde im Jahr 2022 geändert. So entfallen



wesentliche landseitige Planmerkmale und die wasserseitigen Vorhabenmerkmale wurden reduziert und kleinräumig nach Norden verschoben.

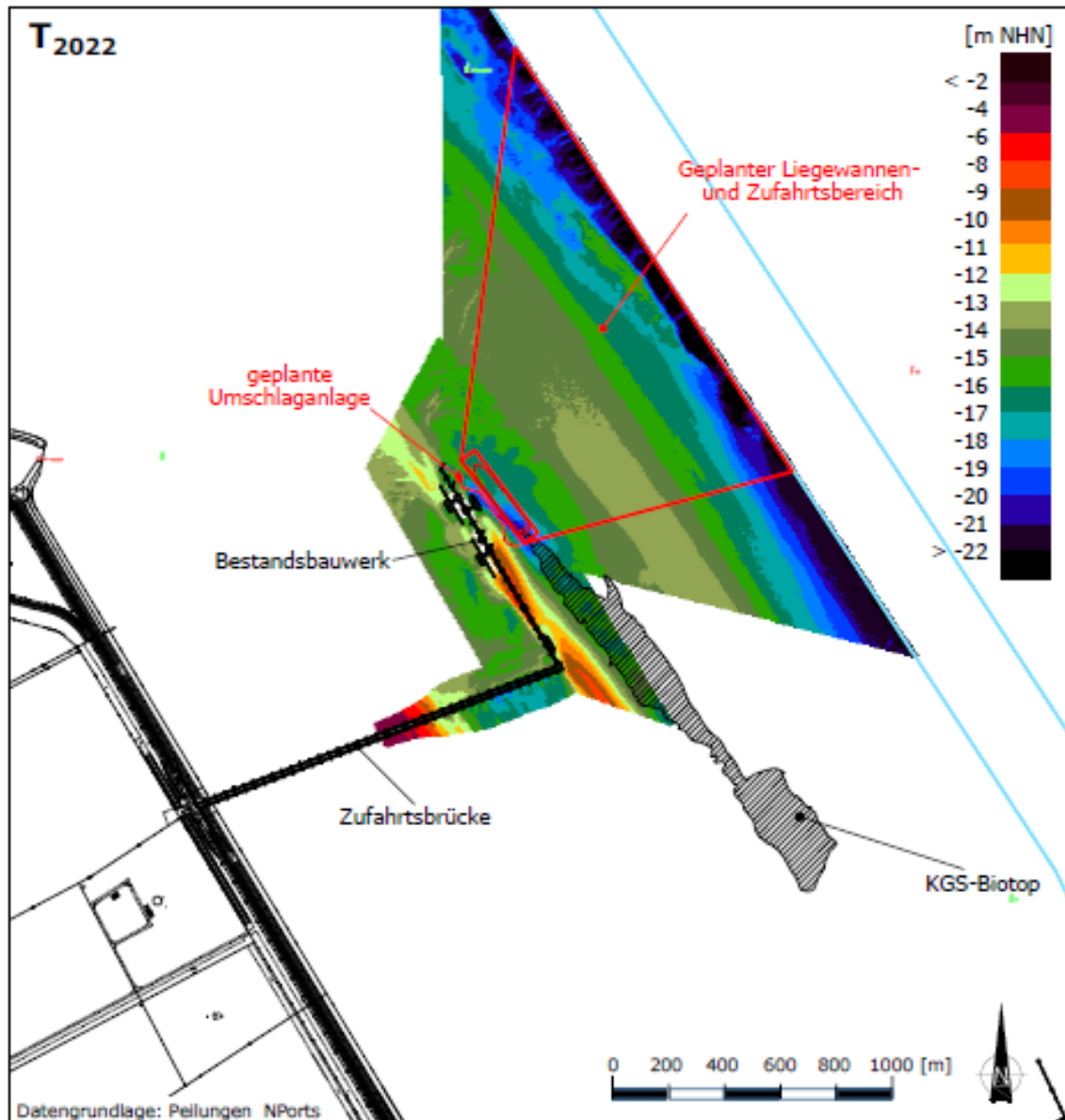
Durch die Planänderung ergeben sich für die lokalen Strömungsmuster, die Morphologie und Sedimentzusammensetzung aufgrund des geänderten Vorhabenbereiches und neuerer Bestandserhebungen bzw. Auswertungen (IMP 2022, Nowak 2022) die Notwendigkeit einer Aktualisierung.

### **Aktualisierung Bestandsbeschreibung**

Von IMP (2022) wurde im Rahmen der Wirkraumabgrenzung auch eine dem Vorhabenbereich angepasste Beschreibung der hydromorphologischen Situation erstellt, die im Folgenden verkürzt wiedergegeben wird. Die maximalen Strömungsgeschwindigkeiten nehmen tendenziell in Richtung Hauptrinne zu. Die Strömungsrichtungen sind relativ gleichförmig ausgeprägt und verlaufen in etwa parallel zur Hauptrinne. Das zu errichtende Terminal sowie die FSRU nahe des Bestandsbauwerks erfährt eine obere Bandbreite der Anströmgeschwindigkeiten von ca. 1,0 bis 1,1 m/s (IMP 2022).

Der bestehende Anleger und die Umschlagbrücke sind in die großräumige morphologische Entwicklung der dynamischen Innenjade eingebettet, beeinflussen aber auch ihrerseits diese. Die Ergebnisse der aktuellen Peilungen sind in Anhangsabbildung 1-14 dargestellt. Grundsätzlich nimmt die Tiefe in parallelen Bändern von der Wattkante bis zum Fahrwasser aus zu. Die Liegewanne, große Bereiche der Zufahrt sowie das langgestreckte, parallel zur Fahrinne orientierte § 30-Biotop befinden sich in einem vergleichsweise stabilen morphologischen Raum, der tendenziell leicht erosive Tendenzen aufweist. Die parallel ausgerichteten Tiefenlinien werden z.T. durch kleinere Erosions- und Sedimentationsbereiche unterbrochen. So ist in der Zufahrt ein ovaler Sandrücken mit Tiefen von -14 bis -12 m NHN erkennbar. Zum Fahrwasser hin sinkt die Sohllage in einer vergleichsweise steilen Böschung auf Tiefen von mehr als -20 m NHN ab.

Die westliche Innenjade ist durch einen hohen Materialtransport gekennzeichnet, sodass bereits geringe Veränderungen in den Strömungsgeschwindigkeiten zu einer Veränderung der Morphologie führen. Im Bereich des bestehenden Anlegers und der Zufahrtsbrücke sind größere morphologische Bandbreiten erkennbar. Die Strömungsveränderung der Pfahlreihen führt zum einen zu Erosion im Nahbereich der Pfähle aber auch zu Sedimentationszonen. Daneben entstehen als Ausgleich der die Sandrücken umströmenden Tideströmungen tiefere Bereiche (Rinnen). Im Südosten sind Bereiche mit subaquatischen Dünen ausgebildet, die quer zur Tideströmung vom Flachwasserbereich bis zur südlichen Verlängerung der Anlegerbrücke verlaufen.



**Anhangsabbildung 1-14: Tiefen der zuletzt vorgenommenen Peilung aus März und April 2022 mit den Bestandsbauwerken und den aktuellen Planungen zu dem neuen Terminal sowie des Zufahrtsbereiches mit Liegewanne**

Quelle:

Graphik: IMP (2022)

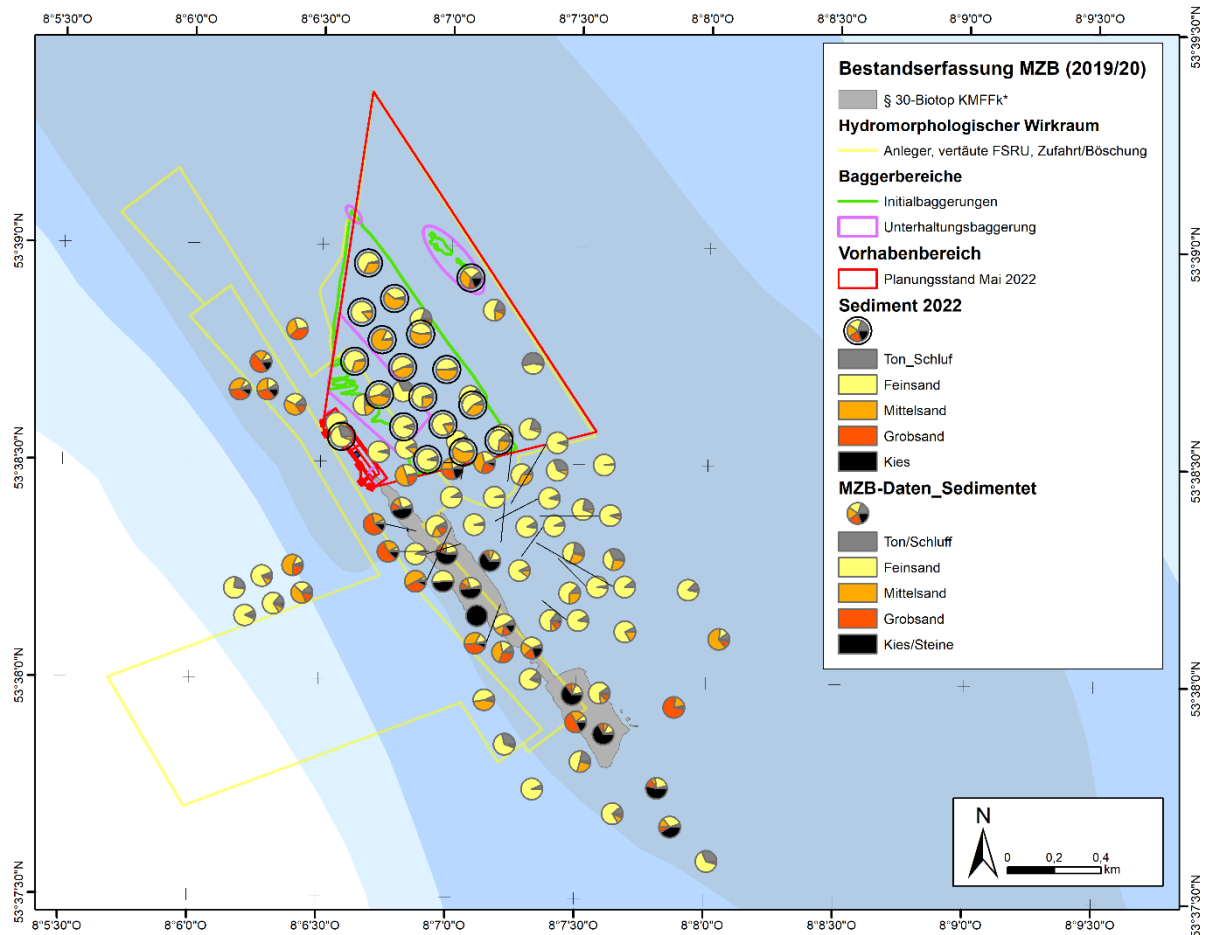
Dem Bericht von IMP (2022) sind detailliertere Angaben zu den Schwebstoffen im UG und näheren Umfeld zu entnehmen. Hiernach weisen langjährige Zeitreihen mittlere Schwebstoffkonzentrationen von 100 bis 250 mg/l auf. Die höchsten Schwebstoffkonzentrationen liegen in der Größenordnung von 1.000 bis 2.000 mg/l und treten vergleichsweise kurzfristig innerhalb eines Tidegangs auf. Im Planungsraum wurden 2007 östlich des Bestandsbauwerks sohnnahe Schwebstoffkammern installiert, die über einen Monat das im Wasserkörper transportierte Material gesammelt haben. Hiernach bestanden die sohnnahe Schwebstoffe überwiegend aus sandigen Fraktionen, der  $d_{50}$ -Wert lag zwischen 0,07 und 0,1 mm (Feinstsand). Die transportierten Anteile von Mittelsand und Grobsand waren sehr gering (Anteile).

Um die Zusammensetzung und Schadstoffbelastung der Sedimente aus den Baggerbereichen zu ermitteln, wurden am 05.05.2022 insgesamt 18 Proben aus dem Vorhabenbereich genommen und

analysiert. In Anhangsabbildung 1-15 sind die Korngrößenanteile an den einzelnen Stationen aus den Beprobungen 2919/20 (BioConsult 2020) und 2022 (Nowak 2022) dargestellt.

In der Liegewanne wurde 1 Probe (L-01) gewonnen, die einen hohen Ton-/Schluffanteil von 28 % (davon 20 % Ton) und 65 % Feinsand aufweist. Der Baggerbereich in der Zufahrt ist entlang der südwestlichen Grenze im Mittel von Feinsand (72 %) und Mittelsand (20 %) dominiert, wobei die Anteile lokal variieren. Der sich Richtung Fahrrinne anschließende ovale Sandrücken besteht im Mittel zu 62 % aus Feinsand und zu 33 % aus Mittelsand. In den Ausläufern erhöht sich der Mittelsandanteil auf rd. 43 %. Im äußeren Baggerbereich der Zufahrt bestehen die Sedimente ebenfalls zu ähnlichen Anteilen aus Fein- und Mittelsand. Eine Probe wurde innerhalb des kleinen Baggerbereiches in Fahrnennähe (L18) gewonnen. Die Kornzusammensetzung dieser Probe weicht vom restlichen Gebiet vollkommen ab, da sie sowohl zu 11 % aus Ton/Schluff und zu 20 % aus Kies besteht. Beide Korngrößen kommen in der restlichen Zufahrt nur in Anteilen <5,5 % (Ton/Schluff) bzw. <1 % (Kies) vor. Der Feinsandanteil ist mit 27 % vergleichsweise gering, die dominante Fraktion ist Mittelsand.

Die Schadstoffbelastung der Sedimente wurde für alle 18 Proben bestimmt (Nowak 2022). Eine deutlich erhöhte Schadstoffbelastung oder Ökotoxizität konnte in keiner der 18 Proben aus den Baggerbereichen nachgewiesen werden. Insgesamt fünf Proben überschritten bei Arsen den R1-Wert nach GÜBAK, lagen aber unterhalb des R2-Wertes. Eine Probe überschritt den R1-Wert für Kohlenwasserstoffe C10-C40. Die Nährstoffverhältnisse des Sedimentes sind unkritisch und die Grenzwerte für Phosphor und Stickstoff werden eingehalten. Ebenso ist die Sauerstoffzehrung gering. Hinsichtlich der in Anhangstabelle 1-11 vorgenommenen Bewertung der Schadstoffe sind auf Basis der neuen Untersuchungen keine hiervon abweichende Bewertung erforderlich, da sich Konzentrationen in 18 Proben in derselben Größenordnung befinden bzw. z.T. etwas geringer sind.



**Anhangsabbildung 1-15: Tiefen der zuletzt vorgenommenen Peilung aus März und April 2022 mit den Bestandsbauwerken und den aktuellen Planungen zu dem neuen Terminal sowie des Zufahrtbereiches mit Liegewanne**

Quelle:

Daten: BioConsult (2020) und Nowak (2022)

Eine Aktualisierung der Bestandsbewertung ist aufgrund der Aktualisierung nicht erforderlich. Als Basis für die Auswirkungsprognose bestehen weiterhin folgende Wertstufen:

- Hydrologie (Seegang, Tidedynamik, Wasserstände): Wertstufe 3-4
- Hydromorphologie (inkl. Schwebstoffe): Wertstufe 2
- Hydrochemie (Nährstoffe): Wertstufe 2
- Schadstoffe (Sedimente): Wertstufe 4

### 1.3 Beschreibung und Bewertung der Umweltauswirkungen

Grundlage der Prognose vorhabenbedingter Auswirkungen auf das Schutzgut Wasser sind die vom Vorhaben ausgehenden Wirkungen i.V.m. dem Antrag auf Erteilung einer wasserrechtlichen Erlaubnis gemäß § 8 WHG.

Untersuchungsrelevant sind mögliche Auswirkungen durch:

- Betriebsbedingter Eintrag von flüssigen/festen Schadstoffen
- Betriebsbedingter Eintrag von temperaturverändertem Wasser

Nachfolgend werden die vorhabenbedingten Auswirkungen, differenziert nach den benannten Vorhabenswirkungen, beschrieben und entsprechend der in Anhang 1 des LBP beschriebenen methodischen Vorgehensweise bewertet.

### 1.3.1 Betriebsbedingter Eintrag von flüssigen/festen Schadstoffen

Für den Regasifizierungsprozess sowie für weitere Prozesse auf der FSRU wird Seewasser aus der Jade entnommen und wieder zurückgeführt. Alle durch Seewasser durchströmten Leitungen und Prozesseinheiten sind insbesondere an ihren Wandungen dem Bewuchs durch Mikroorganismen und Algen ausgesetzt. Um einen reibungslosen und störungsarmen Prozess in den Wärmetauschern zu gewährleisten, wird angestrebt, das Wachstum von solchen Organismen („Biofouling“) möglichst zu unterbinden bzw. stark zu vermindern. Zu diesem Zweck soll das entnommene Seewasser mit einem Biozid behandelt werden. Geplant ist, dieses Biozid in einem „Marine Growth Prevention System“ (MGPS) durch In-situ-Elektrolyse von Meerwasser zu erzeugen. In der Elektrolyseanlage wird das im Seewasser enthaltene Natriumchlorid (NaCl) unter Zuführung von elektrischer Energie zu aktivem Chlor (Cl<sub>2</sub>) in Form von Natriumhypochlorid (NaClO) umgewandelt, das eine stark oxidierende und damit biozide Wirkung hat und den Bewuchs verhindert (AquaEcology 2022). Das Hypochlorid wird kontinuierlich in einer Konzentration von maximal 0,5 mg/l (Anfangskonzentration) zugegeben. Durch Zerfall sowie chemische Reaktionen mit Mikroorganismen auf dem Weg durch die Seewasseranlagen reduziert sich die Konzentration auf 0,2 mg/l Biozid am Auslass zur Jade. Darüber hinaus werden auch Chlor- und Bromnebenprodukte in die Meeresumwelt emittiert. Die eingeleiteten Biozidmengen bildeten die Grundlage für die Ausbreitungsberechnung, die DHI-WASY (2022a) für die Verteilung des Chlorbiozids im Wasserkörper der Jade durchgeführt hat.

AquaEcology (2022) haben im Zusammenhang mit dem hier gegenständlichen Vorhaben einen Fachbeitrag „Entstehung, Ausbreitung und Auswirkung von Chlor- und Bromnebenprodukten im Jade-System“ erstellt. Für Details wird auf den Fachbeitrag verwiesen. Im Ergebnis ist Folgendes festzustellen:

Die aus den Elektrolyseprozessen entstehenden Chlorverbindungen werden mit hoher Wahrscheinlichkeit nahezu vollständig in Bromverbindungen überführt; ein Teil der durch Elektrolyse entstehenden Chlors bzw. Broms kann bereits in Gasform aus der Wassersäule entweichen. Ein Großteil (50-80 %) der im Seewasser entstehenden Brom-Verbindungen werden sofort umgewandelt. Die Anzahl der in der weiteren Umgebung der Elektrolyseanlage überhaupt messbaren Stoffe (Bromnebenprodukte) sind auf wenige Stoffe begrenzt (Bromoform, Dibromacetonitril, Bromdichlormethan/Dibromchlormethan, Dibromessigsäure, Dibromacetamid, 2,4,6-Tribromphenol). Bis auf Bromoform lagen die Konzentrationen bei einer worst-case-Betrachtung (0,2 mg/l Cl<sub>2</sub> mit 150 % Aufschlag) der BNP bereits an den Auslässen um 1-2 Größenordnungen unterhalb der NOEC und PNEC<sup>1</sup>. Das Bromoform überschreitet in der Anfangskonzentration (11,75 µg/l) den PNEC-Wert für empfindliche Muschelkiemen (1,3 µg/l) um fast das 10-fache, liegt aber deutlich unterhalb des NOEC-Wertes von 500 µg/l<sup>2</sup>. Zu berücksichtigen ist außerdem, dass insbesondere Bromoform aus der Wassersäule aus-

<sup>1</sup> Hinweis aus AQUAECOLOGY (2022): NOEC („No Observed Effect Concentration“ – „Kein-Effekt-Konzentration“ aus Tests) für Muschelkiemen bzw. Daphnien sowie die PNEC („Predicted No Effect Concentration“ – abgeleitete Konzentrationen, unterhalb derer keinerlei Effekt auf bestimmte Organismen/ Funktionen mehr erwartet werden kann)

<sup>2</sup> Hinweis aus AQUAECOLOGY (2022): Es ist zu berücksichtigen, dass die PNEC-Werte abgeleitete Werte darstellen, die aus NOEC-Werten mit sogenannten Assessment-Faktoren berechnet werden. Für die PNEC-Werte gibt es keine konkreten Überprüfungen in Form von Messungen oder Laborsimulationen. Daher führt eine Überschreitung eines solchen Schwellenwertes nicht notwendigerweise zu einem Effekt auf den betroffenen Organismus.

gast (AquaEcology 2022), so dass auch die Anfangskonzentration geringer ausfallen dürfte als prognostiziert.

Für eine weitere Betrachtung der Abbau- und Transportprozesse in der Wassersäule wurden das Bromoform, die Dibromessigsäure und das 2,4,6-Tribromphenol (TBP) stellvertretend für alle BNP betrachtet. Während Bromoform und Dibromessigsäure schnell in ungiftige Verbindungen zerfallen, ist die Abbaurate für TBP wesentlich länger und daher eine Anreicherung möglich. Es wurde als Szenario eine kontinuierliche Anfangsdosierung des Chlorbiozids in der FSRU-Anlage von 0,2 mg/l Cl<sub>2</sub> berücksichtigt. Die Szenarien für Bromoform, Dibromessigsäure und TBP basieren auf den zu erwartenden Anfangskonzentrationen dieser Stoffe auf Basis der zu erwartenden prozentualen Fraktion an der Gesamtheit der zu erwartenden Einzelverbindungen. Die Verteilungen der Konzentrationswerte für das Gesamtbiozid basierten auf den maximalen, tiefengemittelten Simulationsdaten über 12 Wochen (s. DHI-WASY 2022a). Alle prognostizierten Konzentrationswerte aus Verdünnungsberechnungen waren für die betrachteten Bromnebenprodukte (BNP) sowohl im Nah- als auch im Fernbereich sehr niedrig. Sie lagen selbst im Worst-Case-Fall, d.h. unter Annahme von maximalen Konzentrationen ohne Berücksichtigung von Abbau- oder Ausgasungsprozesse, mehrere Größenordnungen unterhalb der NOEC- und PNEC-Werte für verschiedene aquatische Organismen. An zwei Modellstationen (Nordhafen Wilhelmshaven, Jadebusen) wurden zudem über einen Zeitraum von 12 Wochen die Konzentrationsentwicklungen der BNP simuliert. Unter Einbeziehung von Abbau- und Sedimentationseffekten zeigte sich ein Bild von stabilen Konzentrationsverhältnissen, die mit Werten im unter Nano- bzw. ober Pico-Bereich unterhalb jeglicher ökotoxikologischer Schwellenwerte lagen.

Aufgrund seiner chemischen Eigenschaften (geringere Abbaurate im wässrigen Milieu, Vergesellschaftung mit Partikeln und Sedimentation) wurde für TBP an zwei Modellstationen (s.o.) überprüft, ob es zu einer Anreicherung im Wasser oder im Sediment kommt. Das Ergebnis einer 12-Wochen-Simulation (worst-case) für die Wassersäule resultierte in einem Schwellenwert von 0,6 ng/l bzw. 0,25 ng/l mit Berücksichtigung von Abbau- und Sedimentationsraten. Für den Nahbereich (500 m-Radius) der FSRU ergaben sich maximal 40 ng/l (ohne Abbauprozesse). Nach AquaEcology (2022) ist TBP ein Stoffwechselprodukt von bestimmten bodenlebenden Organismen, welches auch in nicht anthropogen beeinflussten Meeresgebieten natürlicherweise vorkommt (0,8 bis 20 ng/l). Der schwebstoffassoziierte Transport und die räumliche Ablagerung am Meeresboden sowie die Anreicherung wurden für TBP ebenfalls modelliert (DHI-WASY 2022a). Die Maximalwerte im Nahbereich der FSRU lagen bei 1,25 ng/l. Die berechneten möglichen Sedimentgehalte lagen bis zu 6 Größenordnungen unterhalb der Werte aus unbelastetem marinem Sediment und zwischen 3 und 6 Größenordnungen unter den PNEC-Werten für das Sediment. Die Ausführungen verdeutlichen, dass selbst im worst-case keine Konzentrationen von TBP in der Wassersäule bzw. im Sediment zu erwarten sind, aus denen sich negative (toxische) Effekte ableiten lassen.

Abschließend wird festgestellt, dass die Simulation der aus der Elektrolyse erfolgenden Freisetzung von Chlorbioziden und die daraus resultierenden Konzentrationen von Bromnebenprodukten sowohl im Nahbereich der FSRU-Anlage als auch im Fernbereich der Innenjade und des Jadebusens keine messbaren Auswirkungen auf das Ökosystem der Jade und die hier lebenden Organismen erwarten lassen (AquaEcology 2022).

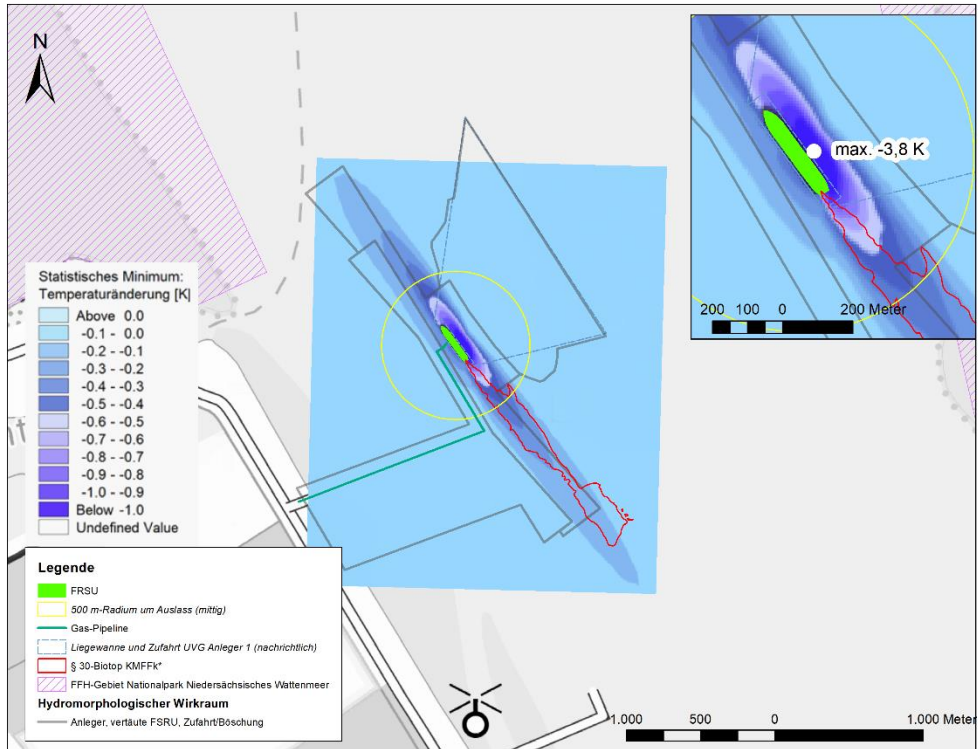
Im Ergebnis werden die Auswirkungen auf das Schutzgut Wasser durch den betriebsbedingten Eintrag von flüssigen/festen Schadstoffen sowohl für die Wassersäule selbst als auch für die Sedimente langfristig, mittel bis großräumig, jedoch nicht messbar sein (Veränderungsgrad = 0). Diese Auswirkungen sind insgesamt daher als weder nachteilig noch vorteilhaft zu bewerten.

### 1.3.2 Betriebsbedingter Eintrag von temperaturverändertem Wasser

Über die FSRU selbst und den jeweiligen vertäuten LNG-Tanker wird thermisch verändertes Wasser in die Jade eingeleitet. Bei den Einleitungen ist zwischen dem offenen und kombinierten Kreislauf auf der einen Seite und dem geschlossenen Kreislauf auf der anderen Seite zu differenzieren. Im offenen und kombinierten Kreislauf wird das für die Regasifizierung benötigte Prozesswasser (468.000 m<sup>3</sup>/d) um 7°C abgekühlt, das Wasser für die Frischwassererzeugung (2.112 m<sup>3</sup>/d) um 8°C erwärmt eingeleitet. Im geschlossenen Kreislauf wird das Wasser aus dem Kühlwassersystem der Hauptmotoren (29.280 m<sup>3</sup>/d) um 15°C und das aus dem Kühlwassersystem der Hilfsmotoren (45.840 m<sup>3</sup>/d) um 5°C erwärmt eingeleitet. Die Angaben zur Frischwassererzeugung im offenen und kombinierten Kreislauf entsprechen denen für den geschlossenen Kreislauf. Im geschlossenen Kreislauf wird damit deutlich weniger aber deutlich wärmeres Wasser eingeleitet. Der jeweils vertäute LNG-Tanker leitet zusätzlich um ca. 10°C erwärmtes Wasser während der Übertragungsdauer ein (ca. 60.000 m<sup>3</sup>/d).

Als Basis für die Auswirkungsprognose dient das von DHI-WASY (2022b) aufgesetzte hydronumerische Modell zur Temperaturentbreitung. Da die dort für das worst case-Szenario getroffenen Annahmen auf höheren Einleitmengen (558.000 m<sup>3</sup>/Tag abgekühltes, 141.000 m<sup>3</sup>/Tag erwärmtes Wasser) basieren, sind sie für die Prognose der vorhabenbedingten Auswirkungen als konservative Annahmen anzusehen. Das Modell betrachtet über einen Simulationszeitraum von drei Wochen zwei Szenarien: Szenario 1 fokussiert auf die Einleitung von 20.000 m<sup>3</sup>/h kühlem Betriebswasser aus der Regasifizierung der FSRU mit  $\Delta T -7^{\circ}\text{K}$  und Szenario 2 auf die Einleitung erwärmten Wassers aus zwei Auslässen der FSRU (1.300 m<sup>3</sup>/h mit  $\Delta T +15^{\circ}\text{K}$ , 2.000 m<sup>3</sup>/h mit  $\Delta T 5^{\circ}\text{K}$ ) und einem Auslass des LNG-Tankers (30 h a 2.500 m<sup>3</sup>/h mit  $\Delta T 10^{\circ}\text{K}$ ). Betrachtet werden vier charakteristische Tidezeitpunkte (max. Flutstrom, Tidehochwassern max. Ebbstrom, Tideniedrigwasser).

Im Szenario 1 sinkt das kühle Wasser zu Boden und führt dort zu den größten Temperaturunterschieden. Nahe des Einleitpunktes beträgt nach DHI-WASY (2022b) die maximale Abkühlung, die innerhalb eines dreiwöchigen Simulationszeitraumes sohnah auftrat -3,8 K (Anhangsabbildung 1-16). Die Kühlfahne mit maximalen Abkühlungen  $>-1$  K ist kleinräumig (Liegewannenbereich); Temperaturdifferenzen  $>0,1$  K sind in der Längsausdehnung in bis zu 2.000 m sichtbar. Bei Betrachtung der mittleren negativen Temperaturveränderungen (nicht graphisch dargestellt) bildet sich keine Kältefahne aus und selbst im Nahbereich der FSRU sind die Temperaturunterschiede nahe der Gewässersohle mit  $<0,1$  K gering. Die Unterschiede sind nach DHI-WASY (2022b) kaum abbildbar und bewegen sich zudem im Bereich der Modelltoleranz. Grundsätzlich sind die größten Temperaturunterschiede zum Tidezeitpunkt des Niedrigwassers zu beobachten.

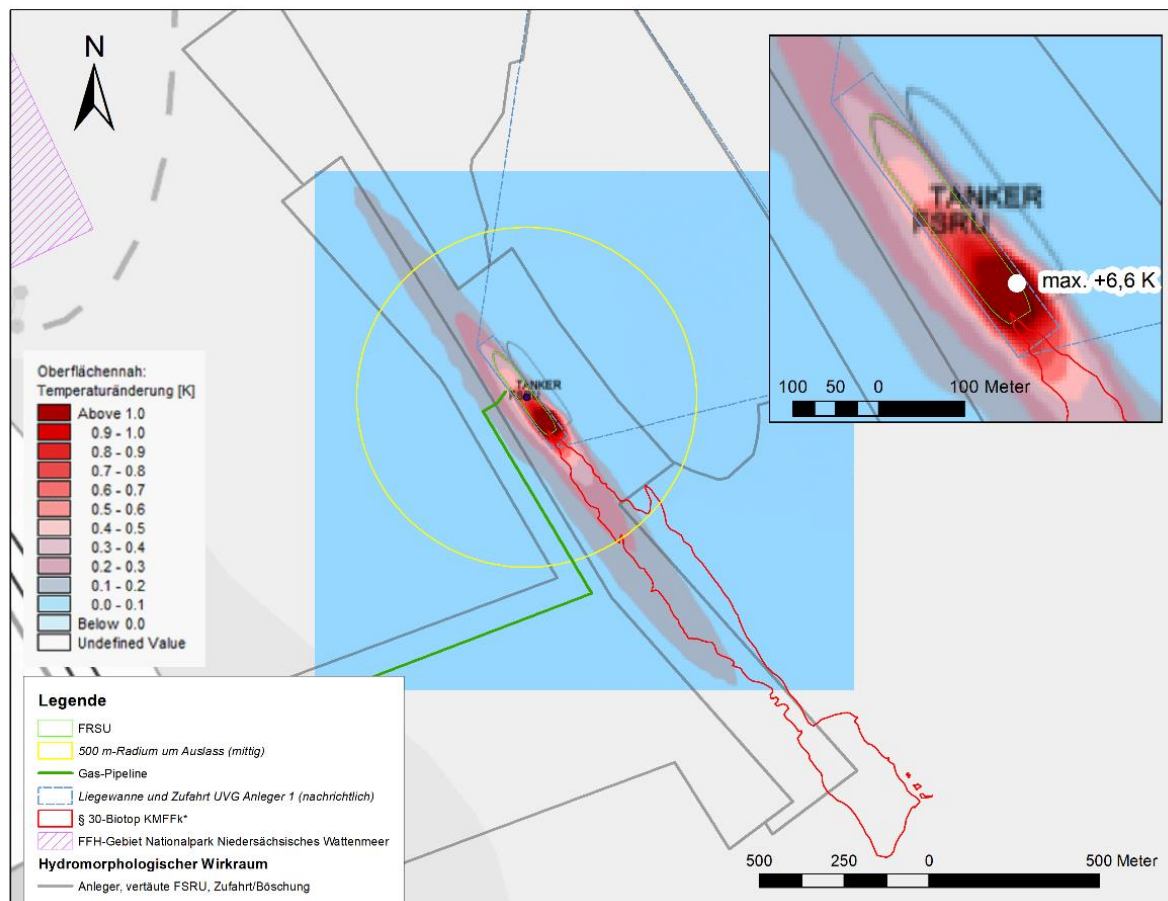


#### Anhangsabbildung 1-16: Modellerte maximale Temperaturabsenkung im Umfeld der FSRU und des LNG-Tankers

Erläuterung: Graphik Temperaturveränderung aus DHI-WASY (2022b), Maximalwerte innerhalb eines Simulationszeitraumes von 3 Wochen.

Im Szenario 2 ergeben sich die größten Temperaturdifferenzen durch Einleitung erwärmten Wassers ebenfalls zur Tidephase Niedrigwasser. Hier tritt die maximale Erwärmung von +6,6 K lokal am Einleitpunkt oberflächennah auf. Die sohlnahe Differenz beträgt maximal +0,4 K. Außerhalb der Liegewanne liegen die Maximalwerte der Erwärmung bei <1 K. Die Maximalwerte der Erwärmung mit über 0,1 K erstrecken sich horizontal insgesamt über eine Distanz von bis zu 900 m um den Ort der Einleitung. Im Mittel sind die Temperaturänderungen deutlich geringer. Oberflächennah werden Mittelwerte >0,1 K nur am Auslass berechnet. Sohl nah liegt die mittlere Erwärmung unterhalb von 0,1 K (Anhangsabbildung 1-17).





**Anhangsabbildung 1-17: Modellierte maximale Temperaturerhöhungen im Umfeld der FSRU und des LNG-Tankers**

Erläuterung: Graphik Temperaturveränderung aus DHI-WASY (2022b), Maximalwerte innerhalb eines Simulationszeitraumes von 3 Wochen.

Die Modellierungen der Temperaturveränderung zeigten, dass potenzielle Effekte der Einleitung von kalten bzw. warmen Wassers außerhalb eines Bereiches von 2.000 m in Längsausrichtung (kühles Wasser) und 900 m (warmes Wasser) zu vernachlässigen sind (max.  $\Delta T < 0,1$  K). Großräumig wirkende Effekte auf das Schutzgut Wasser sind somit auszuschließen.

Die Einleitung erkühlten Wassers während des Regasifizierungsprozesses entfaltet mögliche Effekte nur sohnlah. Die Einleitung ist temporär (max. 30 h alle drei Tage) und größere Veränderungen der sohnlahen Temperatur (max.  $-3,8$  K) sind lokal und entfalten ihr Maximum nur innerhalb eines kleinen Tidefensters zu Niedrigwasser. Die gemittelten Temperaturveränderungen liegen mit ca.  $-1$  K (Liegewanne) unterhalb bzw. innerhalb eines Schwankungsbereiches der natürlicherweise in der Jade gemessen wird. Nach Brockmann Consult (2014) schwanken die Temperaturen in der Jade jahreszeitlich mit  $\Delta T \approx 17$  K, im Tag-Nacht-Wechsel mit  $\Delta T \approx 2$  K und tidal mit  $\Delta T \approx 0,5$  K.

Bezüglich des Eintrags von Wärme liegt für die Küstengewässer ein Bericht zur Erfassung und Bewertung von Wärmeeintrag von Brockmann Consult (2014) vor. Hierin befinden sich Vorschläge für Grenzwerte für die niedersächsischen Küstengewässer, welche die absolute maximale Temperatur bewerten und die erlaubte relative Temperaturveränderung. Die Werte sind in Anhangstabelle 1-12 gelistet und beziehen sich auf den Rand der Mischungszone, die üblicherweise pragmatisch als Kreis mit einem Radius von 500 m um die Einleitstelle verstanden wird. Insgesamt befindet sich die model-

lierte Temperaturdifferenz des erwärmten Wassers am Rand des 500 m-Radius, auch bei Betrachtung des worst case (Maximalwerte), innerhalb der von Brockmann Consult (2014) definierten Grenzwerte.

**Anhangstabelle 1-12: Vorschlag für Grenzwerte der maximalen absoluten Wassertemperatur am Rand der Mischungszone**

Zeitraum	sehr gut	gut	mäßig	unbefriedigend	schlecht
<b>Küstengewässer: maximale erlaubte absolute Temperatur [°C]</b>					
Sommer (Juli- August)	<23 °C	<23 °C	23-28 °C	28-30 °C	≥30°C
	und keine messbare Temperaturerhöhung	oder Temperaturerhöhung <1 K	und Temperaturerhöhung >1 K		
Winter (Januar- März)	keine messbare Temperaturerhöhung	<10 °C		≥10°C	
		oder Temperaturerhöhung <1 K			
<b>Küstengewässer: maximale erlaubte relative Temperaturveränderung [K]</b>					
Sommer und Winter	0 K	>0 und < 3 K	3-4 K	4-5 K	≥5 K

Erläuterung: Werte aus Brockmann Consult (2014), Einleitung erwärmten Wassers

Im Ergebnis werden die Auswirkungen auf das Schutzgut Wasser durch den betriebsbedingten Eintrag von temperaturverändertem Wasser dauerhaft, mittlräumig, jedoch nicht messbar sein (Veränderungsgrad = 0), da die Vermischungsprozesse sehr schnell einsetzen. Die Auswirkungen sind daher insgesamt als weder nachteilig noch vorteilhaft zu bewerten.

### 1.3.3 Übersicht über die vorhabenbedingten Auswirkungen

Eine Übersicht über die vorhabenbedingten Auswirkungen für das Schutzgut Wasser ist in Anhangstabelle 1-13 dargestellt.

**Anhangstabelle 1-13: Vorhabenbedingte Auswirkungen auf das Schutzgut Wasser (Oberflächenwasser)**

Wirkungszusammenhang		Beschreibung und Bewertung der Auswirkung		
Vorhabenwirkung (Ursache)	Auswirkung	Wertstufe Prognose Wertstufe Ist- Zustand Veränderungsgrad (Differenz)	Dauer der Auswirkung, Räumliche Ausdehnung	Erheblichkeit
<b>FSRU</b>				
Betriebsbedingter Eintrag von flüssigen/festen Schadstoffen	Veränderung der chemischen Zusammensetzung des Seewassers	Prognose: WS 2 Ist: WS 2 Veränderungsgrad: 0	langfristig, mittel- bis großräumig, werden jedoch nicht messbar sein	weder nachteilig noch vorteilhaft
Betriebsbedingter Eintrag von temperaturverändertem Wasser	Veränderung des Temperaturregimes des Meerwassers	Prognose: WS 2 Ist: WS 2 Veränderungsgrad: 0	langfristig und mittel- bis großräumig, durch Vermischungsprozesse werden keinen messbaren Auswirkungen auf die Wassertemperatur erwartet	weder nachteilig noch vorteilhaft

Erläuterungen: Zu methodischen Grundlagen s.a. Anhang 1  
Wertstufe: WS 1 = sehr gering, WS 2 = gering, WS 3 = mittel, WS 4 = hoch, WS 5 = sehr hoch  
Veränderungsgrad: Definition des Veränderungsgrads (gemäß BfG 2011): -4 = extrem negativ, -3 = stark bis übermäßig negativ, -2 = mäßig negativ, -1 = sehr gering bis gering negativ, 0 = keine Veränderung

derung, 1 = sehr gering bis gering positiv, 2 = mäßig positiv, 3 = stark bis übermäßig positiv, +4 = extrem positiv

## 1.4 Literatur- und Quellenverzeichnis

- AQUAECOLOGY 2022. Marine Growth Prevention System Wilhelmshaven. Entstehung, Ausbreitung und Auswirkung von Chlor- und Bromnebenprodukten im Jade-System. Fachbeitrag zur Umweltverträglichkeitsprüfung. - Bericht im Auftrag der UNIPER Global Commodities SE, 63 S.
- BFG 2011. Verfahren zur Bewertung in der Umweltverträglichkeitsuntersuchung an Bundeswasserstraßen - Anlage 4 des Leitfadens zur Umweltverträglichkeitsprüfung an Bundeswasserstraßen des BMVBS (2007). - (erstellt i. A. des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung) BfG-Bericht 1559 Bonn: 139 S.
- BFG (Bundesanstalt für Gewässerkunde) 2019. Unterbringung von Baggergut aus der Unterhaltungsbaggerung auf die Unterbringungsstellen in der Jade. Untersuchung nach „GÜBAK“, Entwurf Stand 12.12.2019. - (i.A. des WSA Weser-Jade-Nordsee) Koblenz: 164 S.
- BIOCONSULT 2004. JadeWeserPort Los d) - Kartierung der aquatischen Lebensgemeinschaften: Eulitoral. - (unveröff. Gutachten im Auftrag der JadeWeserPort Entwicklungsgesellschaft GmbH Wilhelmshaven) 23 S.
- BIOCONSULT 2020. Benthos- und fischökologische Erfassung im geplanten LNG-Terminal „Inselanleger mit FSRU und Untersee-Gasleitung“. Kumulative Betrachtung der Erfassungen Frühjahr und Herbst 2019 und Frühjahr 2020. - (Gutachten im Auftrag der Uniper Technologies GmbH Gelsenkirchen) S.
- BMU 2018. Zustand der deutschen Nordseegewässer 2018. Aktualisierung der Anfangsbewertung nach § 45c, der Beschreibung des guten Zustands der Meeresgewässer nach § 45d und der Festlegung von Zielen nach § 45e des WHG zur Umsetzung der Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie. - Bonn: 191 S.
- BORMANN, H. & NEUMANN, P. 2015. Hydrologie der Jade – Oberflächengewässer. - In: OLDENBURGER LANDESVEREIN FÜR GESCHICHTE, N.-U.H.E.V.O. (Hrsg.), Die Jade. Flusslandschaft am Jadebusen. Isensee Verlag, Oldenburg: 71-78.
- BROCKMANN, U. H., TOPCU, D. H., SCHÜTT, M. & LEUJAK, W. 2017. Third assessment of the eutrophication status of German coastal and marine waters 2006 – 2014 in the North Sea according to the OSPAR Comprehensive Procedure. Universität Hamburg, Umweltbundesamt. - 108.
- BSH 2016. Bundesfachplan Offshore für die deutsche ausschließliche Wirtschaftszone der Nordsee 2016 und Umweltbericht - Teil 1: Clusterübergreifende Anbindungen. - Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, BSH Nr. 7605, Hamburg: 22 S.
- BSH 2017. Umweltbericht zum Bundesfachplan Offshore für die deutsche ausschließliche Wirtschaftszone der Nordsee 2016/2017. - 206 S.
- BSH (Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie) 2020. Gezeitenkalender - Hoch- und Niedrigwasserzeiten für die Deutsche Bucht und deren Flussgebiete. - Hamburg: 234 S.
- DHI-WASY 2022a. Ausbreitung des eingeleiteten Biozids durch die FSRU und den LNG Tanker in die Jade: Aktualisierung 2022. - (unveröffentl. Gutachten im Auftrag der UNIPER Global Commodities SE) 32 S. Juni 2022.
- DHI-WASY 2022b. Wärme-Ausbreitungsstudie für den LNG-Terminal Wilhelmshaven. Einleitung von Regas-Abwasser und Kühlwasser durch die FSRU und den LNG Tanker in die Jade - Hydronumerische Modellierung. - (unveröffentl. Gutachten im Auftrag der UNIPER Global Commodities SE) 35 S. Juli 2022.
- DIAZ, R. J. & ROSENBERG, R. 1995. Marine benthic hypoxia: A review of its ecological effects and behavioural responses of benthic macrofauna. - *Oceanogr. Mar. Biol. Ann Rev.* 33: 245-303.
- DÖRJES, J., GADOW, S., REINECK, H.-E. & SINGH, I. B. 1969. Die Rinnen der Jade (Südliche Nordsee): Sedimente und Makrozoobenthos. - *Senckenbergiana maritima* 1/50, 5-62 S.
- EITNER, V. & RAGUTZKI, G. 1994. Temporal and spatial variability of tidal flat sediments - A case study. - *Senckenbergiana marit.* 25: 1-9.

- FGG WESER (Flussgebietsgemeinschaft Weser) 2020. EG-Wasserrahmenrichtlinie: Bewirtschaftungsplan 2021 bis 2027 für die Flussgebietseinheit Weser gemäß § 83 WHG: Anhörungsdokument 2020 zur Information der Öffentlichkeit gemäß § 83 Abs. 4 WHG und Art. 14, Abs 1 (c), 2000/60/EG. - Hildesheim: 275 S. +Anhänge.
- FLEMMING, B. W. & ZIEGLER, K. 1995. High-resolution grain-size distribution patterns and textural trends in the backbarrier environment of Spiekeroog Island (southern North Sea). - *Senckenbergiana marit.* 26: 1-24.
- FRELS, G. 1995. Eine Sammlung gewässerkundlicher Daten aus der Jadebucht und angrenzenden Bereichen. - (unveröff.) Wasser- und Schifffahrtsamt Wilhelmshaven, 63 S.
- GEO INGENIEURSERVICE NORD-WEST 2019a. Identification of coarse sediment and Sabellaria reefs at LNG FSRU Import Terminal, Wilhelmshaven. - Bericht i.A. UNIPER Technologies GmbH, 12 S.
- GEO INGENIEURSERVICE NORD-WEST 2019b. Identification of coarse sediment and Sabellaria reefs at LNG FSRU Import Terminal, Wilhelmshaven – extended area. - Bericht i.A. UNIPER Technologies GmbH, 12 S.
- GEO INGENIEURSERVICE NORD-WEST 2019c. Survey report LNG FSRU Import Terminal WHV - Side Scan Survey 2019. - Bericht i.A. UNIPER Technologies GmbH, S.
- GÖTSCHENBERG, A. 2003. Nutzung hydrologischer Daten im Rahmen der wasserbaulichen Systemanalyse, Wasser- und Schifffahrtsamt Wilhelmshaven. - o. S.
- GÖTSCHENBERG, A. & KAHLFELD, A. 2008. The Jade. - *Die Küste* 74, 263-274 S.
- IBL UMWELTPLANUNG 2020. LNG FSRU Terminal Wilhelmshaven - WHG-Planfeststellungsverfahren Inselanleger BImSchG-Genehmigungsverfahren FSRU EnWG-Planfeststellungsverfahren Untersee-Gasleitung. Unterlage zur Abstimmung des Untersuchungsrahmens nach § 15 UVPG (Scopingunterlage 2020). - 48 S.
- IBL UMWELTPLANUNG 2021. Errichtung und Betrieb eines LNG-Terminals in Wilhelmshaven - Biotop- und Lebensraumtypenkartierung. - 12 S.
- IM+P & GECON GEOPHYSIK GMBH ((Ingenieurbüro Manzenrieder & Partner)& (Ingenieurbüro für Geophysik)) 2014. Studie zur Geomorphologie und Kabelverlegemachbarkeit in der Jade. - Bericht im Auftrag der TenneT TSO GmbH, 152 S.
- IMP 2003. JadeWeserPort - Erweitertes morphologisches Gutachten. - (Ingenieurbüro Dr.-Ing. Manzenrieder und Partner, IMP-Bericht Nr. 155, unveröffentlicht) o. S.
- IMP 2022. LNG Terminal WHV. Fachbeiträge Morphodynamik, Kolkentwicklung, Baggerarbeiten sowie hydromorphologische Wirkraumabschätzung und Beweissicherung. Bericht Nr. 429. - 91 S.
- JESTAEDT & PARTNER 2010. Ersteinschätzung der Umwelterheblichkeit der Einleitung von Salzabwasser aus der Kaliproduktion der K+S KALI GmbH in die Innenjade (Projekt-Nr.:115-09). Bericht im Auftrag Runder Tisch Gewässerschutz Werra/ Weser und Kaliproduktion, vom 05. Februar 2010. - Mainz: 50 S.
- LANG, G. 2003. Ein Beitrag zur Tidedynamik der Innenjade und des Jadebusens. - *Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau* Nr. 86: 33-42.
- LAURER, W.-U., NAUMANN, M. & ZEILER, M. 2014. Sedimentverteilung auf dem Meeresboden in der deutschen Nordsee nach der Klassifikation von FIGGE (1981) - Kartenversion 2.1 vom 30.10.2014. - (Geopotential Deutsche Nordsee) o. S. <http://www.gpdn.de/gpdn/wilma.aspx?pgId=417&WilmaLogonActionBehavior=Default>, 2014.
- LAWA-AO (Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser) 2007. Rahmenkonzeption Monitoring. Teil B: Bewertungsgrundlagen und Methodenbeschreibungen, Arbeitspapier II Hintergrund- und Orientierungswerte für physikalisch-chemische Komponenten., Stand 07.03.2007. - 13 S.
- LAWA-AO (Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser) 2015. Hintergrund- und Orientierungswerte für physikalisch-chemische Qualitätskomponenten zur unterstützenden Bewertung von Wasserkörpern entsprechend EG-WRRL. - Rahmenkonzeption Monitoring. Teil B: Bewertungsgrundlagen und Methodenbeschreibung - Arbeitspapier II Ständiger Ausschuss "Oberirdische Gewässer und Küstengewässer", 32 S.

- LAWA-AO (Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser) 2016. Rahmenkonzeption Monitoring. Teil B: Bewertungsgrundlagen und Methodenbeschreibungen, Arbeitspapier III Untersuchungsverfahren für biologische Qualitätskomponenten, Stand 16.03.2016. - 141 S.
- LAWA 2019. Handlungsanleitung für ein harmonisiertes Vorgehen bei der Einstufung des chemischen Zustands der Oberflächenwasserkörper, Stand 31.12.2019. - Bund-/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser, 11 S.
- LOEWE, P. 2009. System Nordsee - Zustand 2005 im Kontext langzeitlicher Entwicklungen. - (Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie) Berichte des BSH 44/2009, Hamburg und Rostock. - 261 S.
- LOEWE, P., KLEIN, H. & WEIGELT-KRENZ, S. (Eds.) 2013. System Nordsee – 2006 & 2007: Zustand und Entwicklungen. - (Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie) Berichte des BSH 49, Hamburg und Rostock: 303 S.
- LTEW 2020. LNG FSRU Import Terminal Wilhelmshaven - Standortspezifische Umgebungsbedingungen. - (LNG Terminal Wilhelmshaven GmbH) 25 S.
- MEYER, C. & RAGUTZKI, G. 1999. KFKI Forschungsvorhaben Sedimentverteilung als Indikator für morphodynamische Prozesse (MTK 0591). - Dienstbericht der Forschungsstelle Küste, Norderney 21/1999: 1-38. + Anhang.
- MU 2020. Entwurf des niedersächsischen Beitrags zu den Bewirtschaftungsplänen 2021 bis 2027 der Flussgebiete Elbe, Weser, Ems und Rhein nach § 118 des Niedersächsischen Wassergesetzes bzw. nach Art. 13 der EG-Wasserrahmenrichtlinie (Stand: Dez. 2020). - Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz, 202 S.
- NIEDERSÄCHSISCHES MINISTERIUM FÜR UMWELT, ENERGIE BAUEN UND K. 2020. Entwurf des niedersächsischen Beitrags zu den Bewirtschaftungsplänen 2021 bis 2027 der Flussgebiete Elbe, Weser, Ems und Rhein nach § 118 des Niedersächsischen Wassergesetzes bzw. nach Art. 13 der EG-Wasserrahmenrichtlinie. - 292 S.
- NOWAK 2019. Bericht zum Einzelauftrag von Uniper Technologies GmbH zur Entnahme und Untersuchung am geplanten LNG-Terminal Wilhelmshaven. - Institut Dr. Nowak, Ottersberg: 58 S.
- NOWAK 2022. Einstufung der Sedimente LNG-Terminal gemäß GÜBAK - Beprobung 05.05.2022, Daten und Prüfberichte. - Institut Dr. Nowak, Ottersberg: o. S.
- RAGUTZKI, G. 1982. Verteilung der Oberflächensedimente auf den niedersächsischen Watten. - Jahresbericht der Forschungsstelle für Insel- und Küstenschutz Norderney 32: 55-67. u. Anlagen.
- SEEDORF, H.-H. & MEYER, H.-H. 1992. Landeskunde Niedersachsen - Natur- und Kulturgeschichte eines Bundeslandes, Bd. I. - Neumünster: o. S.
- SIEVERS, H. & MASSMANN, G. 2015. Hydrologie und Grundwasser. In: Die Jade - Flusslandschaft am Jadebusen. - 79-84 S.
- SVENSON, C., ERNSTSEN, V. B., WINTER, C. & BARTHOLOMÄ, A. 2009. Tide-driven sediment variations on a large compound dune in the Jade tidal inlet channel, southeastern North Sea. Journal of Coastal Research, SI 56. - Journal of Coastal Research, SI 56 361-365 S.