FSRU Wilhelmshaven 02
Antrag auf Elektrochlorierung, wasserrechtlicher Antrag

Monitoringkonzept

Auftraggeber

DEUTSCHE ENERGY TERMINAL

28.05.2026

GICON Ecosystems GmbH
info-ecosystems@gicon.de
www.gicon-ecosystems.de

GICON®
ENGINEERING THE FUTURE

Angaben zur Auftragsbearbeitung

Auftraggeber/in: Deutsche Energy Terminal GmbH (DET)
Luise-Rainer-Str. 5
40235 Düsseldorf

Ansprechpartner: Prof. Dr. J. Großmann im Auftrag der DET

Bearbeitung **FSRU Wilhelmshaven 02**
Antrag auf Elektrochlorierung, wasserrechtlicher Antrag
Monitoringkonzept

Projektnummer: P230329
Auftragnehmerin: GICON Ecosystems GmbH

Postanschrift: GICON Ecosystems GmbH
Alte Dorfstraße 11
18184 Neu Broderstorf

Fachbereich: Benthische Organismen & Habitate

Fachbereichsleitung: [redacted]

Fertigstellungsdatum: 28.05.2026

Version	Datum	Dokumentbeschreibung	erstellt	geprüft	freigegeben
1	16.02.2026	Auslieferungsfassung	SPR	FWO	FWO
2	20.02.2026	Einarbeitung der Prüfhinweise, Endfassung	SPR	MAW	FWO
3	10.03.2026	Einarbeitung Prüfanmerkungen NLWKN	SPR	SOJ	FWO
4	30.04.2026	Einarbeitung Monitoringprogramme	FKA	SOJ	FWO
5	28.05.2026	Überarbeitung nach Vollständigkeitsprüfung, Endfassung	MIW	MAW	FWO

Inhaltsverzeichnis

Seite

1 Anlass 4

2 „Marine Growth Prevention System“ (MGPS) Elektrochlorierung 8

2.1 Elektrochlorierung und Einleitmengen 8

2.2 Chemische Produkte, die bei der Elektrochlorierung entstehen 11

2.2.1 Chlordioxid und andere Oxidantien (angegeben als Chlor) 13

2.2.2 Bromoform (Tribrommethan, $HCBr_3$) 14

2.2.3 Dibromessigsäure (DBAA) 15

2.2.4 Dibromacetonitril (DBAN) 15

2.2.5 2,4,6-Tribromphenol (2,4,6-TBP) 16

2.2.6 Chloroform (Trichlormethan) 16

2.2.7 Dichlormethan, 1,2-Dichlorethan und Trichlorethylen 17

3 Monitoringkonzept 18

3.1 Stationsdesign 18

3.1.1 Fachliche Grundlagen und Übertragbarkeit bestehender Untersuchungen 18

3.1.2 Ableitung und Festlegung des Stationsdesigns für die FSRU „Excelsior“ 19

3.2 Messfrequenz und Zeitpunkte 21

3.3 Messstrategie 21

3.4 Datenauswertung und Berichte 21

4 Eigenmonitoring 23

5 Biofoulingmonitoring 24

6 Literatur- und Quellenverzeichnis 25

Tabellenverzeichnis

Seite

Tab. 1: Nutzung der Auslässe A-1 bis A-9 in Abhängigkeit von der Betriebsweise der FSRU „Excelsior“ 9

Tab. 2: Maximale Einleitmengen aus der FSRU „Excelsior“ gemäß der Wasserrechtlichen Erlaubnis vom 06.03.2024 für die Auslässe A-1 bis A-7 (NLWKN 2024, Az: D6.62011-824-001-4145/2023) sowie der zusätzlich mit dem Antrag zu beantragenden Einleitmengen für die Auslässe A-8 und A-9. 10

Tab. 3: Grenzwerte der Konzentrationen im eingeleiteten Seewasser für die in Kap. 2.2.1 bis 2.2.7 beschriebenen chemischen Verbindungen gemäß der Wasserrechtlichen Erlaubnis (NLWKN 2022, Az: D 6 O 10 – 62011-001), OGewV (2016) und Gutachten AquaEcology (vgl. Unterlage 05_3_5.3 AquaEcology (2022)). (Quelle: NLWKN 2023) unter Berücksichtigung des Grenzwertes für den Ballastwasserauslass 13

Abbildungsverzeichnis

Seite

Abb. 1: Oben: Darstellung des Bewuchses des Hauptkondensators (links und Mitte) und der Saugleitung (rechts) auf der FSRU „Excelsior“ (Stand Oktober 2025; Quelle: Excelerate Energy). Unten: Darstellung des Bewuchses an der Kühlung (links und Mitte) und am Hauptkondensator [rechts; Quelle: „Supporting letter“ von Excelerate Energy (Subject: Photographic Documentation of fouling of Sea Water systems on Wilhelmshaven 2 / FSRU Excelsior)] 5

Abb. 2: Unterschiede im Bewuchsdruck zwischen verschiedenen Standorten an der Nordseeküste [Quelle: Bewuchsatlas online mit Stand 24.08.2022 aus BIOCONSULT (vgl. Unterlage 05_6_5.6 BIOCONSULT (2024)] 5

Abb. 3: Auszug aus der Bewuchsatlaskarte des Umweltbundesamtes zur Identifizierung von Regionen gleichen Bewuchsdruckes innerhalb Deutschlands. 6

Abb. 4: Lage der Wasserauslässe A-1 bis A- 9 der FSRU „Excelsior“ (Quelle: Arcadis 2023a, aktualisiert) 9

Abb. 5: Lage der im Rahmen der Beweissicherung zu untersuchenden Stationen im Nahbereich der FSRU „Excelsior“ sowie in der Innenjade und im Jadebusen (Hintergrund: Bathymetrie im Untersuchungsgebiet) 20

1 Anlass

Die Deutsche Energy Terminal GmbH (DET) betreibt seit Mai 2025 das LNG-Terminal „Wilhelmshaven02“ mit der FSRU „Excelsior“ vor der Küste Wilhelmshavens im Jadebusen (Inbetriebnahmephase; kommerzielle Inbetriebnahme am 28.8.2025) und speist kontinuierlich Gas ins deutsche Netz ein.

Die Verwendung von Seewasser ist für verschiedene Prozesse (u. a. Kühlung und insbesondere Herleitung von Prozesswärme zur Verdampfung des LNG) beim Betrieb der Floating Storage and Regasification Unit (FSRU) „Excelsior“ notwendig. Um den organischen Bewuchs (Biofouling) innerhalb der Rohrleitungen zu verhindern, muss das Seewasser mittels Antifoulingverfahren behandelt werden. Das kann durch ein sogenanntes „Marine Growth Prevention System“ (MGPS) erfolgen.

Bisher wird auf der FSRU „Excelsior“ für das Antifouling dauerhaft ein Ultraschallsystem der Firma HASYTEC Electronis AG[1] genutzt. Dabei werden die zu schützenden Strukturen mit hochfrequenten Schwingungen angeregt, um das Biofouling zu verhindern. Das Ultraschallverfahren kommt auf der FSRU „Excelsior“ erstmalig bei einer stationären FSRU zum Einsatz. Der dauerhafte Einsatz zeigt, dass sich das Ultraschallsystem, zumindest bei dem hohen Bewuchsdruck, wie er am Standort vorhanden ist, als nicht hinreichend geeignet erweist. Im Oktober 2025 wurde eine Blockade des Hauptkondensators durch umfassenden Aufwuchs von diversen Meereslebewesen festgestellt (Abb. *1*). Darüber hinaus wurden auch dadurch bedingte Ablagerungen von Schlick und Schlamm festgestellt, die sich aufgrund des starken Bewuchses auch nicht mehr durch die üblichen Durchspülungen der Systeme beseitigen ließen. Insofern war in Summe eine massive Beeinträchtigung des Wasserflusses in den seewasserführenden Anlagen der FSRU „Excelsior“ und damit einhergehend eine reduzierte Leistung festzustellen, die initial durch den starken Aufwuchs trotz des Betriebes des Ultraschallsystems entstanden ist. Aktuell ist somit ein normaler Betrieb der FSRU „Excelsior“ damit nicht mehr möglich.

Für das Ultraschallsystem als MGPS ist am Standort der FSRU der Bewuchsdruck durch Organismen in den Küstengewässern der Nordsee und somit auch der Jade offensichtlich zu groß (Abb. *2* und Abb. *3*). Auch im Rahmen des Antrages auf Erlaubnis der Einleitung von Ab- und Prozesswässern aus der FSRU in die Jade gem. § 8 WHG für die ebenfalls in der Jade liegenden „Höegh Esperanza“ (vgl. Unterlage 05_1_5.1 Uniper (2022)) wurde beschrieben, dass der hohe Bewuchsdruck in der Jade zu einem sehr hohen Biofouling mit harten, kalkschalenartigen Organismen führen kann, der nur schwer zu entfernen ist. Uniper (vgl. Unterlage 05_1_5.1 Uniper (2022)) kommen daher nachvollziehbar zu dem Schluss, dass ein zuverlässiger Betrieb einer FSRU im Bereich des Jadebusens nur durch einen effizienten Biozid-Einsatz in Form der Elektrochlorierung sichergestellt werden kann.

[1] Am 09.05.2025 wurde über das Vermögen der Hasytec Electronics AG beim AG Kiel die vorläufige Insolvenzverwaltung angeordnet (Az.: 25 IN 110/25), einschl. der Bestellung eines vorläufigen Insolvenzverwalters. Der Betrieb des Ultraschallsystem wird aktuell durch die Ultrasonic Tech GmbH sichergestellt.

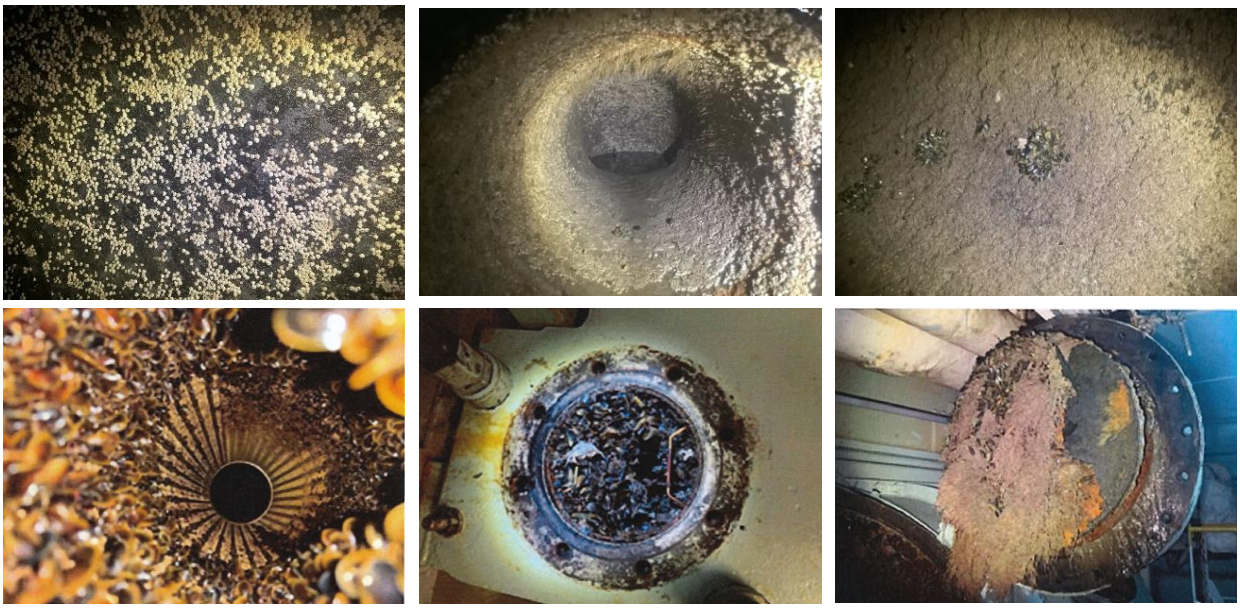

Abb. 1: **Oben: Darstellung des Bewuchses des Hauptkondensators (links und Mitte) und der Saugleitung (rechts) auf der FSRU „Excelsior“ (Stand Oktober 2025; Quelle: Excelerate Energy). Unten: Darstellung des Bewuchses an der Kühlung (links und Mitte) und am Hauptkondensator [rechts; Quelle: „Supporting letter“ von Excelerate Energy (Subject: Photographic Documentation of fouling of Sea Water systems on Wilhelmshaven 2 / FSRU Excelsior)]**

Abb. 2: **Unterschiede im Bewuchsdruck zwischen verschiedenen Standorten an der Nordseeküste [Quelle: Bewuchsatlas online mit Stand 24.08.2022 aus BIOCONSULT (vgl. Unterlage 05_6_5.6 BIOCONSULT (2024)]**

Im Rahmen des Genehmigungsverfahrens zum Betrieb der FSRU Höegh Esperanza am Standort Voslapper Groden in der Innenjade bei Wilhelmshaven wurde im Hinblick auf den Einsatz des Biozids Natriumhypochlorid als Bewuchsschutz für die Seeleitungen der FSRU eine Stellungnahme verfasst (BIOCONSULT 2022, vgl. Unterlage 05_6_5.6 BIOCONSULT (2024)), die zeigte, dass in der Jade ein höherer Bewuchsdruck vorliegt, als in den weniger salzreichen Ästuaren von Weser, Ems und Elbe. Aufgrund der veränderten Darstellung des regionalen Bewuchsdruckes im Bewuchs-Atlas (vgl. Abb. 2 und Abb. 3) wurde in einer ergänzenden Stellungnahme (vgl. Unterlage 05_6_5.6 BIOCONSULT (2024)) detaillierter auf den Bewuchsdruck in der Jade im Vergleich zu Brackwassergebieten (Ästuare und Ostsee) eingegangen, auf die für Details an dieser Stelle verwiesen wird.

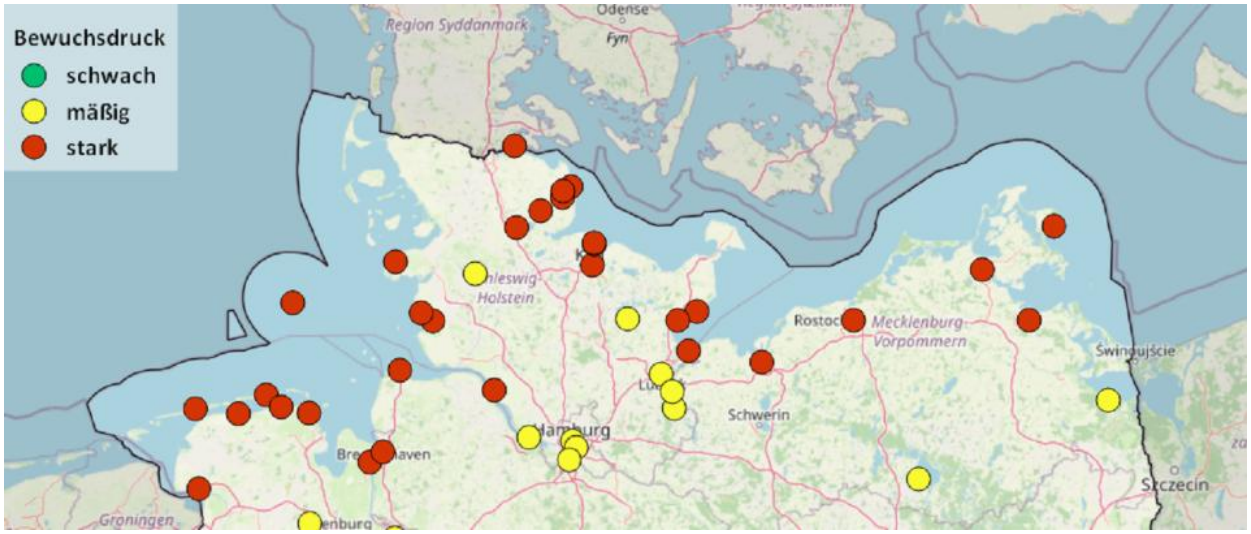

Abb. 3: Auszug aus der Bewuchsatlaskarte des Umweltbundesamtes zur Identifizierung von Regionen gleichen Bewuchsdruckes innerhalb Deutschlands.
(Quelle: https://www.umweltbundesamt.de/bewuchsatlas-karte)

Im Ergebnis war festzustellen, dass an allen Standorten Arten vorkommen, die sich an Hartsubstrate anheften und dort dichte Bestände bilden können (gleichermaßen für marine und brackige Gewässer). Dennoch ist in der Jade das Potenzial für die Ausbildung einer kritischen Fouling-Gemeinschaft höher anzusetzen als in den schwach brackigen Standorten der Elbe und der Ostseeküste. Die regionalen Vergleiche verdeutlichen, dass in der Jade von einem höheren Bewuchsdruck (Artenreichtum, Artenvielfalt „Bewuchs-kritischer“ Arten und Larvenverfügbarkeit) auszugehen ist, als in den brackigen Gewässern und das der Salzgehalt als wesentlicher Faktor anzusehen ist (vgl. Unterlage 05_6_5.6 BIOCONSULT (2024)).

Aus den o.g. Gründen soll in Zukunft auch auf der FSRU „Excelsior“ als MGPS zusätzlich zum bereits wasserrechtlich genehmigten Ultraschallsystem[2] der Einsatz der Elektrochlorierung durch

[2] Nach der Insolvenz der Hasytec Electronics AG wird die Fortführung der Arbeiten für das Ultraschallsystem von der Firma Ultrasonic Tech GmbH übernommen.

einen wasserrechtlichen Antrag (GICON Resources 2026) beantragt werden. Zwei entsprechende Systeme sind bereits installiert, wurden jedoch im Zuge des Wasserrechtsantrags zur Inbetriebnahme der FSRU antragsgemäß mit den Nebenbestimmungen des wasserrechtlichen Antrags vom 06.03.2024 nicht in Betrieb genommen (NLWKN 2024, Az: D6.62011-824-001-4145/2023). Mit dem Einreichen des wasserrechtlichen Antrags (GICON Resources 2026) wird die Inbetriebnahme der vorhandenen Elektrochlorierungssysteme, das Einleiten weiterer durch das Elektrochlorierungssystem behandelte Wasserströme über die Auslässe A-8 (Ballastwasser) und A-9 (Löschwasser, Wasservorhang, Ankerspülung) und ein einzuhaltender Chlorgrenzwert von 0,2 mg/l an allen Auslässen beantragt.

Allgemein handelt es sich bei der Elektrochlorierung um ein System, bei dem das im Seewasser gelöste Natriumchlorid (NaCl) mit Hilfe elektrischer Energie in aktives Chlor (Cl_2) bzw. Natriumhypochlorit (NaClO) umgewandelt wird. Dieses wirkt stark oxidierend, besitzt damit eine ausgeprägte biozide Wirkung und verhindert so den biologischen Bewuchs. Das Natriumhypochlorid als Biozid wird dabei z.B. ebenfalls bei der Chlorung von Wässern in Schwimmbädern usw. eingesetzt, um unerwünschte Keime und biologischen Bewuchs zu verhindern, wobei das Hypochlorid im Falle der Schwimmbäder als Flüssigkeit eingekauft und entsprechend des Bedarfs zugesetzt wird. An diesem Beispiel wird deutlich, dass der Einsatz von Natriumhypochlorid im Wasserbereich ein häufig und allgemein eingesetztes Mittel unter Nutzung seiner bioziden Wirkung darstellt.

Während des Durchflusses durch die Seewassersysteme einer FSRU wird die NaOCl-Konzentration durch Abbauprozesse (unter anderem durch Ausgasung von Chlor) sowie durch Reaktionen mit Mikroorganismen, Algen und weiteren oxidierbaren Substanzen kontinuierlich reduziert, so dass die Gesamtkonzentration der Chlor-Oxidantien, angegeben als Chlor (Cl_2) und im Folgenden auch als Biozid bzw. Gesamtbiozid bezeichnet, im kontinuierlichen Betrieb der Elektrochlorierung im in die Jade eingeleiteten Seewasser an allen Auslässen höchstens 0,2 mg/l betragen wird. Zusätzlich werden Chlor- und Bromnebenprodukte in das Jadewasser eingetragen, die in einem gesonderten Bericht (vgl. Unterlage 04_6_4.6 GICON Resources (2026b)) betrachtet werden.

Für die Genehmigung der Inbetriebnahme der auf der FSRU „Excelsior“ vorhandenen Elektrochlorierungsanlagen zum im Einsatz befindlichen Ultraschallsystem, ist ein Antrag zur wasserrechtlichen Einleiterlaubnis gemäß § 8 WHG in Verbindung mit § 57 WHG und der IZÜV von mit Bioziden behandelten Ab- bzw. Prozesswässern aus dem für den Verdampfungs-Prozess sowie aus schiffstypischen Zwecken notwendigen Betrieb der FSRU „Excelsior“ in die Jade erforderlich (GICON Resources 2026).

Mit den Antragsunterlagen wird anforderungsgemäß dieses Monitoringkonzept zur Überwachung und Beweissicherung erstellt. Es beschreibt zum einen die Probenahme verschiedener Parameter (Chlor und Desinfektionsnebenprodukte) an den Auslässen der FSRU „Excelsior“ sowie dem Neben- und Fernbereich, wobei sich das nachfolgende Konzept eng an das realisierte

Monitoring der FSRU “Höegh Esperanza” anlehnt (vgl. Kapitel 3). Zum anderen umfasst es eine überblickshafte Darstellung des durch den Antragssteller durchzuführenden Eigenmonitoring (vgl. Kapitel 4) und verweist auf das während des Genehmigungsprozesses abzustimmenden Biofoulingmonitorings (Kapitel 5).

Das Monitoringkonzept für die Untersuchungen der o.g. Parameter für die FSRU „Excelsior“ wird hiermit vorgelegt.

2 „Marine Growth Prevention System“ (MGPS) Elektrochlorierung

2.1 Elektrochlorierung und Einleitmengen

Für die Elektrochlorierung soll das aus der Jade entnommene Seewasser mit einem Chlor-Biozid (aktives Chlor (Cl_2) in Form von Natriumhypochlorit (NaClO)) behandelt werden, welches in zwei MGPS durch In-situ-Elektrolyse des im Seewasser enthaltenen Natriumchlorids erzeugt wird. Natriumhypochlorit ist eine starkes Oxidationsmittel. Es greift Zellmembranen, Enzyme und Proteine von Mikroorganismen an, stört lebenswichtige Stoffwechselprozesse und führt so zur Inaktivierung oder Abtötung von Bakterien, Algen und anderen Aufwuchsorganismen. Während des Durchflusses durch die Seewasserleitungen wird ein Großteil der Chlorverbindungen durch Reaktionen mit organischem Material, Mikroorganismen sowie durch Zerfalls- und Ausgasungsprozesse wieder abgebaut. Dadurch wird sichergestellt, dass die Chlorkonzentrationen am Auslass des Systems gering sind. Für die FSRU „Excelsior“ sind Auslasskonzentrationen für die Parameter Chlordioxid und andere Oxidantien von maximal 0,2 mg/l an allen Auslässen vorgesehen. Außerdem werden Chlor- und Bromnebenprodukte aus der Seewasseranlage in das Jadewasser eingetragen. Die detaillierte Betrachtung dieser Nebenprodukte erfolgt in Unterlage 04_6_4.6 GICON Resources (2026b).

Die FSRU „Excelsior“ hat neun Wasserauslässe (A-1 bis A-9; Abb. *4*), deren Nutzung abhängig von der Betriebsweise der FSRU ist (Tab. *1*). Es wird zwischen drei Betriebsweisen unterschieden, die von der Temperatur des entnommenen Wassers aus der Innenjade abhängt:

1. Offener Modus: Wassertemperatur ≥ 14,7 °C

   Die erforderliche Wärmemenge für die Regasifizierung wird ausschließlich dem Seewasser entnommen. Der offene Modus wird voraussichtlich in den Monaten Juni, Juli, August und September genutzt.

2. Kombinierter Modus: Wassertemperatur zwischen 5,5 °C und 14,7 °C

   Hierbei wird die erforderliche Wärmemenge teilweise dem Seewasser entnommen, Die übrige Wärmemenge wird über Dampferzeuger bereitgestellt. Der kombinierte Modus wird voraussichtlich in den Monaten April, Mai, Oktober und November genutzt.

3. Geschlossener Modus: Wassertemperatur < 5,5 °C

   Die nötige Wärmemenge für die Regasifizierung wird ausschließlich über die Dampferzeuger bereitgestellt. Der geschlossene Modus wird voraussichtlich in den Monaten Januar, Februar, März und Dezember genutzt.

Die Elektrochlorierung wird im offenen (Open Loop), kombinierten (Combined Loop) und geschlossenem Modus (Closed Loop) angewendet. Je nach Modus sind ein oder beide Elektrochlorierungsanlagen in Betrieb.

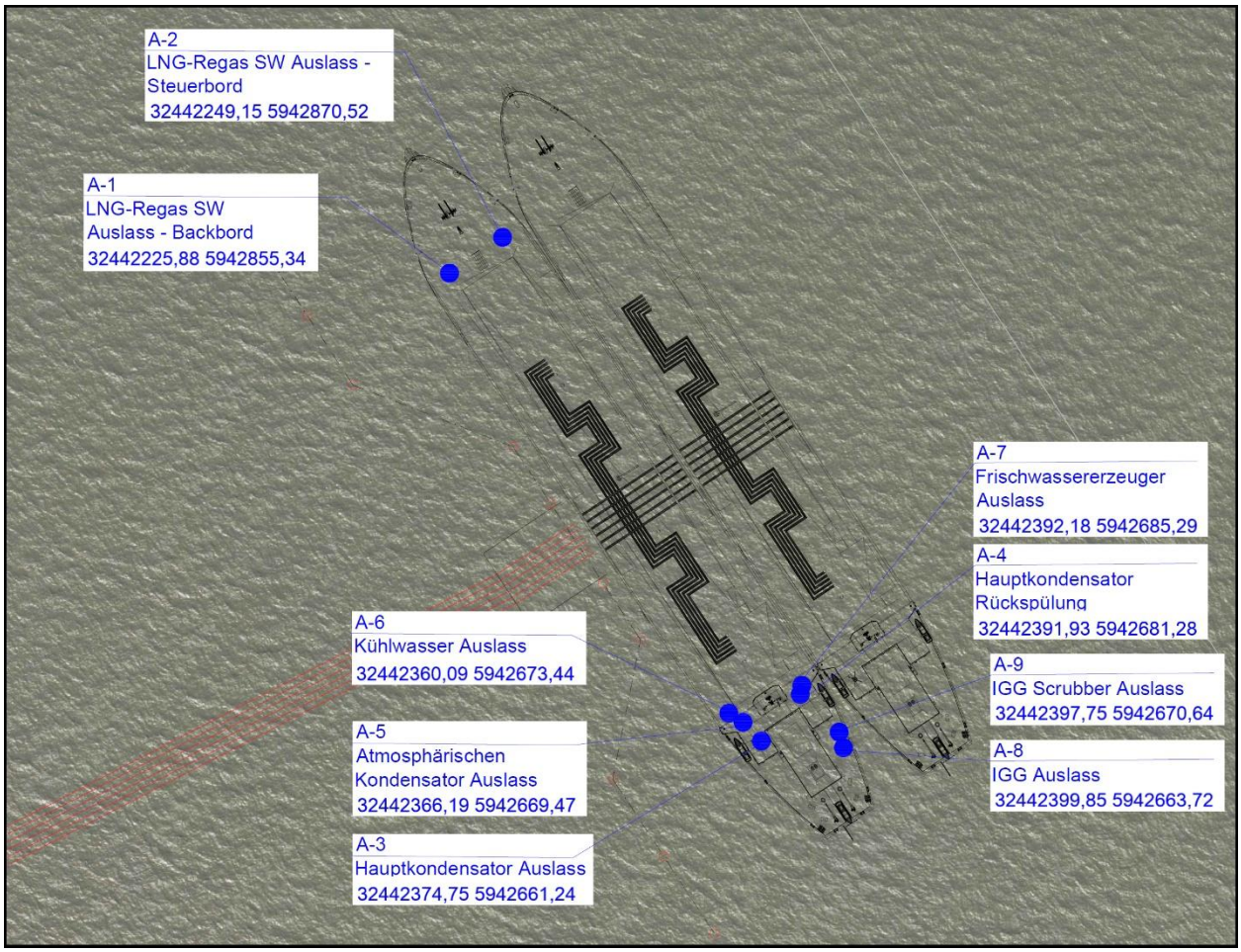

Abb. 4: Lage der Wasserauslässe A-1 bis A- 9 der FSRU „Excelsior“ (Quelle: Arcadis 2023a, aktualisiert)

Tab. 1: Nutzung der Auslässe A-1 bis A-9 in Abhängigkeit von der Betriebsweise der FSRU „Excelsior“

Auslass	Name	Betriebsweise der FSRU bei Einleitung
A-1	LNG-Regas SW Auslass - Backbord	offener und kombinierter Modus
A-2	LNG-Regas SW Auslass - Steuerbord	offener und kombinierter Modus
A-3	Hauptkondensator Auslass	ganzjährig
A-4	Hauptkondensator Rückspülung	ganzjährig

A-5	Atmosphärischer Kondensator Auslass	ganzjährig, soweit A-3 außer Betrieb ist
A-6	Kühlwasser Auslass	ganzjährig
A-7	Frischwassererzeuger Auslass	ganzjährig
A-8	IGG Auslass (Ballastwasserauslass)	ganzjährig
A-9	IGG Scrubber Auslass (Auslass für diverse Wasserströme u.a. Löschwasser, Wasservorhänge und Ankerspülung)	ganzjährig

Die Seewasserauslässe A-1 und A-2 befinden sich rechts und links im Bugbereich der „Excelsior". Die Auslässe A-3 bis A-9 sind im Heckbereich angeordnet, wobei sich die Auslässe A-3, A-5 und A-6 links sowie die Auslässe A-4, A-7, A-8 und A-9 rechts befinden. Die Auslässe A-1 und A-2, über die die höchsten Auslassmengen erfolgen (vgl. Tab. 2), werden ausschließlich im offenen und kombinierten Modus genutzt (vgl. Tab. 1).

Eine gesammelte Einleitung des Wassers findet nicht statt; vielmehr erfolgt die Einleitung getrennt über die einzelnen Auslässe entsprechend der vorhandenen wasserrechtlichen Erlaubnis zum Betrieb der FSRU WHV 02 sowie der neu zu beantragenden Nutzung der Auslässe A-8 und A-9. Die Einhaltung der für das Biozid genannten Grenzwerte wird an jedem einzelnen Auslass der FSRU und somit für jeden Teilvolumenstrom des Seewassersystems gewährleistet. Hierzu wird die Dosierung im Einlassbecken auf den Teilstrom mit der geringsten Verweildauer beziehungsweise der kürzesten Abbauzeit der Chlor-(Neben-)produkte im Seewassersystem abgestimmt. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass der Grenzwert von 0,2 mg Cl_2/l an allen Auslässen vor der Einleitung in die Jade zu keinem Zeitpunkt überschritten wird.

Die zusätzlich mit dem wasserrechtlichen Antrag (GICON Resources 2026) zu beantragenden Wassereinleitungen (Löschwasser, Wasservorhänge, Ankerspülung) sind mit dem vorliegenden Monitoringkonzept nicht zu beproben, wodurch sie nachfolgend keine weitere Betrachtung finden.

Tab. 2: Maximale Einleitmengen aus der FSRU „Excelsior" gemäß der Wasserrechtlichen Erlaubnis vom 06.03.2024 für die Auslässe A-1 bis A-7 (NLWKN 2024, Az: D6.62011-824-001-4145/2023) sowie der zusätzlich mit dem Antrag zu beantragenden Einleitmengen für die Auslässe A-8 und A-9.

Auslass	Name	Menge			
		[m³/s]	[m³/h]	[m³/d]	[m³/a]
A-1	LNG-Regas SW Auslass - Backbord	2,5	8.975*	215.400	52.414.000
A-2	LNG-Regas SW Auslass - Steuerbord	2,5	8.975*	215.400	52.414.000
A-3	Auslass Hauptkondensator, geschlossener und kombinierter Modus	2,06	7.400	177.600	54.020.000
A-3	Auslass Hauptkondensator, offener Modus	1,03**	3.700**	88.800	
A-4	Hauptkondensator Rückspülung	1,39***	2.500***	2.500	912.500
A-5	Atmosphärischer Kondensator Auslass	1,03****	3.700****	88.800	32.412.000
A-6	Kühlwasser Auslass	0,26	940	22.560	8.234.400

A-7	Frischwassererzeuger Auslass	0,014	50	1.030	375.950
A-8	Ballastwasserauslass	1,39	5.000	15.000	950.000
A-9	Löschwasser*****	0,139	500	12.000	24.000
A-9	Wasservorhänge	0,139	500	12.000	600.000
A-9	Ankerspülung	0,139	500	12.000	24.000
Insgesamt darf über die vorgenannten Einleitungsstellen Abwasser in die Innenjade eingeleitet werden in einer Menge bis zu		9,0	32.340	685.490	169.968.850

** Die Auslässe A-1 und A-2 haben jeweils einen Durchfluss von 1.800 bis 8.975 m³/h. Es können ein oder beide Auslässe verwendet werden. Bei Verwendung von zwei Auslässen ist der Durchfluss pro Auslass geringer als 8.975 m³/h. Im Durchschnitt wird ein Durchfluss von 6.250 m³/h aus beiden Auslässen erwartet. Dies ist ein durchschnittlicher Durchfluss von 12.500 m³/h. In der Tabelle wird jedoch der jeweils maximale Durchfluss für jeden Auslass angegeben.*

*** Der Auslass A3 Hauptkondensator, offener Modus geht in die Summation zur Ermittlung der maximalen Ab- bzw. Prozesswassermenge nicht ein, da die Menge beim geschlossenen/kombinierten Modus deutlich höher liegt und die Betriebsmodi offener, kombinierter oder offener Modus niemals gleichzeitig auftreten. Somit wird die Menge über A 3 im offenen Modus bei der Ermittlung der maximalen Menge in m^3/s und m^3/h nicht berücksichtigt.*

**** Für den täglichen Abfluss des Hauptkondensor Rückspülung (A-4) wurden konservative Annahmen vorgenommen. Diese Rückspülung erfolgt mit Seewasser mit einem Durchfluss von ca. 5.000 m³/h für ca. 30 Minuten. Die Häufigkeit der Rückspülung hängt von der Qualität des Seewassers ab. Aus den Betriebserfahrungen des Vercharterers der FSRU an anderen Terminals kann der Reinigungsintervall zwischen weniger als einmal pro Jahr und einer täglichen Reinigung liegen. Konservativ wird angenommen, dass der Auslass max. einmal pro Woche genutzt wird, womit dieser bei der Summenangabe für die Kurzzeitwassermenge in m^3/s und m^3/h unberücksichtigt bleibt.*

***** Die Mengen des Auslasses A-5 sind bei der Gesamtmaximalsumme nicht zu berücksichtigen, da der Atmosphärische Kondensator als Reserve, im Fall einer Wartung oder eines Ausfalls des Hauptkondensators verwendet wird und daher in der Summe Auslass A 3 enthalten ist.*

****** Die Mengen des Auslasses A-9 für Löschwasser sind bei der Gesamtmaximalsumme nicht berücksichtigt, da diese Wassermenge nur anlassbezogen anfällt. Zudem werden bei einem Löschwassereinsatz keine Wasservorhänge oder Ankerspülungen realisiert werden.*

2.2 Chemische Produkte, die bei der Elektrochlorierung entstehen

Im Rahmen der Beantragung für die Wasserrechtliche Erlaubnis der FSRU „Höegh Esperanza“ hat AquaEcology (vgl. Unterlage 05_3_5.3 AquaEcology (2022)) detailliert beschrieben, welche Chlor- und Bromnebenprodukte durch die Elektrochlorierung entstehen können. Da das Verfahren der Elektrochlorierung bei beiden FSRU identisch ist, lassen sich die Ausführungen von AquaEcology (vgl. Unterlage 05_3_5.3 AquaEcology (2022)) auch auf die FSRU „Excelsior“ übertragen.

AquaEcology (vgl. Unterlage 05_3_5.3 AquaEcology (2022)) zufolge können bei der Elektrolyse mittelbar und unmittelbar insgesamt 42 Chlor- und Bromnebenprodukte gebildet werden (vgl. Tab. 1 in AquaEcology vgl. Unterlage 05_3_5.3 AquaEcology (2022); Kap. 4, S. 17-19). Darunter sind auch reine Chlorverbindungen aufgeführt, die bei der Elektrolyse direkt an den Elektroden entstehen. Diese werden im bromidhaltigen Seewasser jedoch direkt in Bromprodukte umgewandelt und wurden lediglich für die vollständigen Übersicht angegeben.

Ungefähr die Hälfte der aufgeführten chemischen Verbindungen weist eine kurze Lebensdauer auf, da sie sich schnell in andere, unschädliche Verbindungen umwandeln. Nach AquaEcology (vgl. Unterlage 05_3_5.3 AquaEcology (2022)) können 20 der 42 Verbindungen eine mögliche

akut toxische Wirkung im Nahbereich der Anlage (Radius ca. 500 m) aufweisen (vgl. Tab. 2 und Tab. 3 in AquaEcology vgl. Unterlage 05_3_5.3 AquaEcology (2022); Kap. 4, S. 20-21 bzw. S. 22-23).

Eine wichtige Eigenschaft der bei der Elektrochlorierung im Seewasser entstehenden Chlor- und Bromprodukte, ist ihre jeweilige Wasserlöslichkeit. Auf dieser Grundlage lässt sich abschätzen, ob die Verbindungen vorwiegend gelöst in der Wassersäule verbleiben und transportiert werden oder ob sie sich unter Umständen an Partikel binden und dadurch potenziell in das Sediment absinken.

In den Nebenbestimmungen der Wasserrechtlichen Erlaubnis für die FSRU „Höegh Esperanza“ (NLWKN 2022, Az: D 6 O 10 – 62011-001) ist festgelegt, dass im Rahmen der Beweissicherung die folgenden Chlor- und Bromnebenprodukte zu untersuchen sind:

- Chlordioxid und andere Oxidantien (angegeben als Chlor)
- Bromoform (Tribrommethan, $HCBr_3$)
- Dibromessigsäure (DBAA)
- Dibromacetonitril (DBAN)
- 2,4,6-Tribromphenol (2,4,6-TBP)
- Chloroform (Trichlormethan)
- Dichlormethan
- 1,2-Dichlorethan
- Trichlorethylen

Da das Verfahren der Elektrochlorierung bei beiden FSRUs identisch ist, wird im vorliegenden Monitoringkonzept für die FSRU „Excelsior“ vorgeschlagen, ebenfalls diese Stoffe zu berücksichtigen. Die genannten Chlor- und Bromprodukte, ihre potenziellen Auswirkungen sowie die im Rahmen der Beweissicherung für die FSRU „Höegh Esperanza“ erhobenen Monitoringergebnisse werden in den folgenden Kapiteln näher dargestellt. Für die weiteren chemischen Verbindungen, die bei der Elektrochlorierung entstehen können, wird auf den Bericht von AquaEcology (vgl. Unterlage 05_3_5.3 AquaEcology (2022)) verwiesen.

Außerdem werden für die chemischen Verbindungen in Kap. 2.2.1 bis 2.2.7 dieselben Grenzwerte im eingeleiteten Seewasser angenommen, wie sie im Rahmen der Wasserrechtlichen Erlaubnis für die FSRU „Höegh Esperanza“ für Chlordioxid und andere Oxidantien (NLWKN 2022, Az: D 6 O 10 – 62011-001) festgelegt wurden (Tab. 3). Weitere Grenzwerte wurden der Oberflächengewässerverordnung (OGewV, 2016) und dem Gutachten von AquaEcology (vgl. Unterlage 05_3_5.3 AquaEcology (2022)) entnommen.

Tab. 3: Grenzwerte der Konzentrationen im eingeleiteten Seewasser für die in Kap. 2.2.1 bis 2.2.7 beschriebenen chemischen Verbindungen gemäß der Wasserrechtlichen Erlaubnis (NLWKN 2022, Az: D 6 O 10 – 62011-001), OGewV (2016) und Gutachten AquaEcology (vgl. Unterlage 05_3_5.3 AquaEcology (2022)). (Quelle: NLWKN 2023) unter Berücksichtigung des Grenzwertes für den Ballastwasserauslass

NOEC: No Observed Effect Concentration; PNEC: Predicted No Effect Concentration

Verbindung	Konzentration	Anmerkung
Chlordioxid und andere Oxidantien (angegeben als Chlor)	0,2 mg/l (0,2 mg/l auch am Ballastwasserauslass)	
Bromoform (Tribrommethan, $HCBr_3$)	500 µg/l bzw. 1,3 µg/l	Muschelkiemen NOEC bzw. PNEC gem. AquaEcology (vgl. Unterlage 05_3_5.3 AquaEcology (2022))
Dibromessigsäure (DBAA)	500 µg/l bzw. 9,2 µg/l	Muschelkiemen NOEC bzw. PNEC gem. AquaEcology (vgl. Unterlage 05_3_5.3 AquaEcology (2022))
Dibromacetonitril (DBAN)	500 µg/l	Muschelkiemen NOEC gem. AquaEcology (vgl. Unterlage 05_3_5.3 AquaEcology (2022))
2,4,6-Tribromphenol (2,4,6-TBP)	100 µg/l bzw. 0,05 µg/l	Daphnien NOEC bzw. PNEC gem. AquaEcology (vgl. Unterlage 05_3_5.3 AquaEcology (2022))
Chloroform (Trichlormethan)	2,5 µg/l	UQN gem. OGewV
Dichlormethan	20 µg/l	UQN gem. OGewV
1,2-Dichlorethan	10 µg/l	UQN gem. OGewV
Trichlorethylen	10 µg/l	UQN gem. OGewV

2.2.1 Chlordioxid und andere Oxidantien (angegeben als Chlor)

Wie bereits in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben, wird das Seewasser zur Verhinderung von Biofouling in den Seewassersystemen der FSRU „Excelsior“ mittels Elektrochlorierung behandelt. Dabei wird das im Wasser enthaltene Natriumchlorid durch elektrische Energie zu aktivem Chlor (Cl_2) in Form von Natriumhypochlorit (NaClO) umgewandelt. Einfach ausgedrückt, reagiert das aktive Chlor innerhalb der Rohrleitungen der FSRU mit organischem Material wie Mikroorganismen, Algen und Muscheln. Diese Reaktionen sowie weitere Zerfallsprozesse und Ausgasungen führen bereits innerhalb der FSRU zu einer Abnahme der Chlor-Konzentrationen. Die Chlorierung ist so zu dosieren, dass an allen Auslässen (A-1 bis A-9) die Grenzwerte für Chlordioxid und andere Oxidantien (angegeben als Chlor) von maximal 0,2 mg/l eingehalten werden. Literaturauswertungen lassen mit hoher Wahrscheinlichkeit darauf schließen, dass die im Rahmen der Elektrochlorierung gebildeten Chlorverbindungen nahezu vollständig in Bromverbindungen überführt werden (vgl. Unterlage 05_3_5.3 AquaEcology (2022)). Maßgeblich ist daher der Gehalt an Restoxidantien (Chlor-, Brom- und Jodoxidantien), da Chlordioxid an den Auslässen nicht zu erwarten ist. Durch die Reaktion von Chlor mit im Seewasser enthaltenem Bromid und organischem Material können Desinfektionsnebenprodukte entstehen, deren Bildung und Ausbreitung gutachterlich untersucht wurden (vgl. Unterlage 05_3_5.3 AquaEcology (2022)). Aufgrund des hohen Bromidgehalts im Seewasser, verlaufen die Reaktionen überwiegend in

Richtung Bromierung, sodass hauptsächlich bromierte oder gemischt bromierte/chlorierte Nebenprodukte gebildet werden (siehe nachfolgende Kapitel).

Von Dezember 2022 bis September 2024 erfolgte die Beweissicherung für die FSRU „Höegh Esperanza“ (AquaEcology 2024). Dabei wurden neben Chlordioxid und anderen Oxidantien auch die in Tab. 3 genannten Chlor- und Bromnebenprodukte gemäß den Nebenbestimmungen der Wasserrechtlichen Erlaubnis (NLWKN 2022, Az: D 6 O 10 – 62011-001) untersucht.

Die Messungen auf der FSRU „Höegh Esperanza“ zeigten, dass die Konzentrationen insbesondere von Chlordioxid und anderen Oxidantien (angegeben als Chlor) überwiegend unterhalb der analytischen Nachweisgrenze (NWG für Chlordioxid: 0,05 mg/l) lagen. Einzelne Messwerte an den Auslässen, z. B. 0,17 mg/l am 11.02.2023 (Auslass O-3) und 0,19 mg/l am 18.11.2023 (Auslass O-8), überschritten die Nachweisgrenze, blieben aber unter den wasserrechtlich festgelegten Grenzwerten (0,10–0,20 mg/l). Im Nahbereich der FSRU „Höegh Esperanza“ im Jadewasser wurden vereinzelt leicht höhere Werte bis ca. 0,1 mg/l gemessen, die aber nicht direkt auf die Einleitungen der FSRU zurückzuführen waren und auch in unbeeinflussten Referenzproben auftraten. Einzelne höhere Werte im Juni 2024 (0,20–0,25 mg/l) im ablaufenden Mittelwasser, werden auf mögliche Störsubstanzen zurückgeführt, da an Bord keine vergleichbaren Messwerte registriert wurden. AquaEcology (2024) schließen in ihrem Fazit eine signifikante Belastung der Jade durch oxidierende Chlorderivate aus dem eingeleiteten Seewasser der FSRU „Höegh Esperanza“ aus. Die Werte lagen größtenteils im unteren Nachweisbereich, und eine Aufkonzentrierung oder Bildung von Bereichen erhöhter Chlorkonzentration im Wasser ist nicht zu erwarten. Es sind daher keine Auswirkungen auf das Ökosystem der Jade zu erwarten.

2.2.2 Bromoform (Tribrommethan, $HCBr_3$)

Bromoform ist das organische Desinfektionsnebenprodukt, das bei der Elektrochlorierung von Meerwasser in den höchsten Konzentrationen auftritt (AquaEcology 2022). Bromoform zählt nach Jenner et al. (1997) zu den Verbindungen, die im Zusammenhang mit dem Einsatz der Elektrochlorierung im Umfeld mariner Anlagen messbar auftreten können. Es entsteht jedoch im Meerwasser auch aus dem natürlicherweise vorhandenen Bromidgehalt, wobei insbesondere Algen und andere Meeresorganismen an seiner Bildung beteiligt sind. Die Konzentration im eingeleiteten Seewasser soll 500 µg/l (NOEC) bzw. 1,3 µg/l (PNEC) nicht übersteigen (Tab. *3*). In einem „Worst-Case-Szenario“ wurden für den Nahbereich der FSRU „Höegh Esperanza“ Bromoform-Werte von bis zu 2,25 µg/l ermittelt (AquaEcology 2022). Damit wäre diese Konzentration deutlich höher als der PNEC-Wert. In diesem Konzentrationsbereich kann ein negativer Effekt auf empfindliche Organismen grundsätzlich nicht vollständig ausgeschlossen werden. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass PNEC-Werte aus NOEC-Werten unter Anwendung von Sicherheits- bzw. Bewertungsfaktoren abgeleitet werden und keine direkt überprüften Schwellenwerte darstellen. Eine Überschreitung bedeutet daher nicht zwangsläufig das Auftreten ökotoxikologischer Effekte. Zudem wurden in diesen Betrachtungen Ausgasungsprozesse aus der Wassersäule nicht berücksichtigt, die insbesondere für Bromoform von Bedeutung sind. Studien zeigen, dass ein erheblicher Anteil des gebildeten Bromoforms aus der oberen Wasserschicht in die Atmosphäre entweichen kann (vgl. AquaEcology 2022).

Im Rahmen der Beweissicherung lagen die gemessenen Bromoform-Konzentrationen an den Auslässen der FSRU „Höegh Esperanza“, wie erwartet, über dem PNEC-Wert (März bis Juni 2023: 3,8–14,5 µg/l), jedoch innerhalb der prognostizierten Werte für Elektrochlorierung-Nebenprodukte (4,75–11,75 µg/l; AquaEcology 2024). Die Messungen der Bromoform-Konzentration im Jadewasser selbst lagen hingegen, mit Ausnahme eines Wertes (0,125 µg/l im September 2023), stets unter der Nachweisgrenze von 0,100 µg/l. Der gemessene Wert lag deutlich unterhalb des PNEC-Schwellenwertes von 1,3 µg/l und konnte mit der gleichzeitigen Anwesenheit eines LNG-Carriers in Verbindung gebracht werden, dessen Elektrochlorierung zum Messzeitpunkt in Betrieb war. Entsprechend kommen AquaEcology (2024) zu dem Schluss, dass der Befund gewässerökologisch unbedenklich ist.

2.2.3 Dibromessigsäure (DBAA)

Dibromessigsäure (DBAA) ist ein halogeniertes Essigsäurederivat, das im Zusammenhang mit der Elektrochlorierung von Meerwasser als Desinfektionsnebenprodukt entstehen kann. Sie bildet sich, wenn das bei der Elektrochlorierung erzeugte aktive Chlor mit im Meerwasser natürlicherweise vorkommendem Bromid sowie mit gelöstem organischem Material reagiert. Im Gegensatz zu Bromoform, ist Dibromessigsäure gut wasserlöslich und verbleibt überwiegend in der Wassersäule. Durch biologische und chemische Abbauprozesse kommt Dibromessigsäure in natürlichem Seewasser nicht in messbaren Konzentrationen vor (Hashimoto 1998). Relevante Konzentrationen sind vor allem im unmittelbaren Umfeld von Anlagen zu erwarten, in denen Meerwasser elektrochloriert wird. Die DBAA-Konzentration im eingeleiteten Seewasser soll 500 µg/l (NOEC) bzw. 9,2 µg/l (PNEC) nicht übersteigen (Tab. 3). AquaEcology (vgl. Unterlage 05_3_5.3 AquaEcology (2022)) geben an, dass die berechneten Konzentrationen mit Werten von unter 0,9 ng/l deutlich unterhalb der üblichen analytischen Nachweisgrenzen von etwa 12 bis 15 ng/l (EPA 2009) lagen. Da auf Grundlage der vorliegenden Simulationen zudem keine Anreicherung zu erwarten war, sind die ermittelten DBAA-Konzentrationen als vernachlässigbar einzustufen.

Bei den Untersuchungen, die im Rahmen der Beweissicherung für die FSRU „Höegh Esperanza“ durchgeführt wurden, lagen die Werte für Dibromessigsäure stets unter der analytischen Nachweisgrenze (<0,1 µg/l; AquaEcology 2024).

2.2.4 Dibromacetonitril (DBAN)

Dibromacetonitril (DBAN) kann im Zusammenhang mit der Elektrochlorierung von Meerwasser als Desinfektionsnebenprodukt entstehen. Es bildet sich durch die Reaktion des bei der Elektrochlorierung erzeugten aktiven Chlors mit im Seewasser natürlicherweise vorhandenem Bromid sowie mit gelöstem organischem Stickstoff. DBAN ist mäßig wasserlöslich und kann in der Wassersäule auftreten, unterliegt jedoch vergleichsweise schnellen Abbauprozessen. Erhöhte Konzentrationen sind in erster Linie im direkten Umfeld von Anlagen zu erwarten, in denen Meerwasser mittels Elektrochlorierung behandelt wird. Die Konzentration im eingeleiteten Seewasser soll 500 µg/l nicht übersteigen (Tab. 3). Berechnungen zeigen, dass Werte von 1,5 bis 2,0 ng/l möglich sein können, sind aber als gering einzustufen (NLWKN 2022, Az: D 6 O 10 – 62011-001). Die möglichen Auswirkungen sind hierbei jedoch strikt lokal begrenzt und beschränken sich auf bewegliche, nicht-sessile Organismen im unmittelbaren Einleitungsbereich.

Während der Beweissicherung an der FSRU „Höegh Esperanza“ lagen Werte für Dibromacetonitril durchgängig unterhalb der analytischen Nachweisgrenze (< 1 µg/l; AquaEcology 2024).

2.2.5 2,4,6-Tribromphenol (2,4,6-TBP)

2,4,6-Tribromphenol (2,4,6-TBP) ist ein aromatisches bromiertes Phenol, das als Desinfektionsnebenprodukt im Zusammenhang mit der Elektrochlorierung von Meerwasser entstehen kann. Es bildet sich durch die Reaktion des bei der Elektrochlorierung erzeugten aktiven Chlors mit im Seewasser natürlicherweise vorhandenem Bromid sowie mit phenolischen Vorläuferverbindungen aus organischem Material. Im Vergleich zu aliphatischen halogenierten Nebenprodukten weist 2,4,6-TBP eine geringere Wasserlöslichkeit auf und zeigt eine höhere chemische Stabilität. Es kann daher teilweise partikelassoziiert in der Wassersäule auftreten und besitzt eine höhere Persistenz, insbesondere gegenüber Abbauprozessen im freien Wasserkörper. Der Abbau erfolgt überwiegend mikrobiell im Sediment, wo höhere Abbauraten erreicht werden als in der Wassersäule. Im Rahmen der Elektrochlorierung soll die Konzentration im eingeleiteten Seewasser 500 µg/l (NOEC) bzw. 0,05 µg/l (PNEC) nicht übersteigen (Tab. 3). Simulationen der Konzentrationsverläufe zeigten, dass die TBP-Werte ohne Abbau und Sedimentation bis etwa 0,6 ng/l steigen würden, durch Abbau und Sedimentation jedoch nach 12 Wochen auf rund 0,25 µg/l sanken (vgl. Unterlage 05_3_5.3 AquaEcology (2022)). Die prognostizierten Sedimentkonzentrationen lagen mehrere Größenordnungen unter den Gehalten unbelasteter mariner Sedimente und unter den PNEC-Werten. Nur im unmittelbaren Nahbereich der FSRU „Höegh Esperanza“ wurden punktuell PNEC-Werte überschritten, wobei aufgrund der natürlichen Verstoffwechslung von TBP durch Sedimentorganismen kein erhöhtes Risiko für Anreicherung oder schädliche Effekte auf die Umwelt erwartet wird.

Im Rahmen der Beweissicherung wurden im April und September 2023 an zwei Auslässen der FSRU „Höegh Esperanza“ erhöhte 2,4,6-Tribromphenol-Konzentrationen von 0,587 µg/l (Auslass O-7) bzw. 0,712 µg/l (Auslass O-11) gemessen (AquaEcology 2024). Diese Werte lagen oberhalb des prognostizierten Bereichs und überschritten den PNEC-Wert von 0,05 µg/l, blieben jedoch deutlich unter dem NOEC-Wert von 100 µg/l für Muschelkiemen. Weitere Hinweise auf eine 2,4,6-Tribromphenol-Bildung auf der FSRU „Höegh Esperanza“ ergaben sich nicht und außerhalb der FSRU „Höegh Esperanza“ konnte Tribromphenol in der Jade nicht nachgewiesen werden (AquaEcology 2024).

2.2.6 Chloroform (Trichlormethan)

Chloroform ist im natürlichen Meerwasser lediglich in sehr niedrigen Konzentrationen vorhanden. Bei der Elektrochlorierung können organische Inhaltsstoffe mit aktivem Chlor reagieren und zur Bildung von Chloroform führen. Aufgrund des hohen Bromidgehalts im Meerwasser entsteht dabei häufig zusätzlich Bromdichlormethan. Chloroform wir aufgrund seiner hohen Flüchtigkeit größtenteils durch Ausgasung in die Atmosphäre aus dem Wasser entfernt. Laut AquaEcology (vgl. Unterlage 05_3_5.3 AquaEcology (2022)) gehört Chloroform nicht zu den Verbindungen, die im Nahbereich der Anlage (Radius 500 m) potentiell akut toxisch wirken können (vgl. Tab. 1 und Tab. 2 in AquaEcology (vgl. Unterlage 05_3_5.3 AquaEcology (2022)), Kap. 4; S. 17-19 bzw. S.

20-21). Im Rahmen der Elektrochlorierung soll die Chloroform-Konzentration im eingeleiteten Seewasser 2,5 µg/l nicht übersteigen (Tab. 3).

Im Rahmen der Untersuchungen zur Beweissicherung wurden im Dezember 2022 (Nullmessung) sowie im Februar 2023 an mehreren Messstationen Chloroform-Konzentrationen oberhalb der analytischen Nachweisgrenze von 0,050 µg/l festgestellt (AquaEcology 2024). Die gemessenen Werte lagen mit 0,06 bis 0,14 µg/l jedoch deutlich unterhalb der geltenden Umweltqualitätsnorm (UQN) von 2,5 µg/l und stellten gemäß AquaEcology (2024) keine Gefahr für das Ökosystem dar. Da Chloroform bei der Elektrochlorierung von Meerwasser nur in sehr geringem Umfang entsteht, wurde ein Eintrag durch die FSRU „Höegh Esperanza“ ausgeschlossen. Dies wird durch die im März 2023 erstmals durchgeführten Messungen im Seewassersystem der FSRU „Höegh Esperanza“ bestätigt, bei denen kein Chloroform nachgewiesen wurde. Zudem wurde bereits vor der Inbetriebnahme der FSRU „Höegh Esperanza“ Chloroform im Jadewasser gemessen, was auf andere Eintragsquellen hinweist. Insgesamt ist eine Entstehung von Chloroform durch die Elektrochlorierung an Bord der FSRU „Höegh Esperanza“ mit hoher Wahrscheinlichkeit auszuschließen; vielmehr wird ein externer Einleiter als Ursache für die gemessenen Chloroformkonzentrationen angenommen (AquaEcology 2024).

2.2.7 Dichlormethan, 1,2-Dichlorethan und Trichlorethylen

Wie Chloroform kommt auch die Dichlormethan, 1,2-Dichlorethan und Trichlorethylen im natürlichen Meerwasser lediglich in sehr geringen Konzentrationen vor. Bei dem Prozess der Elektrochlorierung entstehen die Verbindungen als Nebenprodukte. Die drei Verbindungen können im Wasser lokal toxisch wirken, sind aber aufgrund seiner Flüchtigkeit in offenen Gewässern meist nur kurzfristig vorhanden. Im Rahmen der Elektrochlorierung sollen die Konzentration im eingeleiteten Seewasser 20 µg/l (Dichlormethan) bzw. 10 µg/l (1,2-Dichlorethan und Trichlorethylen) nicht übersteigen (Tab. 3).

Bei den Untersuchungen, die im Rahmen der Beweissicherung für die FSRU „Höegh Esperanza“ durchgeführt wurden, lagen die Werte für Dichlormethan (< 0,5 µg/l), 1,2-Dichlorethan (< 0,5 µg/l) und Trichlorethylen (< 0,02 µg/l) stets unter der analytischen Nachweisgrenze (AquaEcology 2024).

3 Monitoringkonzept

Wie in den vorangegangenen Kapiteln dargelegt, sollen die folgenden Parameter für die Beweissicherung im Rahmen des Betriebs der Elektrochlorierung über 2 bzw. max. 3 Jahre untersucht werden:

- Chlordioxid und andere Oxidantien (angegeben als Chlor)
- Bromoform (Tribrommethan, $HCBr_3$)
- Dibromessigsäure (DBAA)
- Dibromacetonitril (DBAN)
- 2,4,6-Tribromphenol (2,4,6-TBP)
- Chloroform (Trichlormethan)
- Dichlormethan
- 1,2-Dichlorethan
- Trichlorethylen

3.1 Stationsdesign

3.1.1 Fachliche Grundlagen und Übertragbarkeit bestehender Untersuchungen

Zum Zeitpunkt der Erstellung des Monitoringkonzeptes liegt für die genannten chemischen Parameter im Bereich der FSRU „Excelsior“ noch keine summierte Biozidausbreitungsstudie für die Wirkung der FSRU „Höegh Esperanza“ und „Excelsior“ auf das Ökosystem der Jade der Firma DHI WASY GmbH vor. Im Rahmen des Antragsverfahrens der Wasserrechtlichen Genehmigung für die FSRU „Höegh Esperanza“ wurde eine Biozidausbreitungsstudie zur Ausbreitung des eingeleiteten Biozids durch die FSRU „Höegh Esperanza“ und einem angelegten LNG-Carrier in die Jade (DHI WASY 2022) durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Studie werden im vorliegenden Monitoringkonzept berücksichtigt. Darüber hinaus fließen auch die Erkenntnisse aus der Beweissicherung für die FSRU „Höegh Esperanza“ in das Konzept mit ein (AquaEcology 2024).

Die Ergebnisse der Modellierung zur Biozid-Ausbreitung für die FSRU „Höegh Esperanza“ zeigten eine primäre Ausbreitung des Biozids entlang der vorherrschenden Strömungsrichtung. Die höchsten Konzentrationen von über 10 µg/l werden im unmittelbaren Nahbereich der FSRU „Höegh Esperanza“ prognostiziert (DHI WASY 2022). Mit zunehmender Distanz zur Einleitstelle wurde ein deutlicher Konzentrationsrückgang auf 2,5–5,0 µg/l prognostiziert, der sich im weiter entfernten Bereich entlang der Hauptströmungsrichtung auf 1,0–2,5 µg/l fortsetzt.

Im Rahmen der ausführlichen Beweissicherung für die FSRU „Höegh Esperanza“ wurden im Zeitraum von Dezember 2022 bis September 2024 an den vier Messstationen im Nahbereich des Schiffes keine Überschreitungen der zulässigen Konzentrationen für die untersuchten chemischen Parameter festgestellt (AquaEcology 2024). Vereinzelte erhöhte beziehungsweise über

den Grenzwerten liegende Messwerte konnten vollständig plausibel erklärt werden (siehe Kap. 2.2.1 bis 2.2.7) und stellen gemäß AquaEcology (2024) keine Beeinträchtigung des Gewässers dar. Die im Vorfeld durch DHI (DHI WASY 2022) im Ergebnis der realisierten Modellierungen prognostizierten Konzentrationen lagen bzgl. des Chlors jeweils vollständig unterhalb der Nachweisgrenze für freies Chlor. Die sehr konservative Modellierung ist somit mit den Ergebnissen des fast zweijährigen Monitorings vollständig bestätigt worden.

Für die Messstationen „Innenjade“ und „Jadebusen“ wurde im Rahmen der Modellierung zur FSRU „Höegh Esperanza“ ermittelt, dass erhöhte Konzentrationen einzelner anderer chemischer Parameter auftreten können, insbesondere von 2,4,6-Tribromphenol (2,4,6-TBP). Diese könnten infolge ihrer Anlagerung an Schwebstoffe und deren anschließender Sedimentation in die genannten Bereiche eingetragen werden (DHI WASY 2022) und zu messbaren Konzentrationen führen. Die Ergebnisse des durchgeführten Monitorings zeigten jedoch, dass auch für diese Parameter an den Messpunkten keine Überschreitungen der entsprechenden Grenzwerte festgestellt werden konnten (AquaEcology 2024). Somit ist festzustellen, dass die sehr konservative Modellierung der DHI (DHI WASY 2022) zwar für sonstige relevante chemische Parameter Messwerte oberhalb der Grenzwerte prognostiziert hat, diese jedoch in der umfassenden Überwachung im Oberflächenwasser nicht bestätigt werden konnten.

Summarisch ist damit festzustellen, dass die mit einem nichtreaktiven Transportmodell gewonnenen Modellierungsergebnisse der Ausbreitungsstudie für die FSRU „Höegh Esperanza“ eine grobe Orientierung zu den zu prognostizierenden Konzentrationen geben, diese aber als konservativ zu bezeichnen sind. Insbesondere bei hohem Bewuchsdruck ist mit deutlich geringeren Werten zu rechnen, was im Rahmen des Monitorings bestätigt wurde. Bezüglich des freien Chlors ist dabei nochmals darauf hinzuweisen, dass bereits die Prognosekonzentration in DHI WASY (2022) deutlich unterhalb der Nachweisgrenze lag, was durch das Monitoring bestätigt wurde.

3.1.2 Ableitung und Festlegung des Stationsdesigns für die FSRU „Excelsior“

Aus den o.g. Ergebnissen leiten sich für das Monitoring der chemischen Parameter an der FSRU „Excelsior“ die nachfolgend beschriebenen sechs Messstationen ab.

Im Nahbereich der FSRU „Excelsior“ werden die chemischen Parameter an vier Stationen (P1 bis P4) untersucht (Abb. 5). Sofern erhöhte Konzentrationen festgestellt werden, ermöglichen diese Stationen eine Abschätzung der räumlichen Ausbreitung.

Auch wenn im Rahmen der Beweissicherung für die FSRU „Höegh Esperanza“ an den Messstationen „Innenjade“ und „Jadebusen“ keine Überschreitungen der geltenden Grenzwerte festgestellt wurden (AquaEcology 2024), sind diese beiden Stationen Bestandteil des Messkonzepts für die FSRU „Excelsior“ (Abb. 5). Damit werden unter anderem mögliche kumulative Effekte berücksichtigt. Zudem können die Daten der beiden Stationen bei Unstimmigkeiten herangezogen werden und ermöglichen eine Vergleichbarkeit der Messwerte.

Sobald eine Summationsbiozidausbreitungsstudie für die „Excelsior“ vorliegt, erfolgt eine fachliche Prüfung der Ergebnisse. Auf dieser Grundlage wird das Stationsdesign bei Erfordernis entsprechend angepasst.

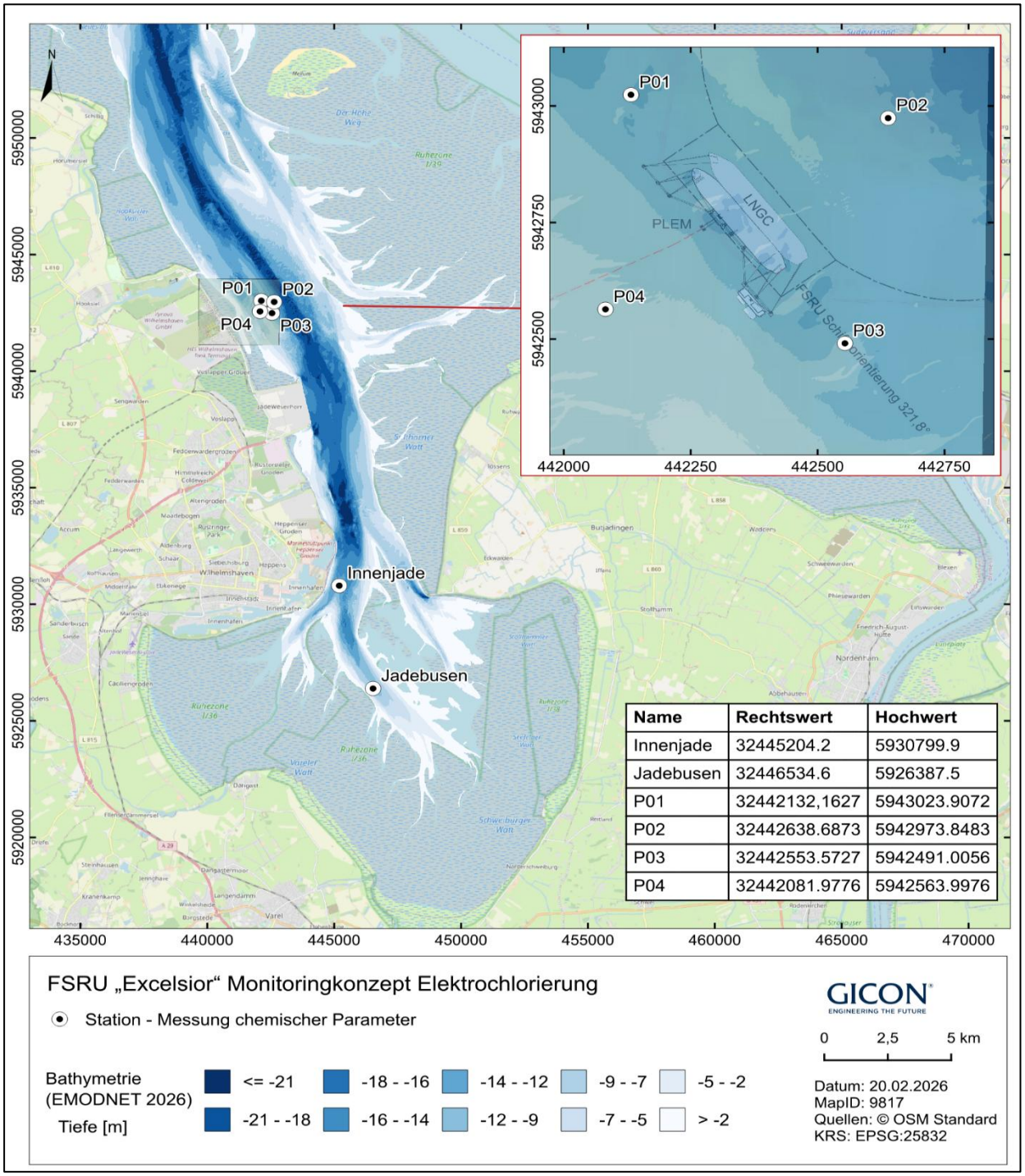

Abb. 5: Lage der im Rahmen der Beweissicherung zu untersuchenden Stationen im Nahbereich der FSRU „Excelsior“ sowie in der Innenjade und im Jadebusen (Hintergrund: Bathymetrie im Untersuchungsgebiet)

3.2 Messfrequenz und Zeitpunkte

Vor der Inbetriebnahme der Elektrochlorierung erfolgt eine Nullmessung der chemischen Parameter an den in Kap. 3.1 genannten Stationen.

Mit der Inbetriebnahme der Elektrochlorierungsanlage beginnen monatliche Messungen, die über einen Zeitraum von mindestens zwölf Monaten durchgeführt werden. Dadurch wird gewährleistet, dass alle Phasen der unterschiedlichen Betriebszustände im Messprogramm abgebildet sind (vgl. Kap. 2.1). Über eine etwaige Fortführung oder Anpassung des Monitorings entscheidet die Genehmigungsbehörde nach fachlicher Bewertung der vorliegenden Ergebnisse.

3.3 Messstrategie

Im Rahmen jeder Messkampagne werden die Chlor- und Bromnebenprodukte an den sechs Stationen während den folgenden Tidenzuständen untersucht:

- Hochwasserkenterpunkt,
- Ablaufendes Wasser (Mitteltide),
- Niedrigwasserkenterpunkt und
- Auflaufendes Wasser (Mitteltide).

Dabei erfolgt die Probenahme an jeder Station in drei Tiefenstufen:

- Oberflächennah (0,5 bis 1 m unter Wasseroberfläche),
- in der mittleren Tiefenschicht zwischen Wasseroberfläche und Sediment und
- Bodennah (0,5 bis 1 m über dem Meeresgrund).

Unter Berücksichtigung der Tidenzustände ist davon auszugehen, dass eine Messkampagne zwei Tage umfasst.

Zeitgleich erfolgen Messungen direkt an den Auslässen der FSRU „Excelsior“ durch die Eigenüberwachung vergleichbar zur FSRU “Höegh Esperanza”.

3.4 Datenauswertung und Berichte

Alle Messdaten werden direkt vor Ort digital und/oder analog protokolliert.

Nach jeder Messkampagne wird ein Fortschrittsbericht in Kurzform erstellt. In diesem Kurzbericht wird folgendes dargestellt:

- Probenahmebedingungen wie Wetter, Seegang, Wassertiefe,
- das eingesetzte Boot und Personal,
- die Tidezeiten

- Betriebsmodus der FSRU sowie
- die Ergebnisse für die jeweiligen chemischen Parameter.

Zum Projektende wird ein Abschlussbericht erstellt, der die folgenden Punkte und Auswertungen berücksichtigt:

- Detaillierte Darstellung der gesamten Methodik und des Untersuchungsdesigns,
- Umfassende Auswertung aller gesammelten Daten der chemischen Parameter über den gesamten Messzeitraum,
- Grafische Darstellungen,
- Vergleichende Analyse der Parameter in Abhängigkeit der Tidephasen und den Messstationen,
- Identifikation und Bewertung von durch die FSRU „Excelsior“ verursachten oder beeinflussten Veränderungen der chemischen Wasserparameter (Chlor- und Bromnebenprodukte),
- Betrachtung möglicher kumulativer Auswirkungen durch andere signifikanter Einleiter durch Elektrochlorierung,
- Zusammenfassende Schlussfolgerungen.

4 Eigenmonitoring

Gemäß der wasserrechtlichen Erlaubnis für die FSRU „Höegh Esperanza“ (NLWKN 2022, Az: D 6 O 10 – 62011-001) ist festgelegt, dass im Rahmen einer Eigenüberwachung die kontinuierliche Erfassung der Temperaturdifferenzen und der Volumenströme an den Auslässen erfolgen muss. Des Weiteren wurde bestimmt, dass die folgenden Chlor- und Bromnebenprodukte durch die Erlaubnisinhaberin regelmäßig zu überwachen sind.

- Chlordioxid und andere Oxidantien (angegeben als Chlor)
- Bromoform (Tribrommethan, $HCBr_3$)
- Dibromessigsäure (DBAA)
- Dibromacetonitril (DBAN)
- 2,4,6-Tribromphenol (2,4,6-TBP)
- Chloroform (Trichlormethan)
- Dichlormethan
- 1,2-Dichlorethan
- Trichlorethylen

Da das Verfahren der Elektrochlorierung bei beiden FSRUs identisch ist, wird für die FSRU „Excelsior“ vorgeschlagen, dieses Vorgehen ebenfalls anzuwenden und die entsprechenden Festlegungen in gleichartiger Abstimmung mit der zuständigen Behörde zu treffen.

Dabei ist es vorgesehen das Eigenmonitoring im Rahmen des Genehmigungsverfahrens in enger Abstimmung mit der zuständigen Behörde festzulegen und entsprechend der Vorgaben durchzuführen. Die konkreten Anforderungen, insbesondere hinsichtlich der zu überwachenden Stoffe, der Probenahmefrequenzen sowie der Probenahmestellen, werden im Zuge der behördlichen Abstimmung final bestimmt und in die wasserrechtliche Erlaubnis übernommen.

Im Rahmen des Eigenmonitorings wird die Qualität der Eigenkontrolluntersuchungen fortlaufend sichergestellt. Die im Zusammenhang mit der Abwassereinleitung eingesetzten Mess- und Analysegeräte werden gemäß Herstellervorgaben regelmäßig gewartet und instand gehalten. Die Zuverlässigkeit der Mess- und Analyseverfahren wird durch geeignete Qualitätssicherungsmaßnahmen in regelmäßigen Abständen überprüft und gewährleistet.

5 Biofoulingmonitoring

Die Details des durch die Behörde gewünschten Biofoulingmonitorings werden im weiteren Verfahrensverlauf bilaterial abgestimmt und diesbezüglich im Folgenden nicht weiter aufgeführt.

6 Literatur- und Quellenverzeichnis

AquaEcology (2022): Marine Growth Prevention System Wilhelmshaven – Entstehung, Ausbreitung und Auswirkung von Chlor- und Bromnebenprodukten im Jade-System – Fachbeitrag zur Umweltverträglichkeitsprüfung

AquaEcology (2024): FSRU „Höegh Esperanza“ in Wilhelmshaven, Messungen von Chlordioxid und anderen Oxidantien sowie Chlor- und Bromnebenprodukten auf der FSRU und im Jade-System. Zusammenfassender 11. Zwischenbericht zur Beweissicherung von Dezember 2022 bis September 2024

Arcadis (2023a): Genehmigungsantrag gem. §§ 4 und 10 BImSchG für die Errichtung und den Betrieb einer FSRU - 3.1.3 Beschreibung FSRU-Wassersysteme FSRU Wilhelmshaven GmbH

Arcadis (2023b): Errichtung und Betrieb eines LNG FSRU Terminals in Wilhelmshaven. Lageplan zur Lage der Emissionsauslässe im Maßstab 1:1.000 mit Stand 14.04.2023

BIOCONSULT (2024): Einordnung regionaler Unterschiede im Bewuchsdruck (Biofouling)- Ergänzung der Stellungnahme vom 24.08.2022. BIOCONSULT GmbH & Co. KG. Bremen, 11. April 2024

DHI WASY (2022): LNG-Terminal-Studie zur Ausbreitung des eingeleiteten Biozids durch die FSRU und den LNG Tanker in die Jade. Bericht DHI WASY GmbH.

EPA (2009): Determination of Haloacetic Acids, Bromate, and Dalapon in Drinking Water by Ion Chromatography Electrospray Ionization Tandem Mass Spec-trometry (IC-ESI-MS/MS), Method 557, EPA Office of Water 815-B-09-012. Cincinnati, OH: US Environmental Protection Agency.

GICON Resources (2026): Erläuterungsbericht zum wasserrechtlichen Antrag FSRU WHV02.

GICON Resources (2026b): FSRU Wilhelmshaven 02 Antrag auf Elektrochlorierung, wasserrechtlicher Antrag - Kurzbericht Nebenprodukte aus dem MGPS-System als Ergänzung zum Fachbeitrag EG-Wasserrahmenrichtlinie.

Hashimoto S, Azuma T, Otsuki A (1998): Distribution, Sources, and Stability of Haloacetic Acids. Environmental Toxicology and Chemistry 17: 798–805.

Jenner HA, Taylor CJL, van Dank M, Khalanski M (1997): Chlorination By-Products in Chlorinated Cooling Water of some European Coastal Power Stations. Ma-rine Environmental Research 43: 279-293.

NLWKN (2022): Wasserrechtliche Erlaubnis zur Einleitung von Abwasser aus dem Betrieb einer Floating Storage and Regasification Unit (FSRU) in die Jade vor Wilhelmshaven der Firma Uniper Global Commodities SE (UGC), Holzstraße 6. 40221 Düsseldorf. 16.12.2022, Az.: D 6 O 10 - 62011-695-001

NLWKN (2023): Kurzbericht - Bisherige Ergebnisse der behördlichen Überwachung, Eigenüberwachung und Beweissicherung der chemischen Parameter der Einleitung Chlor-behandelter Abwässer durch die FSRU „Höegh Esperanza“ in die Jade. Berichtszeitraum: Dezember – April 2023

NLWKN (2024): Wasserrechtliche Erlaubnis zur Einleitung von Abwasser aus dem Betrieb einer Floating Storage and Regasification Unit (FSRU) in die Innenjade vor Wilhelmshaven der Firma FSRU Wilhelmshaven GmbH, Emsstraße 20, 26382 Wilhelmshaven. 06.03.2024, Az.: D6.62011-824-001-4145/2023.

OGEwV (2016): Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (Oberflächengewässerverordnung), vom 20.06.2016 (BGBI. I. S. 1373), zuletzt geändert durch Artikel 2 Abs. 4 des Gesetzes vom 09.12.2020 (BGBI. I S. 2873)

Uniper (2022): Energiedrehscheibe WHV (EDW) – FSRU Phase 1: Errichtung und Betrieb einer FSRU sowie wasser- und landseitiger Anlagenteile zur Anlandung und Regasifizierung von Flüssigerdgas (LNG) an der „Umschlaganlage Voslapper Groden“ (UVG), Anleger 1 in 26388 Wilhelmshaven; Hier: Antrag auf Erlaubnis der Einleitung von Ab- und Prozesswässern aus der FSRU in die Jade gem. §8 WHG