



Hamburg, 09.02.2023

Stellungnahmen zur abwasserrechtlichen Genehmigung der FSRU am LNG-Terminal Wilhelmshaven

Abstract

-

The LNG Terminal in Wilhelmshaven connected with a FSRU at berth for 10 – 20 years creates a multitude of gaseous and water-based emissions. Continuous electrolysis of seawater generates active chlorine to prevent fouling of the cooling system. The continuous chlorination cannot be regarded as the Best Available Technique, hardly compatible with respect to the EU-Water Frame Directive, the German Water Management Law, the German Immission Control Law, and the German Waste Water Directive. Continuous chlorination is more expensive, more corrosive and creates more harmful halogenated byproducts in the effluent compared to pulse-chlorination, classified in the EU and Germany as Best Available Technique (BAT). Due to multiple objections by environmental and fishery associations, a chemical monitoring was prescribed in the permit but no biological monitoring. Nevertheless, a biological effect monitoring has to be conducted under a sanitary aspect and ecotoxicological aspect, to prove the environmental harmlessness. It shall comprise the monitoring of plankton abundance, mollusc and fish health.

Due to the doubtful compatibility with the legislation in force, the Best Available Technique in the mode of pulse-chlorination should be applied as short-term technique. For long-term fouling management, less harmful fouling prevention technique shall be installed like ultrasound or electrolytic capture of hydrogen converted in hydrogen-peroxide as active ingredient.

Zusammenfassung

-

Das LNG-Terminal Wilhelmshaven wird mit einer FSRU betrieben, die für 10 – 20 Jahre vor dem Terminal festliegt und nach der erteilten Genehmigung erhebliche gasförmige und wasserbasierte Emissionen verursacht. Die Bewuchsverhinderung der Kühlsysteme soll durch eine kontinuierliche Chlorung erfolgen, die mittels Elektrolyse von Seewasser aktives Chlor generiert. Dieses Verfahren kann nicht als beste verfügbare Technik (BVT) angesehen werden und ist weder mit der EU-Wasserrahmenrichtlinie, mit dem Wasserhaushaltsgesetz, der Abwasserverordnung noch mit dem Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) vereinbar.

Zudem ist die kontinuierliche Chlorung teurer, wirkt stärker korrosiv und erzeugt wesentlich mehr toxische Nebenprodukte als z.B. eine Stoßchlorung, die in der EU und Deutschland als beste verfügbare Technik gilt. Auf Grund erheblicher Einwände von Umweltorganisationen und Fischerverbänden wurde in der Genehmigung ein chemisches Monitoring vorgeschrieben, aber ein biologisches Monitoring für entbehrlich gehalten. Dieses ist jedoch zur Überprüfung der Unbedenklichkeit unter lebensmittelrechtlichen und ökotoxikologischen Aspekten der Abwässer zwingend geboten. Dabei sollte die Häufigkeit des Planktons sowie morphologische und histologische Veränderungen an Fischen, Miesmuscheln und Schnecken untersucht werden.

Auf Grund der zweifelhaften Vereinbarkeit der kontinuierlichen Chlorung mit der geltenden Gesetzgebung sollte zumindest kurzfristig auf eine Stoßchlorung umgestellt werden. Langfristig sollten umweltfreundlichere Verfahren wie Ultraschall oder der Einsatz von Wasserstoffperoxid aus elektrolytisch gewonnenem Wasserstoff in Erwägung gezogen werden.

Gesetzlicher Hintergrund und Zulassung der Elektrochlorung gemäß EU-Biozid-Richtlinie, aktueller Stand der Prüfung unter PT11

Die von Uniper beantragte und vorläufig erteilte Genehmigung für das Bewuchsschutzverfahren auf der „Höegh Esperenza“ fällt als Kühlmittel-Biozid unter die EU-Biozid-Richtlinie für technische Biozide (siehe auch: <https://www.baua.de/DE/Themen/Anwendungssichere-Chemikalien-und-Produkte/Chemikalienrecht/Biozide/Biozide.html> , aufgesucht am 5.12.2022).

Die Biozid-Verordnung (EU) Nr. 528/2012 regelt den Verkauf und die Verwendung von Biozidprodukten in ganz Europa. Daher betrifft die Biozid-Verordnung sowohl Händler, Inverkehrbringer als auch Verwender von Biozidprodukten. Die Biozid-Verordnung erfasst auch die Biozidprodukte, bei denen der Biozid-Wirkstoff erst vor Ort (*in situ*) hergestellt wird, entweder ohne Vorläufersubstanzen oder aus Vorläufersubstanzen.

Im Gegensatz zur ursprünglichen Verordnung von 1998 wurde mit der Biozidverordnung von 2012 (Verordnung (EU) Nr. 528/2012) der Begriff "Biozidprodukt" auf *in situ* erzeugte Biozide erweitert, und es wurde klargestellt, dass auch die ausschließliche Verwendung von Biozidprodukten erfasst wird (Artikel 1 Absatz 2 d). Die Verwendung eines Biozids wird dabei als „alle mit einem Biozidprodukt durchgeführten Maßnahmen, einschließlich Lagerung, Handhabung, Mischung und Anwendung, außer Maßnahmen, die zur Ausfuhr des Biozidprodukts oder der behandelten Ware aus der Union stattfinden“ (Art. 3 Abs. 1 k) definiert.

Durch diese Ergänzung fällt jedes vor Ort hergestellte Biozid unter die Biozid-Verordnung und darf nur verwendet werden, wenn die entsprechende Kombination aus Wirkstoff und einer eventuellen Vorläufersubstanz (Precursor) auf europäischer Ebene genehmigt und das Biozidprodukt zugelassen worden ist. Bei *in situ* hergestellten Bioziden ist das zulassungspflichtige Biozidprodukt entweder:

- der/die Stoff(e) oder Gemisch(e), aus denen der Wirkstoff hergestellt wird, oder
- der Wirkstoff, der aus Stoffen oder Gemischen hergestellt wird, die selbst nicht als Biozidprodukt zugelassen werden können.

Wird daher aktives Chlor elektrolytisch aus Meerwasser hergestellt, so stellt das aktive Chlor das Biozidprodukt dar, da das Meerwasser selbst nicht als Precursor vermarktet wird. Diese Feststellung ist wichtig, da gemäß der alten Biozidrichtlinie (Richtlinie 98/8/EG) die ausschließliche Herstellung von Biozidwirkstoffen vor Ort ohne die biozide Vermarktung von Ausgangsstoffen (Vorläufersubstanzen/Precursor) nicht erfasst worden war.

Entsprechend der geltenden Biozid-Verordnung dürfen daher Biozidprodukte nur Biozid-Wirkstoffe enthalten, die in einer Positivliste, der so genannten Unionsliste der genehmigten Biozid-Wirkstoffe, aufgeführt sind. Daher müssen Biozid-Wirkstoffe ein Genehmigungsverfahren durchlaufen, bevor die Wirkstoffe in Biozidprodukten verwendet werden dürfen. An diesem Verfahren sind alle EU-Mitgliedstaaten beteiligt und die Prüfung der Zulassungsfähigkeit von Bioziden wird daher von zahlreichen europäischen Zulassungsbehörden durchgeführt. Je nach Anwendungsbereich werden die technischen Biozide in unterschiedliche Produktgruppen eingeteilt. Die Produktgruppe 11 ist folgendermaßen definiert: Schutzmittel für Flüssigkeiten in Kühl- und Verfahrenssystemen. Produkte zum Schutz von Wasser und anderen Flüssigkeiten in Kühl- und Verfahrenssystemen gegen Befall durch Schadorganismen wie z. B. Mikroben, Algen und Muscheln. Der aktuelle Stand der Zulassung und Prüfung von Bioziden in der Produktgruppe 11 ist gekennzeichnet durch bisher wenige zugelassene und zahlreiche Wirkstoffe in der Prüfung. In Abbildung 1 sind die bisher, Stand Dezember 2022, zugelassenen Wirkstoffe aufgeführt.

Schutzmittel für Flüssigkeiten in Verfahrenssystemen (Produktart 11)

Wirkstoff	EG-Nr.	CAS-Nr.	Aufnahme geregelt durch	Zeitpunkt der Genehmigung	Genehmigung befristet bis
Glutaraldehyd	203-856-5	111-30-8	↗ 2015/1759 (PDF-Datei, 359 KB)	01.10.2016	30.09.2026
PHMB (1600; 1,8)	-	27083-27-8 und 32289-58-0	↗ 2016/125 (PDF-Datei, 322 KB)	01.07.2017	30.06.2024
C(M)IT/MIT (3:1)	-	55965-84-9	↗ 2016/131 (PDF-Datei, 357 KB)	01.07.2017	30.06.2027
Peressigsäure	201-186-8	201-186-8	↗ 2016/2290 (PDF-Datei, 405 KB)	01.07.2018	30.06.2028
2-Methyl-3(2H)-isothiazolon (MIT)	220-239-6	2682-20-4	↗ 2017/1278 (PDF-Datei, 321 KB)	01.01.2019	31.12.2028

Abb. 1: Zugelassene Wirkstoffe in der Produktgruppe 11 (<https://www.reach-clp-biozid-helpdesk.de/DE/Biozide/Wirkstoffe/Genehmigte-Wirkstoffe/Genehmigte-Wirkstoffe-0.html#PT11>)

Aus dieser Liste wird ersichtlich, dass aktives Chlor noch nicht zugelassen wurde. Zudem wird ersichtlich, dass alle bisherigen Zulassungen zeitlich auf maximal 10 Jahre begrenzt wurden. Zurzeit kann aktives Chlor jedoch noch verwendet werden, da es als Altbiozid unter die Ausnahmegenehmigung fällt, bis eine Entscheidung im Zulassungsverfahren fallen wird.

Die Gewinnung von aktivem Chlor aus der Elektrolyse wird praktiziert und ist daher notifiziert worden als Alt-Wirkstoff und wird seit 2012 für eine Zulassung geprüft. Dies kann bedeuten, dass eine Zulassung für aktives Chlor ausgesprochen oder aber verweigert werden wird. Bei der Säuberung der FSRU „Höeg Esperanza“ wird also ein Bewuchsschutzverfahren eingesetzt, das sich in der Überprüfung befindet und möglicherweise in naher Zukunft eingestellt werden muss. Es ist daher fraglich, dass bei der Anwendung von aktivem Chlor und einer kontinuierlichen Dosierung vom Stand der Technik gesprochen werden kann, sondern von einem schwebenden Verfahren ausgegangen werden muss. Bemerkenswert ist auch, dass sich die prüfende Behörde in Frankreich seit 10 Jahren nicht entscheiden kann, aktives Chlor als Biozid für die Produktgruppe 11 zu zulassen.

Active chlorine generated from seawater (sodium chloride) by electrolysis	 PT11	France	Initial application for approval in progress Competent authority evaluation
---	--	--------	---

Abb. 2: Auszug aus der LISTE der ECHA zur Zulassung von Wirkstoffen in der Produktgruppe 11 (https://www.echa.europa.eu/web/guest/information-on-chemicals/biocidal-active-substances?p_p_id=dissactivesubstances_WAR_dissactivesubstancesportlet&p_p_lifecycle=1&p_p_state=normal&p_p_mode=view&dissactivesubstances_WAR_dissactivesubstancesportlet_javax.portlet.action=dissActiveSubstancesAction)

1. Verfahrensbewertung „Dauerbetrieb“ versus „Stoßchlorung“ - kann der Dauerbetrieb als Stand der Technik bezeichnet werden?

Es wird in dem Antrag und in der vorläufigen Genehmigung angegeben, dass der Einsatz von aktivem Chlor aus der Elektrolyse dem Stand der Technik entspricht. Dies ist für das Prinzip der Gewinnung von Chlor korrekt, gilt aber nicht für den offensichtlich geplanten Dauerbetrieb. Schon seit mehr als 20 Jahren wird ein Dauerbetrieb nicht mehr empfohlen, sondern ein gepulster Einsatz von Chlor in Verbindung mit Monitorverfahren praktiziert. Da der Bewuchsdruck im Jahresverlauf nicht konstant ist, sondern jahreszeitlich schwankt, wird eine Stoß- oder Pulschlorung praktiziert, die sich am saisonal vorherrschenden Bewuchsdruck orientiert. Da die wesentlichen Bewuchsorganismen, in diesem Fall Seepocken und Miesmuscheln, nur zu bestimmten Jahreszeiten ihre Larven in das Wasser abgeben und die technischen Oberflächen im Kühlsystem besiedeln können, kann durch ein Monitorsystem vor oder im Einlauf ein Larvenfall erfasst und entsprechend eine Stoß- oder Pulschlorung gestartet werden. Diese Methode hat ökonomische, ökologische und technische Vorteile. Erstens werden hierdurch Stromkosten gespart, die für die Elektrolyse aufgebracht werden müssen, bzw. Treibstoffkosten für die Dieselgeneratoren. Zweitens ist aktives Chlor stark korrodierend, so dass eine Dauerbelastung mit hohen Chlorkonzentrationen zu vorzeitigen Verschleißerscheinungen an Rohrleitungssystemen und Wärmetauschern führen kann. Zudem konnte durch zahlreiche Untersuchungen nachgewiesen werden, dass eine Puls-Dosierung eine 50%ige Reduzierung der eingesetzten Chlormenge

erlaubt (Macdonald et al. 2012). Hierdurch wird die toxische Belastung deutlich verringert und auch die Konzentration an halogenierten Nebenprodukten sehr stark verringert.

In anderen FSRUs ist ein Zweikreiskühlsystem eingebaut, in denen ein geschlossener Sekundärkreislauf mit Glykol gefüllt ist und keinerlei Bewuchsdruck unterliegt. Hierdurch können sensible und schwer zugängliche Teile des Kühlsystems besser geschützt werden. Dagegen unterliegt der Primärkreislauf weiterhin dem standortspezifischen Bewuchsdruck. Da er häufig größer dimensioniert ist und einfacher zugänglich ist, kann er häufig mechanisch gereinigt werden, sodass ein Biozideinsatz entbehrlich ist. Ein Zweikreiskühlsystem ist z.B. auf dem Schwesterschiff der „Esperanza“ der „Turquoise P“, der „LNG Neptune“ vor Lubmin und der FSRU vor Krk der „LNG Croatia“ installiert (Halfhide, 2020; <https://lng.hr/en/about-terminal/>; StALU, 2023).

In diesem Zusammenhang ist es wichtig darauf hinzuweisen, dass die EU-Kommission schon 2001 die gepulste Chlorung als beste verfügbare Technik (BVT) eingestuft hat (EU-Commission, 2001; p. 283). Entsprechend wird die Stoßchlorung auch in den Merkblättern der besten verfügbaren Techniken des Umweltbundesamtes aufgeführt (<https://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/beste-verfuegbare-techniken/sevilla-prozess/bvt-merkblaetter-durchfuehrungsbeschluesse>). Auch der Einsatz der Stoßchlorung unterliegt der Ausnahmeregelung für Altbiozide, bis eine endgültige Entscheidung getroffen wurde.

An dieser Stelle muss auch auf das (Wasserhaushaltsgesetz - WHG) Anlage 1 (zu § 3 Nummer 11)

Kriterien zur Bestimmung des Standes der Technik (Fundstelle: BGBl. I 2009, 2614) hingewiesen werden.

Unter §3 wird festgestellt:

„Stand der Technik ist der Entwicklungsstand fortschrittlicher Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen, der die praktische Eignung einer Maßnahme zur Begrenzung von Emissionen in Luft, Wasser und Boden, zur Gewährleistung der Anlagensicherheit, zur Gewährleistung einer umweltverträglichen Abfallentsorgung oder sonst zur Vermeidung oder Verminderung von Auswirkungen auf die Umwelt zur Erreichung eines allgemein hohen Schutzniveaus für die Umwelt insgesamt gesichert erscheinen lässt; bei der Bestimmung des Standes der Technik sind insbesondere die in der Anlage 1 aufgeführten Kriterien zu berücksichtigen“.

In der Anlage wird unter anderem eine Beachtung der Entwicklung der Technik angesprochen. Bei der Bestimmung des Standes der Technik sind unter Berücksichtigung der Verhältnismäßigkeit zwischen Aufwand und Nutzen möglicher Maßnahmen sowie des Grundsatzes der Vorsorge und der Vorbeugung, jeweils bezogen auf Anlagen einer bestimmten Art, insbesondere folgende Kriterien zu berücksichtigen. Hierbei erscheinen folgende in der Anlage 1 genannten Kriterien besonders relevant zu sein:

- „1. Einsatz abfallarmer Technologie,
2. Einsatz weniger gefährlicher Stoffe,
4. vergleichbare Verfahren, Vorrichtungen und Betriebsmethoden, die mit Erfolg im Betrieb erprobt wurden,
5. Fortschritte in der Technologie und in den wissenschaftlichen Erkenntnissen,
6. Art, Auswirkungen und Menge der jeweiligen Emissionen,
10. Notwendigkeit, die Gesamtwirkung der Emissionen und die Gefahren für den Menschen und die Umwelt so weit wie möglich zu vermeiden oder zu verringern,
12. Informationen, die von internationalen Organisationen veröffentlicht werden“

Ganz entscheidend ist aber in diesem Zusammenhang die Abwasserverordnung, Anhang 31, in dem nur die Stoßchlorung als zulässig und genehmigungsfähig eingestuft wird. Allein aus dem Anhang 31 lässt sich ableiten, dass ein Dauerbetrieb nicht zulässig und nicht genehmigungsfähig ist. Da die FSRU am LNG-Terminal festliegt und eventuell nur für eine eventuelle Routine-Docking bewegt werden muss, ist die Bewertung der Elektrochlorung anders zu betrachten, als dies für ein fahrendes Schiff der Fall wäre. Wie schon in der vorläufigen Genehmigung angegeben, wurde in den Anträgen und zur Formulierung der Genehmigungsaufgaben nicht nur das WHG, sondern auch das BImSchG herangezogen. Das spricht für die Einschätzung, dass es sich bei der FSRU um eine stationäre Anlage handelt und nicht um ein fahrendes Schiff. Daraus folgt, dass entgegen der Genehmigung die Abwasserverordnung anzuwenden wäre. Aus dem Anhang 31, AbwV folgt somit, dass wenn überhaupt nur eine Stoßchlorung genehmigt werden dürfte.

„Anhang 31

Wasseraufbereitung, Kühlsysteme, Dampferzeugung

A

- **Anwendungsbereich**

(1) Dieser Anhang gilt für Abwasser, dessen Schadstofffracht im Wesentlichen aus

2.

- Kühlsystemen von Kraftwerken und Kühlsystemen zur indirekten Kühlung von industriellen und gewerblichen Prozessen ...

stammt.

B

- **Allgemeine Anforderungen**

(1) Das Abwasser darf folgende Stoffe und Stoffgruppen, die aus dem Einsatz von Betriebs- und Hilfsstoffen stammen, nicht enthalten:

4.

- mikrobizide Wirkstoffe bei der Frischwasserkühlung von Kraftwerken im Durchlauf.

(2) Im Abwasser aus der Frischwasserkühlung von industriellen und gewerblichen Prozessen im Durchlauf oder Ablauf und von Kraftwerken im Ablauf sowie aus der Abflutung von Kühlkreisläufen dürfen mikrobizide Wirkstoffe nur nach Durchführung einer Stoßbehandlung enthalten sein. Davon ausgenommen ist der Einsatz von Wasserstoffperoxid oder Ozon.“

2. Notwendigkeit von Monitoring Verfahren und Bewuchssensoren

Wie oben erwähnt wird bei einer Dosierung von Bioziden und auch bei nicht-bioziden-Bewuchsschutzverfahren ein Monitoring empfohlen. Hierzu werden verschiedene Techniken und Methoden angeboten, die auf dem Markt erhältlich sind und an jede Anlage angepasst werden können (Claudi et al.

2012). Die Monitoring-Verfahren ermöglichen nicht nur den aktuellen Bewuchsdruck, also z.B. einen Larvenfall von Muscheln oder Seepocken festzustellen und entsprechende Bewuchsschutzmaßnahmen einzuleiten oder zu intensivieren. Sie ermöglichen auch eine direkte Überwachung der Wirksamkeit der eingesetzten Biozide in der Anlage oder der Unbedenklichkeit der Ausleitungen aus dem System. Hier könnte ein Muschelmonitor eingesetzt werden, der auf der optischen Beobachtung des Schalenschlusses bei Muscheln basiert (Muscheln reagieren auf toxische Stoffe im Wasser mit Schalenschluss; wenn die Belastung entfällt, öffnen sie die Schalen wieder). Parallel werden auf dem Markt auch Bewuchssensoren angeboten, die an den sensiblen Stellen des Kühlsystems eingebaut werden können und so laufend (online) eine Kontrolle der Bewuchsfreiheit bzw. der Wirksamkeit der laufenden Bewuchsschutzmaßnahmen liefern.

Im Falle der FSRU könnten ohne unzumutbare Kosten und ohne Eingriffe in die Kühlsysteme, in Abschnitten, die besonders sensibel sind, Bewuchssensoren eingebaut werden. Die Biofilmsensoren der Firma LagoTec können von außen an die Rohrsysteme befestigt werden und übermitteln kontinuierlich die Biofilmentwicklung. Hierbei kann bei der Überschreitung eines bestimmten Grenzwerts ein Signal an den Maschinenstand der FSRU gesandt werden. So ließe sich die Elektrolyse je nach Bewuchsdruck, der sehr sensibel über die Biofilmentwicklung zu erfassen ist, steuern und auf den jeweiligen Bedarf minimieren. Hierbei würde sowohl Strom/Treibstoff gespart werden, wie auch die Belastung der Kühl-Systeme mit korrodierenden Halogenen minimiert. In Deutschland besitzt die Firma *inwatec* in Bremen umfangreiche Erfahrungen auf dem Gebiet der sensorgesteuerten Bewuchsverhinderung und könnte für die Installation und kontinuierliche Überwachung beauftragt werden.

Ebenso besitzt die Firma *H2O Biofouling Solutions* in den Niederlanden umfangreiche Erfahrungen mit der Stoßchlorung inklusive eines biologischen und chemischen Monitorings. In den Niederlanden ist eine permanente Chlorung nicht genehmigungsfähig und nur eine Stoßchlorung ist erlaubt. So setzt auch UNIPER im Kraftwerk Maasvlakte seit 25 Jahren eine Stoßchlorung erfolgreich ein. Die Firma besitzt zudem Erfahrungen im Betrieb einer Stoßchlorung auf FSRUs.

3. Notwendigkeit eines biologischen und chemischen Effektmonitorings, Beispiel Italien (ISPRA)

Bei langfristigen Einträgen durch Schadstoffe ist es üblich und häufig durch die erteilten Genehmigungen vorgeschrieben, ein chemisches und biologisches Monitoring durchzuführen, um zu überprüfen, ob bestehende Umweltstandards z.B. nach WHG und/oder WRRL eingehalten werden. Zudem gibt es auch Monitoring-Auflagen unter dem Aspekt, ob bestehende Verwendungsverbote eingehalten werden. Das ist zum Beispiel bei der Überprüfung der Einhaltung des Tributylzinn-Verbots auf Schiffsbeschichtungen der Fall. Daher ist bei Entnahme und Wiedereinleitung der beantragten Seewassermengen unabhängig von einem bioziden oder biozidfreien Bewuchsschutzverfahren ein Monitoring zu fordern und zu etablieren. Allein durch die Schädigung des Planktons in den Pumpen und die Veränderung der hydrologischen biotischen und abiotischen Prozesse auf Grund der entstehenden Temperaturerhöhung ist ein kontinuierliches Monitoring geboten. Da davon ausgegangen wird, dass durch die Einwirkung der Pumpen und vor allem durch den Einsatz des aktiven Chlors alle Planktonorganismen zu 100% abgetötet werden, erscheint es fahrlässig, kein biologisches Monitoring zur Erfassung der Abundanz und Zusammensetzung des Planktons im Jadebusen vorzuschreiben. Bemerkenswerterweise ist dieses z.B. für ein LNG-Terminal mit FSRU vor Ravenna vorgesehen (ARPAE, 2022). In den Empfehlungen werden sowohl die gasförmigen Emissionen als auch die aquatischen Emissionen adressiert, sowohl hinsichtlich kurzfristiger wie langfristiger Auswirkungen.

Konkret wird dort gefordert, die Messungen im Umkreis des Terminals und am Ausfluss der Abwässer zu konkretisieren. Mit konkreten Messungen sollen die Modellrechnung verifiziert und überprüft werden. Entsprechend der Messergebnisse sollen dann die Ausbreitungsmodelle der Realität angepasst werden. Daher wird ein konkreter Plan für die Auswahl der Messstationen und der Parameter gefordert. Hinsichtlich der Sedimentproben sollen die wichtigsten Leitsubstanzen erfasst und spezifiziert werden. Insbesondere werden Di-Brom-Phenol-Verbindungen aufgeführt. Für die Sedimentproben werden Zeitpläne gefordert, die sowohl Probenahme vor der Inbetriebnahme und während des Betriebs umfassen. Vorgeschlagen wird ein 3 – 5-jähriges Monitoring. Für die Überwachung des Wasserkörpers werden chemische und physikalische Parameter sowie die regelmäßige Entnahme von Planktonproben in definierten Abständen zur Einleitung gefordert. Besonderer Wert wird auf die Überprüfung der Effekte auf Fischlarven gelegt, die bisher offenbar nicht vorgesehen ist.

In Niedersachsen besteht zwar schon seit längerem ein Monitoringprogramm zur Überwachung von Schadstoffen in Sedimenten der Übergangs- und Küstengewässer Niedersachsens (NLWKN, 2013), aber dieses erfasst nur Schadstoffe und müsste sowohl hinsichtlich der Probenahmestellen als auch hinsichtlich der zu erfassenden Substanzen modifiziert werden. Ähnliches gilt für die Übergangsbestimmung zur Behandlung von Baggergut in Küstengewässern (GüBag, 2009). In diesen Bestimmungen sind zwar sehr viel mehr Stoffe aufgeführt, die zu analysieren sind und auch biologische Untersuchungen an Benthos-Organismen und Fischen. Aber auch hier sind die wesentlichen Substanzen aus der Elektrolyse von Seewasser, vor allem Bromorganische-Verbindungen nicht enthalten. Die wichtigsten Bromverbindungen sind in Abbildung 3 aufgelistet.

- Chlordioxid und andere Oxidantien (angegeben als Chlor)
- Bromoform (Tribrommethan, H₃Br)
- Dibromessigsäure (DBAA),
- Dibromacetonitril (DBAN),
- 2,4,6-Tribromphenol (2,4,6-TBP)
- Chloroform (Trichlormethan)
- Dichlormethan
- 1,2-Dichlorethan
- Trichlorethylen

Abb. 3: Die in der Genehmigung aufgeführten Chlor- und Bromverbindungen, die durch die Chlorung entstehen

Ein biologisches Effektmonitoring wird in der Regel an sessilen, und daher standorttreuen Benthos-Organismen wie Muscheln und Schnecken, sowie an planktischen Organismen wie Fischen oder Fischlarven durchgeführt. Zur Überwachung von lokalen Effekten eignen sich besonders standorttreue Organismen. Aber auch für weiträumige Effekte können sie genutzt werden. So wird seit 1993 ein biologisches Effektmonitoring auf hormonell aktive Substanzen wie Tributylzinn-Verbindungen an Strandschnecken durchgeführt. Dieses ist ebenso für andere endokrin wirksame Verbindungen wie einige Bromphenole einsetzbar. Bisher liegt dessen

einzigste Station im Jadebusen in Eckwarderhörne, so dass für ein angepasstes Monitoring auch an der Westseite des Jadebusens eine Station einzurichten wäre. Strandschnecken können relativ einfach von Uferschüttungen oder von natürlichen Muschelbänken abgesammelt werden und sind daher ideal für ein biologisches Effektmonitoring.

Im bisherigen Genehmigungsentwurf ist zwar ein engmaschiges chemisches Monitoring vorgesehen, welches sich auf freies Chlor, bzw. die sogenannten TROs, also die vorhandenen oxidativen Substanzen, vornehmlich Bromverbindungen bezieht. Was bisher fehlt ist eine regelmäßige analytische Bestimmung der in Abbildung 3 genannten Stoffe in benthischen Organismen wie Muscheln und Schnecken. Es erscheint mehr als fahrlässig, auf der Basis einer prognostizierten Unbedenklichkeit und nicht zu erwartender biologischer Effekte auf ein biologisches Monitoring zu verzichten. Als Sammelpunkte bieten sich die in der Genehmigung genannten Punkte für die chemische Überwachung ebenso für die biologische Überwachung an. Die in der Genehmigung abgelehnte Probenahme von Muscheln und anderen für den menschlichen Verzehr entnommen Meerestieren durch das Niedersächsische Landesamt für Verbraucherschutz (LAVES) ist ebenso fahrlässig. Das LAVES prüft regelmäßig Fischwaren auf ihre Verzehrbarkeit unter Hygiene- und Rückstandsaspekten. Es ist daher verpflichtend, in Zukunft auch die emittierten Leitverbindungen der Bromnebenprodukte zu analysieren und lebensmittelrechtlich zu bewerten. Andernfalls müsste die Fischerei im Jadebusen ohne eine Überwachung untersagt werden. Hierbei ist anzumerken, dass die Fischerei nicht nur „geduldet“ wird, sondern über ihre Produkte einen sehr verlässlichen Indikator für die Qualität des Gewässers unter ökotoxischen und humantoxischen Aspekten darstellt. Fischereiverbote wie in zahlreichen Industriehäfen sollten und können nicht das Ziel der Genehmigung sein.

4. Risiken halogener Nebenprodukte

In der Antragstellung/Genehmigung wird angegeben, dass am Auslauf der Kühlwasserpipeline eine Konzentration von 0,2 mg/l Chlor zu erwarten sei. Diese Konzentration sei durch die Gesetzgebung abgedeckt und unschädlich. Tatsächlich schädigt eine Chlorkonzentration von 0,2 mg/l Muschellarven (Khalanski & Jenner, 2012; Haque et al. 2014) und wird daher als Bewuchsschutz eingesetzt. Zudem reagieren adulte Muscheln auf eine Konzentration von 0,2 mg/l nicht mit einem Schalenschluss, sondern filtrieren weiter und werden/sollen so langfristig geschädigt werden.

Mit dem elektrolytischen Verfahren auf der FSRU werden drei Funktionen erfüllt: Die Bewuchsverhinderung im Kühlsystem des Schiffes, die Abtötung von Organismen in den Ballastwassertanks und die Bewuchsverhinderung in der Regasifizierungseinheit. Für die Einleitung aus Ballastwasserbehandlungsanlagen mit aktivem Chlor sind wasserrechtliche Erlaubnisse vonnöten und aktuell sind noch Einleitungen von 0,2 mg Chlor/l erlaubt, aber langfristig nur noch 0,1 mg/l. Diesem zukünftigen Grenzwert wird in der Genehmigung Rechnung getragen. Aber es bleibt unverständlich, warum dieser geringere Grenzwert nicht auch für die Kühlsysteme gilt. Zudem werden genehmigungsfähige Konzentrationen im Auslauf von 0,2 mg Chlor/l angegeben. Die hierfür angeführte Quelle der Weltbank sieht aber einen Grenzwert < 0,2 mg vor (World Bank, 2017). Bemerkenswert ist auch, dass z.B. in Katar am Auslauf des LNG-Terminals vor einigen Jahren ein Wert von 0,1 mg/l galt, der mittlerweile auf 0,05 mg/l gesenkt wurde (Bruijs et al. 2008)

Wie in Abbildung 3 dargestellt werden bei der Erzeugung von aktivem Chlor aus Seewasser innerhalb von 10 bis 30 Sekunden die entstandenen Chlorverbindungen in Bromverbindungen umgesetzt (Rajagopal, 2012). Daher werden in der Abbildung nur Bromverbindungen als relevante Stoffe für die atmosphärische und

aquatische Belastung aufgeführt. Offensichtlich wurde die Bedeutung von Bromoform bisher unterschätzt sowohl was den atmosphärischen Eintrag dieses klimaschädlichen Gases betrifft als auch die ökotoxischen Auswirkungen (Quivet et al. 2021). Zudem sind die entstehenden Bromphenole (DBP, TBP) zunehmend hinsichtlich ihrer hormonellen Wirkung untersucht worden. Hierbei stellte sich heraus, dass sowohl eine Interaktion mit der Schilddrüsenfunktion als auch mit den Geschlechtshormonen zu befürchten ist (Hassenklöver et al. 2006; Dai et al. 2022; Michalowicz et al. 2022). Es handelt sich also um endokrin wirksame Stoffe, die schon in sehr geringen Konzentrationen, zumeist im Mikrogramm-Bereich wirksam sind. Daher sollten standorttreue Fischarten, Miesmuscheln und Strandschnecken auf morphologische und histologische Veränderungen untersucht werden. Dieses erscheint notwendig, da auf einer endokrinen Wirkung basierende, langfristige Schädigungen ebenso wie chronisch toxische Effekte für diese Substanzen bisher nicht untersucht wurden (Khalanski & Jenner, 2012). Sie werden auch nicht bei der Europäischen Chemikalienagentur (ECHA) als endokrin wirksam eingestuft, daher müssten allein die wissenschaftlichen Publikationen dazu dienen, ein biologisches Monitoring vorzusehen, welches auch in der Lage ist, potenziell endokrin wirksame Substanzen zu erfassen.

Alternative Bewuchsschutzverfahren

In der Genehmigung werden alternative Bewuchsschutzverfahren ohne ausführliche Begründung abgelehnt. Dies wird als nicht stichhaltig angesehen. Daher werden im Folgenden mehrere Verfahren, die geeignet erscheinen, aufgeführt:

- Pulse-Chlorination/ Stoßchlorung

Wie oben ausgeführt handelt es sich bei der Stoßchlorung um eine von der EU-Kommission anerkannte beste verfügbare Technik, deren Wirksamkeit vielfach nachgewiesen wurde (Katar, Korea, NL, Belgien, Frankreich, s.a. Bruijs et al. 2008). Wenn also weiterhin an der Technologie der Elektrochlorung festgehalten werden soll, ist die Stoßchlorung die „fortschrittlichste“ Technik und wird inzwischen durch die Abwasserverordnung als Stand der Technik eingestuft. Daher ist unverständlich, warum in der Genehmigung nicht gefordert wird, als ersten Schritt diese Technik anzuwenden, um zumindest ca. 50% des Chloreintrags und der entstehen Nebenprodukte zu vermeiden.

- Wasserstoffperoxid/Peressigsäure

Der Einsatz von Peressigsäure aus Wasserstoffperoxid und Essigsäure ist über die Zulassung gemäß der EU-Biozid-Richtlinie für die Produktgruppe 11 abgedeckt. Wasserstoffperoxid und Peressigsäure haben den Vorteil, dass sie keine halogenierten Nebenprodukte im Seewasser erzeugen, aber ähnlich wirksam sind. Sie werden vielfach für Kühlwassersysteme in Chemieparcs, Kraftwerken und Raffinerien eingesetzt. Wasserstoffperoxid wurde allein oder in Verbindung mit Natriumhypochlorit eingesetzt und zeigt eine ausreichende Wirksamkeit (Haque & Kwon, 2017). Ein weiterer Vorteil von Wasserstoffperoxid und Peressigsäure ist die wesentlich geringere korrosive Wirkung im Verhältnis zu Natriumhypochlorit (Rajagopal et al. 2012).

- Elektrolytische Erzeugung von Wasserstoff/Wasserstoffperoxid

Da bei der Elektrolyse des Seewassers zwangsläufig auch Wasserstoff anfällt, gilt die Elektrolyse aus Seewasser auf Schiffen oder Offshore Installationen als Zukunftsperspektive (Bacquart et al. 2021; Hunt & Nascimento, 2021). Obwohl dieses noch keine marktfähige Technologie darstellt, soll sie hier angeführt werden, da dadurch die Möglichkeit besteht, in einem Umwandlungsprozess Wasserstoffperoxid herzustellen

und als Biozid einzusetzen. . Für die zukunftsnahe Entwicklung bieten sich *SIEMENS Energy Berlin*, die *EDF Westküste 100*, *Venteville* und auch *ACG* an, die die Technik der elektrolytischen Gewinnung von Chlor für Kühlsysteme anbieten und die Nutzung von Wasserstoff aus Seewasser prüfen.

- **Ultraschall**

Ultraschallverfahren werden schon seit vielen Jahren für Kühlsysteme auf Schiffen angeboten und konnten nach anfänglichen Rückschlägen in der Wirksamkeit inzwischen deutlich verbessert werden. Die am Markt befindlichen Systeme geben aktuell eine Gewährleistung von 2 – 5 Jahren. Für die „Höegh Esperanza“ hatte die Firma Hasytec vor einigen Jahren ein konkretes Angebot abgegeben, welches aber von der Höegh abgelehnt wurde. Ultraschallverfahren wirken bewuchsverhindernd durch die Erzeugung von Kavitation. Hierbei ist die Art der Kavitation entscheidend, da diese weder materialzerstörend sein darf, noch halogenierte Nebenprodukte erzeugen soll. Beide Anforderungen werden nach Angaben von Hasytec durch ihr System erfüllt, die inzwischen auf über hundert Anwendungen auf sehr unterschiedlichen Schiffstypen verweisen können (www.hasytec.de). Um mögliche Bedenken auszuschließen, sollte auch bei Einsatz eines Ultraschallverfahrens ein chemisches und biologisches Monitoring, wie oben skizziert, vorgesehen werden.

Zusammenfassend könnte folgendes Verfahren angewandt werden: Kurzfristige Umstellung auf Stoßchlorung, wie in der Genehmigung schon angesprochen, mittelfristige Umstellung auf Wasserstoffperoxid als Zudosierung, langfristige Umstellung auf Wasserstoffperoxid aus Elektrolyse oder Umbau auf Ultraschallsystem.

5. Ablehnung Australien, Victoria Environment

In der Genehmigung wird die Ablehnung des Einsatzes der „Höegh Esperanza“ nicht fachlich diskutiert, sondern nur unter dem Aspekt der gesetzmäßigen Relevanz. Festzuhalten bleibt, dass Gesetzgebungen immer einen räumlichen Bezug haben und die australische Gesetzgebung nicht für Deutschland oder die EU relevant ist. Naturgesetze gelten jedoch im Gegensatz universell, sodass es möglich ist, belastbare wissenschaftliche Aussage zu treffen. Daher ist die fehlende fachliche Argumentation in der Genehmigung als schlichte Vermeidung einer Debatte auf wissenschaftlicher Grundlage anzusehen.

6. Neben aspekt, Unterwasserbeschichtung FSRU, genehmigungsbedürftige Reinigung

Da die FSRU an dem LNG-Terminal festliegt, wird es zu erheblichem Bewuchs auch im Unterwasserbereich des Rumpfes kommen. Eine herkömmliche Antifouling-Beschichtung wäre durch ihre Einsatzfähigkeit von maximal 5 Jahren begrenzt. Hierbei stellt sich die Frage, ob die „Höegh Esperanza“ in einem 5-jährigen Intervall auf Grund von Klassifikationsanforderungen gedockt werden muss, um die Sicherheitsanforderungen überprüfen und eventuell nachbessern zu lassen. Alternativ könnte eine biozidfreie Antihaf-Beschichtung eingesetzt werden, die sich nicht auflöst und auch keine Biozide enthält. Diese könnte in regelmäßigen Abständen gereinigt werden, solange die Auflagen wie sie in der Leitlinie für die Bremer Häfen festgelegt sind, von einer qualifizierten Tauchfirma erfüllt werden. Ist dies nicht der Fall würde eine Reinigung nicht den Anforderungen des WHG und der WRRL entsprechen (Schatz, 2012).

Literaturquellen

ARPAE (2022): SNAM FSRU Italia S.r.l. Emergenza Gas - "FSRU-Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti": intervento strategico di pubblica utilità, indifferibile e urgente, finalizzato all'incremento della capacità di rigassificazione nazionale. Procedimento Unico finalizzato, ai sensi dell'art. 5 del D.L. 17 maggio 2022 n.50, dell'art. 46 del D.L. 1° ottobre 2007, n. 159, e della legge n. 241 del 1990 - Richiesta di ulteriori chiarimenti e integrazioni. 6 pg.

Bacquart, T.; Moore, N.; Wilmot, R.; Bartlett, S.; Morris, A.S.O.; Olden, J.; Becker, H.; Aarhaug, T.A.; Germe, S.; Riot, P.; et al. (2021): Hydrogen for Maritime Application—Quality of Hydrogen Generated Onboard Ship by Electrolysis of Purified Seawater. *Processes*, 9, 1252.

Brujjs, M.C.M., Polman, H., Jenner, H.A. (2008): Optimising cooling seawater antifouling strategy by adopting an environmentally friendly BAT-technology. Congress on Marine Fouling and Corrosion, Kobe Japan.

Brujjs, M.C.M., Jenner, H.A. (2012): Cooling water systems in relation to fouling pressure. In: Rajagopal, Jenner, H.A., Venugopalan, V.P. (eds.) Operational and environmental consequences of large industrial cooling systems. Springer, 45 - 64.

Claudi, R., Jenner, H.A., Mackie, G.L. (2012): Monitoring: the underestimated need in macrofouling control. In: Rajagopal, Jenner, H.A., Venugopalan, V.P. (eds.) Operational and environmental consequences of large industrial cooling systems. Springer, 33 - 44.

Dai Z., Zhao F., Li Y., Xu J., Liu Z. (2022): The Environmental Pollutant Bromophenols Interfere with Sulfotransferase that mediates endocrine hormones. *Front. Endocrinol.* 12:814373.

EU-Commission (2001): Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on the application of Best Available Techniques to Industrial Cooling Systems. 335 pp.

GüBag(2009): Übergangsbestimmungen Baggergut Küstengewässer. 39 S.
Heyden, B., Raabe, T., Dürselen, C.D. (2022): Marine Growth Prevention System Wilhelmshaven, *Aqua Ecology*, 63 S.

Halfhide, R. (2020): Significant Ships of 2019. RINA, 86p.

Haque, N., Cho, D., Mee, L.J., Su, L.D., Kwon, S. (2014): Proactive Approach for Biofouling Control: Consequence of Chlorine on the Veliger Larvae of *Mytilus edulis* under Laboratory Condition. *Environ. Eng. Res.* 19(4), 375-380.

Haque, N., Kwon, S. (2017): Assessing the hydrogen peroxide effect along with sodium hypochlorite against marine blue mussels aimed at antifouling Usage. *Environ. Eng. Res.*, 22(1), 108-115.

Hassenklöver, T., Predehl, S., Pilli, J., Ledwolorz, J., Assmann, M., Bickmeyer, U. (2006): Bromophenols, both present in marine organisms and in industrial flame retardants, disturb cellular Ca²⁺ signaling in neuroendocrine cells (PC12). *Aquat. Toxicol.*, 76, 37–45.

Hunt, J. D., Nascimento, A. (2021): Electrolysis ship for green hydrogen production and possible applications. Conference: Int. J. Elect. Electron. Comm. Sci. Paris, France, 15, 1, 1 – 5.

Khalanski, M., Jenner, H.A. (2012): Chlorination chemistry and ecotoxicology of the marine cooling water systems. In: Rajagopal, Jenner, H.A., Venugopalan, V.P. (eds.) Operational and environmental consequences of large industrial cooling systems. Springer, 183 -226.

Macdonald, I.A., Polman, H.J., Jenner, H.A., Quyan, S.Q.B.M. (2012): Pulse-chlorination: Anti-fouling optimization in seawater cooling systems. In: Rajagopal, Jenner, H.A., Venugopalan, V.P. (eds.) Operational and environmental consequences of large industrial cooling systems. Springer, 287 – 302.

Michałowicz, J., Włuka, A., Bukowska, B. (2022): A review on environmental occurrence, toxic effects and transformation of man-made bromophenols. Sci. Total Environ. 811, 152289 – 152305.

NLWKN (2013): Überwachung von Schadstoffen in Sedimenten der Übergangs- und Küstengewässer Niedersachsens. 1 S.

Niedersachsen Ports (2022): LNG Terminal Wilhelmshaven Wasserrechtliches Planfeststellungsverfahren nach § 68 WHG Bericht zu den voraussichtlichen Umweltauswirkungen des Vorhabens (UVP-Bericht), 394 S.

Quivet, E., Höhener, P., Temime-Roussel, B., Dron, J., Revenko, G., Verlande, M., Lebaron, K., Demelas, C., Vassalo, L., Boudenne, J.L. (2021): Underestimation of Anthropogenic Bromoform Released into the Environment? Environ. Sci. Technol. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c05073>

Rajagopal, S. (2012): Chlorination and biofouling control in industrial cooling water systems. In: Rajagopal, Jenner, H.A., Venugopalan, V.P. (eds.) Operational and environmental consequences of large industrial cooling systems. Springer, 163 – 182.

Rajagopal, S. & Jenner, H.A. (2012): Biofouling in cooling water intake systems: Ecological aspects. In: Rajagopal, Jenner, H.A., Venugopalan, V.P. (eds.) Operational and environmental consequences of large industrial cooling systems. Springer, 13 – 32.

Rajagopal, Jenner, H.A., Venugopalan, V.P. (2012): Biofouling control: Alternatives to chlorine. In: Rajagopal, Jenner, H.A., Venugopalan, V.P. (eds.) Operational and environmental consequences of large industrial cooling systems. Springer, 13 – 32.

Schatz, V.J. (2021): Die Unterwasserreinigung von Seeschiffen als Herausforderung für das Gewässerschutzrecht. NuR, 43, 721 – 729.

StALU Vorpommern (2023): Neugenehmigung LNG Terminal Lubmin. Stralsund, 155.S

World Bank Group (2017): ENVIRONMENTAL, HEALTH, AND SAFETY GUIDELINES LIQUEFIED NATURAL GAS FACILITIES April 11, 24pp.