

Ansprengung der EX „Karlsruhe“

Definition eines „Großen Blasenschleiers“ für Sprengungen der WTD 71 im Sperrgebiet *Schönhagen*

itap
INSTITUT FÜR TECHNISCHE UND
ANGEWANDTE PHYSIK GMBH
Messstelle nach §29b BImSchG
für Geräusche

Sitz

itap GmbH
Marie-Curie-Straße 8
26129 Oldenburg

Amtsgericht Oldenburg
HRB: 12 06 97

Kontakt

Telefon (0441) 570 61-0
Fax (0441) 570 61-10
Mail info@itap.de

Geschäftsführer

Dipl. Phys. Hermann Remmers
Dr. Michael A. Bellmann

Bankverbindung

Raiffeisenbank Oldenburg
IBAN:
DE80 2806 0228 0080 0880 00
BIC: GENO DEF1 OLB

Commerzbank AG
IBAN:
DE70 2804 0046 0405 6552 00
BIC: COBA DEFF XXX

USt.-ID.-Nr. DE 181 295 042

Technischer Abschlussbericht

Version 2

Interne Projektnummer: 3587-19
Auftragsnummer: E/E71S/K1354/EF081

Auftraggeber: Bundesrepublik Deutschland
Vertreten durch: Wehrtechnische Dienststelle für Schiffe und Marinewaffen
Maritime Technologie und Forschung
Berliner Straße 115
24340 Eckernförde

Bearbeitung: itap GmbH
Marie-Curie-Str. 8
26129 Oldenburg

Autoren: Dr. Michael A. Bellmann
Patrick Remmers, B. Eng.

27. November 2019

Berichtsumfang: 20 Seiten Text zzgl. 7 Seiten Anhang

Akkreditiertes Prüflaboratorium nach ISO/IEC 17025:

Ermittlung von Geräuschen und Erschütterungen; Lärm am Arbeitsplatz; ausgewählte Verfahren zu Geräuschmessungen an Windenergieanlagen;
Schallabsorption; Maschinenakustik; Unterwasserschall; Modul Immissionsschutz

Änderungsverzeichnis

Version	Datum	Änderung
Version 1	14.11.2019	Erste Version.
Version 2	27.11.2019	Anmerkungen vom AG implementiert; Kostenschätzung für den BBC Einsatz überarbeitet.

Die neueste Version ersetzt alle vorangegangenen Versionen.

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung.....	4
2. Einleitung und Aufgabenstellung.....	7
2.1 Örtliche Gegebenheiten und Projektskizzierung.....	8
2.2 Leistungsanforderungen der WTD 71 für den Einsatz eines „Großen Blasenschleiers“	9
3. Erfahrungen mit einem „Großen Blasenschleier“ (BBC)	11
3.1 Impulsrammverfahren.....	11
3.2 Sprengungen	15
4. Technische Definition eines optimierten „Großen Blasenschleiers“ für die Anspregung im Sperrgebiet <i>Schönhagen</i>	16
5. Literatur	20
6. Anhang.....	21
Anhang 1: Erklärungen	22
Anhang 2: Textliche Vorschläge für eine Ausschreibung des „Großen Blasenschleiers“ für die Anspregung im Sperrgebiet <i>Schönhagen</i>	23
Anhang 3: Kostenschätzung für einen halboffenen „Großen Blasenschleier“	26

Abkürzungsverzeichnis

a. D.	außer Dienst
BBC	Big Bubble Curtain (dt. „Großer Blasenschleier“)
BfN	Bundesamt für Naturschutz (Behörde)
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz (Federal Control of Pollution Act)
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (Behörde)
BMVi	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Behörde)
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Behörde)
BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (Federal Maritime and Hydrographic Agency)
CWW (CWW2015)	Conference on Wind Energy and Wildlife Impacts (2015 in Berlin)
dB	Dezibel
DIN SPEC	Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN), DIN-Spezifikation
et al.	(lat.) und andere (u. a.)
FAD	Free Air Delivery
F&E	Forschung & Entwicklung
FKZ	Förderungskennzeichen
GFB	Gefährdungsbeurteilung
HSD	Hydro Sound Damper
ID	Identity Document
IEC	International Electrotechnical Commission
ISO	Internationale Organisation für Normung / International Organization for Standardization (Int. Org. f. Normung)
itap (GmbH)	Institut für technische und angewandte Physik GmbH
kn	Knoten / knots
$L_{p,pk}$	Zero-to-Peak Level
MSRL	Meeresstrategierichtlinie
NavES	Naturverträgliche Entwicklung auf See (BSH-Forschungsprojekt)
NMS	Noise Mitigation System (Schallschutz/-minderungssystem)
OHSAS	Occupational Health and Safety Assessment Series
OWEA	Offshore Windenergieanlagen
OWP / OWF	Offshore Windpark / Offshore Windfarm
PtJ	Projekträger Jülich (Forschungszentrum Jülich)
RA	Risk Assessment (Risikobewertung)
SEL	Sound Exposure Level
SSS-System	Side Scan Sonar System
WAVE	Waveform Audio File Format
WMS	Work Method Statement
WTD 21	Wehrtechnische Dienststelle 21

1. Zusammenfassung

Die a. D. gestellte Fregatte Ex "Karlsruhe" dient als Erprobungsträger bei Ansprengungen mit unterschiedlicher Sprengkraft im Sperrgebiet *Schönhagen* in der dt. Ostsee innerhalb der 12 Seemeilenzonen des Landes Schleswig-Holstein.

Zum Schutz der Umwelt – insbesondere des Schweinswales – ist es vorgesehen, die durch die Sprengung entstehende Druckwelle (Schockwelle) durch einen „Großen Blasenschleier“ (engl. Big Bubble Curtain – BBC) zur reduzieren. Die *itap – Institut für technische und angewandte Physik GmbH* wurde beauftragt, einen realisierbaren Umsetzungsplan für den „Großen Blasenschleier“ zu entwickeln und dabei einen Anforderungskatalog für die technische Ausschreibung zu definieren. Dabei sollten die definierten Mindestanforderungen der Bundeswehr (Leistungsanforderungen der WTD 71, siehe Kapitel 2.2) an den „Großen Blasenschleier“ und das dafür notwendige Begleitschiff berücksichtigt und eine Schallreduzierung von mindestens 10 dB angestrebt werden.

Diese Studie ergab folgende Resultate:

Allgemein

- Ein „Großer Blasenschleier“ ist das am häufigsten eingesetzte Schallminderungssystem beim Bau von Gründungsstrukturen im Offshore-Windbereich. Zudem existieren aus den vielzähligen Anwendungen und zwei großen F&E-Vorhaben technische Mindestanforderungen, um einen möglichst optimalen einfachen „Großen Blasenschleier“ mit konstanter und maximaler Schallminderung zu gewährleisten. Von einem optimierten einfachen „Großen Blasenschleier“ kann eine Schallminderung von bis zu 15 dB bei Wassertiefen von ca. 25 m und > 10 dB bei Wassertiefen um 40 m bei Impulsrammungen ausgegangen werden (Bellmann *et al.*, 2018).
- Bei Sprengungen wurde ein einfacher „Großer Blasenschleier“ zwar oftmals eingesetzt, aber begleitende Unterwasserschallmessungen wurden bisher nur sehr vereinzelt durchgeführt. Nach bisherigem Kenntnisstand existieren jedoch keine Unterwasserschallmessungen in Anlehnung an die DIN SPEC 45653 (Sprengungen mit und ohne „Großen Blasenschleier“), die eine Quantifizierung der zu erzielenden Schallminderung belastbar erlaubt.
- Ein geschlossener, einfacher „Großer Blasenschleier“ mit einem Radius von mindestens 1.500 m um die Sprengung, um die geplanten Messungen auf der Ex-Fregatte nicht zu stören, ist aus technischer Sicht bezüglich der Anzahl der dazu notwendigen Schiffe und der notwendigen Kompressoren sowie der Schlauchlänge organisatorisch und technisch nicht realisierbar.

Technische Spezifikationen

- Die Anwendung eines (linearen) halboffenen „Großen Blasenschleiers“ ist nach derzeitigem Stand der Technik organisatorisch und technisch für das geplante Vorhaben realisierbar. Dieser halboffene „Große Blasenschleier“ muss die nachfolgenden technischen Mindestanforderungen erfüllen, um eine möglichst optimale Schallminderung basierend auf Erfahrungen aus dem Rammschallbereich zu gewährleisten (eine Schallminderung von 10 dB ist laut Bundeswehr anzustreben und basierend auf Erfahrungen im Rammschallbereich als realistisch einzuschätzen):
 - Es ist ein Mindestabstand zur Sprengstelle von 500 m einzuhalten. Zum einem aus Sicherheitsgründen und zum anderen um die Messungen auf der Ex-Fregatte nicht durch Reflektionen am „Großen Blasenschleier“ zu stören (es wird seitens der WTD 71 empfohlen zu prüfen, ob aus sicherheitstechnischen Belangen ggfs. der Abstand zwischen BBC-Begleitschiff und Sprengung z. B. mittels Zuluftschläuchen vergrößert werden sollte bzw. könnte).
 - Der Blasenschleier soll in einem Halbraum von mindestens 180° verlegt werden, um möglichst eine Abdeckung in nördlicher und östlicher Richtung gewährleisten zu können. Im Vordergrund steht die Abschirmung der Druckwelle in Richtung dänischem Gewässer.
 - Die maximale Düsen Schlauchlänge des einzusetzenden, halboffenen „Großen Blasenschleiers“ sollte möglichst eine Länge von 1.600 m zuzüglich Zuluftschläuche nicht übersteigen. Die Zuluftschläuche sollten dabei keine geplanten Luftaustrittsstellen aufweisen.
 - Die Ballastierung der Düsen schläuche muss von außen erfolgen, es dürfen sich keine turbulenzproduzierenden Hindernisse im Düsen Schlauch befinden.
 - Es ist eine komprimierte Luftmenge von mindestens $0,5 \text{ m}^3/(\text{min} \cdot \text{m})$ zur Verfügung zu stellen.
 - Es dürfen nur Kompressoren eingesetzt werden, die ölfreie komprimierte Luft mit einer Luftqualität Class 0 / ISO 8573-1 gewährleisten.
 - Die Düsen schläuche müssen technisch einwandfrei sein, zudem muss die Möglichkeit der Wartung und Überwachung während der geplanten einwöchigen Einsatzzeit bestehen.
 - Es ist ein Nachweis der Verlegegenauigkeit mittels Side Scan Sonar oder vergleichbarer Technik zu erbringen.
 - Es ist ein Nachweis zu erbringen, dass eine gleichmäßiger, halboffener „Großer Blasenschleier“ hinsichtlich der austretenden Luftmenge eingesetzt wird. Dieser Nachweis kann z. B. mittels Luftbildaufnahme oder Druckmessungen innerhalb des halboffenen „Großen Blasenschleiers“ erfolgen.
- Der BBC-Betreiber hat seine Erfahrungen mit der Anwendung von „Großen Blasenschleiern“ bei Impulsrammverfahren und ggfs. Sprengungen nachzuweisen.
- Der Betrieb des einfachen, halboffenen „Großen Blasenschleiers“ ist bei Strömungen bis 1 kn und einer sign. Wellenhöhe bis 1 m zu gewährleisten.

Im Zuge dieser Studie wurde eine technische Leistungsanforderung für die Ausschreibung des halboffenen „Großen Blasenschleiers“ definiert; Anhang 2. Zudem wurde eine interne Spezifikationsliste mit zusätzlichen Leistungsanforderungen entwickelt, die für eine technische Evaluation durch die WTD 71 der zu erwartenden Angebote für den o. g. halboffenen „Großen Blasenschleier“ hilfreich ist (Kapitel 4).

Im Anhang 3 ist eine grobe Kostenabschätzung der zu erwartenden Kosten für den in dieser Studie definierten halboffenen „Großen Blasenschleier“ zusammengefasst.

2. Einleitung und Aufgabenstellung

Die a. D. gestellte Fregatte Ex "Karlsruhe" dient als Erprobungsträger zur Durchführung von zwei Versuchsreihen:

Versuchsreihe 1 Anspregung zur Untersuchung der Schocksicherheit mit den Schwerpunkten:

- Sicherheit der Besatzung,
- Standkraft bei Schockeinwirkung.

Versuchsreihe 2 zur Waffenwirkungsuntersuchung mit den Schwerpunkten:

- Beschuss,
- Blast.

Bei diesen Versuchen werden Messungen der Schockbelastung an der Schiffsstruktur (Beschleunigungsmessungen, Wegmessungen, Dehnungsmessungen) zur Gewinnung von Messdaten bei hohen Schocklasten durchgeführt. Die gewonnenen Messdaten sollen u. a. zur Validierung von Simulationsprogrammen genutzt werden. Es werden maximal 6 Anspregungen mit ansteigender Schockbelastung durchgeführt.

Die dabei entstehenden Unterwasserschallimmissionen gelten als impulshafte Geräusche im Sinne der Meeresstrategierichtlinie (MSRL, Deskriptor 11.1). Durch die Anspregungen entstehen Schallimmissionen (sogenannte Druckwellen) im Wasserkörper, die potenziell für marine Säugetiere, insbesondere Schweinswale, schädigend sein können (vgl. Lucke *et al.*, 2009). Aus diesem Grund wurde vom Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) auf Grundlage von Vorarbeiten des Umweltbundesamtes (2011) in Abstimmung mit den Naturschutzfachbehörden ein duales Lärmwertkriterium (Lärmschutzwerte) für schallintensive, impulshafte Schalleinträge ins Wasser, wie z. B. Rammschall, in Deutschland festgelegt. Diese Lärmschutzwerte bestehen aus einem Wert für den Einzelereignispegel (L_E bzw. engl. Sound Exposure Level – SEL) von 160 dB_{SEL} und einem Wert für den Spitzenpegel ($L_{p,pk}$; zero-to-peak) von 190 dB_{Lp,pkr}, die jeweils in einer Entfernung von 750 m zur Quelle einzuhalten sind.

Basierend auf Erfahrungen und einer vorliegenden schalltechnischen Prognose (Remmers & Rosemeyer, 2019) ist davon auszugehen, dass das o. g. duale Lärmschutzwertkriterium in der unmittelbaren Umgebung der Anspregungen deutlich überschritten wird. Für den Schutz der Umwelt und insbesondere der Schweinswale wäre die Anwendung eines Schallschutzsystems (hier einfacher „Großer Blasenschleier“) optimal, um die Druckwelle zu reduzieren und die Belastung auf die Umwelt zu minimieren. Insbesondere sollten die Grenzwerte des dualen Lärmschutzwertkriteriums in den im Norden und Osten angrenzenden, dänischen Hoheitsgewässern laut Angaben der WTD 71 zwingend eingehalten werden.

Die *itap – Institut für technische und angewandte Physik GmbH* wurde von der WTD 71 beauftragt, einen schalltechnisch optimalen und realisierbaren einfachen „Großen Blasenschleier“ basierend auf den Erfahrungen aus dem Bereich der Gründung von Fundamentstrukturen im Offshore-

Windbereich mittels Impulsrammverfahren (Rammschall) zu entwickeln und entsprechende Vorgaben (Leistungsanforderungen) für ein Ausschreibungsverfahren zu definieren.

2.1 Örtliche Gegebenheiten und Projektskizzierung

Die Anspregung der Ex-Fregatte „Karlsruhe“ soll in der dt. Ostsee innerhalb der 12 Seemeilenzone des Landes Schleswig-Holstein im Sperrgebiet *Schönhagen* erfolgen; Abbildung 1. Die Wassertiefe in diesem Teil der Ostsee beträgt bis zu 25 m.

Es ist beabsichtigt, Sprengladungen in der Größenordnung von 50 g, 50 kg und 750 kg TNT Äquivalent für die Anspregung zu nutzen. Die Sprengladung wird dabei wenige Meter (ca. 50 m) vor der Fregatte im Wasser gezündet. Die zu erwartenden Pegel sind primär von der Ladungsgröße abhängig (Remmers & Rosemeyer, 2019).

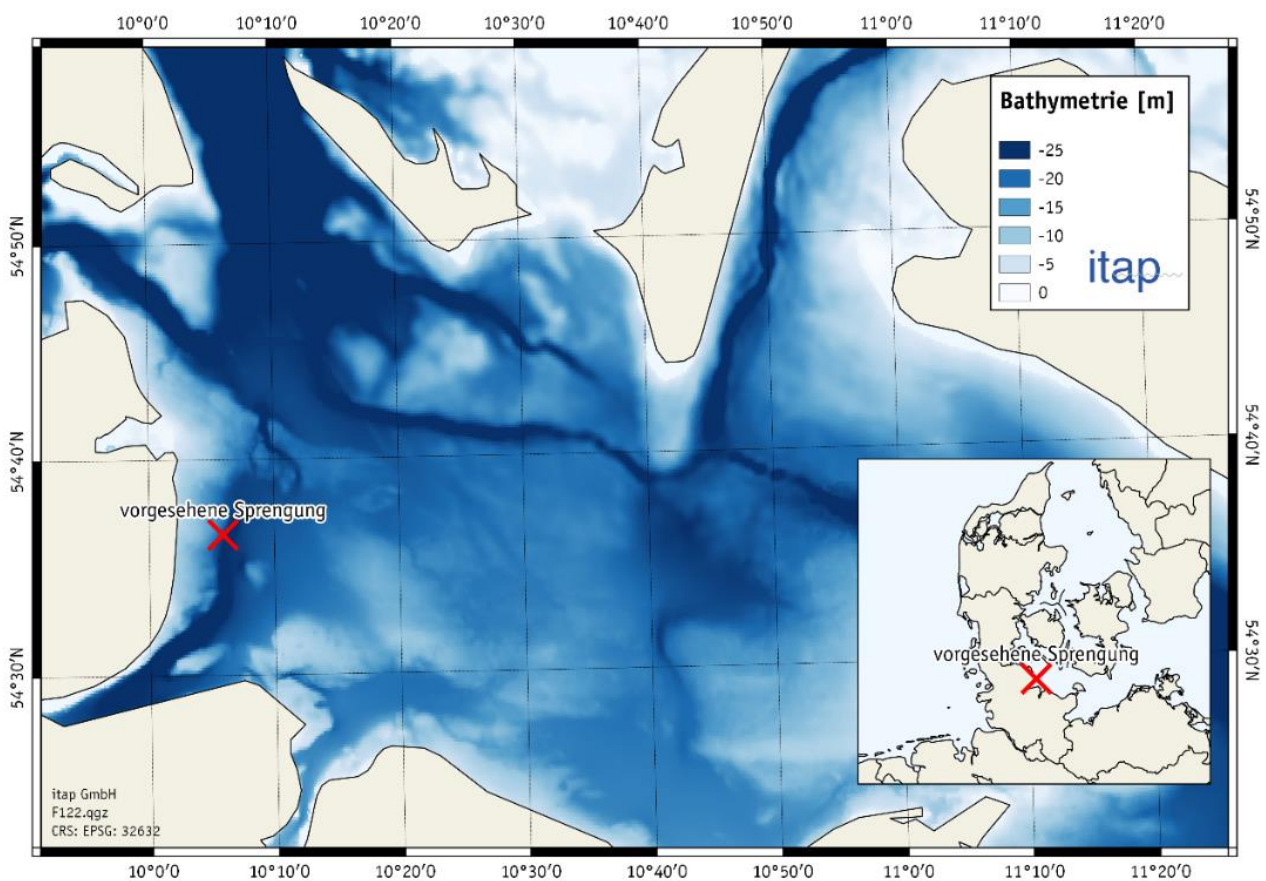


Abbildung 1: Position der vorgesehenen Anspregungen und Bathymetrie (Quelle: EMODnet) in der Umgebung des Vorhabens.

2.2 Leistungsanforderungen der WTD 71 für den Einsatz eines „Großen Blasenschleiers“

Ein geschlossener „Großer Blasenschleier“ (engl. BBC) könnte ggfs. das reflektierte Signal mehr oder weniger fokussiert auf seinen Mittelpunkt zurückreflektieren. Damit diese mögliche gebündelte Reflexion am „Großen Blasenschleier“ die Messungen der WTD 71 auf der Ex-Fregatte nicht beeinflussen oder stören, muss laut der WTD 71 ein zeitlicher Versatz zwischen der primären Druckwelle und der Reflexion von mindestens 2 s liegen. Bei einer angenommenen Schallgeschwindigkeit von ca. 1.500 m/s müsste somit der Radius eines voll umschließenden „Großen Blasenschleiers“ mindestens 1.500 m betragen.

Dies würde zu einer Gesamtschlauchlänge eines geschlossenen runden „Großen Blasenschleiers“ von fast 10 km und einer Unmenge von Kompressoren für die Bereitstellung der komprimierten Luft führen. Zudem wären eine Vielzahl an Schiffen für die Auslegung und für den Betrieb des „Großen Blasenschleiers“ notwendig, was aus Sicht der WTD 71 technisch und logistisch nicht realisierbar wäre.

An dieser Stelle ist anzumerken, dass ein derartiger „Großer Blasenschleier“ bisher auch bei Gründungsarbeiten von Offshore-Windparks noch nie zum Einsatz kam und somit auch keine technischen Erfahrungen mit einem Blasenschleier-System in dieser Größenordnung vorliegen. Um vergleichbare Luftmengen, wie sie derzeit bei der Errichtung von Offshore-Windparks üblich sind, einspeisen zu können, wären ca. 125 Kompressoren notwendig. Eine so hohe Stückzahl von Kompressoren dieser Größenordnung und gleichen Typs ist derzeit am Markt nicht verfügbar. Aus diesem Grund ist die Anwendung eines halboffenen „Großen Blasenschleiers“ die einzige realisierbare Option zur Minderung der Druckwelle.

Darauf basierend hat die WTD 71 folgende „minimale“ Leistungsanforderungen definiert, die bei der Entwicklung und Realisierung eines „Großen Blasenschleiers“ mindestens eingehalten werden müssen und im Rahmen dieser Studie berücksichtigt werden; siehe Anhang 2.

Tabelle 1: Leistungsanforderungen der Bundeswehr (WTD 71) für den Einsatz eines „Großen Blasenschleiers“ bei der Anspregung im Sperrgebiet Schönhagen (Anlage 1 zum Auftrag E/E71S/K1354/EF081).

ID	Leistungsanforderung
1.1	<p>Der Blasenschleier soll eine Transmissionsdämpfung von nominell mindestens 10 dB für den Einzelereignispegel (L_E bzw. SEL) über seine gesamte Länge gewährleisten.</p> <p>Für die nominelle Dämpfung ist von der bei Sprengungen notwendigen guten Wetterlage (Wellenhöhe < 1 m) und Strömung (< 1kn) auszugehen.</p>
1.2	<p>Der Blasenschleier soll nach Möglichkeit diese Transmissionsdämpfung mindestens für einen Halbraum um den Ort der Sprengladung gewährleisten.</p> <p>Sofern es aus technischen Gründen (verfügbare Schlauchlängen, Einspeisewege, Anzahl der notwendigen Schiffe, etc.) nicht möglich ist einen Halbraum (180°) abzuschirmen, ist der mögliche Winkel in Abhängigkeit von den anderen Forderungen zu maximieren.</p> <p>Falls erkennbar wird, dass auch ein vollständig geschlossener „Großer Blasenschleier“ unter den sonstigen Randbedingungen, insbesondere 1.4, möglich ist, ist dies aufzuzeigen.</p>
1.3	<p>Der Blasenschleier ist so auszurichten, dass in Richtung Norden und Osten keine ungedämpfte Ausbreitung der Druckwellen der Sprengungen außerhalb deutscher Hoheitsgewässer erfolgt. Der Blasenschleier soll die Druckwellen der Explosion grundsätzlich in Richtung Westen zur Küste hin reflektieren. In Richtung Süden werden beim Konzept des halboffenen „Großen Blasenschleiers“, in Abhängigkeit vom erreichbaren Winkel (siehe 1.2), voraussichtlich, aber ungedämpfte Ausbreitungsrichtungen hingenommen werden müssen; diese werden mit der Maximierung des Winkels gemäß 1.2 aber minimiert.</p>
1.4	<p>Der Blasenschleier soll nach Möglichkeit von einem Schiff aus aufgebaut und betrieben werden können.</p> <p>Sofern mit einem Schiff die Forderungen nach der Abschirmung eines Halbraumes nicht erreicht werden können, ist zu ermitteln, wie viele Schiffe zur Abschirmung eines Halbraumes benötigt werden.</p>
1.5	<p>Der Blasenschleier soll einen Abstand von 500 m und mehr vom Ort der Sprengladung haben.</p> <p>Dieser Abstand ist zum einen notwendig, um die Positionierung der Schiffe, die in der Umgebung des Messobjektes benötigt werden, nicht zu behindern und zum anderen, um eine ausreichende Dämpfung der reflektierten Druckwelle bei der Rückkehr am Messobjekt zu gewährleisten. Sofern die sonstigen Forderungen es zulassen, kann der Abstand vergrößert werden.</p>
1.6	<p>Das Schiff, von dem aus der Blasenschleier betrieben wird, muss so positioniert sein, dass es durch die Druckwelle der Sprengung nicht gefährdet oder beschädigt wird.</p> <p>Sofern unter 1.4 gezeigt wird, dass mehr als ein Schiff erforderlich ist, um einen Halbraum abzuschirmen, ist die Positionierung der notwendigen Anzahl der Schiffe zu betrachten.</p>
1.7	<p>Für den so definierten Blasenschleier ist der Kostenrahmen für eine einwöchige Messkampagne mit zwei Sprengungen abzuschätzen; ggf. sind Optionen für verschiedene Varianten anzugeben (Bsp. ein Schiff, aber keine Abschirmung des Halbraumes gegenüber mehreren Schiffen mit der Abschirmung eines Halbraumes).</p>

3. Erfahrungen mit einem „Großen Blasenschleier“ (BBC)

3.1 Impulsrammverfahren

Derzeitig werden die meisten Fundamentstrukturen beim Bau von Offshore-Windparks im Impulsrammverfahren im Meeresboden verankert. Dabei treten Einzelereignispegel von bis zu 180 dB und Spitzenpegel von bis zu 210 dB in einer Entfernung vom 750 m zur Quelle (Pfahlrammung) auf (Bellmann *et al.*, 2018). Zur Einhaltung der dualen Lärmschutzwertkriterien des BSH von 160 dB_{SEL} für den Einzelereignispegel und 190 dB_{Lp,pk} für den Spitzenpegel sind somit Schallminderungen von bis zu 20 dB notwendig. Eine derartige Schallminderung ist mit nur einem Schallschutzsystem nach derzeitigem Stand der Technik nicht einmal annähernd erreichbar (Bellmann *et al.*, 2018 & 2015). Im Laufe der letzten 5 Jahre haben sich somit Kombinationen aus einem unabhängigen, pfahlnahen und einem unabhängigen, pfahlfernen Schallschutzsystem inkl. eines schallreduzierten Impulsrammverfahrens durchgesetzt, um die verbindlichen Anforderungen an den Schallschutz zu gewährleisten.

Als pfahlnahe Schallschutzsysteme haben sich der Hydro Sound Damper (HSD) und das Noise Mitigation Screen (IHC-NMS) im realen Baubetrieb etabliert. Diese pfahlnahen Schallminderungssysteme sind jedoch für den Einsatz bei Sprengungen aufgrund ihrer Größe und Auslegung vollkommen ungeeignet. Zudem sind diese Schallschutzsysteme nicht für die hohe physikalische Belastung durch eine Sprengung ausgelegt.

Derzeit ist nur ein „pfahlfernes“ Schallschutzsystem auf dem Markt verfügbar, der „Big Bubble Curtain“ (BBC; dt. „Großer Blasenschleier“). Dieses System ist von mehreren Anbietern am Markt verfügbar. Dieses Schallschutzsystem ist das am häufigsten eingesetzten Schallschutzsystem mit mehreren hundert Anwendungen (> 800 Pfahlinstallationen) in Wassertiefen von wenigen Metern, im Küstenbereich bis hin zu 40 m. Darüber hinaus wurden die Offshore-Anwendung und die Weiterentwicklung von zwei geförderten Forschungsprojekten¹ begleitet (Überblick siehe Bellmann *et al.*, 2018). In der Ostsee wurde bereits „Große Blasenschleier“ bei Sprengungen an der Kabeltrasse der Nordstream 2 Gaspipeline in 70 m erfolgreich eingesetzt; jedoch wurden keine Unterwasserschallmessungen zur Evaluierung der eingesetzten „Großen Blasenschleier“ durchgeführt.

Auf der Grundlage der vorhandenen Daten der Forschungsprojekte und Messdaten aus verschiedenen Offshore-Bauprojekten konnten technische und physikalische Mindestanforderungen an die Anwendung eines einfachen „Großen Blasenschleiers“ entwickelt werden, um eine Lärmreduzierung

¹ www.hydrotschall.de. Forschungsvorhaben Hydroschall-OFF BW (2011-2012). FKZ 325309 gefördert durch PTJ und BMU; Weiterentwicklung „Großer Blasenschleier“ (2013 – 2015). FKZ 325645 gefördert durch PTJ und BMWi.

im zweistelligen Dezibel-Bereich bis in Wassertiefen von 40 m bei Impulsrammarbeiten zu erreichen (Nehls & Bellmann, 2015). Diese Mindestanforderungen wurden im Zuge der Bauvorhaben in den Jahren 2017 bis 2019 in Deutschland nochmals deutlich erweitert. Hintergrund ist, dass in den letzten Jahren der Pfahldurchmesser stetig zugenommen hat und damit auch der Schalleintrag ins Wasser bzw. die Anforderungen an den Schallschutz gestiegen sind. Diese erweiterte Spezifikationsliste wurde im Rahmen der jeweiligen Bauvorhaben entwickelt und ist derzeit noch nicht öffentlich zugänglich. Im Rahmen eines F&E-Vorhabens ist die *itap GmbH* vom Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH)² beauftragt worden, einen sogenannten *Erfahrungsbericht Rammschall* basierend auf allen bisherigen Offshore Windpark (OWP) Vorhaben anonymisiert zu generieren, um sämtliche Erfahrungen aus allen dt. OWP Bauvorhaben hinsichtlich Rammschall und Anwendung projektspezifisch zusammenzustellen und ebenfalls veröffentlichen zu können. Dieser Bericht wird Anfang 2020 erwartet.

Im Nachfolgenden werden somit alle Angaben bezüglich eingesetzter Konfiguration und erzielter Schalldämpfung anonymisiert dargestellt.

Im Falle der Nichteinhaltung dieser technischen und physikalischen Mindestanforderungen konnte bei fertiggestellten Bauprojekten im Offshore-Bereich gezeigt werden, dass die Schallreduzierung erheblich abnimmt und im schlimmsten Fall keine Schallminderung erfolgt (Bellmann, 2018; Nehls & Bellmann, 2015).

Die zu erzielende Schallreduzierung hängt im Wesentlichen von folgenden Faktoren ab:

- (i) verwendete Luftmenge,
- (ii) Lochgröße und Lochabstand,
- (iii) sowie im Falle eines doppelten „Großen Blasenschleiers“ der Abstand zwischen den beiden am Meeresgrund ausgelegten Düsenschläuchen (abhängig von der Strömung und der Wassertiefe),
- (iv) Wassertiefe bzw. statischer Gegendruck³,
- (v) vorhandene Strömung⁴.

² NavES (2015 – 2019) Teilprojekt 3: Erfahrungsbericht Rammschall. FKZ 10036866 gefördert durch BSH und BMVI

³ Mit steigender Wassertiefe steigt der statische Wasserdruck stetig und die resultierende Schallminderung mit demselben BBC nimmt stetig ab.

⁴ Nach Stand der Technik kann ein optimierter „Großer Blasenschleier“ bis zu einer Strömung von ca. 1 kn (entspricht ca. 0,75 m/s) problemlos eingesetzt werden. Größere Strömungen wirken sich negativ auf die Schallminderung in Strömungsrichtung aus.

Es gibt somit einen Zusammenhang zwischen der eingebrachten Luftmenge und der erzielten Schallreduktion.

Darüber hinaus wurde in einem Forschungsprojekt² ein halbempirisches, hydrodynamisches Blasenschleiermodell entwickelt und getestet. Damit kann die Systemkonfiguration eines Blasenschleiers im Voraus auf ein entsprechendes Bauprojekt optimiert werden (Bellmann & Nehls, 2015).

Basierend auf Berechnungen, Messdaten und Erfahrungen mit der Handhabung aus der Praxis von mehr als 800 Pfahlinstallationen müssen die folgenden Anforderungen an die technische Umsetzung eines „Großen Blasenschleiers“ gestellt werden, damit eine optimale Schallminderung erzielt werden kann:

- Lochgröße (Durchmesser) und Lochabstand: 1 – 2 mm alle 20 – 30 cm,
- verwendete Luftmenge: $\geq 0,5 \text{ m}^3/(\text{min} \cdot \text{m})$,
- regelmäßige Wartung der verwendeten Düsenschläuche (d. h. Nachbohren der verfügbaren Lochöffnungen im Düsenschlauch),
- keine turbulenz erzeugenden Hindernisse in den Düsenschläuchen, wie z. B. Ballastketten,
- Abstand der Düsenschläuche:
 - Mindestabstand zwischen Blasenschleier und Rammbaustelle von 30 m bis 40 m; diese Angabe bezieht sich auf den Abstand Quelle zum BBC an der Wasseroberfläche; Aufgrund von Strömung und Verdriftungserscheinungen ist der Abstand auf dem Meeresboden projektspezifisch festzulegen und ist i. d. R. größer,
 - \geq eine Wassertiefe für einen doppelten „Großen Blasenschleier“,
- maximale Düsenschlauchlänge eines einzelnen geschlossenen BBCs ≤ 1.000 m bei zweiseitiger Lufteinspeisung (alternative 500 m bei einseitiger Lufteinspeisung im Falle von halboffenen Blasenschleiern).
- Die Lebensdauer der einzusetzenden Düsenschläuche ist endlich. Das BSH fordert eine maximale Einsatzdauer von 40 Anwendungen pro Düsenschlauch. Basierend auf Erfahrungen kann ein Düsenschlauch jedoch bis zu 100 Mal eingesetzt werden, wenn entsprechende Wartungsarbeiten und Sichtprüfungen regelmäßig erfolgen. Bei zu häufiger

Anwendung eines Düsen Schlauches kann es aufgrund der sehr hohen mechanischen Beanspruchung zu Materialermüdungserscheinungen kommen⁵.

- In einem Forschungsvorhaben² wurden Drucksensoren innerhalb des Düsen Schlauches entwickelt und verbaut. Es zeigt sich, dass mit zunehmender Entfernung zu den Lufteinspeisepunkten sich der innere Druck im Düsen Schlauch erwartungsgemäß reduziert. Es muss mindestens ein Überdruck von 2 – 3 bar im Gegensatz zum statischen Wasserdruck an jeder Luftaustrittsöffnung des Düsen Schlauches vorliegen, um einen gleichmäßigen und optimalen Luftauslass – und damit eine omnidirektional vergleichbare Schallminderung – zu gewährleisten. Zudem zeigten sich bereits Druckverluste zwischen den Kompressoren an Bord des BBC-Begleitschiffes und den am Meeresboden befindlichen Lufteinspeisepunkten. Für eine Wassertiefe von bis zu 40 m ist ein Betriebsdruck der komprimierten Luft von 9 bar bis 10 bar pro Kompressor ausreichend.
- Nach derzeitigen Stand der Technik beträgt der Düsen Schlauchdurchmesser 100 mm. Die Ballastierung ist von außen am Düsen Schlauch zu befestigen (nicht innerhalb). Zurzeit werden auch Versuche mit größeren Durchmessern durchgeführt, um die Luftmenge nochmals deutlich erhöhen zu können. Dies führte bisher bei Testanwendungen zu erheblichen Problemen mit der Ballastierung, die derzeit noch nicht vollständig gelöst werden konnten. Es ist somit anzuraten, einen Durchmesser von 100 mm zu verwenden.
- Die Betriebszustände jedes einzelnen Kompressors müssen regelmäßig dokumentiert werden (aus der Drehzahl und dem Betriebsdruck jedes einzelnen Kompressors ist die komprimierte Gesamtluftmenge (engl. Free Air Delivery – FAD) für den „Großen Blasenschleier“ zu berechnen). I. d. R. nimmt die komprimierte Luftmenge mit dem eingestellten Betriebsdruck am Kompressor leicht ab, so dass für die Gewährleistung von $0,5 \text{ m}^3/(\text{min} \cdot \text{m})$ mehr Kompressoren bei ansteigendem Betriebsdruck notwendig sind.
- Strömungen $\leq 1 \text{ kn}$ bzw. ca. $0,75 \text{ m/s}$. Bei größeren Strömungen nimmt die Schallminderung in Strömungsrichtung erheblich ab.

Bei der Einhaltung dieser Systemkonfigurationen sind Lärmreduktionen für einen optimierten, einfachen „Großen Blasenschleier“ von bis zu 15 dB bei Impulsrammungen bei Wassertiefen von bis zu 30 m zu erwarten (Bellmann, 2018). Der Unterschied zwischen einem einfachen und einem doppelten „Großen Blasenschleier“ mit vergleichbaren Systemkonfigurationen liegt im Durchschnitt

⁵ Düsen Schlauch besteht aus mehreren Materialien und Schichtungen: Abschälung der inneren Gummierung, die Turbulenzen im Düsen Schlauch produziert und den Luftstrom innerhalb des Düsen Schlauches negativ beeinflusst.

3 dB bis 4 dB höher. Anwendungen von vergleichbaren Blasenschleier-Konfigurationen bei Wassertiefen von ca. 40 m, im vorliegenden Fall bis zu 30 m, haben jedoch gezeigt, dass sich wohl aufgrund des statischen Gegendrucks der Wassersäule auf die Luftblasen im Wasser die Lärmreduktion um mehrere Dezibel verringert (ein einfacher, optimierter „Großer Blasenschleier“ erreichte ≥ 10 dB; Bellmann *et al.*, 2018).

3.2 Sprengungen

Es werden regelmäßig Sprengungen von Altmunition aus den Weltkriegen in der Nord- und Ostsee vorgenommen. Schwierigkeiten bei diesen Sprengungen ist, dass das tatsächlich zur Explosion kommende TNT Äquivalent nicht eindeutig bestimmt werden kann. Erschwerend kommt hinzu, dass bei derartigen Sprengungen zumeist nur vollständig geschlossene, einfache „Große Blasenschleier“ zur Anwendung kommen. Außerdem stehen nur sehr wenig Unterwasserschallmessungen zur Beurteilung zur Verfügung⁶, die allesamt außerhalb des Blasenschleiers erfasst wurden. Somit ist aus den wenigen empirischen Daten keine qualitative und quantitative Evaluierung der Schallminderung eines „Großen Blasenschleiers“ möglich. Aufgrund der unterschiedlichen, physikalischen Quellen (Sprengung, Impulsrammverfahren) ist nicht eindeutig, ob die empirischen ermittelten Schallminderungen aus den OWP Bauvorhaben auch genauso bei Sprengungen zu erwarten sind.

Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass sich die relativ geringen Strömungen und Wassertiefen im Vorhabengebiet positiv auf die Schallreduktion des Blasenschleiers auswirken. Um die oben genannten Unsicherheiten entsprechend zu berücksichtigen, wird im Folgenden von einer zu erwartenden Dämpfung von ca. 10 dB ausgegangen (Mindestschallminderung eines optimierten BBC bei Impulsrammungen).

Eine Evaluation des einzusetzenden „Großen Blasenschleiers“ kann im vorliegenden Fall nur durch eine direkte Messanordnung nach DIN SPEC 45653 an einem halboffenen „Großen Blasenschleier“ erfolgen.

⁶ Diese wenigen Messdaten aus der Nord- und Ostsee sind zumeist nicht öffentlich verfügbar. Die *itap GmbH* hat Sprengungen von Altmunition in dt. OWF Bauvorhaben mehrfach durchgeführt.

4. Technische Definition eines optimierten „Großen Blasenschleiers“ für die Anspregung im Sperrgebiet *Schönhagen*

Basierend auf den Mindestanforderungen der WTD 71 (Kapitel 2.2) und den Erfahrungen mit einem „Großen Blasenschleier“ in OWP Bauvorhaben (Kapitel 3.1) und bei Sprengungen (Kapitel 3.2) können folgende Anforderungen an einen einfachen „Großen Blasenschleier“ und an seine technische Umsetzung für das geplante Ansprennen im Sperrgebiet *Schönhagen* definiert werden.

Es ist dabei grundsätzlich zu unterscheiden, welche Anforderungen technischer Art im Rahmen einer Ausschreibung und welche Anforderungen an die technische Umsetzung im Rahmen der Prüfung von vorgelegten Angeboten von BBC-Lieferanten berücksichtigt werden müssen. Hintergrund ist, dass sich in OWP Bauvorhaben herausgestellt hat, dass lediglich die wesentlichen Anforderungen hinsichtlich des „Großen Blasenschleiers“ im Rahmen einer Ausschreibung seitens des Auftraggebers definiert werden sollten, um in keine Haftungs- und Gewährleistungsfragen bei Nichteinhaltung von geforderten Schallminderungen zu gelangen. Die technische Umsetzung hinsichtlich der einzusetzenden Schiffe, der Düsensschläuche, der Kompressoren, etc. sollte dem jeweiligen BBC-Lieferanten überlassen werden.

Im Rahmen der Angebotslegung sollen diese Parameter inkl. einer kompletten Arbeitsanweisung inkl. Gefährdungsbeurteilung seitens des BBC-Herstellers definiert und dokumentiert werden. Bei der Prüfung der Angebote inkl. Arbeitsanweisung und technischen Spezifikationen hinsichtlich Düsen Schlauch, Kompressoren ist dann seitens des Auftraggebers intern eine Spezifikationsliste abzu prüfen.

Mindestanforderungen für die Ausschreibung eines „Großen Blasenschleiers“ für die Anspregung im Sperrgebiet *Schönhagen* befindet sich im Anhang 2.

Bei der technischen Überprüfung durch die WTD 71 der BBC-Angebote sind folgende Punkte zwingend zu überprüfen:

- Mindestabdeckung des Blasenschleiers von mindestens 180 (Halbraum) Richtung Norden und Osten.
- Luftmenge: $0,5 \text{ m}^3 / (\text{min} * \text{m})$ für einen einfachen, halboffenen „Großen Blasenschleier“.
- Angaben zum Kompressortyp hinsichtlich der geforderten Luftqualität.
- Einsatz von ölfreien Kompressoren; Luftqualität: Class 0 / ISO 8573-1. I. d. R. können technisch ölfreie Kompressoren die geforderte Luftqualität nicht liefern bzw. nur mit speziell zertifizierten Zusatzfiltern.
- Es ist ein technisch einwandfreier Einsatz des/der einzusetzenden Düsen Schlauchs/ -schläuche hinsichtlich Luftauslässe, Wassertiefe und Materialbeschaffenheit zu garantieren.
- Ein Testlauf des „Großen Blasenschleiers“ vor der Anwendung bei der Sprengung inkl. Dokumentation sollte gefordert bzw. vom BBC-Lieferanten durchgeführt werden. Dieser

- Punkt ist beim Bau eines OWF Bauvorhabens eine Mindestanforderung seitens der Genehmigungsbehörde BSH.
- Anzahl der Kompressoren inkl. ihres vorgeschlagenen Betriebsdruckes und der angebotenen Düsenschlauchmenge hinsichtlich der geforderten Luftmenge.
 - Bsp. 1: 20 Kompressoren, Betriebsdruck 12,5 bar, Luftmenge pro Kompressor 34 m³/min, Schlauchlänge 1.500 m: Berechnung der Gesamtluftmenge pro laufenden Meter Düsenschlauch:
$$(20 \text{ Kompressoren} * 34 \text{ m}^3/\text{min}) / \text{Düsenschlauchlänge } 1.500 \text{ m} = 0,45 \text{ m}^3(\text{min} * \text{m})$$
 - Bsp. 2: 20 Kompressoren, Betriebsdruck 9,5 bar, Luftmenge pro Kompressor 40 m³/min, Schlauchlänge 1.500 m: Berechnung der Gesamtluftmenge pro laufenden Meter Düsenschlauch:
$$(20 \text{ Kompressoren} * 40 \text{ m}^3/\text{min}) / \text{Düsenschlauchlänge } 1.500 \text{ m} = 0,53 \text{ m}^3(\text{min} * \text{m})$$
 - Längen des vorgeschlagenen Düsenschlauches hinsichtlich einer Mindestabdeckung von 180° (Halbraum) und hinsichtlich einer möglichst nicht konzentrischen Auslegung aufgrund der Reflexion prüfen. Hier empfiehlt sich, eine technische Zeichnung des auszulegenden Düsenschlauches inkl. Längen, Lage des Schiffes und Lage der Lufteinspeisepunkte anzufordern. Es sollte zudem geprüft werden, ob ca. alle 500 m ein Lufteinspeisepunkt eingeplant worden ist.
Ein schematischer, theoretischer Ansatz für eine nicht konzentrische Auslegung eines optimierten, halboffenen „Großen Blasenschleiers“ ist in Abbildung 2 dargestellt.
 - Anzahl und bisherige Einsätze der Düsenschläuche anfordern. Sollten die Düsenschläuche in Wassertiefen bereits eingesetzt worden sein, die von den in diesem Projekt gegebenen Wassertiefen erheblich abweichen, z. B. bereits in 43 m Wassertiefe eingesetzt, so sind technische Nachfragen hinsichtlich der Lochkonfiguration auf die gegebene Wassertiefe zu stellen.
 - Die Erfahrungen des BBC-Lieferanten, des vorgeschlagenen Schiffes inkl. Besatzung ist anhand einer Referenzliste abzufragen.
 - Basierend auf Erfahrungen aus dem Offshore-Bereich ist eine Liegezeit des Düsenschlauches am Meeresgrund ohne Betrieb des BBCs von > eine Woche zu vermeiden, um die Gefahr einer Versandung des Düsenschlauches zu minimieren. Sollte es zu langen Liegezeiten ohne Betrieb kommen, so ist u.U. eine Neuverlegung der Düsenschlauche oder eine umfassende Spülung der Düsenschläuche zwingend erforderlich, um den Luftstrom durch die Düsenschläuche nicht durch Sandeinlagerungen im Düsenschlauch zu behindern.

Hinweis: Eine permanente Auslegung eines Großen Blasenschleiers ist im Bereich von Ölwehren Stand der Technik, jedoch wird dort der BBC permanent betrieben und in regelmäßigen Abständen

sind umfängliche Wartungsarbeiten der verlegten Düsenschläuche notwendig. Eine „permanente“ Verlegung eines Düsenschlauches im Sperrgebiet mit Stationierung der notwendigen Kompressoren an Land für die geplanten und zukünftigen Sprengungen ist aus drei Gründen nicht zielführend:

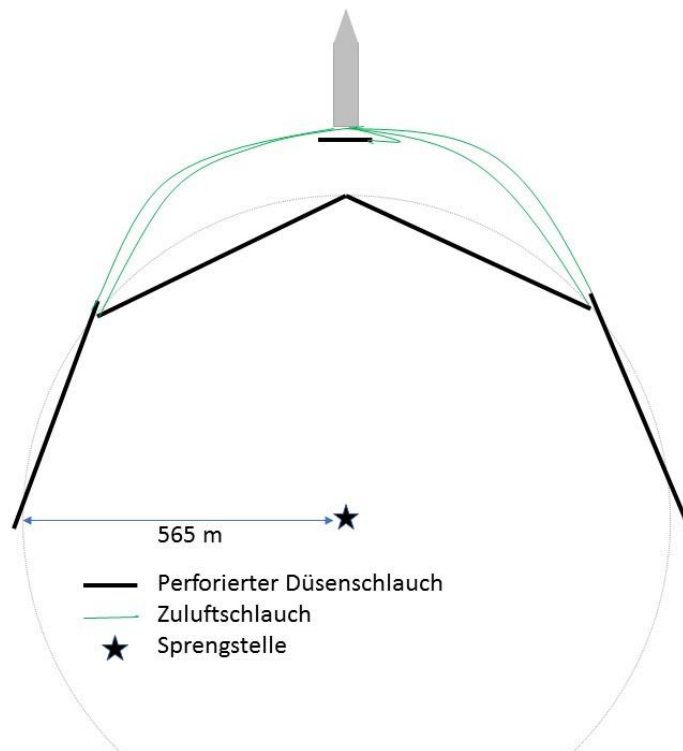
1. Länge der notwendigen Düsenschläuche.
2. Die einzusetzenden Dieseldieselmotoren verbrauchen ca. 100 Liter Diesel pro Stunde. Bei einem Einsatz von 20 Kompressoren ist somit eine dieselführende Versorgungsleitung zu verlegen und die baurechtlichen Anforderungen, wie Brandschutz etc. zu beachten und einzuhalten.
3. Da der Blasenschleier nicht permanent betrieben werden kann, sind vor jeder Sprengung umfängliche Wartungsarbeiten notwendig. Bei einem Einsatz alle paar Wochen oder Monate müssten somit der gesamte Düsenschlauch vor der Sprengung gehoben, gereinigt und wieder verlegt werden.

Der BBC-Hersteller soll einen vollständigen Vorschlag der technischen Umsetzung in einem sogenannten Work Method Statement (WMS, in dt. Arbeitsbeschreibung) inkl. Risk Assessment (RA, dt. Gefährdungsbeurteilung – GFB) darlegen. In diesem Zuge soll der BBC-Lieferant ebenfalls technische Auskunft erteilen, wie er gewährleisten kann, dass die in der technischen Zeichnung dargestellte Verlegung des Düsenschlauches auf dem Meeresboden auch realisiert werden kann. Hier sind folgende Punkte wesentlich:

- (i) Verlegetoleranz und
- (ii) im Falle, dass mehrere Teilsegmente einzeln verlegt werden, dass diese auch überlappend verlegt wurden, um keine Unterbrechungen im „Großen Blasenschleier“ zu haben.

Für (i) die Verlegegenauigkeit kann z. B. ein Side Scan Sonar System eingesetzt werden. I. d. R. ist mit einer Toleranz von ± 20 m zu rechnen.

Für den Punkt (ii) kann ebenfalls ein SSS-System eingesetzt werden. Aus OWP Bauvorhaben hat sich aber der Einsatz einer Drohne (inkl. Kamera) bewährt. Bei einem Testlauf des „Großen Blasenschleiers“ vor der Sprengung können mittels einer Luftaufnahme des Blasenschleiers an der Wasseroberfläche ggfs. existierende Unterbrechungen oder „Schwachstellen“ identifiziert werden. Schwachstellen können durch Nachbohrungen des Düsenschlauches i. d. R. behoben werden. Zudem kann eine Dokumentation der Umdrehungszahlen sämtlicher eingesetzter Kompressoren während des Testlaufs Auskunft darüber geben, ob die max. mögliche Luftmenge angesogen und komprimiert wird oder der Luftwiderstand des eingesetzten Düsenschlauches (aufgrund von zu wenigen Luftauslässen) zu groß ist.

**Technisch realisierbarer Vorschlag:**

- 4 Stk Düsenschlauch a 450 m
(Σ max 1.800 m)
- 21 Kompressoren a 43 m³/min
(entspricht $\sim 0,5$ m³/(min*min))
- Jeder Düsenschlauch erhält einen
einzelnen Zuluftschlauch
- Zusätzlicher kleiner lin. Blasenschleier
zwischen BBC- Begleitschiff und
halboffenem „Großem Blasenschleier“
- Keine konzentrische Verlegung zur
Vermeidung unerwünschter
Reflexionen

Abbildung 2: Theoretischer, realisierbarer Ansatz für eine nicht konzentrische Auslegung eines optimierten, halboffenen „Großen Blasenschleiers“ für die geplanten Sprengungen im Sperrgebiet Schönhagen.

Zum Schutz des einzusetzenden BBC-Begleitschiffes vor der Druckwelle könnte zusätzlich ein kurzer Düsenschlauch dicht am Heck des BBC-Begleitschiffes ausgebracht und betrieben werden.

Zudem sollte der Abstand zwischen dem „Großen Blasenschleier“ und dem BBC-Begleitschiff möglichst maximiert werden. Zuluftschläuche von 200 m sind Stand der Technik.

5. Literatur

- [1] **Bellmann MA, Kühler R, Matuschek R, Müller M, Betke K, Schuckenbrock J, Gündert S und Remmers P (2018)** Noise mitigation during large foundation installations (Monopile L and XL) – Technical options for complying with noise limits, präsentiert auf der Noise Mitigation Konferenz des BfN in Berlin, 22./23. November 2018
- [2] **Bellmann MA., Schuckenbrock J., Gündert S., Müller M., Holst H. & Remmers P. (2015)** Is there a State-of-the-Art to reduce Pile-Driving Noise, proceeding book: Wind Energy and Wildlife Interaction (Presentations from the CWW2015 Conference, Editor Johann Köppel, ISBN978-3-319-51270-9, Springer Verlag, 2015
- [3] **Bellmann, MA. (2014)** Overview of existing Noise Mitigation Systems for reducing Pile-Driving Noise. Proceeding auf der Internoise 2014, Melbourne Australien.
- [4] **BSH (2013)** Offshore-Windparks – Messvorschrift für die quantitative Bestimmung der Wirksamkeit von Schalldämmmaßnahmen. Bericht Nr. M100004/05 erstellt im Rahmen des Forschungsvorhabens „Studie zu Bewertungsansätzen für Unterwasserschallmonitoring im Zusammenhang mit Offshore-Genehmigungsverfahren, Raumordnung und Meeresstrategierahmenrichtlinie“ im Auftrag des Bundesamts für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH).
- [5] **DIN SPEC 45653 (2017)** Hochseewindparks - In-situ-Ermittlung der Einfügdämpfung schallreduzierender Maßnahmen im Unterwasserbereich
- [6] **ISO 8573-1 (2010)** Druckluft - Teil 1: Verunreinigungen und Reinheitsklassen
- [7] **ISO 18406 (2017)** Underwater acoustics - Measurement of radiated underwater sound from percussive pile-driving
- [8] **Lucke K, Siebert U, Lepper P. A. und Blanchet M. A. (2009)** Temporary shift in masked hearing thresholds in a harbor porpoise (*Phocoena phocoena*) after exposure to seismic airgun stimuli. J. Acoust. Soc. Am. 425: 4060–4070.
- [9] **MSRL (2008)** RICHTLINIE 2008/56/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 17. Juni 2008 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Meeresumwelt (Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie)
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0056&from=EN>
- [10] **Nehls G & Bellmann MA (2015)** Weiterentwicklung und Erprobung des „Großen Blasenschleiers“ zur Minderung der Hydroschallemissionen bei Offshore-Rammarbeiten. Gefördert durch PTJ und BMWi, FKZ 0325645A/B/C/D.
- [11] **Remmers P & Rosemeyer M (2019)** Anspengungen der Ex „Karlsruhe“ Schalltechnische Stellungnahme der zu erwartenden Hydroschallimmissionen während der Anspengungen, Bericht der itap GmbH Projekt Nr. 3542, Version 4
- [12] **Umweltbundesamt (2011)** Empfehlung von Lärmschutzwerten bei der Errichtung von Offshore-Windenergieanlagen (OWEA). Information Unterwasserlärm, Umweltbundesamt Berlin

6. Anhang

Anhang 1: (Eigen-) Erklärung

Anhang 2: Textliche Vorschläge für die Ausschreibung eines optimierten, halboffenen „Großen Blasenschleiers“

Anhang 3: Grobe Kostenabschätzung für den Einsatz eines halboffenen „Großen Blasenschleiers“

Anhang 1: Erklärungen

Hiermit erkläre ich, Dr. Michael A. Bellmann, als Geschäftsführer der *itap GmbH*, dass für die Durchführung dieser Studie

- weder Patente noch Gebrauchsmusterschutz oder Vergleichbares bestehend oder beantragt wurden,
- mir keine Patente, Gebrauchsmuster, Schutzrechte o. ä. von Dritten bekannt sind, die in dieser Studie verwendet wurden und nicht namentlich erwähnt wurden,
- gegen keine Rechte Dritter verstoßen wird, die einer uneingeschränkten Nutzung der Ergebnisse durch die Bundesrepublik Deutschland entgegenstehen,
- keine eigene Software entwickelt oder programmiert wurde.

Ich räume der Bundesrepublik Deutschland das unentgeltliche, ausschließliche, uneingeschränkte Recht zur Nutzung dieses Berichtes inkl. Inhalt auf alle bekannten Arten, auch durch Dritte im Auftrag ein.

Anhang 2: Textliche Vorschläge für eine Ausschreibung des „Großen Blasenschleiers“ für die Anspregung im Sperrgebiet *Schönhagen*

1. Einführung / Kurzprojektbeschreibung

Die a. D. gestellte Fregatte Ex "Karlsruhe" dient als Erprobungsträger bei Anspregungen mit unterschiedlicher Sprengkraft im Sperrgebiet Schönhagen in der dt. Ostsee innerhalb der 12 Seemeilenzonen des Landes Schleswig-Holstein.

Die Wassertiefe beträgt in diesem Gebiet bis ca. 30 m.

Für die Sprengungen ist von Wetterrestriktionen von $h_{\text{sign}} \leq 1$ m und einer Strömung von ≤ 1 kn auszugehen.

Die dabei entstehenden Unterwasserschallimmissionen gelten als impulshafte Geräusche im Sinne der Meeresstrategierichtlinie (MSRL, Deskriptor 11.1). Durch die Anspregungen entstehen Schallimmissionen (sogenannte Druckwellen) im Wasserkörper, die potenziell für marine Säugetiere, insbesondere Schweinswale, schädigend sein können (vgl. Lucke *et al.*, 2009).

Für den Schutz der Umwelt und insbesondere der Schweinswale ist die Anwendung eines Schallschutzsystems (hier einfacher „Großer Blasenschleier“) optimal, um die Druckwelle zu reduzieren und die Belastung auf die Umwelt zu minimieren. Insbesondere sollten die im Norden und Osten angrenzenden dänischen Hoheitsgewässer zwingend durch den Einsatz eines „Großen Blasenschleiers“ geschützt werden und möglichst das duale Lärmschutzwertkriterium an der Grenze eingehalten werden.

Sollte eine vollständige Umschließung der Sprengstelle nicht möglich sein, so sind die Auswirkungen in Richtung Süden und Westen aufgrund der Küstennähe tolerierbar.

Aufgrund von geplanten Messungen auf der Ex-Fregatte ist ein Mindestabstand des am Boden befindlichen „Großen Blasenschleiers“ von 500 m gefordert.

2. Abkürzungen und Definitionen

Ist ggfs. zu ergänzen.

3. Angaben zum Auftraggeber

Adresse des Angebotsempfängers: *Ist zu ergänzen.*

Adresse für Rückfragen: *Ist zu ergänzen.*

4. Abgabetermin des Angebots

Angebotsabgabe: *Ist zu ergänzen.*

5. Leistungsumfang

a. Sicherheitsbestimmungen

Ist entsprechend zu ergänzen, wie z. B. Sicherheitsabstände, Anforderungen an Schiff und Besatzung, etc.

b. Dokumentation

- Detaillierter Plan zur technischen Umsetzung/Realisierbarkeit des geforderten Leistungsumfangs inkl. Gefährdungs- und Risikobeurteilung (z. B. Work Method Statement inkl. RA). Dies umschließt mindestens
 - o Liste und Spezifikation des einzusetzenden Materials und Schiffes,
 - o Anzahl der Kompressoren inkl. Typenbezeichnung,
 - o Beschreibung der Düsensschläuche inkl. Liste der bisherigen Einsätze,
 - o Quantität und Qualität der einzusetzenden, komprimierten Luft (möglichst Class 0, ISO 8573-1),
 - o Quantität und Typ des einzusetzenden Treibstoffes,
 - o Deckslayout inkl. Kompressoren,
 - o detaillierter Zeitplan der Mobilisierung, der Auslegung, der Wartung, des Einsatzes und der Demobilisierung, etc.,
 - o Statement zu der Anzahl der notwendigen Schiffe, der Lage des Düsen Schlauches, ggfs. notwendigen Ersatzteile und der Wetterrestriktionen, bevorzugter Mobilisierungshafen,
 - o Darlegung des Arbeits- und Gesundheitsschutzmanagements,
 - o Statement hinsichtlich der technischen Überwachung der Verlegegenauigkeit des Düsen Schlauches auf dem Meeresboden und der technischen Überwachung des eingesetzten „Großen Blasenschleiers“ bzgl. einer gleichbleibenden Schallminderung entlang des Düsen Schlauches.
- Referenzliste.
- Eventuell bestehende Zertifizierungsnachweise hinsichtlich Arbeitsschutzes (z. B. OHSAS 18001 oder Vergleichbares), Qualitätsmanagement (z. B. ISO 9001 oder Vergleichbares) und fachlicher Zusatzkompetenzen.
- Liste von potenziellen Unterauftragnehmern inkl. deren Teilleistungen.

c. Technischer Leistungsumfang

Zum Schutz der Umwelt – insbesondere der Schweinswale – ist der Einsatz eines halboffenen „Großen Blasenschleiers“ geplant. Dieser „Große Blasenschleier“ muss mindestens einen Halbraum (180 m um die Sprengstelle) in einer Mindestentfernung von 500 m gewährleisten. Die Auslegung des „Großen Blasenschleiers“ muss mindestens in Richtung Norden und Osten (siehe Abbildung A) erfolgen, um das dänische Hoheitsgebiet zu schützen. Eine Schallminderung auf der gesamten Länge von 10 dB ist technisch anzustreben; dafür ist eine Mindestluftmenge von $0,5 \text{ m}^3/(\text{min} \cdot \text{m})$ vorzuhalten.

Die Auslegung und der Betrieb eines „Großen Blasenschleiers“ soll die gängigen Anforderungen (Stand der Technik) aus Offshore-Bauvorhaben (Rammschall) erfüllen.

Die Auslegung, die Wartung und der Betrieb des halboffenen „Großen Blasenschleiers“ sollten, wenn technisch realisierbar, mit nur einem Schiff erfolgen. Sollte dies technisch nicht notwendig sein, so ist die Anzahl und die Lage der einzusetzenden Schiffe zu definieren.

Sollte eine Schallminderung von mehr als 180° (Halbraum) in Richtung Norden und Osten technisch zu realisieren sein, so ist dies gesondert als eine mögliche Option inkl. notwendiger Materialien und Schiffe darzustellen.

Es sind entsprechende Vorkehrungen zu treffen, so dass der „Große Blasenschleier“ und das dazugehörige Schiff bei Sprengladungen von bis zu 750 kg TNT Äquivalent nicht zu Schaden kommen.

d. Leistungserbringung

Es ist beabsichtigt, im Mai 2020 2 Stk. Sprengungen innerhalb von 1 Woche durchzuführen.

Es sollte möglichst innerhalb dieser Woche kein Hafenstopp für z. B. Bunkern von Treibstoff oder Besatzungswechsel eingeplant werden.

6. Sonstiges

Platz für weitere Spezifikationen seitens der WTD 71.

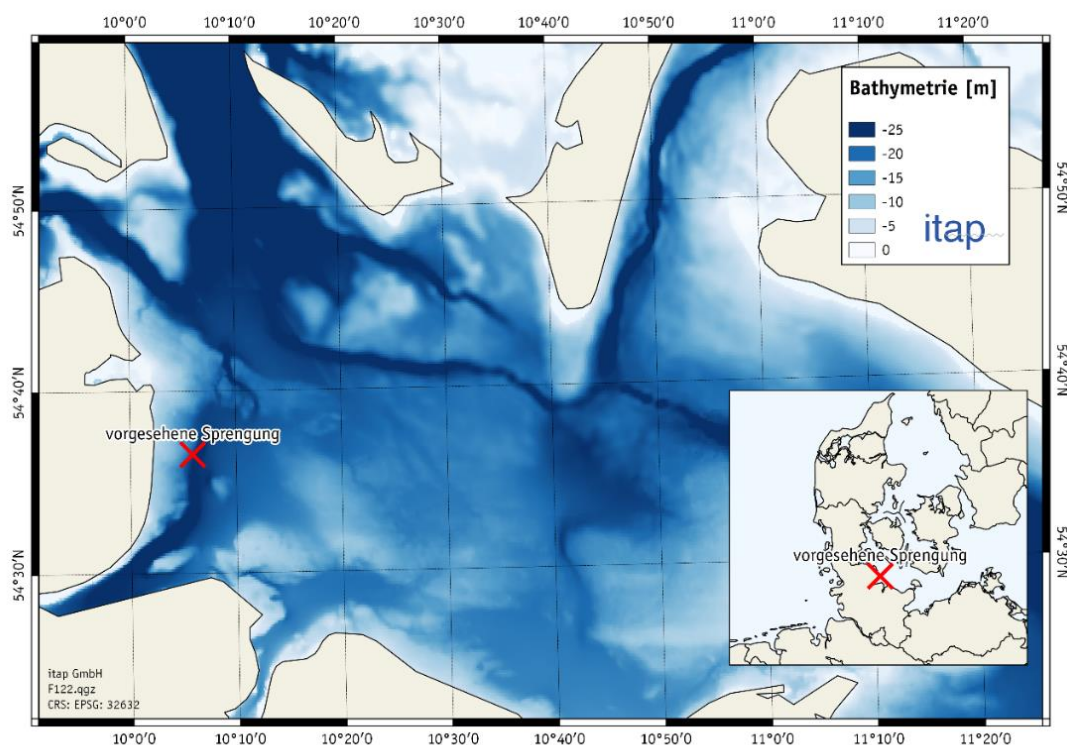


Abbildung A: Lageplan der geplanten Ansprengungen

Anhang 3: Kostenschätzung für einen halboffenen „Großen Blasenschleier“

Zur Realisierung des unter Anhang 2 geforderten, halboffenen Blasenschleiers ist nach derzeitigem Kenntnisstand aus OWP Bauvorhaben mit nachfolgenden Kosten für die Erstellung, die Mobilisierung und die Demobilisierung sowie für den Betrieb zu rechnen:

Möglicher zeitlicher Ablauf:

Vorlauf: Um die Kompressoren und das Schiff sicher einplanen zu können, sollten sie mindestens 2 Monate im Voraus gebucht werden.

Ablauf: Mobilisierung:	1 Woche
Auslegung des BBCs inkl. Tests und Betrieb bei Sprengungen:	bis zu 2 Wochen auf See
Demobilisierung:	1 Woche

Somit wird sich die Projektdauer auf zunächst 28 Tage veranschlagt.

Table A: Kostenschätzung für einen optimierten halboffenen „Großen Blasenschleiers“*¹. Die Angaben sind netto, d.h. zzgl. MwSt.

Nr.	Leistung	Einheit	Geschätzte Anzahl an Einheiten	Kosten pro Einheit in €	Geschätzte Gesamtkosten in €
1	BBC-Begleitschiff	Tagescharter	28	12.000,00	336.000,00
2	Mobilisierung / Demobilisierung* ²	Pauschal	1	150.000,00	150.000,00
3	Kompressor Miete* ³	Tagesrate	22 Kompressoren à 28 Tage	500,00	308.000,00
4	Technische Ausrüstung für den „Großen Blasenschleier“ (Winden, Düsensschläuche, Luftverteilungssystem an Bord, etc.) * ³	Tagesrate	28	8.300,00	232.400,00
5	Treibstoff EN590* ⁴	m ³	200	550,00	110.000,00

*¹ Die Preisangaben sind ohne Gewähr.

*² Mobilisierungs- / Demobilisierungskosten enthalten nicht die Kosten für die Schiffscharter im Hafen und die Kompressoren

*³ Geplant sind 7 Tage für die Auslegung und notwendige Tests etc. auf See, sowie 7 Tage Einsatz für die geplanten 2 Sprengungen

*⁴ Jeder Kompressor verbraucht pro Stunde ca. 100 Liter Diesel. Es ist zu erwarten, dass der Betrieb des BBCs für jede Sprengung nicht mehr als 1 Stunde in Anspruch nimmt. In den 200 m³ ist somit auch der Verbrauch von dem BBC-Begleitschiff mit eingepreist; dieser ist jedoch maßgeblich von den Transportwegen (Basishafen zur Sprengstelle) abhängig und kann variieren.