

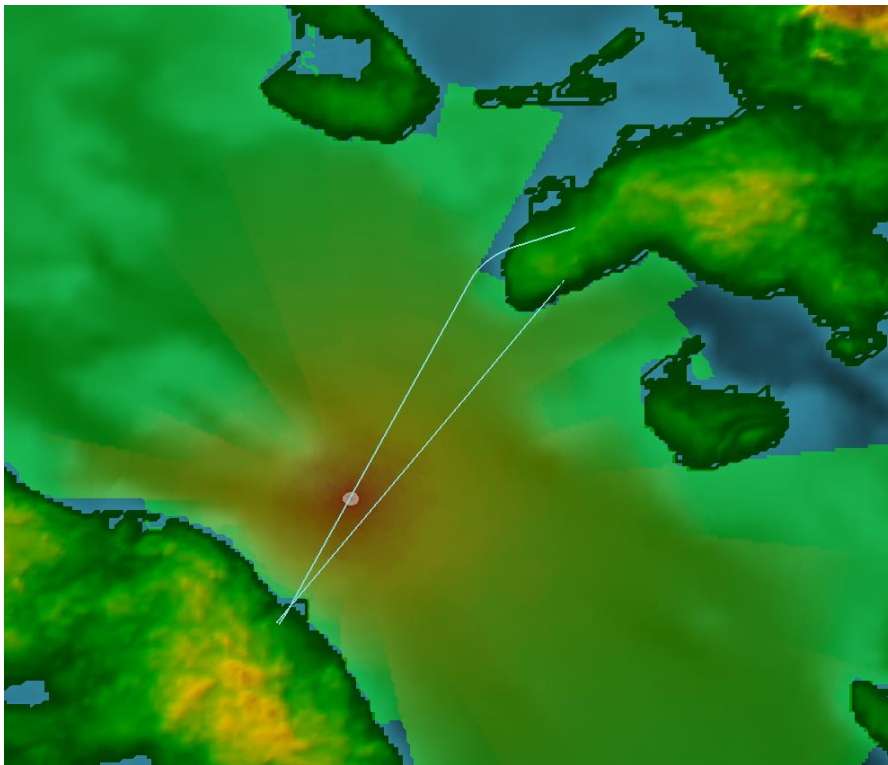
Til
Sund og Bælt

Dokumenttype
Baggrundsrapport

Dato
Februar 2024

Forundersøgelse Als-Fyn forbindelsen

Modellering af undervandsstøj



Forundersøgelse Als-Fyn forbindelsen

Modellering af undervandsstøj

Projekt navn **Als-Fyn forbindelsen, Kyst-Kyst**
Projektnr. **1100052923**
Modtager **Sund og Bælt**
Dokumenttype **Rapport**
Version **4.0**
Dato **28.02.2024**
Udarbejdet af **Andreas Nielsen (ADREN)**
Kontrolleret af **Christopher Maxon (CRIM), Søren Wegner (SEWP)**
Godkendt af **Louise Ditmar Andersen (LUDN)**

Rambøll
Sverigesgade 3 TV
DK-5100 Odense C

T +45 5161 1000
<https://dk.ramboll.com>

Indhold

1.	Indledning	2
2.	Udvalgte scenarier og støjkilder	3
2.1	ALA02 og ALA07 – Broløsnings scenarier	3
2.1.1	Scenarie 1 – etablering af en tør spuncselle tæt ved kysten ved Als og Fyn	5
2.1.2	Scenarie 2 – nedramning af stålørspæle (højt pæleværk)	6
2.2	ALA01 og ALA04 – Sænketunnel scenarier	8
2.3	Støjkilder	10
3.	Undervandslyd	11
4.	Anvendt undervandslyd udbredelsesmodel	12
5.	Grænseværdier for undervandsstøj	13
6.	Undervandsstøjkilder	14
6.1	Afværgetiltag	16
6.1.1	Boblegardiner (BBC)	17
6.1.2	Hydro Sound Damper (HSD)	17
7.	Resultater Broløsning	18
7.1	ALA02 – Broløsning	18
7.2	ALA07 – Broløsning	25
8.	Resultater Sænketunnel	33
9.	Referencer	36
10.	Bilag 1	37
11.	Bilag 2	38
12.	Bilag 3	40

1. Indledning

I forbindelse med en fast forbindelse mellem Als og Fyn (kyst til kyst) er der på tidspunktet for udarbejdelsen af dette notat undersøgt forskellige mulige løsninger, se Figur 1-1. Dette baggrundsnotat er udarbejdet i forbindelse med den miljøfaglige baggrundsrapport for kyst-kyst og beskriver modelleringen af undervandsstøj.

Forundersøgelsesområdet ligger inden for et Natura 2000 område, der blandt andet har marsvin på udpegningsgrundlaget. Der er derfor stor fokus på eventuelle påvirkninger af denne art, der desuden er en såkaldt bilag IV art, og er underlagt et højt beskyttelsesniveau.

Modelleringen inkluderer bestemmelse af påvirkningszoner (afstande) fra nedramnings-/vibreringsaktiviteter, der muligvis udføres i forbindelse med anlægsarbejderne. Påvirkningszonerne er baseret på fastsatte grænseværdier for undervandsstøj, hvor potentiel påvirkning på marsvin kan forekomme.

Formålet med dette baggrundsnotat er at præsentere analysen af det forventede potentielle undervandsstøj. Resultaterne af modelleringerne vil i sidste ende blive benyttet som et værktøj, til at vurdere potentielle påvirkninger af marsvin i området.

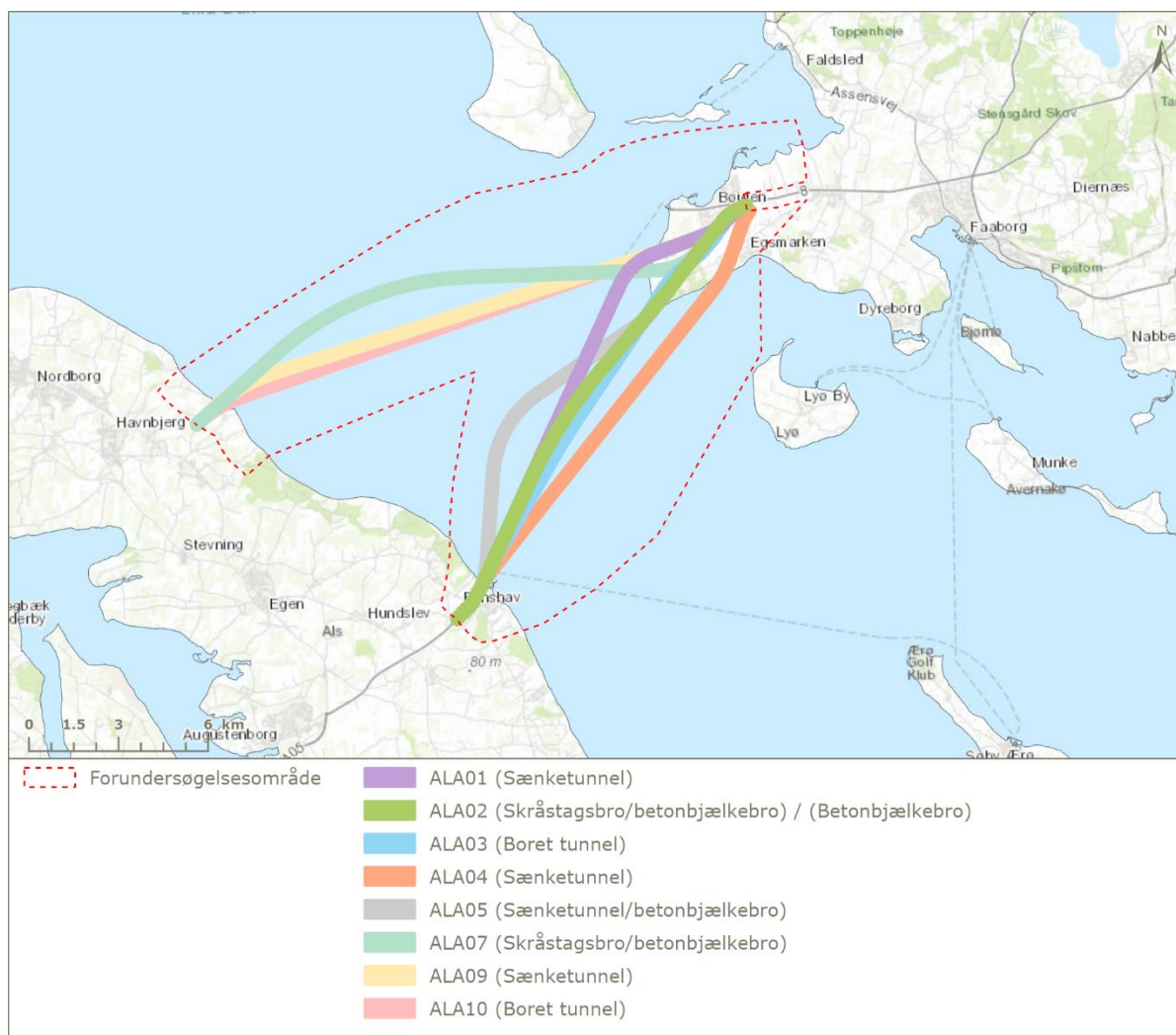
Potentielle påvirkninger på marsvin fra øgede støjniveauer kan forekomme på forskellige niveauer:

- Permanent høreskade (PTS¹)
- Midlertidigt høreskade (TTS²)
- Forstyrrelse af adfærd (evt. fortrængning fra området)

På baggrund af den forholdsvis sparsomme information der foreligger omkring havbunden og geologien i forundersøgelsesområdet, er der i modelopsætningen gjort nogen antagelser omkring disse emner.

¹ PTS: Permanent Threshold Shift = Permanent høretab.

² TTS: Temporary Threshold Shift = Evnen til at høre reduceres midlertidigt.



Figur 1-1: Forundersøgelsesområdet med mulige løsninger på nuværende tidspunkt af undersøgelsen.

2. Udvalgte scenarier og støjkluder

I forbindelse med modelleringen af undervandsstøj, er det besluttet at fokusere på broløsningerne og sænketunnelen, hvor der som udgangspunkt forventes en del rammeaktiviteter - både i forbindelse med kystnære spunsceller og stålrørspæle (højtpæleværk), der danner fundamentet for de enkelte bropiller. For sænketunnelen kan det vise sig at være nødvendigt med rammeaktivitet i forbindelse med jordforstærkning. På nuværende tidspunkt vurderes det anlægsteknisk som en mulighed. Hvis der er brug for jordforstærkning under sænketunnelen vil det være over en 2 km strækning. Dette scenarie er også modelleret.

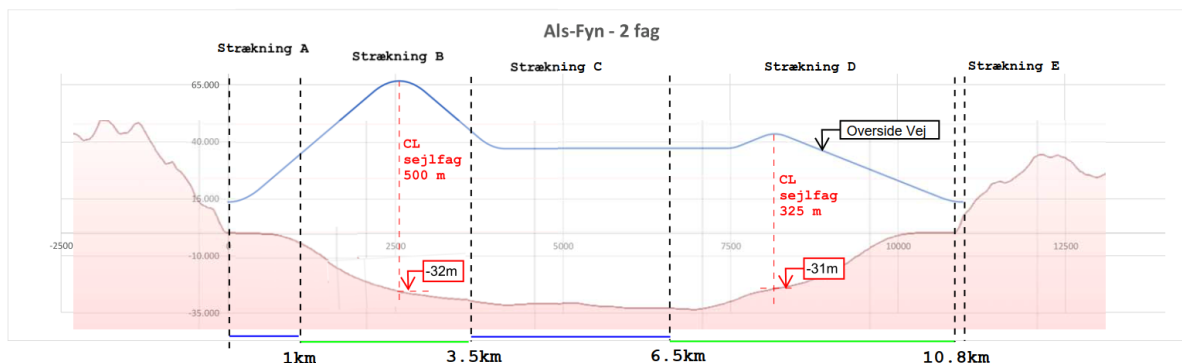
2.1 ALA02 og ALA07 – Broløsnings scenarier

På baggrund af et projektinformationsnotat udarbejdet af Rambøll /1/, er der udvalgt 6 repræsentative lokaliteter, hvor der skal modelleres for støjende aktivitet i forbindelse med anlæg af en bro. De 6 lokaliteter er udvalgt således, at resultaterne kan være repræsentative for hele området – således at de tilnærmelsesvis også kan anvendes for sammenlignelige aktiviteter på nærliggende lokaliteter – og således tilnærmelsesvist repræsenterer hele forundersøgelsesområdet.

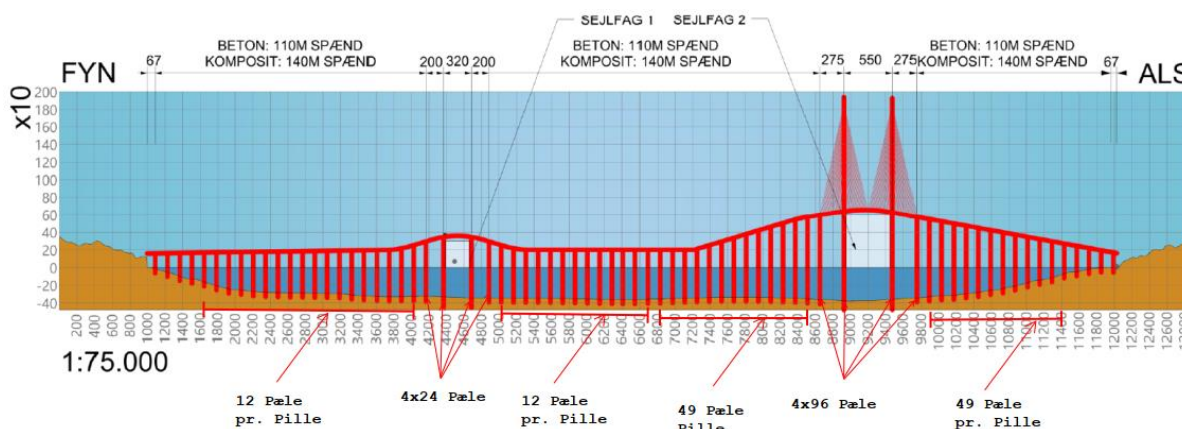
Linjeføringen for broløsningen er inddelt i 5 strækninger baseret på sparsom viden om geologien i området, se Figur 2-1. Figur 2-2 illustrerer en mulig broløsning med angivelse af estimeret antal stålør, der skal nedrammes for hver bropille. Figur 2-3 illustrerer et eksempel med 24 stålørspæle til understøttelse af én bropille (højtpæleværk).

Standard afstand mellem bropillerne er 110 meter. Afstand og dimensioner af bropiller omkring de to planlagte gennemsejlingsfag er større. På nuværende tidspunkt vurderes det, at en broløsning vil omfatte følgende funderingsmetoder:

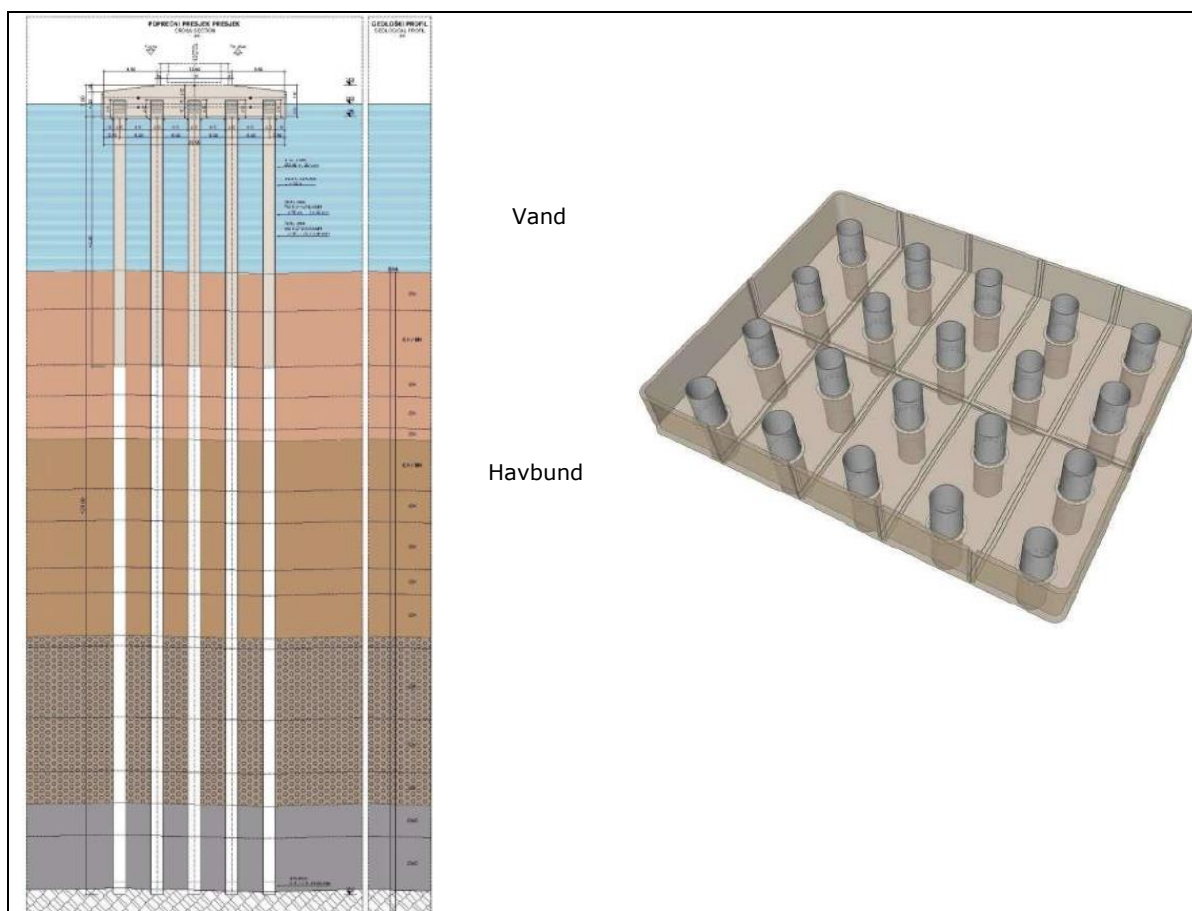
1. Kystnært ved Als (strækning A, se Figur 2-1) forventes det, at der skal etableres en tør spunscelle for hver af de første 4 bropiller grundet den lave vanddybde – hvor skibe ikke kan komme ind og pælefundere/støbe.
2. Direkte fundering (ingen pæle) – forventes at være muligt på dele af strækning A (se Figur 2-1).
3. Højt pæleværk – forventes på dele af strækning A, på strækning B, C og dele af strækning D (se Figur 2-2) enten i form af borede betonpæle eller rammede stålørspæle, eller en kombination af disse.
4. Kystnært ved Fyn (strækning E) forventes der - ligesom kystnært Als - at der er behov for, at der skal etableres en tør spunscelle for hver af de første 3 bropiller grundet den lave vanddybde – hvor skib ikke komme ind og pælefundere/støbe.



Figur 2-1: Skitsetegning af en mulig broløsning. Linjeføringen for broløsningen er inddelt i 5 strækninger (A-E) baseret på sparsom viden om geologien i området.



Figur 2-2: Estimeret antal stålørspæle under hver bropille – scenarie = Skråstagsbro.



Figur 2-3: Illustration af et høje pæleværk med in situ støbt base. Her et eksempel med 20 stålørspæle til en bropille. Det antages, at det tager 5 timer at ramme én stålørspæl – et fartøj kan ramme to 2 stålørspæle i døgnet.

2.1.1 Scenarie 1 – etablering af en tør spuncelle tæt ved kysten ved Als og Fyn

Nærmest land ved både Als og Fyn forventes det, at broen kan funderes direkte på intakte glaciale aflejringer. Dette betyder, at der ikke skal installeres pæle. Nærmest land vil fundamenter og pille-skafterne sandsynligvis skulle etableres som in situ støbte konstruktioner. Dette betyder, at der skal etableres en vandtæt og tør spuncelle (kofferdam). Det vurderes, at det tager ca. 3 døgn at installeres én spuncelle. Ramme- og/eller vibrationsarbejdet vurderes at kunne udføres på ca. 25 timer. Der vurderes at være behov for 4 spunceller ved Als (én for hver af de første 4 bropiller) – og 3 spunceller ved Fyn (én for hver af de første 3 bropiller). Den yderste spuncelle modelleres som repræsentant for disse kystnære lokaliteter.

De 2 lokaliteter hvor der modelleres for nedramning og/eller nedvibrering af spuns fremgår af Tabel 2-1, Figur 2-4 og Figur 2-5.

Tabel 2-1: Oversigt af anlægsaktivitet i forholdt til modelleringspunkterne for scenarie 1.

Scenarie 1 (se Figur 2-4 og Figur 2-5)	Lokalitet (se Figur 2-1)
A: Tør spunscele (kofferdam)	Kystnært ved Als – den yderste spunscele etableres omkring 450 meter fra kysten.
B: Tør spunscele (kofferdam)	Kystnært ved Fyn – den yderste spunscele etableres omkring 350 meter fra kysten.

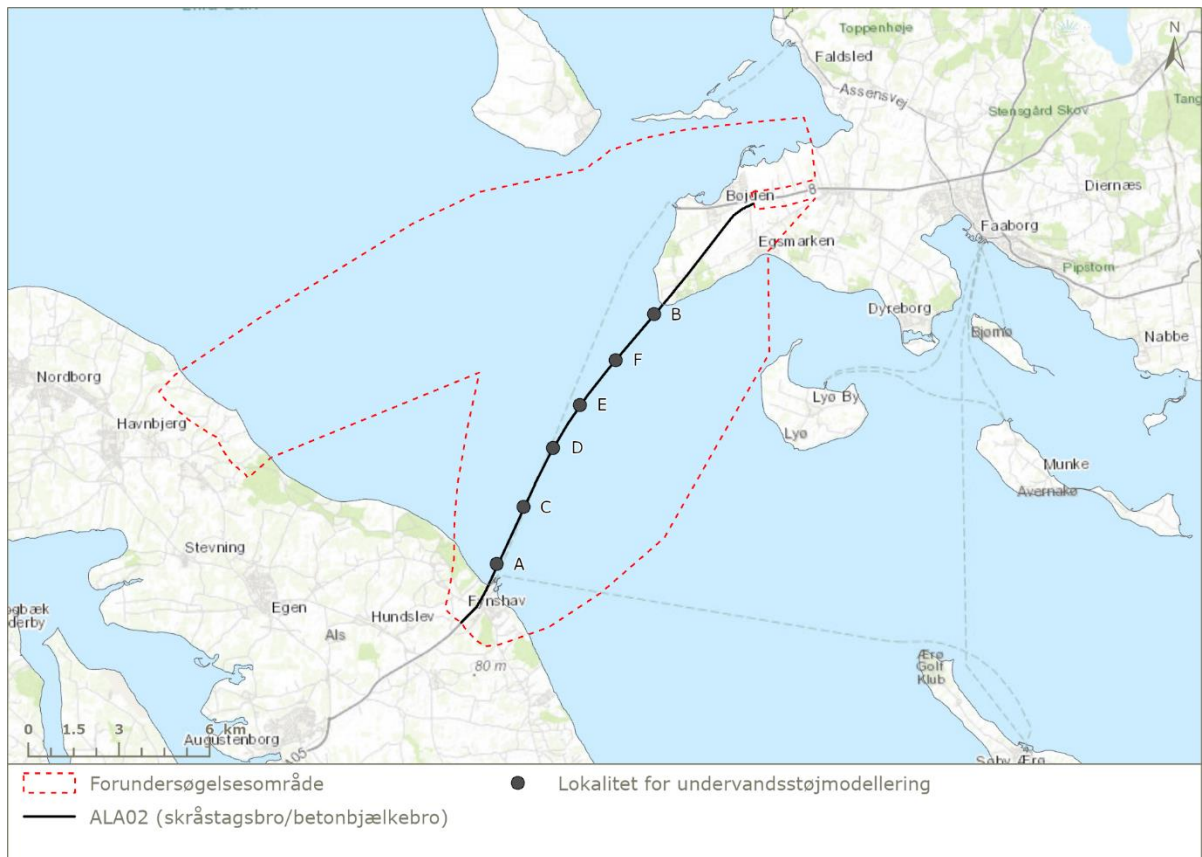
2.1.2 Scenarie 2 – nedramning af stålørspæle (højt pæleværk)

Hvor vanddybden er mere end 15 m ved strækning B, C og D, (Figur 2-1) forventes det, at broens underbygning kommer til at bestå af enten borede betonpæle, rammede stålørspæle eller nedvibrerede stålørspæle, eller en kombination af disse, begge med diameter på 1.8 – 2.2 meter. Information om jordbundsforholdene langs de valgt linjeføringer er på nuværende tidspunkt meget begrænset, så derfor er det ikke muligt endeligt at bestemme hvilken funderingsmetoder der er mest optimal, udførelsesmæssigt, økonomisk eller miljømæssigt. På den vestlige del af ALA02 linjeføringen og østlige del af ALA07 linjeføringen, hvor der træffes bløde marine havbundsaflejringer (gytje) underlejeret af op til 30 m postglaciale sandaflejringer, må det forventes, at der installeres stålør enten som permanente pæle eller casing for borede pæle. Stålørspæle/casing antages installeret med vibrator og/eller nedramning. På den østlige del af ALA02 linjeføringen eller vestlige del af ALA07 linjeføringen forventes det, at bæredygtige aflejringer træffes ca. 10 m under eksisterende havbund. Her antages det, at pælene installeres som borede betonpæle, dog med stål casing fra intakte aflejringer til vandoverfladen. Som en worst-case tilgang antages det, at der skal nedrammes stålørspæle på alle lokaliteter (borede betonpæle kan være et alternativt – dette larmer væsentligt mindre). Det antages, at det tager 5 timer at ramme én stålørspæl. Der kan installeres ca. 2 stålørspæle/casing pr. døgn - pr. rammefartøj.

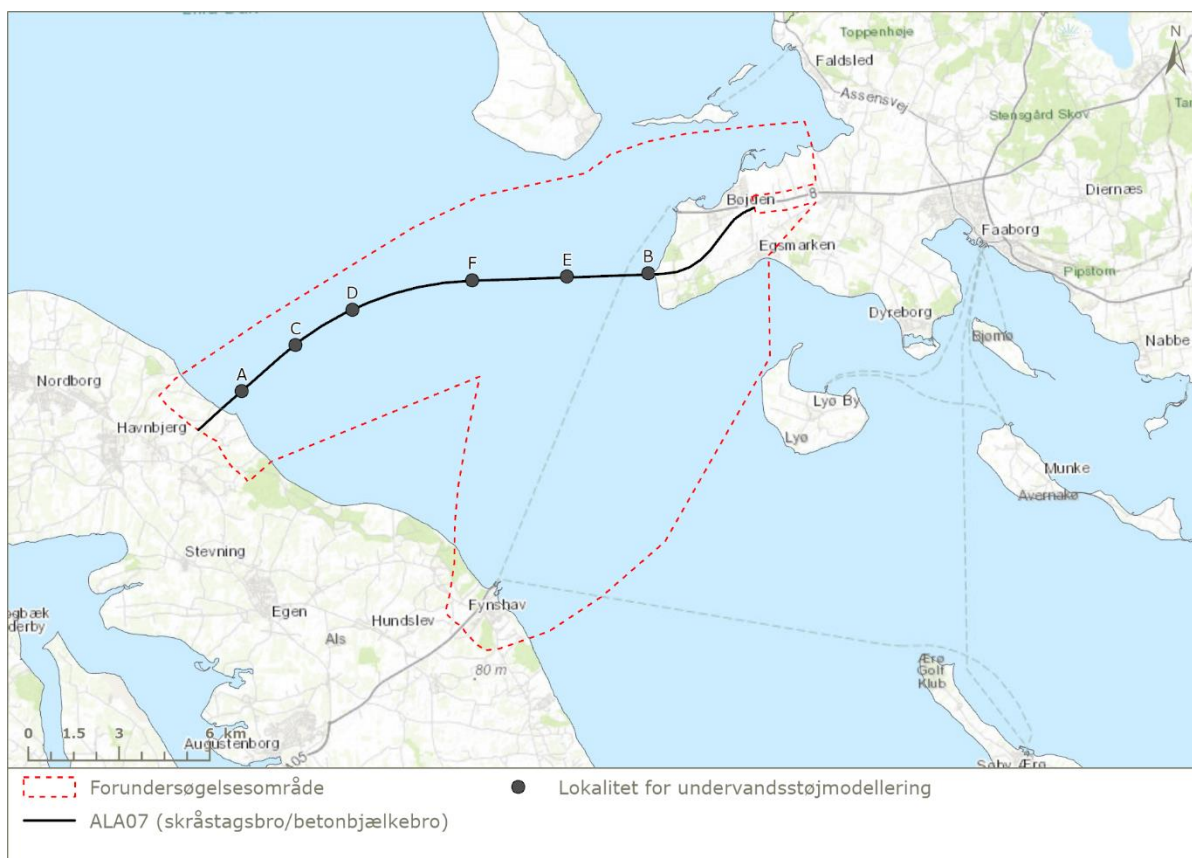
Der er udvalgt 4 lokaliteter hvor der modelleres for nedramning og/eller nedvibrering af stålørspæle. De 4 lokaliteter er valgt således, at der dækkes forskellige vanddybder og geologi. De 4 lokaliteter fremgår af Tabel 2-2, Figur 2-4 og Figur 2-5.

Tabel 2-2: Oversigt af anlægsaktivitet i forholdt til modelleringspunkterne for scenarie 2.

Scenarie 2 (se Figur 2-4 og Figur 2-5)	Lokalitet (se Figur 2-1)
C: Fundering under bropille	Strækning B
D: Fundering under bropille	Strækning B
E: Fundering under bropille	Strækning C
F: Fundering under bropille	Strækning D



Figur 2-4: Udvalgte lokaliteter for undervandsstøjmodelleringen af ALA02. De to kystnære punkter (A og B) modelleres for nedramning af spuns til spuncsceller. De fire punkter C-F modelleres for nedramning af stålrør (højtpæleværk) til fundamenter for bropiller.

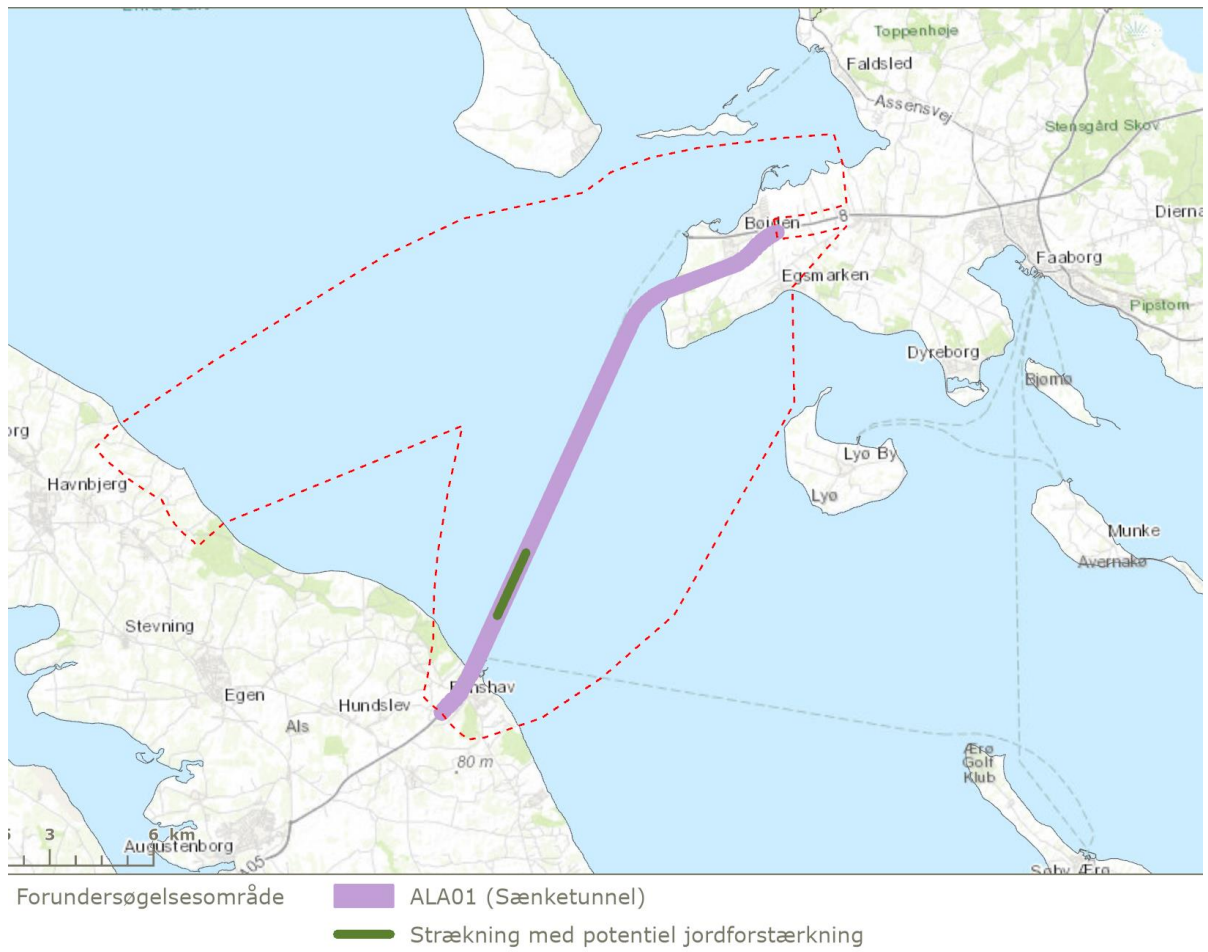


Figur 2-5: Udvalgte lokaliteter for undervandsstøjmodelleringen af ALA07. De to kystnære punkter (A og B) modelleres for nedramning af spuns til spuncsceller. De fire punkter C-F modelleres for nedramning af stålrør (højtpæleværk) til fundamenter for bropiller.

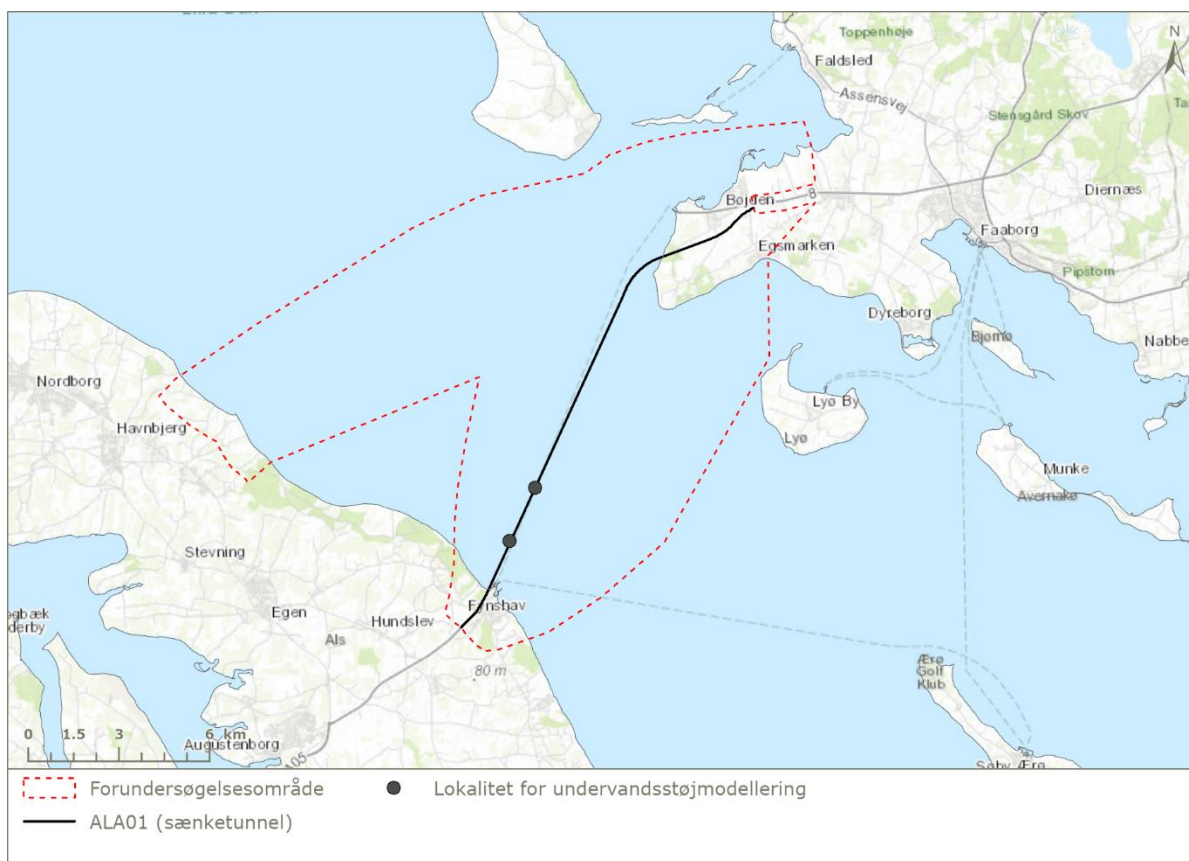
2.2 ALA01 og ALA04 – Sænketunnel scenarier

På baggrund af et projektinformationsnotat udarbejdet af Rambøll /1/, er der en 2 km strækning, hvor der potentielt skal jordforstærkes under sænketunnelen. Dette scenarie er derfor modelleret. Denne 2 km strækning bliver inddelt som 4 dele af 500 meter strækning, hvor der kan befinde sig det nødvendige antal rammefartøjer, se Figur 2-6, Figur 2-8 og Figur 2-8.

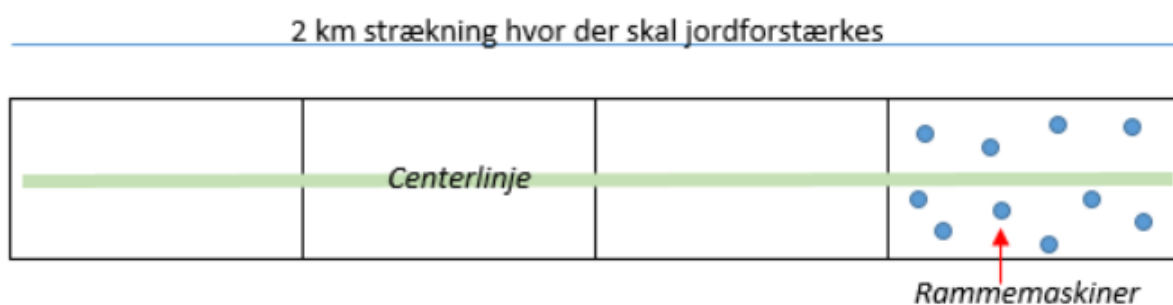
Der modelleres for den nordlige sænketunnel. Det antages, at en 500 meter sektioner kan rumme 10 rammefartøjer, til at nedramme jordforstærkende beton pæle. Beton pælene har en dimension på 0,4 m x 0,4 m x 12 m, og der skal i alt rammes omkring 25.300 pæle. Det antages, at der skal rammes 60 pr. dag, og at hvert fartøj kan ramme 4-6 pæle pr. dag.



Figur 2-6: Lokalteten af den 2 km strækning på de sænk tunnel, hvor der muligvis skal jordforstærkes.



Figur 2-7: Lokalitet hvor der placeres kilder og modelleres undervandsstøj for sænketunnelen der skal potentielt jordforstærkes.



Figur 2-8: Grov skitse over strækningen delt op i 500 meter sektioner, hvor rammefartøjer befinder sig i denne 500 meter lange korridor. Det forventes at der kan være 10 rammefartøjer inden for de 500 meter.

2.3 Støjkilder

Aktiviteter i forbindelse med anlæg af en Als-Fyn forbindelse kan forårsage undervandslyd og vibrationer af varierende frekvenser og intensiteter. Baseret på informationer om en Als-Fyn forbindelses sandsynlige anlægsaktiviteter /1/, er det vurderet at følgende aktiviteter kan give anledning til undervandsstøj:

- Nedramning og/eller nedvibrering af stålplæ: I forbindelse med en broløsning vil der forekomme nedramning/nedvibrering af stålrør med en diameter på 2,2 meter. Nedramning

af stålrør giver anledning til impulsstøj, nedvibrering af stålrørspæle giver anledning til kontinuert støj (se Kapitel 6).

- Nedramning og/eller nedvibrering af spunsvæg: I forbindelse med broløsning vil der også forekomme nedramning/nedvibrering af spunsselementer nær kysten, både ved Als og Fyn. Nedramning af spunsvæg giver anledning til impulsstøj, nedvibrering af spunsvægge giver anledning til kontinuert støj (se Kapitel 6).
- Nedramning af betonpæle: I forbindelse med sænketunnelen vil der muligvis forekomme nedramning af betonpæle i forbindelse med eventuel jordforstærkning under sænketunnelen på lokaliteter hvor sedimentforholdene kræver dette. Betonpælene antages at have en dimension på 0,4 m x 0,4 m x 12 m. Her forudsættes at nedramning sker ved hjælp af et forlængerstykke til hammeren i stål. Nedramning af betonpæle med forlænger giver anledning til impulsstøj, nedvibrering af betonpæle giver anledning til kontinuert støj (se Kapitel 6).

3. Undervandslyd

Lyd bevæger sig med forskellig hastighed i forskellige medier. Lydens hastighed bestemmes af densiteten og komprimerbarheden af mediet. Densitet er mængden af materiale i et givet volumen, og kompressibilitet er et mål for, hvor meget et stof kan komprimeres til et givet tryk. Jo tættere og jo mere komprimerbar, jo langsommere vil lydbølgerne bevæge sig. Vand er meget tættere end luft, men da det næsten er ukomprimerbart, er lydens hastighed ca. fire gange hurtigere i vand end i luft. Lydens hastighed kan også blive påvirket af temperaturen. Lydbølger har tendens til at rejse hurtigere ved højere temperaturer.

Undervandslyd kan måles som en ændring i tryk og beskrives som lydtryk og kan måles med en trykfølsom enhed (hydrofon).

På grund af lydens store trykamplituder er det praktisk at bruge en decibel (dB) logaritmisk skala til at kvantificere trykniveauer. Lydtrykniveauet under vand i decibel (dB) er defineret i følgende ligning:

$$\text{Lydtrykniveau (SPL)} = 20 \cdot \log_{10} (P / P_0)$$

P er trykket og P_0 er referencetrykket. Referencetrykket er 1 mikropascal (μPa) for undervandslyd, som er forskellig for lydtrykniveauer i luften. Af denne grund kan lydtrykniveauer i vand og luft ikke sammenlignes direkte.

Undervandslydniveauer varierer i overensstemmelse med lydkildens frekvensspektrum og akustiske miljøforhold og kan defineres med hensyn til eksponering, gennemsnit og/eller maksimale niveauer.

Følgende nøgleudtryk bruges i dette dokument:

- Sound Pressure Level (SPL) - dette kvantificerer størrelsen af et lydtryk i et givet punkt, dvs. hvor høj den er og måles i decibel (dB). Som en relativ enhed anvendes dB i forhold til 1 mikropascal i undersøiske studier (dB re. 1 μPa).
- Lydeksponeringsniveau (SEL) - dette er et decibel mål for at beskrive, hvor meget lydenergi en receptor (f.eks. et marsvin) har modtaget fra en begivenhed og normaliseres til et

interval på et sekund (enhed i dB re. 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$). Det kan betragtes som et logaritmisk mål for lydeksponering, og derfor svarer en stigning på 3 dB i SEL til en fordobling af lydenergien; dB re. 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$.

- Kumulativ lydeksponering (SEL_{cum}) - dette er tidsintegralet af det kvadratiske tryk over varigheden af en lyd eller en række lyde. Det gør det muligt at karakterisere lyde af forskellig varighed og niveau med hensyn til total lydenergi normaliseret til et interval på et sekund (enhed i dB re. Pa^2s).
- Peak pressure level (PEAK) - lydtrykket fra nul til top på et givet tidspunkt.
- Root mean square (RMS) - gennemsnit af lydtrykket over en given tid; RMS SPL bruges ofte til at evaluere virkningerne af kontinuerlige støjkluder. RMS-lydtrykniveauet eller SPL er det gennemsnitlige kvadratlydtrykniveau.
- Impulsstøj/pulserende/impulsiv lyd - en diskontinuerlig lydkilde, der omfatter en eller flere øjeblikkelige lyde som f.eks. opleves ved rammeaktivitet.
- Kontinuerlig støj/lyd - lydkilde, som en skibsmotor, eller brummen som ved bore-operationer.

4. Anvendt undervandslyd udbredelsesmodel

En 3-dimensionel undervandsakustisk model af området er, i programmet dBSea /2/, opbygget af batymetrien (vanddybden), havbundsforhold og vandsøjledata, se Bilag 1 og Bilag 2.

Data vedrørende vanddybder er indhentet fra EMODnet (European Marine Observation and Data Network). Data for vanddybder er et udklip af det omkringliggende område, hvor der forekommer anlægsarbejde.

Data vedrørende havbundsforhold er modtaget fra anlægsteknikafdelingen (Rambøll). Dataen modtaget er meget begrænset i omfang, men benyttes i modellen, da det er det bedste bud på havbundforholdene på nuværende tidspunkt. Her er der lavet en vurdering i at inddele havbundsforholdene i 3 sektioner, alt efter beregningspunkternes beliggenhed. De 3 sektioner er inddelt således; punkt A og B, punkt C og D og punkt E og F, se Tabel 10-1.

Data vedrørende vandsøjledata er indhentet fra ICES (The International Council for the Exploration of the Sea), for punkter nærtliggende arbejdsområdet. Her er hentet data for år 2018 og 2021, vedrørende temperaturer og salinitet, med tilhørende dybder det er målt på. Denne data er benyttet til at udregne vandsøjler for sommer- og vinterhalvåret. August måned er benyttet for sommerperioden, og december for vinterperioden.

Undervandslyd udbredelsen er beregnet med den paraboliske-lignings metode (hvor man benytter løsninger af bølge-ligningen til udregning) i frekvensområdet 32 Hz til 400 Hz, som er en alsidig og robust metode til at beregne lydfeltet fra lydkilden. For frekvensområdet fra 500 Hz og op efter, er der benyttet en stråle model (her genereres stråler ud fra kilden som kan interagere med omgivelserne sat i lydudbredelsesmodellen) til beregning af lydfeltet fra lydkilden.

Lydudbredelsesmodellen til bestemmelse af undervandslyd beregner estimater af lydfeltet, der genereres fra undervandsstøjkluder. Modelleringsresultaterne bruges til at bestemme afstandene fra de undervandsstøjkluder til grænseværdierne for marsvin. For at fremstille stedspecifikke estimater

af det udstrålede lydfelt som en funktion af rækkevidde og dybde, anvender lydudbredelsesmodellen akustiske parametre, der er relevante for det geografiske fokusområde, herunder den forventede lydastighedsprofil for vandet, batymetrien og de geoakustiske egenskaber af havbunden. Der er beregnet afstande til grænseværdierne for henholdsvis den permanente (PTS) hørenedsættelse, den midlertidige hørenedsættelse (TTS) samt adfærdsændringer for marsvin.

Gennem drøftelser mellem Sund & Bælt Holding og Rambøll er der udvalgt relevante punkter, der modelleres for udvalgte anlægsaktiviteter (se Kapitel 2). Hvor relevant modelleres der med hhv. 1 eller 2 mulige støjreducerende tiltag (dobbel boble gardin og hydro sound damper).

Modelleringsresultaterne finder anvendelse ved bestemmelse af de potentielle påvirkningsafstande fra de udvalgte undervandsstøjkilder.

5. Grænseværdier for undervandsstøj

Fysiske skader på det auditive system kan føre til permanente ændringer i dyrenes detektionstærskel (permanent tærskelforskydning, PTS). Dette kan skyldes ødelæggelse af sensoriske celler i det indre øre eller ved metabolisk udmattelse af sensoriske celler, støtceller eller endda auditive nerveceller. Høretab er normalt kun midlertidigt (midlertidig tærskelforskydning, TTS), og dyret vil genvinde sin oprindelige hørelse efter en restitutionsperiode. For PTS og TTS er lydintensiteten en vigtig faktor for graden af høretab, ligesom frekvensen, eksponeringsvarigheden og længden af restitutionstiden.

Evnen til at høre lyde varierer på tværs af en arts høreområde. De fleste audiogrammer fra pattedyr har en typisk "U-form", hvor frekvenser i bunden af "U'et" er dem, som dyret er mere følsomme for med hensyn til hørelse. Auditive vægtningsfunktioner afspejler således et dyrs evne til at høre en lyd (og afspejler ikke nødvendigvis, hvordan et dyr opfatter og adfærdsmæssigt reagerer på den lyd). For at afspejle højere hørelsesfølsomhed ved bestemte frekvenser vægtes lyde ofte. Auditive vægtningsfunktioner er blevet foreslået for havpattedyr, specifikt forbundet med PTS/TTS akustiske tærskler udtrykt i SEL_{cum}-matricen, som tager højde for, hvad der er kendt om havpattedyrs hørelse /4/. Meget højfrekvente (VHF) vægtede støjtærskelgrænser er gældende for marsvin, mens andre havpattedyr har en anderledes vægtning.

De foreslåede kriterier for PTS-, TTS- og adfærdsmæssig respons i denne rapport, er baseret på retningslinjer fra Energistyrelsen, som er almindeligt anvendt i øjeblikket i miljøkonsekvensvurderinger af undervandsstøj /3/, se Tabel 5-1.

Tabel 5-1: Grænseværdierne for PTS, TTS og adfærd, gældende for marsvin /3/.

Påvirkningstype	Marsvin		
	PTS (VHF vægtet)	TTS (VHF vægtet)	Adfærd (VHF vægtet)
Impulsstøj (ramning)	155 dB SEL _{cum}	140 dB SEL _{cum}	103 dB SPL _{rms,125ms}
Kontinuerlig støj	173 dB SEL _{cum}	153 dB SEL _{cum}	103 dB SPL _{rms,125ms}
SEL-grænseværdier i dB re 1 µPa ² s under vand VHF: Very high frequency (marsvin)			

TTS- og PTS-grænseværdier for havpattedyr er angivet som et kumulativt eksponeringsniveau over 24 timers aktivitet (SEL_{cum}), dvs. som en akkumuleret dosis over alle de impulser dyrene modtager indenfor en 24-timers periode. Hvilket betyder, at for den simplest mulige situation, hvor støjen er den samme i alle impulser, og dyrene ikke bevæger sig, så skal der lægges $10 \cdot \log_{10}(N)$ til værdien for den enkelte puls, hvor N er antallet af pulser (nedramningslag).

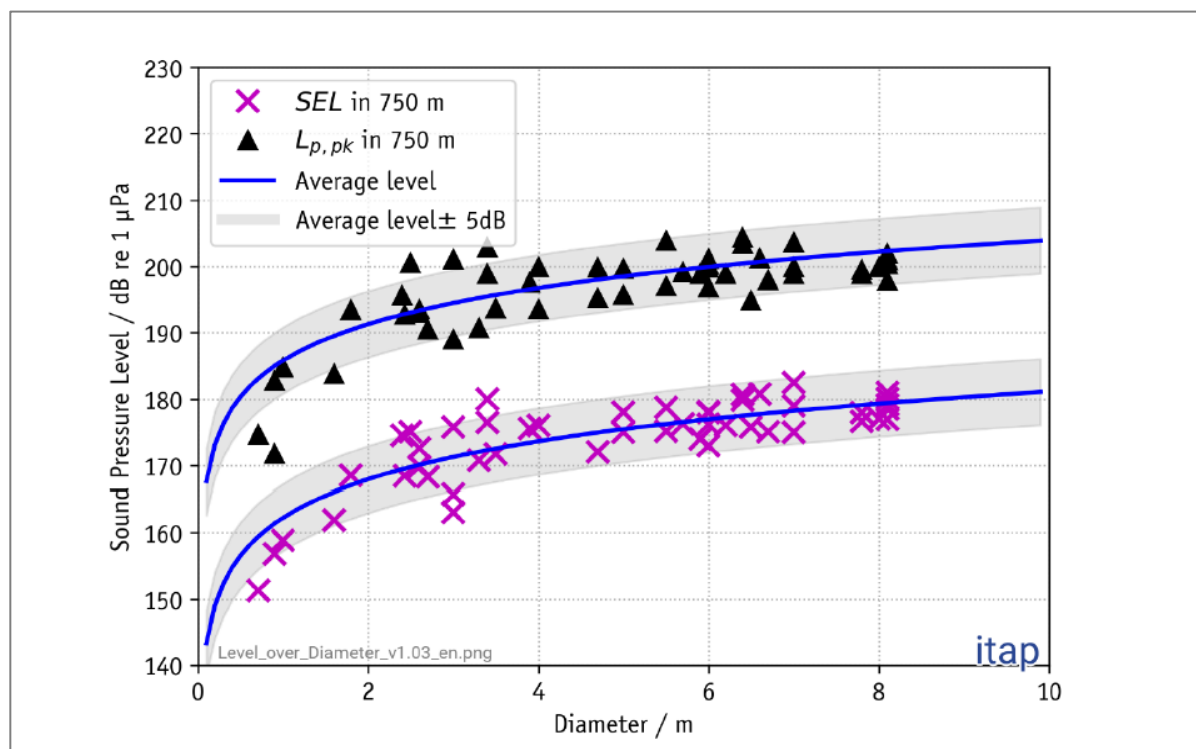
Da dyr ikke er stationære, er der i modellen inkluderet en simpel model for dyrenes flugt. Modellen inkluderer en tærskel for reaktion efterfulgt af bevægelse væk fra kilden, som enten kan foregå i en lige linje vinkelret på sporet eller radiale væk fra lydkilden.

Modtagerbevægelse (dyr) er modelleret som en bevægelse med en hastighed på 1,5 m/s.

Baseret på DCEs (Danish Center for the Environment) anbefaling for adfærdspåvirkning for marsvin, er der brugt 103 dB re. 1 μ Pa (VHF-vægtet) /4/.

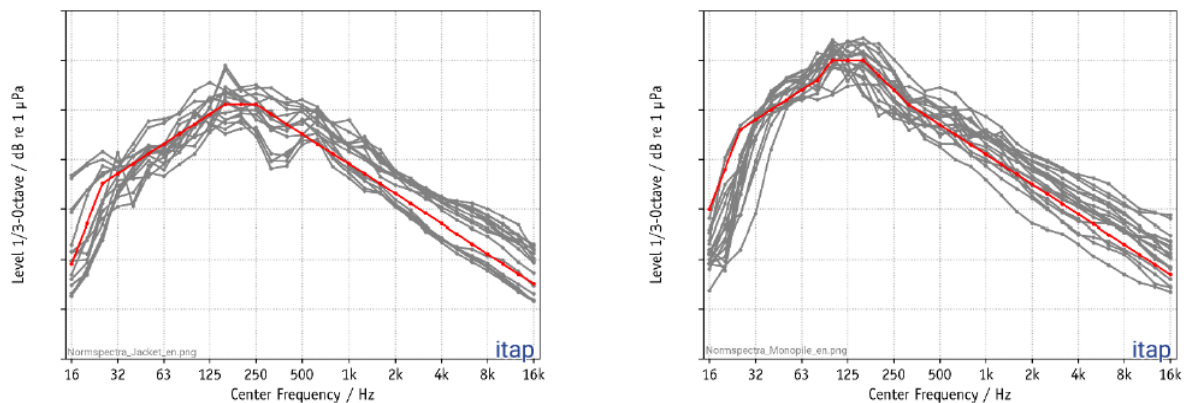
6. Undervandsstøjkilder

Kildestyrker er baseret på internationale målinger, kildedata og studier /6//7//8/, se Figur 6-1.



Figur 6-1: Målte SEL og peak niveauer for nedramning af pæle med forskellige diameterer /8/.

Baseret på eksisterende undersøiske lydmålinger er lydkildens niveauer og frekvensspektre, estimeret for nedramning af pæle, se Figur 6-2.



Figur 6-2: Frekvensspektrum for nedramning af pæle op til 3.5 meter (venstre) og over 3.5 meter (højre) /8/.

Det er relevant at opnå et ækvivalent kildeniveau 1 m fra kilden med henblik på akustisk udbredelsesmodellering, lydfeltet er reproduceret i henhold til cylindrisk spredningstab eller $15 \cdot \log(r)$. Formålet med tilbageberegningstrinnet er at bestemme det effektive kildeniveau ved 1 m (fra 750 m), der bruges i den akustiske udbredelsesmodel.

De anvendte kildestyrker fremgår af Tabel 6-1 og antager 1 rammefartøj i ét punkt, med én nedramning ad gangen for brøløsningen. Hvis flere nedramninger foretages i samme punkt, vil lydudbredelsen ændres, f.eks. ved 2 nedramninger i samme punkt skal der lægges +3 dB til støjklenderne angivet i tabellen nedenfor. For sænketunnelen er kildestyrken vurderet ud fra beregninger af kilder der ligger tæt på hinanden i støjmodellen. Her ses en 2 dB forøgelse pr. fordobling af rammefartøjer inden for 500 meter af hinanden.

Det fulde frekvensspektra fremgår af Bilag 3, for støjklender uden nogen afværg, med DBBC (dobbel boble gardin) og med DBBC + HSD (hydro sound damper). Spunsramning giver anledning til mindre støj end pælaraning, det er vurderet at det er omkring 12 dB mindre /6/, men der benyttes samme frekvensspektra som pælaraning.

I Tabel 6-1 fremgår det at DBBC har et mindre samlet støjniveau end DBBC + HSD. Dette er grundet de målinger der er foretaget som klargør hvad dæmpningen er i hver frekvens mellem de to afværgemetoder, frekvensopdelingen og dæmpningen fremgår af næste afsnit. Grundet støjklender med DBBC er lavere end DBBC + HSD, er netop fordi frekvensfordelingen af dæmpningen er anderledes, her vil DBBC + HSD dæmpe mere i de høje frekvenser (hvor marsvin og sæler høre), men dæmpe lidt værre i de lave frekvenser, og dette giver anledning til at der er en forskel i det endelige kildestyrkeniveau.

Tabel 6-1: Anvendte støjklender for hhv. nedramning af stål pæle og nedramning af spuns, med og uden DBBC og HSD /8//9/.

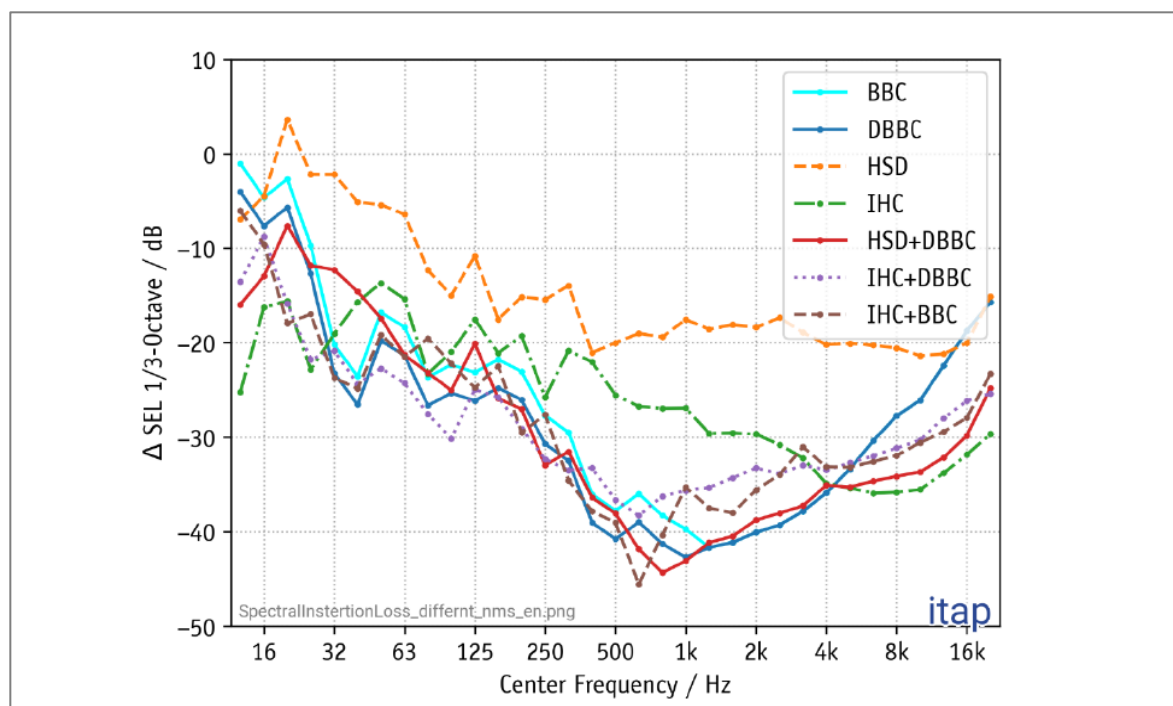
Aktiviteter	Kildestyrker			
	SEL @ 750 meter, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	SEL @ 1 meter, dist. Corr., dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	SEL @ 1 meter, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	SPL _{rms,125ms} @ 1 meter, dB re 1 μPa
Ramning af stål pæle u. afværg	169	43,1	212,1	221,1
Ramning af stål pæle m. DBBC	143,9	43,1	187	196

Ramning af stål-pæle m. DBBC og HSD	146,9	43,1	190	199
Ramning af spuns u. afværg	157	43,1	200,1	209,1
Ramning af spuns m. DBBC	131,9	43,1	175	184
Ramning af beton-pæle u. afværg*	152	43,1	195	204
Ramning af beton-pæle m. DBBC*	127,9	43,1	170	179
Ramning af beton-pæle m. DBBC og HSD*	130,9	43,1	173	182

* Den samlede antaget kildestyrke fra 10 rammefartøjer inden for en 500 meter lang korridor.

6.1 Afværgetiltag

Der findes flere mulige afværgetiltag der kan implementeres for at reducere lydudbredelsen. På Figur 6-3 fremgår forskellige eksempler på afværgetiltag og effekten af disse.



Figur 6-3: Støjreducerende tiltag der kan benyttes og deres individuelle og samlede effekt på lydudbredelsen, angivet i 1/3 oktave fra 12,5 Hz til 20 kHz /8/.

- BBC – Boblegardiner
- DBBC – Dobbelt boblegardiner
- HSD – Hydro-Sound-Damper (plast boblenet)
- IHD – dobbeltvæg stålskærm

Tabel 6-2: Afværgetiltag modellering scenarier

Punkt	Afværgetiltag modellering scenarier		
A (Bro)	Uden afværgetiltag	DBBC	*
B (Bro)	Uden afværgetiltag	DBBC	*
C (Bro)	Uden afværgetiltag	DBBC	DBBC og HSD
D (Bro)	Uden afværgetiltag	DBBC	DBBC og HSD
E (Bro)	Uden afværgetiltag	DBBC	DBBC og HSD
F (Bro)	Uden afværgetiltag	DBBC	DBBC og HSD
1 (Tunnel)	Uden afværgetiltag	DBBC	DBBC og HSD
2 (Tunnel)	Uden afværgetiltag	DBBC	DBBC og HSD

*HSD er ikke praktiske for spuns ramming i lavvand tæt på kysten.

6.1.1 Boblegardiner (BBC)

Det er besluttet, at nedvibrering af spuns og stålrørspæle, skal udføres med afværgetiltag i form af såkaldte boblegardiner.

Boblegardiner er støjreducerende afværgetiltag, der bruges til at reducere og absorbere undervandsstøj fra støjende anlægsaktiviteter. Et boblegardin består af et eller to cirkulære luftslanger, der placeres på havbunden rundt om stålrørspælen eller rundt om spunsarbejdet, og som fødes med luft fra en kompressor på et tilhørende skib. Luftboblerne fra slangen danner således et "gardin" af luft, der både reflekterer (og dermed tilbageholder) lyden inden for luftcirklen og absorberer og spreder den akustiske energi som varme. På grund af forskellen i tæthed og lydshastighed mellem vand og luft er der en impedansoverensstemmelse. Da luft i modsætning til vand er komprimerbar, ændrer bobler i vand kompressibiliteten af vand/luftblandingen og lydens formeringshastighed inden i medier. Akustisk stimulation af bobler tæt på deres resonansfrekvens reducerer effektivt amplitude af den udstrålede lydbølge ved hjælp af sprednings- og absorptionseffekter. Interaktion mellem de mange gasbobler øger deres støjreduktionspotentiale.

Der er i forbindelse med modelleringen implementeret dobbelt boblegardin (DBBC) for de udvalgte aktiviteter (se Kapitel 2).

6.1.2 Hydro Sound Damper (HSD)

Det er besluttet at modelleringen af nedramning af stålrørspæle udføres med dobbelt boblegardin i kombination med hydro sound dampers.

Et hydro sound damper (HSD) system består af et fiskenet med påsatte elementer i forskellige størrelser og afstande fra andre påsatte elementer. De påsatte elementer kan f.eks. bestå af skumplast eller gas-fyldte balloner. Den udstrålede støj fra kilden vil blive dæmpet da lyden skal krydse fiskenet og elementerne, reduktionen sker pga. refleksioner og absorptioner. HSD-elementerne fungerer lidt ligesom luft bobler i vand, dog har det den fordel at HSD-elementerne ikke bliver taget af strømmen. Et HSD-system er forankret til havbunden og et flyde-system er monteret i toppen for at holde det på plads.

Der er i forbindelse med modelleringen implementeret HSD system for nedramning af stålrør (højtpæleværk), hvorimod det er vurderet svært at implementere i praksis omkring nedramning for spuns nær kysten (se Kapitel 2).

7. Resultater Broløsning

Nedenfor præsenteres resultaterne af undervandsstøjmodelleringen for de 6 modelleret punkter (A-F) (se afsnit 2.1) for broløsningerne ALA02 og ALA07. Angivet resultater er den maksimale afstand som beregningen viser til den angivne grænseværdi.

Resultaterne viser at der er en højere adfærdspåvirkning afstand i vinterperioden end i sommerperioden, dette er ligeledes afspejlet i den udregnede TTS værdi. Den længere afstand om vinteren kan ofte tilskrives temperaturen af vandet, da vandprofilen har en jævn temperatur fra overflade til bund, og det gør at lyden kan udbredes nemmere om vinteren.

7.1 ALA02 – Broløsning

Vinter scenarie

Tabel 7-1: Adfærds-, TTS- og PTS-afstande for marsvin i vinterperioden uden afværgetiltag for broløsningen. Adfærdsværdier præsenteret er maksimalafstanden og ikke den gennemsnitlige.

Punkt	ALA02 – Marsvin – Vinter, uden afværg		
	PTS 155 dB SEL _{cum}	TTS 140 dB SEL _{cum}	Adfærd 103 dB SPL _{rms,125} ms
A	10 m	20 m	9900 m
B	10 m	20 m	9300 m
C	20 m	500 m	13000 m
D	20 m	500 m	12200 m
E	20 m	500 m	13000 m
F	20 m	400 m	11700 m

Tabel 7-2: Adfærds-, TTS- og PTS-afstande for marsvin i vinterperioden med dobbeltboblegardin for broløsningen. Adfærdsværdier præsenteret er maksimalafstanden og ikke den gennemsnitlige.

Punkt	ALA02 – Marsvin – Vinter, med dobbeltboblegardin (DBBC)		
	PTS 155 dB SEL _{cum}	TTS 140 dB SEL _{cum}	Adfærd 103 dB SPL _{rms,125} ms
A	10 m	20 m	900 m
B	10 m	20 m	1100 m
C	10 m	20 m	3100 m
D	10 m	20 m	3300 m
E	10 m	20 m	3300 m
F	10 m	20 m	2400 m

Tabel 7-3: Adfærds-, TTS- og PTS-afstande for marsvin i vinterperioden med dobbeltboblegardin og hydro sound damper for broløsningen. Adfærdsværdier præsenteret er maksimalafstanden og ikke den gennemsnitlige.

Punkt	ALA02 – Marsvin – Vinter, med dobbeltboblegardin (DBBC) og hydro sound damper (HSD)		
	PTS 155 dB SEL _{cum}	TTS 140 dB SEL _{cum}	Adfærd 103 dB SPL _{rms,125} ms
C	10 m	20 m	880 m
D	10 m	20 m	890 m
E	10 m	20 m	890 m

F	10 m	20 m	850 m
---	------	------	-------

Sommer scenarie

Tabel 7-4: Adfærds-, TTS- og PTS-afstande for marsvin i sommerperioden uden afværgetiltag. Adfærdsværdier præsenteret er maksimalafstanden og ikke den gennemsnitlige.

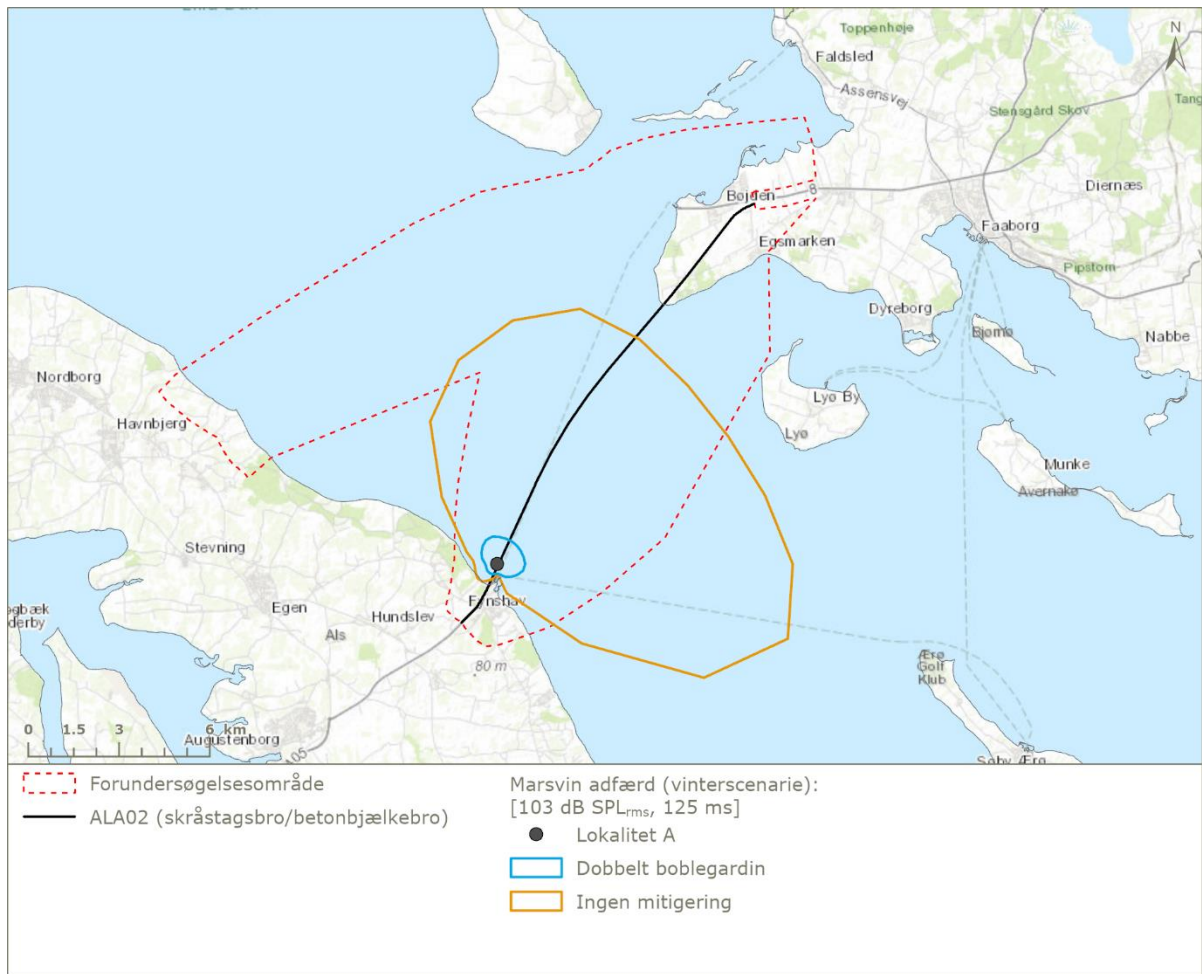
Punkt	ALA02 – Marsvin – Sommer, uden afværg		
	PTS 155 dB SEL _{cum}	TTS 140 dB SEL _{cum}	Adfærd 103 dB SPL _{rms,125 ms}
A	10 m	20 m	7100 m
B	10 m	20 m	6300 m
C	15 m	70 m	7400 m
D	15 m	80 m	7900 m
E	15 m	100 m	8900 m
F	15 m	70 m	7100 m

Tabel 7-5: Adfærds-, TTS- og PTS-afstande for marsvin i sommerperioden med dobbeltboblegardin. Adfærdsværdier præsenteret er maksimalafstanden og ikke den gennemsnitlige.

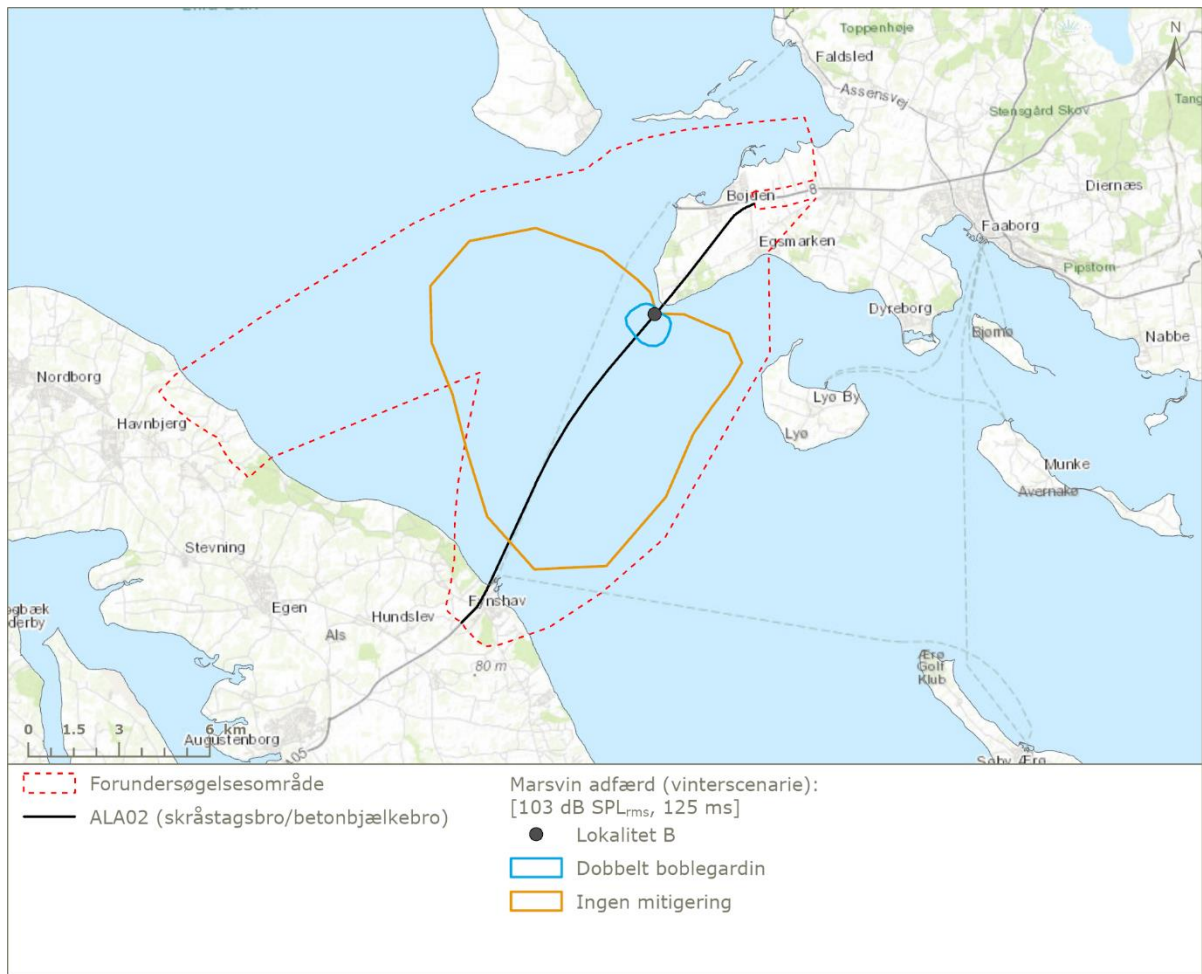
Punkt	ALA02 – Marsvin – Sommer, med dobbeltboblegardin (DBBC)		
	PTS 155 dB SEL _{cum}	TTS 140 dB SEL _{cum}	Adfærd 103 dB SPL _{rms,125 ms}
A	10 m	20 m	900 m
B	10 m	20 m	800 m
C	10 m	20 m	1900 m
D	10 m	20 m	2000 m
E	10 m	20 m	1900 m
F	10 m	20 m	1900 m

Tabel 7-6: Adfærds-, TTS- og PTS-afstande for marsvin i sommerperioden med dobbeltboblegardin og hydro sound damper. Adfærdsværdier præsenteret er maksimalafstanden og ikke den gennemsnitlige.

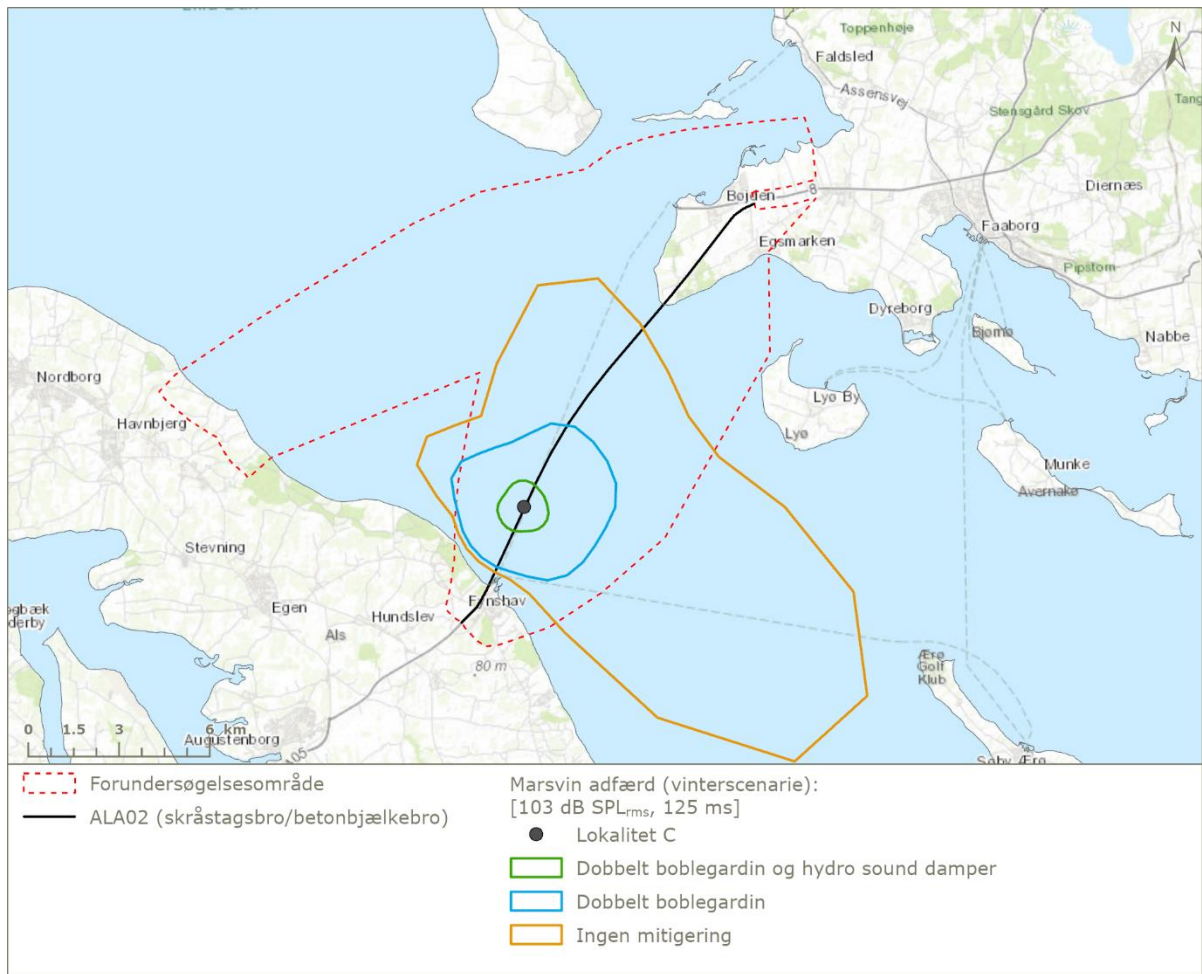
Punkt	ALA02 – Marsvin – Sommer, med dobbeltboblegardin (DBBC) og hydro sound damper (HSD)		
	PTS 155 dB SEL _{cum}	TTS 140 dB SEL _{cum}	Adfærd 103 dB SPL _{rms,125 ms}
C	10 m	20 m	710 m
D	10 m	20 m	600 m
E	10 m	20 m	670 m
F	10 m	20 m	600 m



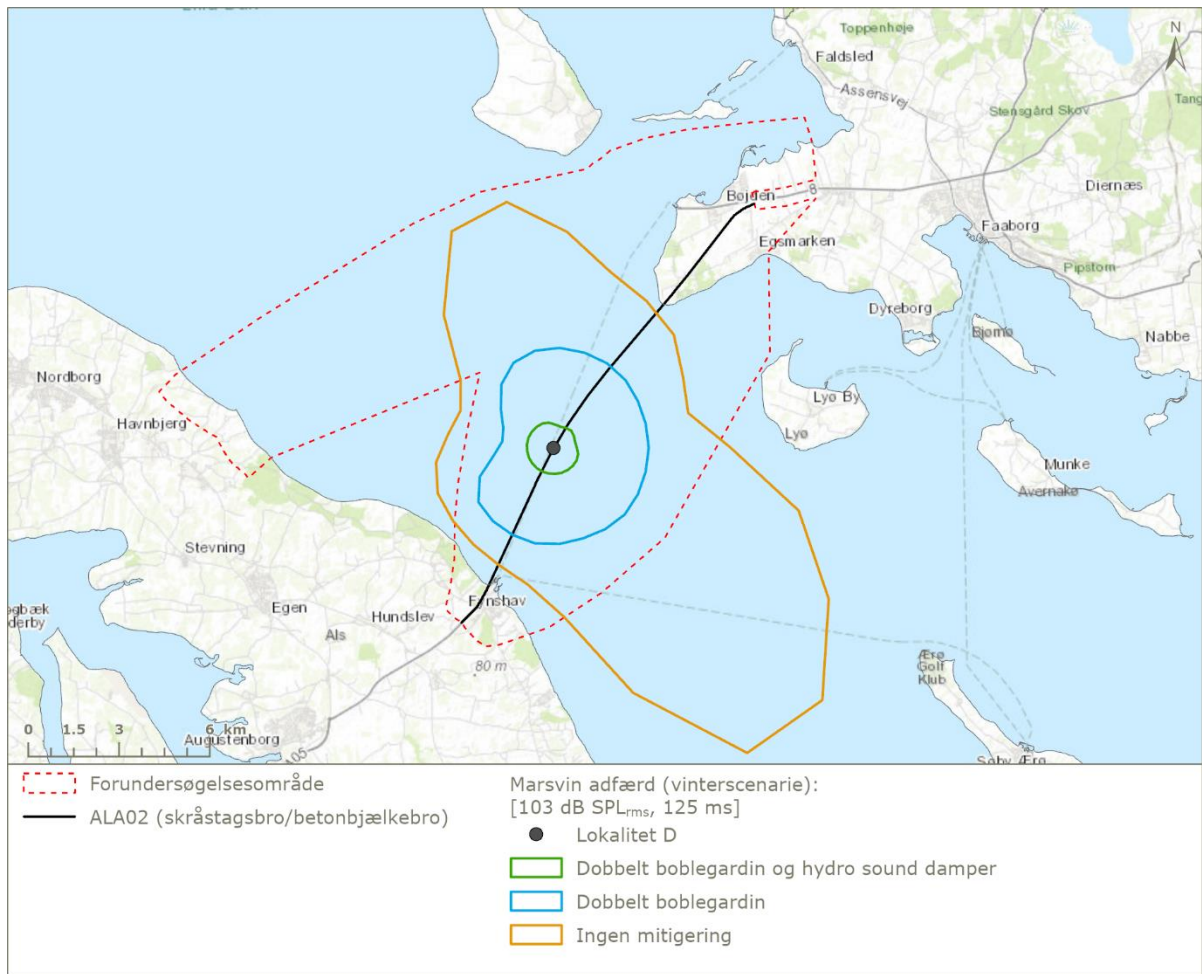
Figur 7-1: ALA02 - Punkt A (kystnær spuns ved Als) - illustration af zonen inden for hvilket marsvin vil udvise adfærsændringer (fortrænges). Illustrationen præsenterer et vinter-scenarie (worst case) – med og uden dobbelt boblegardin.



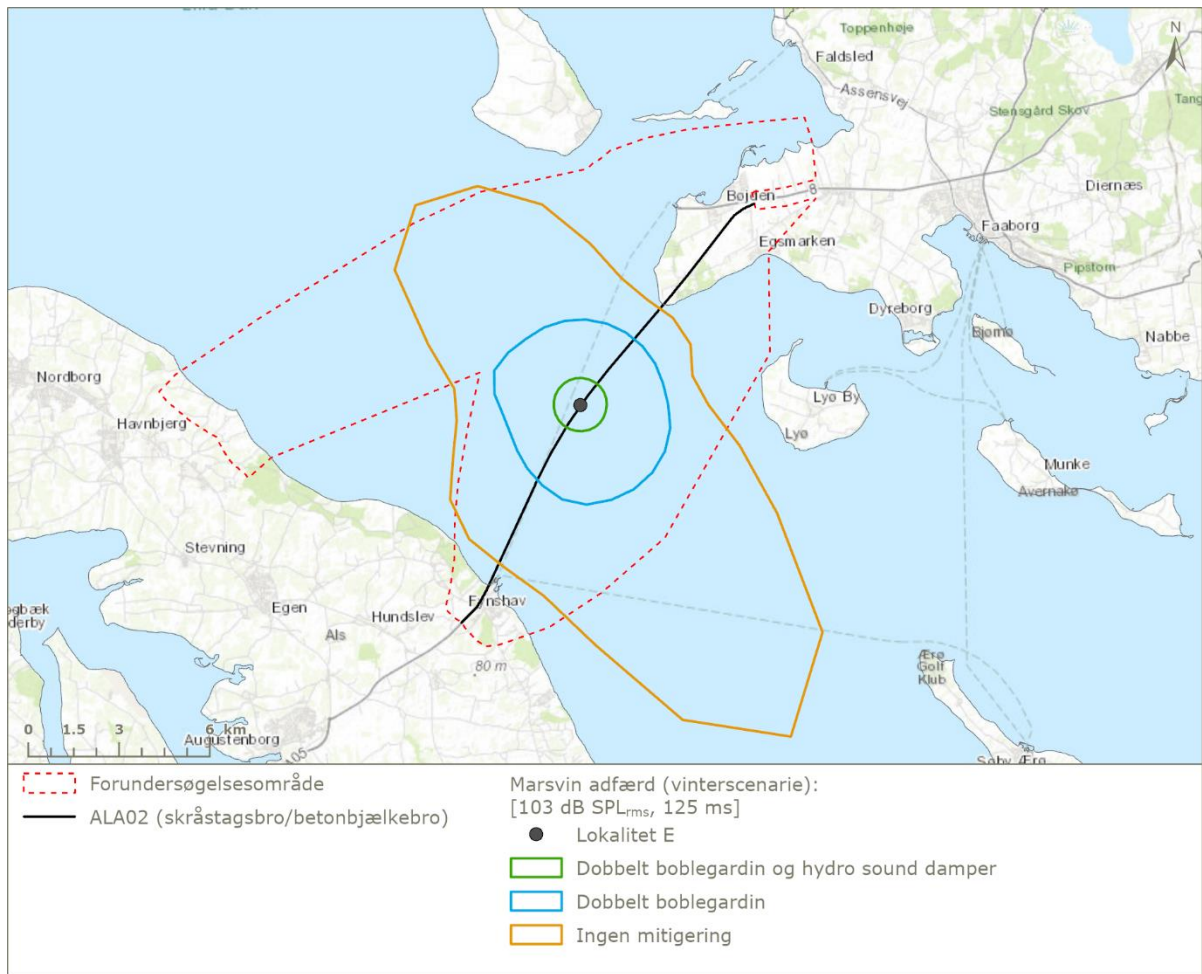
Figur 7-2: ALA02 - Punkt B (kystnær spuns ved Fyn) - illustration af zonen inden for hvilken marsvin vil udvise adfærsændringer (fortrænges). Illustrationen præsenterer et vinter-scenarie (worst case) – med og uden dobbelt boblegardin.



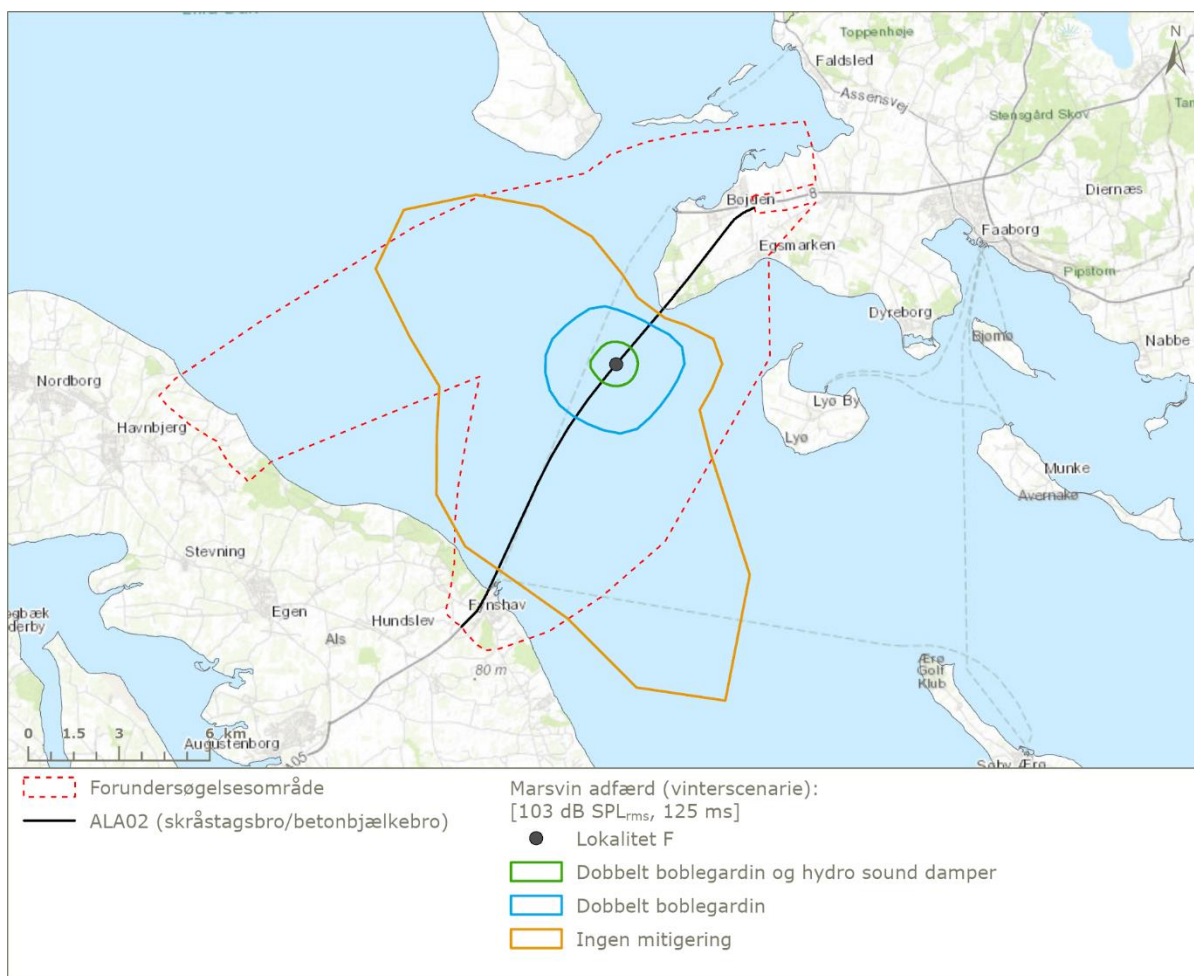
Figur 7-3: ALA02 - Punkt C (nedramning af stålørspæle) - illustration af zonen inden for hvilken marsvin vil udvise adfærdændringer (fortrænges). Illustrationen præsenterer et vinter-scenarie (worst case) – med og uden dobbelt boblegardin, samt med dobbelt boblegardin og hydro sound damper.



Figur 7-4: ALA02 - Punkt D (nedramning af stålrørspæle) - illustration af zonen inden for hvilket marsvin vil udvise adfærdændringer (fortrænges). Illustrationen præsenterer et vinter-scenarie (worst case) – med og uden dobbelt boblegardin, samt med dobbelt boblegardin og hydro sound damper.



Figur 7-5: ALA02 - Punkt E (nedramning af stålrørspæle) - illustration af zonen inden for hvilket marsvin vil udvise adfærdændringer (fortrænges). Illustrationen præsenterer et vinter-scenarie (worst case) – med og uden dobbelt boblegardin, samt med dobbelt boblegardin og hydro sound damper.



Figur 7-6: ALA02 - Punkt F (nedramning af stålørspæle) - illustration af zonen inden for hvilket marsvin vil udvise adfærdændringer (fortrænges). Illustrationen præsenterer et vinter-scenarie (worst case) – med og uden dobbelt boblegardin, samt med dobbelt boblegardin og hydro sound damper.

7.2 ALA07 – Broløsning

Vinter scenarie

Tabel 7-7: Adfærds-, TTS- og PTS-afstande for marsvin i vinterperioden uden afværgetiltag for broløsningen. Adfærdsværdier præsenteret er maksimalafstanden og ikke den gennemsnitlige.

Punkt	ALA07 – Marsvin – Vinter, uden afværg		
	PTS 155 dB SEL _{cum}	TTS 140 dB SEL _{cum}	Adfærd 103 dB SPL _{rms,125 ms}
A	10 m	20 m	2700 m*
B	10 m	920 m	16800 m**
C	15 m	370 m	10400 m
D	15 m	730 m	12400 m
E	15 m	165 m	8600 m
F	15 m	620 m	12000 m

* Vurderet kortere afstand grundet bathymetrien.

** Lang afstand ved spunsning grundet havbundsforhold og bathymetri.

Tabel 7-8: Adfærds-, TTS- og PTS-afstande for marsvin i vinterperioden med dobbeltboblegardin for brøløsningen. Adfærdsværdier præsenteret er maksimalafstanden og ikke den gennemsnitlige.

Punkt	ALA07 – Marsvin – Vinter, med dobbeltboblegardin (DBBC)		
	PTS 155 dB SEL _{cum}	TTS 140 dB SEL _{cum}	Adfærd 103 dB SPL _{rms,125 ms}
A	10 m	20 m	370 m*
B	10 m	20 m	2400 m
C	10 m	20 m	3200 m
D	10 m	20 m	3700 m
E	10 m	20 m	2300 m
F	10 m	20 m	2900 m

* Vurderet kortere afstand grundet bathymetrien.

Tabel 7-9: Adfærds-, TTS- og PTS-afstande for marsvin i vinterperioden med dobbeltboblegardin og hydro sound damper for brøløsningen. Adfærdsværdier præsenteret er maksimalafstanden og ikke den gennemsnitlige.

Punkt	ALA07 – Marsvin – Vinter, med dobbeltboblegardin (DBBC) og hydro sound damper (HSD)		
	PTS 155 dB SEL _{cum}	TTS 140 dB SEL _{cum}	Adfærd 103 dB SPL _{rms,125 ms}
C	10 m	20 m	920 m
D	10 m	20 m	1040 m
E	10 m	20 m	800 m
F	10 m	20 m	910 m

Sommer scenarie

Tabel 7-10: Adfærds-, TTS- og PTS-afstande for marsvin i sommerperioden uden afværgetiltag. Adfærdsværdier præsenteret er maksimalafstanden og ikke den gennemsnitlige.

Punkt	ALA07 – Marsvin – Sommer, uden afværg		
	PTS 155 dB SEL _{cum}	TTS 140 dB SEL _{cum}	Adfærd 103 dB SPL _{rms,125 ms}
A	10 m	20 m	3800 m
B	10 m	640 m	16300 m**
C	15 m	25 m	3500 m
D	15 m	220 m	9700 m
E	15 m	40 m	4400 m
F	15 m	80 m	7300 m

** Lang afstand ved spunsning grundet havbundsforhold og bathymetri.

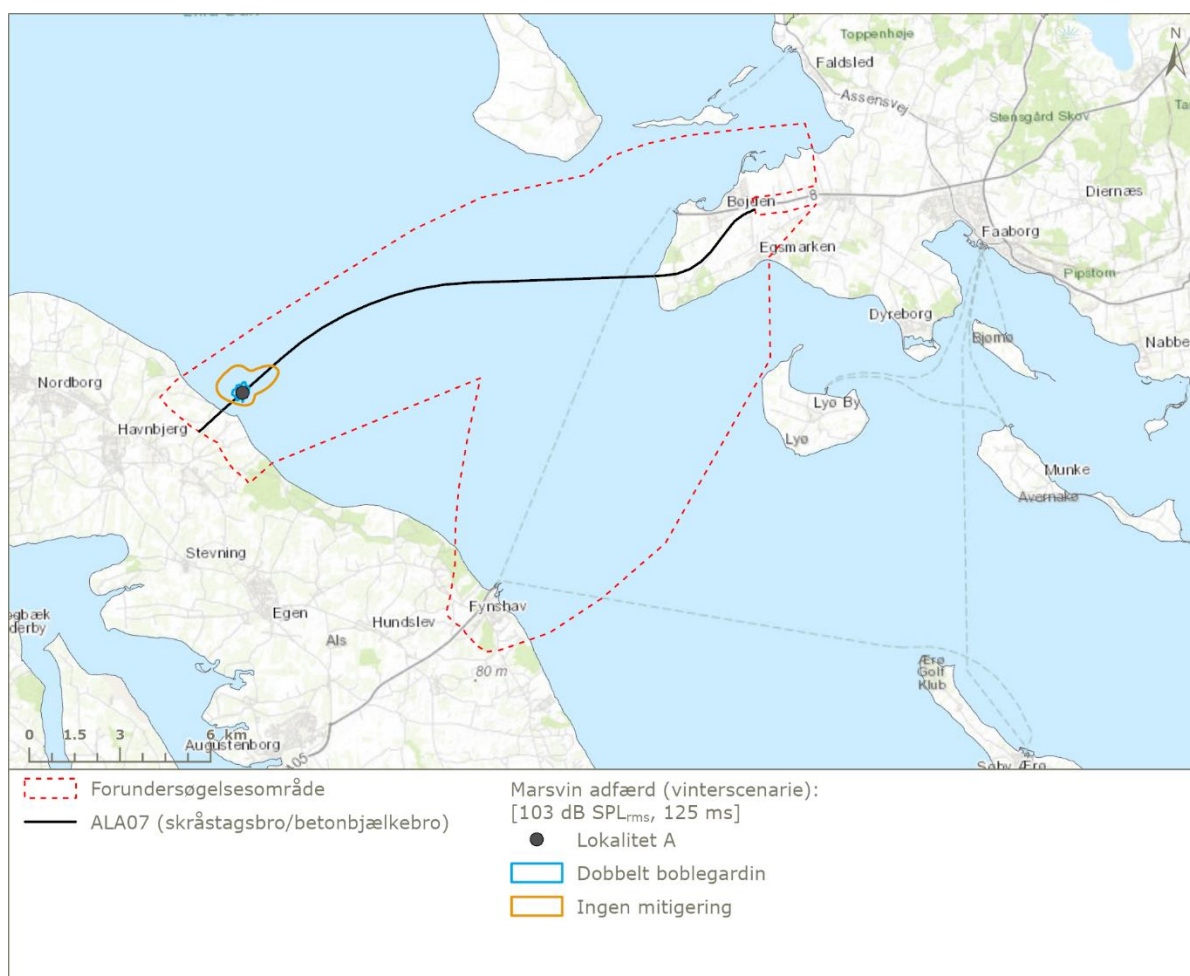
Tabel 7-11: Adfærds-, TTS- og PTS-afstande for marsvin i sommerperioden med dobbeltboblegardin. Adfærdsværdier præsenteret er maksimalafstanden og ikke den gennemsnitlige.

Punkt	ALA07 – Marsvin – Sommer, med dobbeltboblegardin (DBBC)		
	PTS 155 dB SEL _{cum}	TTS 140 dB SEL _{cum}	Adfærd 103 dB SPL _{rms,125 ms}
A	10 m	20 m	440 m*
B	10 m	20 m	2300 m
C	10 m	20 m	1500 m
D	10 m	20 m	2400 m
E	10 m	20 m	1100 m
F	10 m	20 m	2300 m

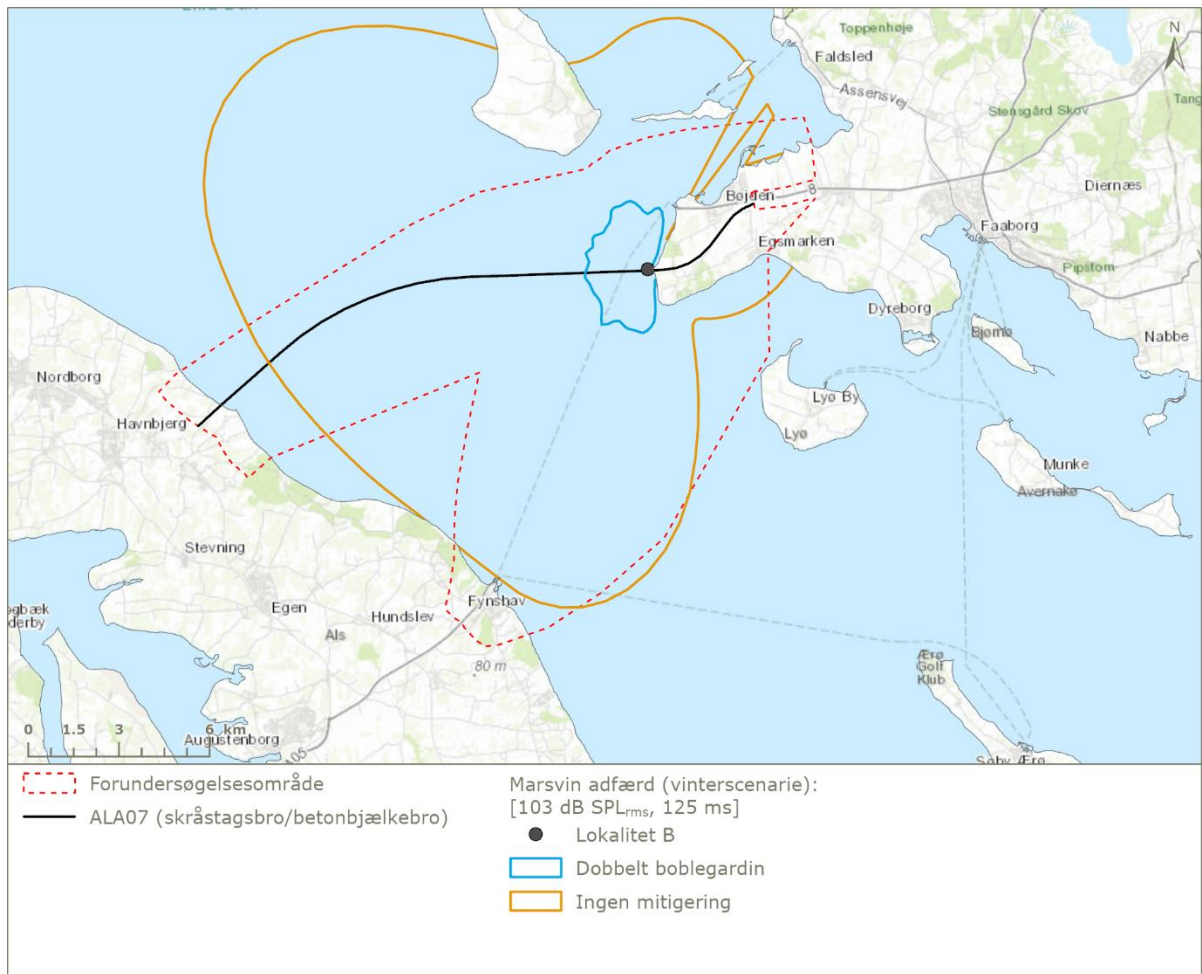
* Vurderet kortere afstand grundet bathymetrien.

Tabel 7-12: Adfærds-, TTS- og PTS-afstande for marsvin i sommerperioden med dobbeltboblegardin og hydro sound damper. Adfærdsværdier præsenteret er maksimalafstanden og ikke den gennemsnitlige.

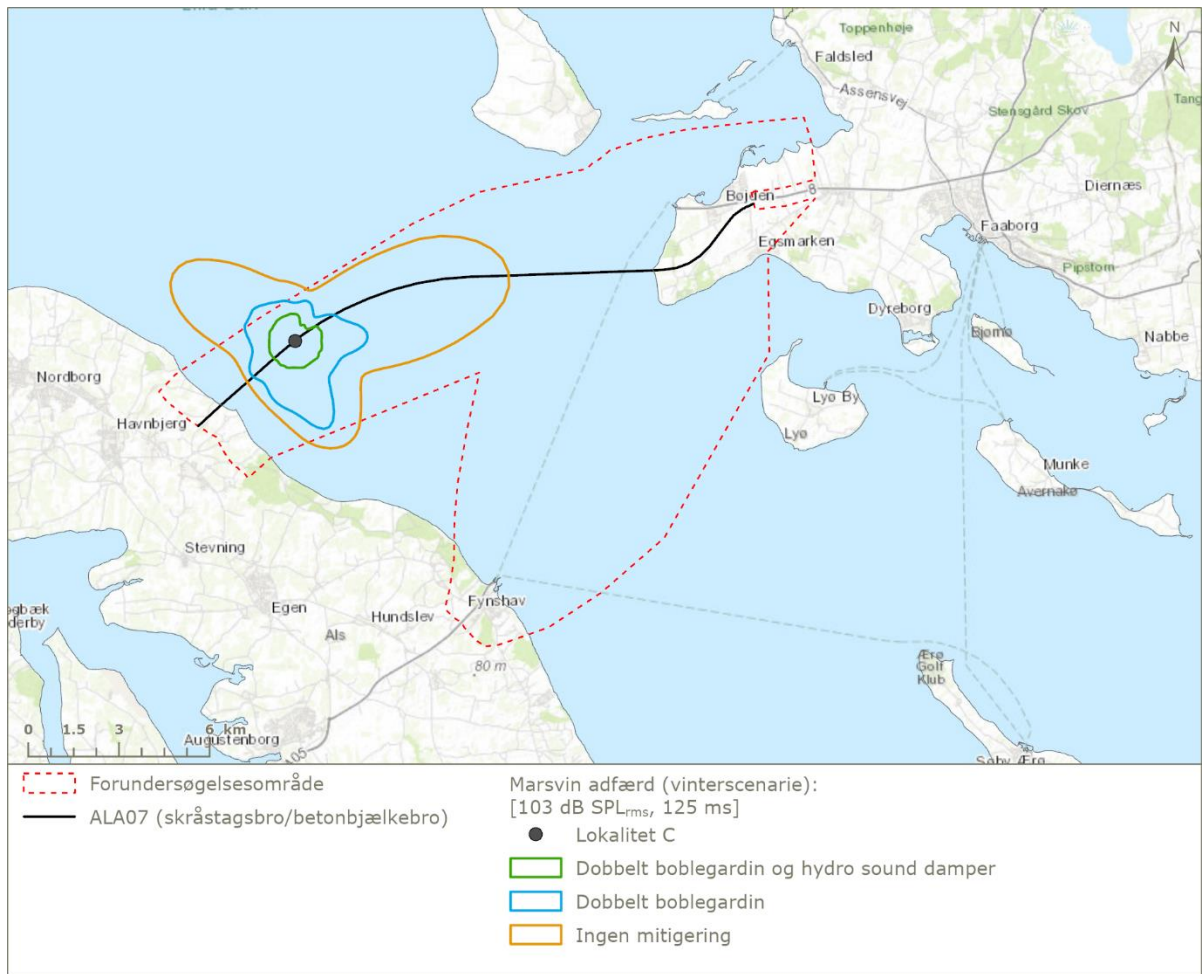
Punkt	ALA07 – Marsvin – Sommer, med dobbeltboblegardin (DBBC) og hydro sound damper (HSD)		
	PTS 155 dB SEL _{cum}	TTS 140 dB SEL _{cum}	Adfærd 103 dB SPL _{rms,125 ms}
C	10 m	20 m	600 m
D	10 m	20 m	850 m
E	10 m	20 m	460 m
F	10 m	20 m	700 m



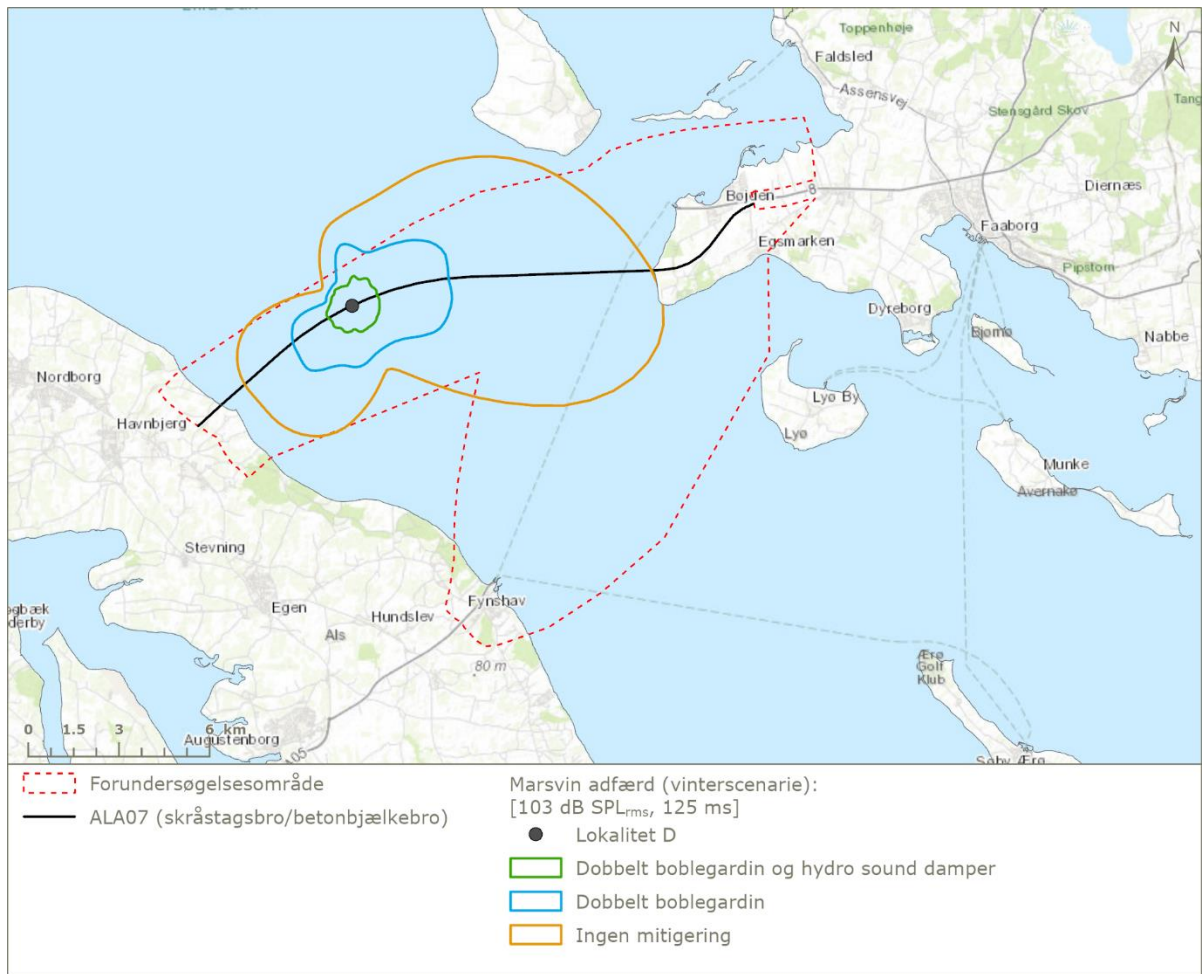
Figur 7-7: ALA07 - Punkt A (kystnær spuns ved Als) - illustration af zonen inden for hvilket marsvin vil udvise adfærdændringer (fortrænges). Illustrationen præsenterer et vinter-scenarie (worst case) - med og uden dobbelt boblegardin.



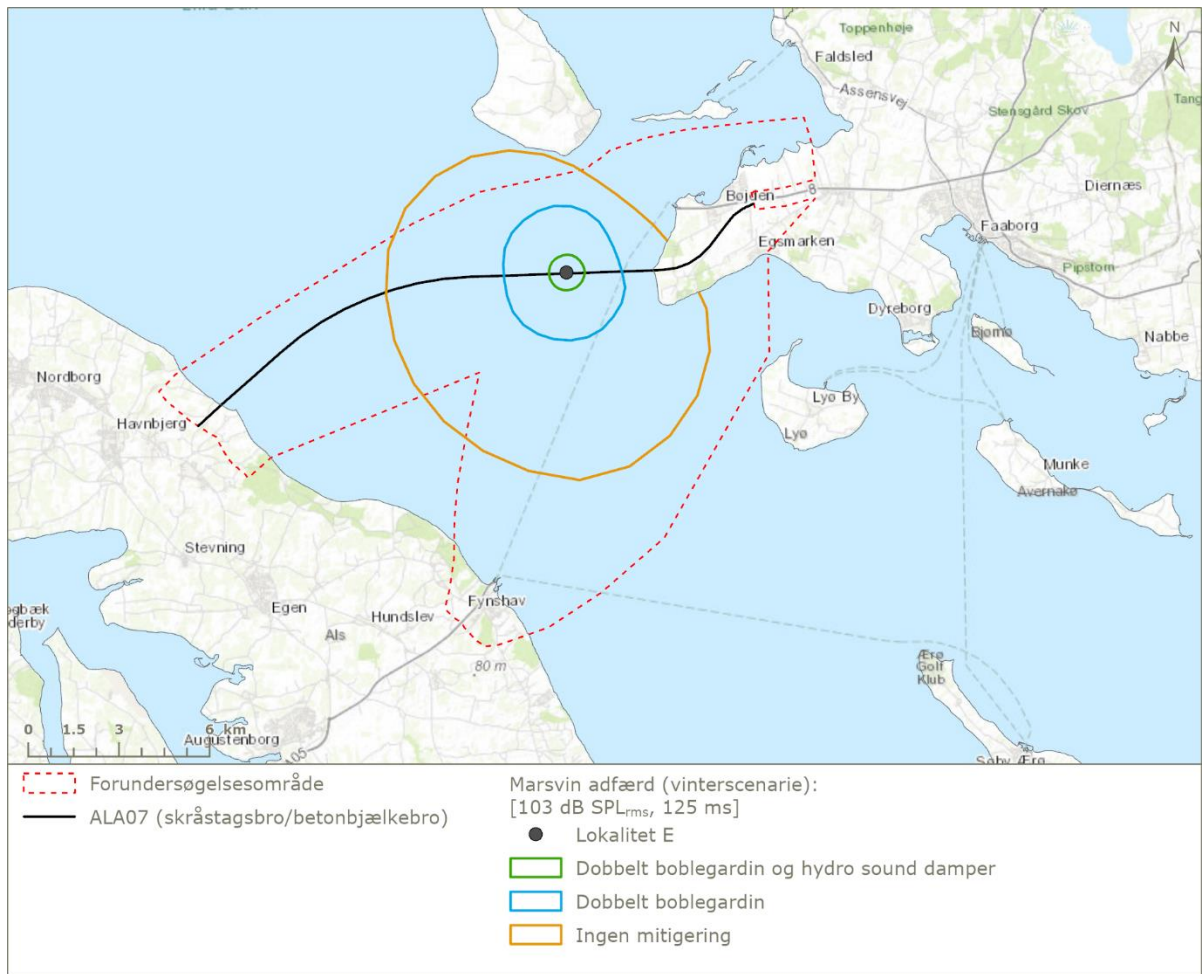
Figur 7-8: ALA07 - Punkt B (kystnær spuns ved Als) - illustration af zonen inden for hvilket marsvin vil udvise adfærsændringer (fortrænges). Illustrationen præsenterer et vinter-scenarie (worst case) – med og uden dobbelt boblegardin.



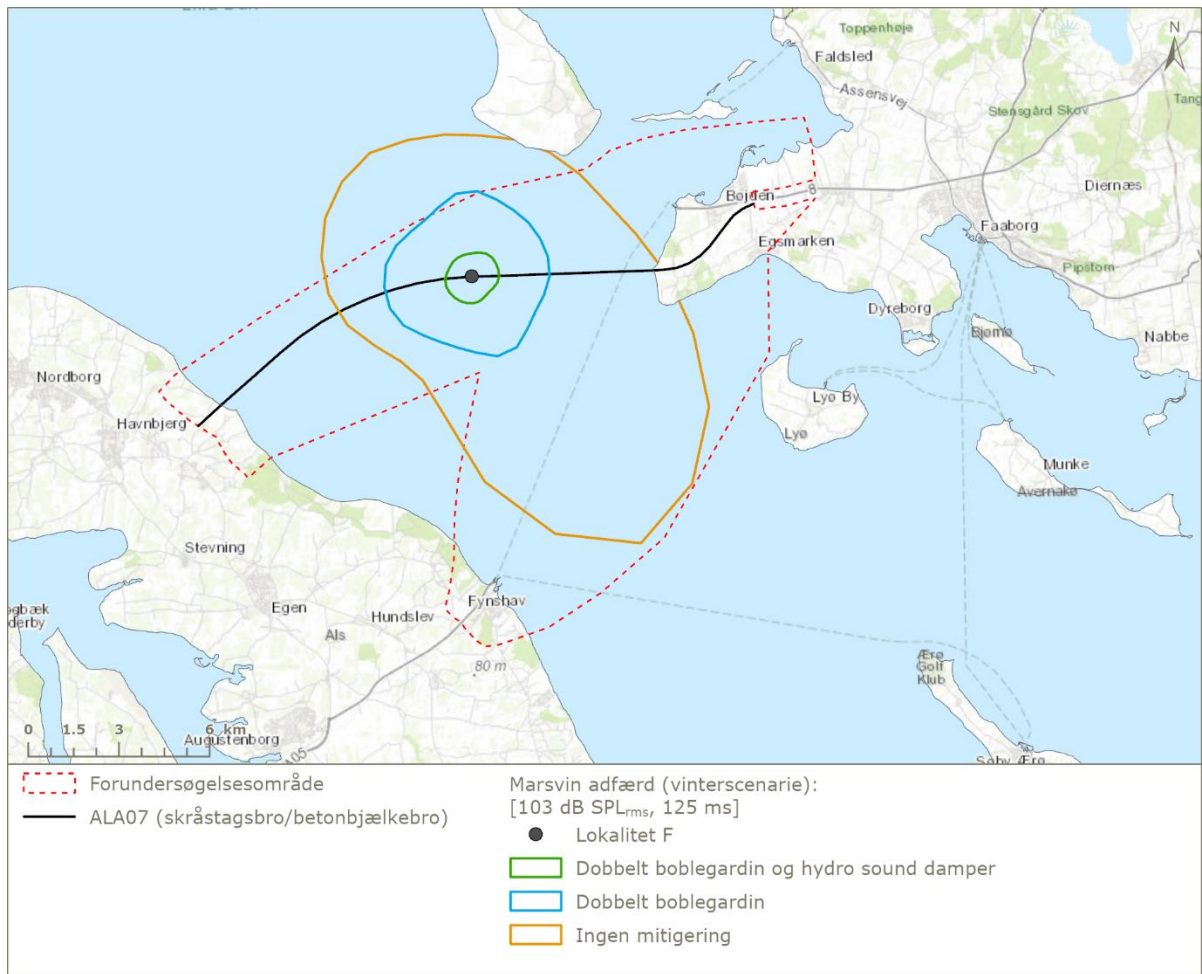
Figur 7-9: ALA07 - Punkt C (nedramning af stålørspæle) - illustration af zonen inden for hvilken marsvin vil udvise adfærdændringer (fortrænges). Illustrationen præsenterer et vinter-scenarie (worst case) – med og uden dobbelt boblegardin, samt med dobbelt boblegardin og hydro sound damper.



Figur 7-10: ALA07 - Punkt D (nedramning af stålrørspæle) - illustration af zonen inden for hvilken marsvin vil udvise adfærdændringer (fortrænges). Illustrationen præsenterer et vinter-scenarie (worst case) – med og uden dobbelt boblegardin, samt med dobbelt boblegardin og hydro sound damper.



Figur 7-11: ALA07 - Punkt E (nedramning af stålrørspæle) - illustration af zonen inden for hvilken marsvin vil udvise adfærdændringer (fortrænges). Illustrationen præsenterer et vinter-scenarie (worst case) – med og uden dobbelt boblegardin, samt med dobbelt boblegardin og hydro sound damper.



Figur 7-12: ALA07 - Punkt F (nedramning af stålrørspæle) - illustration af zonen inden for hvilken marsvin vil udvise adfærdssændringer (fortrænges). Illustrationen præsenterer et vinter-scenarie (worst case) – med og uden dobbelt boblegardin, samt med dobbelt boblegardin og hydro sound damper.

8. Resultater Sænketunnel

Vinter scenarie

Nedenfor præsenteres resultaterne af undervandsstøjmodelleringen for de 2 modelleret punkter (1-2) (se afsnit 2.2) for sænketunnelen. Angivet resultater er den maksimale afstand som beregningen viser til den angivne grænseværdi.

Tabel 8-1: Adfærds-, TTS- og PTS-afstande for marsvin i vinterperioden uden afværgetiltag for sænketunnel. Adfærdsværdier præsenteret er maksimalafstanden og ikke den gennemsnitlige.

Punkt	Marsvin – Vinter, uden afværg		
	PTS 155 dB SEL _{cum}	TTS 140 dB SEL _{cum}	Adfærd 103 dB SPL _{rms,125 ms}
1	10 m	20 m	5300 m
2	10 m	20 m	5200 m

Tabel 8-2: Adfærds-, TTS- og PTS-afstande for marsvin i vinterperioden med dobbeltboblegardin for sænketunnelen. Adfærdsværdier præsenteret er maksimalafstanden og ikke den gennemsnitlige.

Punkt	Marsvin – Vinter, med dobbeltboblegardin (DBBC)		
	PTS 155 dB SEL _{cum}	TTS 140 dB SEL _{cum}	Adfærd 103 dB SPL _{rms,125 ms}
1	10 m	15 m	470 m
2	10 m	15 m	420 m

Tabel 8-3: Adfærds-, TTS- og PTS-afstande for marsvin i vinterperioden med dobbeltboblegardin og hydro sound damper for sænketunnelen. Adfærdsværdier præsenteret er maksimalafstanden og ikke den gennemsnitlige.

Punkt	Marsvin – Vinter, med dobbeltboblegardin (DBBC) og hydro sound damper (HSD)		
	PTS 155 dB SEL _{cum}	TTS 140 dB SEL _{cum}	Adfærd 103 dB SPL _{rms,125 ms}
1	10 m	15 m	120 m
2	10 m	15 m	160 m

Sommer scenarie

Tabel 8-4: Adfærds-, TTS- og PTS-afstande for marsvin i sommerperioden uden afværgetiltag for sænketunnel. Adfærdsværdier præsenteret er maksimalafstanden og ikke den gennemsnitlige.

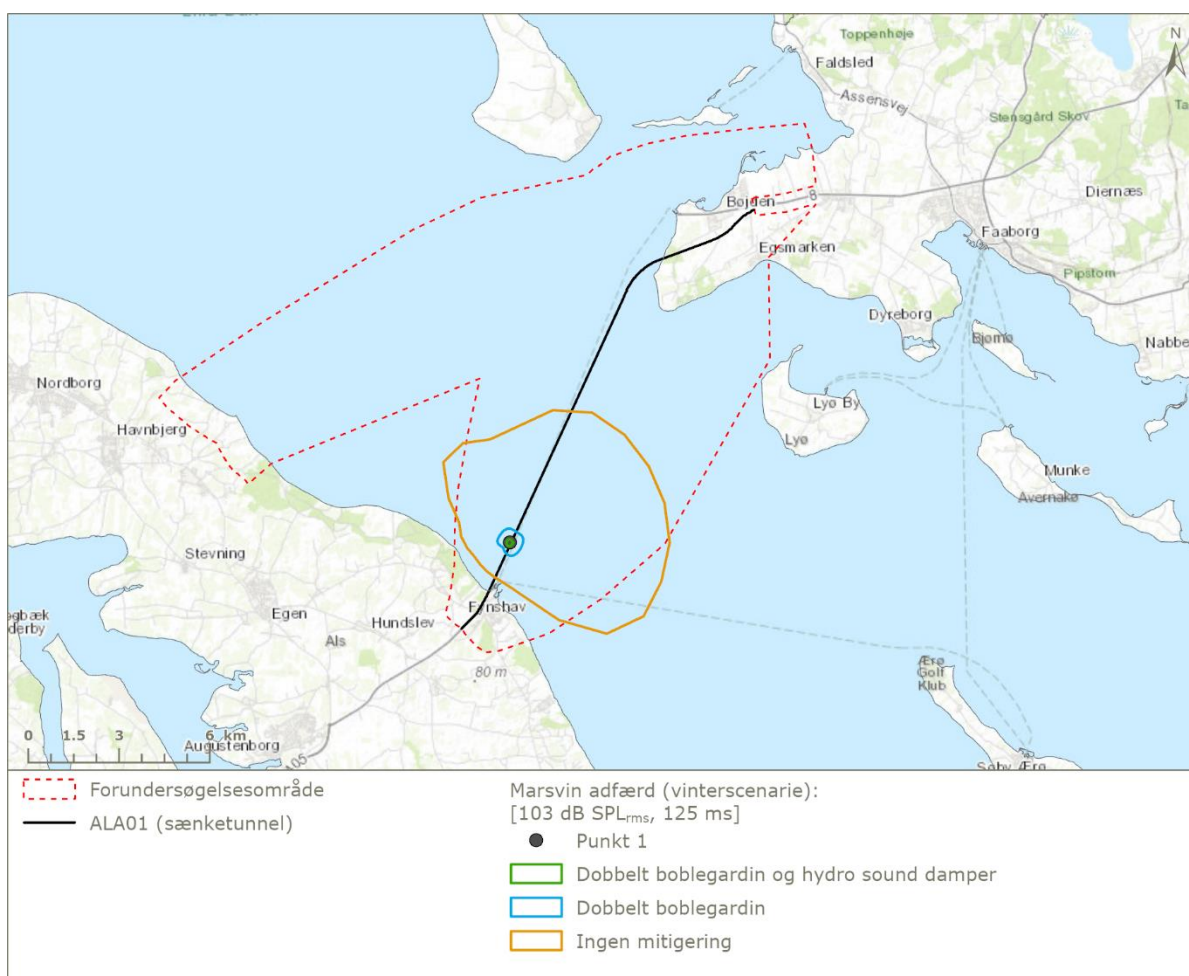
Punkt	Marsvin – Sommer, uden afværg		
	PTS 155 dB SEL _{cum}	TTS 140 dB SEL _{cum}	Adfærd 103 dB SPL _{rms,125 ms}
1	10 m	20 m	2600 m
2	10 m	20 m	2800 m

Tabel 8-5: Adfærds-, TTS- og PTS-afstande for marsvin i sommerperioden med dobbeltboblegardin for sænketunnelen. Adfærdsværdier præsenteret er maksimalafstanden og ikke den gennemsnitlige.

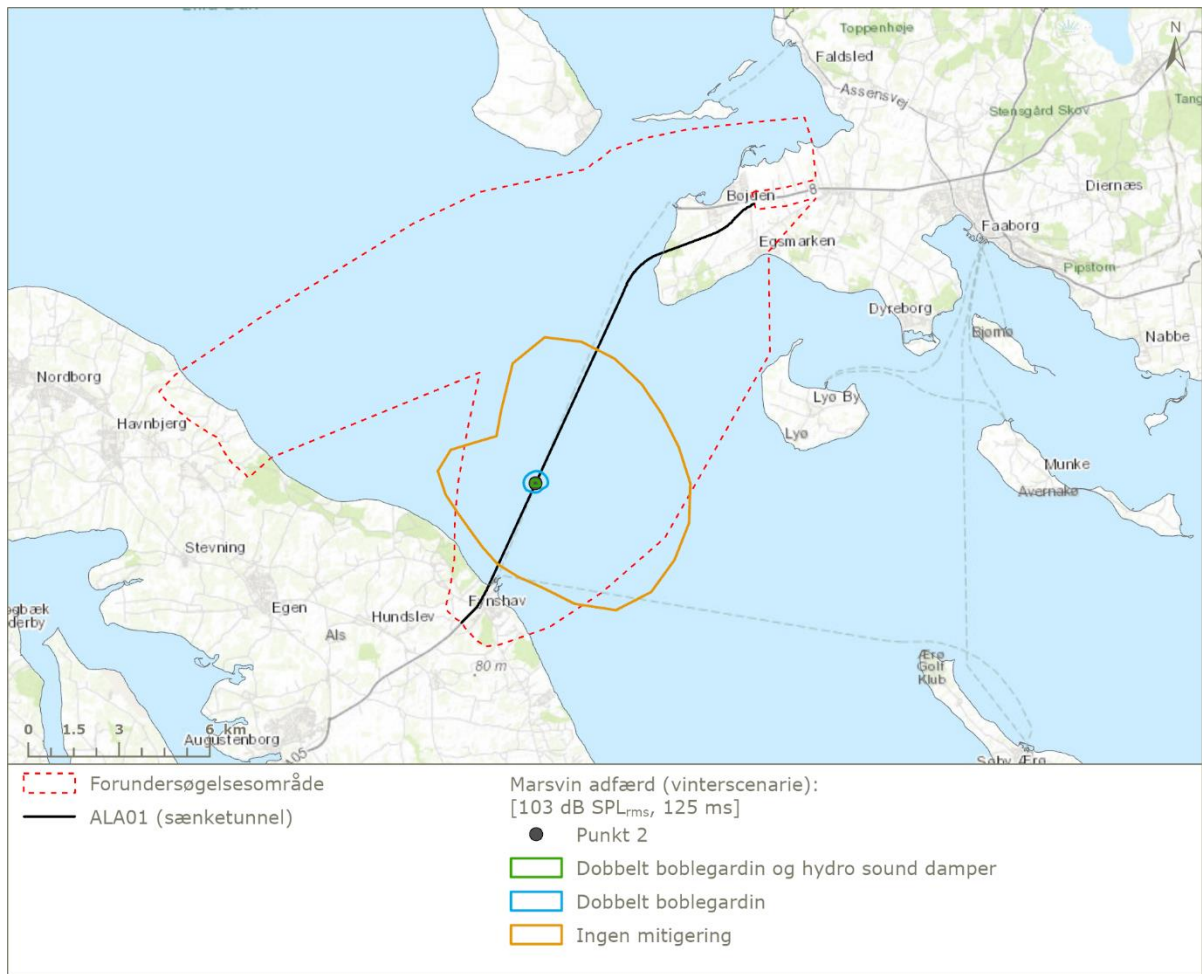
Punkt	Marsvin – Sommer, med dobbeltboblegardin (DBBC)		
	PTS 155 dB SEL _{cum}	TTS 140 dB SEL _{cum}	Adfærd 103 dB SPL _{rms,125 ms}
1	10 m	15 m	450 m
2	10 m	15 m	450 m

Tabel 8-6: Adfærds-, TTS- og PTS-afstande for marsvin i sommerperioden med dobbeltboblegardin og hydro sound damper for sænketunnelen. Adfærdsværdier præsenteret er maksimalafstanden og ikke den gennemsnitlige.

Punkt	Marsvin – Sommer, med dobbeltboblegardin (DBBC) og hydro sound damper (HSD)		
	PTS 155 dB SEL _{cum}	TTS 140 dB SEL _{cum}	Adfærd 103 dB SPL _{rms,125 ms}
1	10 m	15 m	120 m
2	10 m	15 m	150 m



Figur 8-1. Punkt 1 (nedramning af jordforstærkning) - illustration af zonen inden for hvilket marsvin vil udvise adfærdsændringer (fortrænges). Illustrationen præsenterer et vinter-scenarie (worst case) – med og uden dobbelt boblegardin, samt med dobbelt boblegardin og hydro sound damper.



Figur 8-2. Punkt 2 (nedramning af jordforstærkning) - illustration af zonen inden for hvilket marsvin vil udvise adfærsændringer (fortrænges). Illustrationen præsenterer et vinter-scenarie (worst case) – med og uden dobbelt boblegardin, samt med dobbelt boblegardin og hydro sound damper.

9. Referencer

- /1/ Rambøll, 2022. Projektinformationsnotat (version 3).
- /2/ F.B. Jensen, W. A. Kuperman, M. B. Porter, and H. Schmidt, Computational Ocean Acoustics, 2nd ed. Springer-Verlag New York, 2011.
- /3/ Danish Energy Agency, "Guideline for underwater noise: Installation of impact and vibratory driven piles", 2022, [Online]. Available: https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Vindenergi/guidelines_for_underwater_noise_energistyrelsen_maj_2022_1.pdf
- /4/ B. L. et al., "Marine Mammal Noise Exposure Criteria: Updated Scientific Recommendations for Residual Hearing Effects," Aquat. Mamm., vol. 45, no. 2, pp. 125-232, 2019, [Online]. Available: https://sea-inc.net/wp-content/uploads/2019/10/Southall-et-al_2019_MM-Noise-criteria-update-with-errata_Aq-Mammals.pdf.
- /5/ J. Tougaard, "Input to revision of guidelines regarding underwater noise from oil and gas activities – effect on marine mammals and mitigation measures," Aarhus Univ. DCE – Danish Cent. Environ. Energy, vol. 202, no. Aarhus Univ. DCE – Danish Cent. Environ. Energy, p. 52, 2016, [Online]. Available: http://prodstoragehoeringspo.blob.core.windows.net/bfab5516-9f79-4d4a-a8f6-9021ca12010b/Input_to_Revision_of%20Guidelines%20SR202_13012017.pdf
- /6/ R. Wyatt, "Joint Industry Programme on Sound and Marine Life: Review of existing Data on Underwater Sounds Produced by the Oil and Gas Industry – Issue 1," no. 1, pp. 1-104, 2008, [Online]. Available: https://gisserver.intertek.com/JIP/DMS/ProjectReports/Cat1/JIP-Proj1.4_Soundsinventory_Seiche_2008.pdf.
- /7/ J.R. Nedwell and B. Edwards, "A review of measurements of underwater man-made noise carried out by Subacoustech Ltd, 1993-2003," 2004.
- /8/ M. A. Bellmann, A. May, T. Wendt, S. Gerlach, P. Remmers, and J. Brinkmann, "Underwater noise during percussive pile driving: Influencing factors on pile-driving noise and technical possibilities to comply with noise mitigation values," ERA Rep. Exp. Rep. Piling-driving noise with without Tech. Noise Mitig. Meas., vol. 2020, no. May, 2020, [Online]. Available: https://www.itap.de/media/experience_report_underwater_era-report.pdf.
- /9/ M.A. Bellmann, "Overview of existing noise mitigation systems for reducing pile-driving noise," INTERNOISE 2014 – 43rd Int. Congr. Noise Control Eng. Improv. World Through Noise Control, pp. 1-11, 2014. Available: https://www.acoustics.asn.au/conference_proceedings/INTERNOISE2014/papers/p358.pdf.

10. Bilag 1

Havbundsforhold

Tabel 10-1: Havbundsforhold for ALA02 modtaget fra Rambøll anlægsteknikafdeling. Havbundsforholdene er inddelt i 3 sektioner alt efter punkters beliggenhed.

Punkt	Havbundsforhold			
	Silt	Sand	Ler	Moræne
A og B	0 – 1 m	1 – 2 m	---	2 m
C og D (1 og 2)	0 – 4 m	4 – 22 m	22 – 32 m	32 m
E og F	0 – 4 m	4 – 8 m	---	8 m

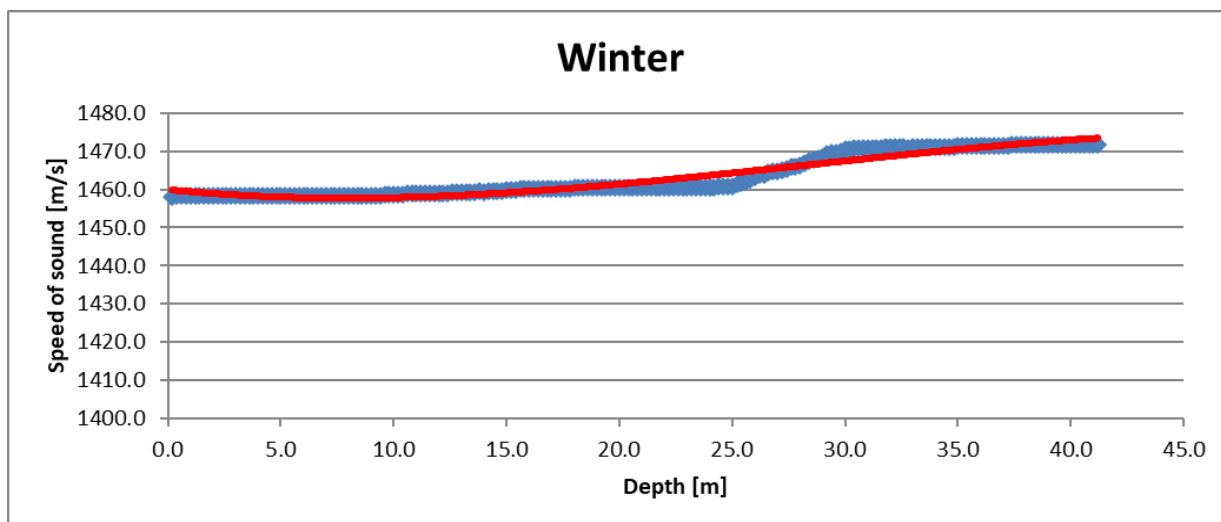
Tabel 10-2: Havbundsforhold for ALA07 modtaget fra Rambøll anlægsteknikafdeling. Havbundsforholdene er inddelt i 6 punkter alt efter beliggenhed.

Punkt	Havbundsforhold			
	Silt	Sand	Ler	Moræne
A	0 – 6 m	6 – 8 m	---	8 m
B	---	---	---	0 m
C	0 – 8 m	8 – 18 m	---	18 m
D	0 – 5 m	---	---	5 m
E	0 – 13 m	13 – 58 m	---	58 m
F	0 – 3 m	3 – 6 m	---	6 m

11. Bilag 2

Vandsøjle data

Vandsøjle data er hentet fra ICES for perioden 2018 - 2021, i det nært liggende område omkring projektet.



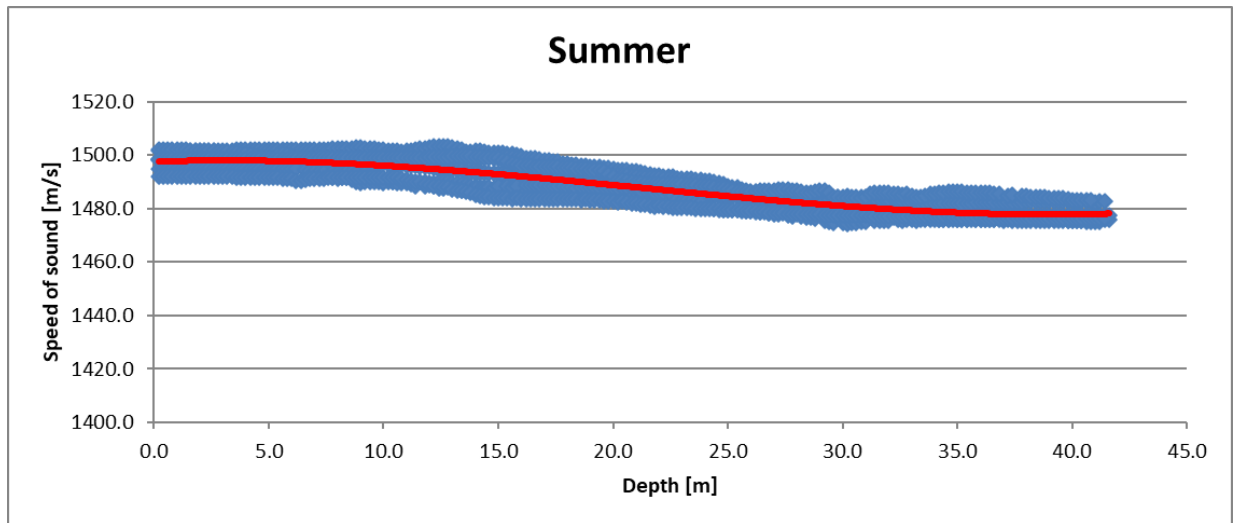
Depth	Speed of Sound
0	1459,9
5	1458,0
10	1457,8
15	1459,1
20	1461,4
25	1464,3
30	1467,4
35	1470,5
40	1472,9
45	1474,5

Count	206
-------	-----

Year span	2019
	2019

Average Temp	7,5
Average Psal	21,3

Max depth, vinter	41,2
Max depth	50



Depth	Speed of Sound
0	1497,5
5	1497,8
10	1496,1
15	1492,8
20	1488,8
25	1484,6
30	1481,0
35	1478,5
40	1477,8
45	1479,7

Count	1622
-------	------

Year span	2018
	2021

Average Temp	14,4
Average Psal	21,0

Max depth, summer	41,6
Max depth	0

12. Bilag 3

Frekvensspektra

Tabel 12-1: Støjkilde frekvens opdelt i 1/3 oktavbånd. Niveau vises som det aktuelle niveau efter fratrækkelse af afværg for hver 1/3 oktav. Støjkilde er pælramning uden noget afværg.

Frekvens [Hz]	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400
Niveau [dB]	202,8	203,8	205,8	208	210	214	214	214	211	210	206	204
Afværg [dB]												
Frekvens [Hz]	500	630	800	1k	1,2k	1,6k	2k	2,5k	3,2k	4k	5k	6,3k
Niveau [dB]	201	199	198	196	193	191	188,8	187,8	185	182,8	180,8	178,8
Afværg [dB]												
Frekvens [Hz]	8k	10k	12,5k	16k	20k	25k	32k	40k	50k	64k	80k	Total
Niveau [dB]	176,8	174,8	172,8	170,8	168,8	166,8	164,8	162,8	160,8	158,8	156,8	221,2
Afværg [dB]												

Tabel 12-2: Støjkilde frekvensopdelt i 1/3 oktavbånd. Niveau vises som det aktuelle niveau efter fratrækelse af afværg for hver 1/3 oktav. Støjkilde er pælramning med DBBC afværg.

Frekvens [Hz]	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400
Niveau [dB]	178,8	176,8	185,8	186	184	189	188	189	185	179	173	165
Afværg [dB]	24	27	20	22	26	25	26	25	26	31	33	39
Frekvens [Hz]	500	630	800	1k	1,2k	1,6k	2k	2,5k	3,2k	4k	5k	6,3k
Niveau [dB]	160	161	156	152	151	150	148,8	148,8	148	146,8	136,8	148,8
Afværg [dB]	41	38	42	44	42	41	40	39	37	36	44	30
Frekvens [Hz]	8k	10k	12,5k	16k	20k	25k	32k	40k	50k	64k	80k	Total
Niveau [dB]	149,8	149,8	154,8	155,8	153,8	151,8	149,8	147,8	145,8	143,8	141,8	195,8
Afværg [dB]	27	25	18	15	15	15	15	15	15	15	15	

Tabel 12-3: Støjkilde frekvensopdelt i 1/3 oktavbånd. Niveau vises som det aktuelle niveau efter fratrækelse af afværg for hver 1/3 oktav. Støjkilde er pælramning med DBBC + HSD afværg.

Frekvens [Hz]	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400
Niveau [dB]	189,8	188,8	188,8	186	186	189	194	188	184	177	174	167
Afværg [dB]	13	15	17	22	24	25	20	26	27	33	32	37
Frekvens [Hz]	500	630	800	1k	1,2k	1,6k	2k	2,5k	3,2k	4k	5k	6,3k
Niveau [dB]	163	157	154	153	152	151	149,8	149,8	148	147,8	145,8	143,8
Afværg [dB]	38	42	44	43	41	40	39	38	37	35	35	35
Frekvens [Hz]	8k	10k	12,5k	16k	20k	25k	32k	40k	50k	64k	80k	Total
Niveau [dB]	142,8	141,8	140,8	140,8	138,8	136,8	134,8	132,8	130,8	128,8	126,8	198,8
Afværg [dB]	34	33	32	30	30	30	30	30	30	30	30	