Sweco Danmark A/S
Willemoesgade 13
8200 Aarhus N
Danmark
T +45 4348 6060
www.sweco.dk

CVR-nr. 48233511

Notat

N6.011.25

Ringvej Syd
Påvirkning af undervandsstøj i anlægsfasen

10. november 2025
Vores reference:
41009469

Til	Horsens Kommune
Fra	Martin Bruun Werner Sweco Danmark A/S

1 INDLEDNING

I forbindelse med videreførelsen af Ringvej Syd omkring Horsens by, er der foretaget beregninger af undervandsstøjen i projektets anlægsfase.

I anlægsfasen vil der være behov for nedramning af spuns og pæle i/nær Horsens Fjord, hvor ringvejen krydser Dagnæs Bæk og det sydlige havnebassin. Under rammeaktiviteterne vil der være risiko for påvirkning af marine arter, som befinder sig i nærområdet i perioden, hvor ramningen finder sted.

Notatet omfatter en teknisk vurdering af undervandsstøj udledt under rammeaktiviteter i anlægsfasen med henblik på at kortlægge støjpåvirkningen på havpattedyr.

Resultaterne er angivet som påvirkningsafstande for henholdsvis midlertidigt høretab (TTS), permanent høretab (PTS) og forstyrrelser for marsvin og sæler.

D +45 4348 6397 • M+45 9137 7028 • **E** martinbruun.werner@sweco.dk

2 UNDERVANDSSTØJ

Følgende en kraftig stigning i menneskelige aktiviteter til havs er der et forøget fokus på den påvirkning, som marine aktiviteter medfører, heriblandt udledning af undervandsstøj.

Undervandsstøj er listet som deskriptor 11 i EU's Havstrategidirektiv, der pålægger medlemslande at sørge for, at undervandsstøjen ikke overskrider gældende tærskelværdier for at opnå/opretholde 'god miljøtilstand'.

Ved nedramning af spuns/pæle i Horsens Fjord vil der være impulsstøj, som består af kortvarige impulser med høje støjniveauer. Eksponering for høje støjniveauer kan medføre forstyrrelse, adfærdsændringer, fysiologiske responser og midlertidig nedsat hørelse, og i værste fald akutte og permanente skader hos marine arter.

Valget af relevante indikatorarter afhænger af havområdet. I nærværende undersøgelse vurderes påvirkningen af undervandsstøj i forhold til marsvin, spættet sæl og gråsæl.

2.1 Midlertidigt og permanent høretab

I 2019 udgav Southall et al. et stort opsamlende studie over de kendte påvirkninger af undervandsstøj på havpattedyr. Studiet inkluderede faglige anbefalinger og tærskelværdier til at vurdere auditive effekter af undervandsstøj, såkaldt midlertidigt (TTS) og permanent (PTS) høretab på forskellige grupper af havpattedyr. Af relevans for arter af havpattedyr i danske farvande er grupperne PCW (spættet sæl og gråsæl) og VHF (marsvin), hvor tilgængelig viden om hørelsen hos en eller flere arter i gruppen er brugt til at vægte støjeksponeringen, så frekvensbånd, hvor dyrenes hørelse vurderes at være mest følsom, vægtes højest.

Tabel 2-1. Grupper af havpattedyr og deres tærskler for midlertidige og permanente høreskader. Fra (Southall, 2019).

Støjtype	**Gruppe af havpattedyr**	**Tærskelværdi for midlertidigt høretab (TTS)** Vægtet SEL, dB re 1µPa²s	**Tærskelværdi for permanent høretab (PTS)** Vægtet SEL, dB re 1µPa²s
Vedvarende støj (non-impulsiv)	PCW (sæler)	181	201
	VHF (marsvin)	153	173
Impulsstøj	PCW (sæler)	170	185
Impulsstøj	VHF (marsvin)	140	155

TTS og PTS vurderes for marsvin og sæler ud fra de gældende tærskelværdier som et kumuleret lydeksponeringsniveau over tid vægtet til hver artsgruppe (Southall, 2019).

2.2 Forstyrrelse

Foruden høreskade kan undervandsstøj også forårsage negativ adfærdsrespons i form af forstyrrelser og akustisk maskering.

EU's Habitatdirektiv pålægger streng beskyttelse af bilag IV arter, som forbyder forsætlig forstyrrelse. Hvorvidt der er tale om egentlig forstyrrelse af en art afhænger af, hvor meget og hvor ofte det sker. For at vurdere havmiljøernes samlede tilstand for undervandsstøj er det derfor nødvendigt også at opsætte tærskelværdier for forstyrrelse.

For impulsstøj findes en generaliseret tærskelværdi for forstyrrelse af marsvin på 103 dB re 1µPa (VHF-vægtet, 125 ms vindue) (Tougaard, 2021). For sæler findes ingen generaliseret tærskelværdi for forstyrrelser forårsaget af impulsstøj, men relevante studier viser, at forstyrrelser forekommer ved niveauer ned til 120 dB re 1µPa (PCW-vægtet, 125 ms vindue) (Tougaard, 2021).

Dog er der fortsat stor usikkerhed i kildestyrker og støjudbredelse fra marine aktiviteter, så regionalt anvendes der generelle støjpåvirkningsafstande (HOLAS III, HELCOM, 2023) for forskellige typer af lydkilder uanset størrelse. De standardiserede påvirkningsafstande for marsvin (som foreløbigt alternativ til egentlige tærskelværdier) er på 12 km for mitigeret pæleramning og 20 km for umitigeret pæleramning.

Da Horsens Fjord er et lavvandet marint område, vurderes det mest retvisende af benytte tærskelværdierne iht. (Tougaard, 2021) til at fastlægge påvirkningsafstande for marsvin og sæler. Den lave vanddybde vil generelt modvirke udbredelsen af støjen, idet vanddybden påvirker udbredelsen af undervandsstøj ved lave frekvenser i samspil med havbundens karakter. Den standardiserede påvirkningsafstand på 20 km for umitigeret pæleramning er således en konservativ betragtning, mens den faktiske påvirkningsafstand vurderes at være væsentlig mindre.

D +45 4348 6397 • M+45 9137 7028 • **E** martinbruun.werner@sweco.dk

3 PROJEKTET

Der vil i anlægsperioden være undervandsstøj fra ramning af spuns og pæle i forbindelse med etablering af vejdæmning over Horsens Fjord, bygværker til højvandsporte og pumpeanlæg ved udløbene af Dagnæs Bæk og Bygholm Å.

Ramningen vil foregå i et "lukket miljø" indenfor de kunstigt indvundne områder ved Horsens Havn, og støjudbredelsen vil dermed blive begrænset. Dog vil der være risiko for påvirkning af enkelte individer, som forekommer i området i perioden, hvor der nedrammes spuns og pæle i fjorden.



Figur 3.1 Oversigtskort over ringvejens placering.

Nedramning af spuns og pæle Ramningerne udføres i delperioder hen over 3 år, fra november 2026 til december 2029. Ramningerne er fordelt over alle årets sæsoner

Foruden rammeaktiviteter vurderes der ikke at være anlægsaktiviteter i og nær fjorden, der kan give anledning til væsentlig støjpåvirkning i Horsens Fjord.

4 METODE

Dette afsnit beskriver den anvendte metode til estimering af udledningen af undervandsstøj og påvirkningen på marine arter.

Simuleringer af udbredelsen af undervandsstøj foretages ved brug af softwaren Quonops Online Services (Quiet-Oceans). Softwaren benytter miljødata fra online databaser, deriblandt EU Copernicus, til at modellere transmissionen af lyd/støj igennem et specifikt havmiljø. Quonops benytter sig af to udbredelsesmodeller: PE-metoden (Parabolic Equation) for frekvenser lavere end 3kHz og ray tracing (Bellhop) for frekvenser over 3kHz.

Da den faktiske anlægsperiode på nuværende tidspunkt er ukendt, er der indledningsvis foretaget simuleringer for alle fire årstider, hvor de højeste niveauer ses om foråret grundet gunstige lydudbredelsesforhold. Simuleringerne er efterfølgende udført for marts (tidligt forår), som er udvalgt til at være en repræsentativ måned for, hvornår støjen spreder sig længst, på grund af hydrologiske forhold, herunder temperatur og salinitet.

Simuleringerne af undervandsstøj baseres desuden på projektrelaterede data (anvendt udstyr, placering, varighed osv.). I nærværende undersøgelse er spunsramning sat til et kildeniveau på 196 dB re 1 μPa^2s, som iht. Quonops svarer til støjen ved nedramning af en pæl med en diameter på 0.5 m. Det anvendte kildeniveau i 1/1-oktavbånd fremgår af Tabel 4-1.

	Frekvens [Hz]								
	16	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000
Kildeniveau Spunsramning	109,9	142,1	178,1	170,1	163,5	154,1	147,7	137,3	126,3

Tabel 4-1. Anvendt kildeniveau for ramning af spuns, SEL (dB ref. 1µPa²s@1m).

Udbredelse af undervandsstøj i kystnære lavvandede områder er komplekst, da det ikke er muligt at tage højde for områdernes foranderlige forhold, deriblandt vanddybder og salinitet. Usikkerheden på beregningerne er således større end ved tilsvarende simuleringer af undervandsstøj på åbent hav.

Samtidigt antager Softwaren Quonops nogle generelle dybdekurver for Horsens Fjord. Opløsningen af den anvendte bathymetri er 50×50 meter, hvilket sætter en øvre grænse for detaljeringsgraden. I Quonops beregningsmodellen er de enkelte havnebassiner tilpasset softwarens opløsning, og vanddybden og udformningen af disse afviger derfor i nogen grad fra den reelle udformning.

For at minimere usikkerheder forbundet med opløsningen i Quonops, er placeringen af rammeaktiviteter valgt udenfor havnebassinet, hvor vanddybden er tilstrækkelig, og hvor undervandsstøjen udbredes mere frit. Dette må betragtes som et worst-case scenarie for samtlige rammeaktiviteter i/nær fjorden, da den faktiske støjudbredelse vil begrænses af omgivende landanlæg.

4.1 Vurdering af midlertidigt og permanent høretab

Midlertidigt (TTS) og permanent (PTS) høretab for marsvin og sæler vurderes på baggrund af det kumulerede lydeksponeringsniveau, SEL_{cum}, vægtet for henholdsvis marsvins (VHF-vægtet) og sælers (PCW-vægtet) hørelse i vand.

For ramning af spuns, som udleder impulsstøj, beregnes det kumulerede lydeksponeringsniveau som:

$$SEL_{cum} = SEL_{ss} + 10\log10(N),$$

hvor SEL_{ss} er støjniveauet for et enkelt slag (single strike) beregnet i Quonops, og N angiver antallet af slag for tidsperioden som støjen akkumuleres over.

Ved brug af de gældende tærskelværdier, vægtet for hhv. marsvin og sæler (Tabel 2-1) kan niveauet af SEL_{ss} estimeres ved brug af N = 14.400 slag/dag (antagelse om 30 slag per minut i 8 timer), og påvirkningsafstandene kan derefter estimeres ud fra simuleringerne i Quonops.

SEL_{ss} = 140 dB re 1µPa^{2}s – 10log$_{10}$(14400) = 98 dB re 1µPa^{2}s (marsvin TTS)
SEL_{ss} = 155 dB re 1µPa^{2}s – 10log$_{10}$(14400) = 113 dB re 1µPa^{2}s (marsvin PTS)
SEL_{ss} = 170 dB re 1µPa^{2}s – 10log$_{10}$(14400) = 128 dB re 1µPa^{2}s (sæler TTS)
SEL_{ss} = 185 dB re 1µPa^{2}s – 10log$_{10}$(14400) = 143 dB re 1µPa^{2}s (sæler PTS)

Følgende gælder for påvirkningen af havpattedyr:

- I arealet med en støjeksponering på 98 dB re 1µPa^{2}s eller højere vil vedvarende eksponering i én dag (8 timer) kunne medføre TTS hos marsvin.
- I arealet med en støjeksponering på 113 dB re 1µPa^{2}s eller højere vil vedvarende eksponering i én dag (8 timer) kunne medføre PTS hos marsvin.
- I arealet med en støjeksponering på 128 dB re 1µPa^{2}s eller højere vil vedvarende eksponering i én dag (8 timer) kunne medføre TTS hos sæler.
- I arealet med en støjeksponering på 143 dB re 1µPa^{2}s eller højere vil vedvarende eksponering i én dag (8 timer) kunne medføre PTS hos sæler.

Kun hvis dyret opholder sig indenfor området i otte timer akkumuleres eksponeringen til en midlertidig eller permanent høreskade.

4.2 Vurdering af forstyrrelser

Forstyrrelser af marsvin og sæler vurderes på baggrund af tærskelværdierne beskrevet i afsnit 2.2, hhv. $L_{p,125ms,VHF}$ 103 dB re 1µPa for marsvin og $L_{p,125ms,PCW}$ 120 dB re 1µPa for sæler.

Lydeksponeringsniveauet, SEL (dB re 1µPa^{2}s), kan omregnes til et lydtryk, L_p (dB re 1µPa RMS), ved at tage højde for varigheden T. For et tidsvindue på 125 ms gælder følgende:

$$L_{p,125ms} = SEL + 10\log_{10}(0{,}125) = SEL + 9 \text{ dB}$$

Påvirkningsafstanden, hvor forstyrrelser af marsvin og sæler kan forekomme, kan herefter estimeres på baggrund af støjniveauet SEL_{ss} beregnet i Quonops.

$SEL_{ss} = L_{p,125ms,VHF} – 9 \text{ dB} = 103 \text{ dB} – 9 \text{ dB} = 94 \text{ dB re 1µPa}^2\text{s}$ (marsvin)
$SEL_{ss} = L_{p,125ms,PCW} – 9 \text{ dB} = 120 \text{ dB} – 9 \text{ dB} = 111 \text{ dB re 1µPa}^2\text{s}$ (sæler)

D +45 4348 6397 • M+45 9137 7028 • **E** martinbruun.werner@sweco.dk

5 RESULTATER

Der er foretaget beregninger af undervandsstøjen ved ramning af spuns og pæle i Horsens Fjord.

Påvirkningsafstanden for midlertidigt høretab (TTS), permanent høretab (PTS) og forstyrrelser for henholdsvis marsvin og sæler er bestemt på baggrund af beregninger og tilhørende støjudbredelseskort jf. bilag, tegning 1-6. De enkelte støjudbredelseskort viser støjniveauet ned til vurderingskriterierne jf. afsnit 4.1 og 4.2, så påvirkningsafstanden nemt kan aflæses.

Det bemærkes, at rammearbejdet er placeret lidt udenfor havnebassinet jf. metodebeskrivelsen (afsnit 4), hvor vanddybden er tilstrækkelig, og hvor undervandsstøjen udbredes mere frit. Placeringen fremgår af støjudbredelseskortene.

De estimerede påvirkningsafstande fremgår af Tabel 5-1. Desuden er angivet på hvilken tegning påvirkningsafstanden kan aflæses.

*Tabel 5-1. Estimerede påvirkningsafstande ved ramning af spuns i Horsens Fjord. *En påvirkningsafstand på 20 km er fastsat som midlertidig standard for umitigeret pæleramning for havpattedyr (HELCOM).*

	Forstyrrelse	**TTS** $\mathbf{SEL_{cum,8\ timer}}$	**PTS** $\mathbf{SEL_{cum,8\ timer}}$	**TTS/PTS Single Strike**
Marsvin	2,4 km* (*tegning 3*)	1,5 km (*tegning 1*)	250 m (*tegning 2*)	< 50 m
Sæler	2,7 km* (*tegning 6*)	0,7 km (*tegning 4*)	150 m (*tegning 5*)	< 50 m

For ét enkelt slag med rammemaskine estimeres det, at marsvin og sæler, som opholder sig tæt på anlægsarbejdet, kan pådrage sig midlertidigt (TTS) eller permanent (PTS) høretab i en afstand på mindre end ca. 50 m. De relativt korte påvirkningsafstande skyldes den lave vanddybde i Horsens Fjord, som medfører at en stor del af støjens primære energi ved lave frekvenser dæmpes.

Foruden de beregnede påvirkningsafstande bør der i vurderingen af støjpåvirkningen på havpattedyr tages højde for det tidslige aspekt i projektets arbejder, idet marine arters sårbarhed overfor forstyrrelser afhænger af deres livsstatus. Eksempelvis er havpattedyr mere sårbare overfor forstyrrelser i yngleperioden.

REFERENCES

HOLAS III, HELCOM. (2023). *HOLAS 3 - Hazardous Substances, Marine litter, Underwater noise, Non-indigenous species.* Helsinki: Helsinki Commission – HELCOM.

Southall, B. F. (2019). Marine mammal noise exposure criteria: updated scientific recommendations for residual hearing effects. *Aquatic Mammals*, 125-232.

Tougaard, J. (2021). *Thresholds For Behavioural Responses To Noise In Marine Mammals.* Aarhus: Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy.

BILAGSOVERSIGT

Tegning 1: Støjudbredelseskort Ramning, VHF-vægtet (marsvin TTS)

Tegning 2: Støjudbredelseskort Ramning, VHF-vægtet (marsvin PTS)

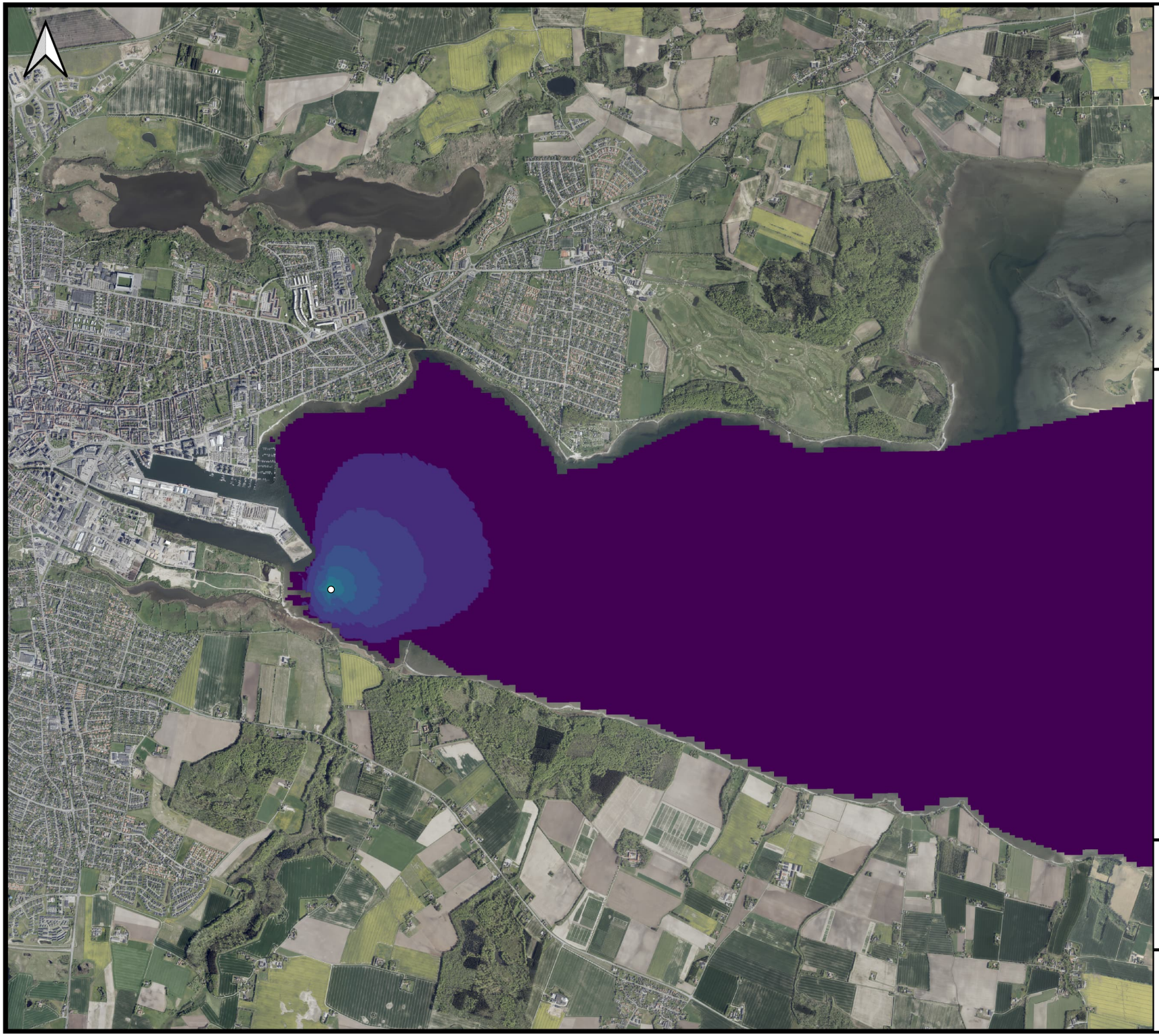
Tegning 3: Støjudbredelseskort Ramning, VHF-vægtet (marsvin forstyrrelser)

Tegning 4: Støjudbredelseskort Ramning, PCW-vægtet (sæler TTS)

Tegning 5: Støjudbredelseskort Ramning, PCW-vægtet (sæler PTS)

Tegning 6: Støjudbredelseskort Ramning, PCW-vægtet (sæler forstyrrelser)

D +45 4348 6397 • M+45 9137 7028 • **E** martinbruun.werner@sweco.dk



Tegning 1

Beskrivelse:

Udbredelse af undervandsstøj ved ramning af spuns i forbindelse med etablering af vejdæmning over havnebassin.

Kortet viser lydeksponeringsniveauet SELss (single strike) vægtet for marsvin (VHF).

Kildeniveau: 196 dB re 1 µPa2s

Dato: 19-02-2025

Project Sound Level
SELss i dB ref 1µPa2.s (VHF-weighted)

- < 98
- 98 - 103
- 103 - 108
- 108 - 113
- 113 - 118
- 118 - 123
- 123 - 128
- 128 - 133
- 133 - 138
- 138 - 143
- 143 - 148
- 148 - 153
- 153 - 158
- 158 - 163
- 163 - 168
- > 168

SWECO

0 0,5 1 1,5 2 km



Tegning 2

Beskrivelse:

Udbredelse af undervandsstøj ved ramning af spuns i forbindelse med etablering af vejdæmning over havnebassin.

Kortet viser lydeksponeringsniveauet SELss (single strike) vægtet for marsvin (VHF).

Kildeniveau: 196 dB re 1 µPa2s

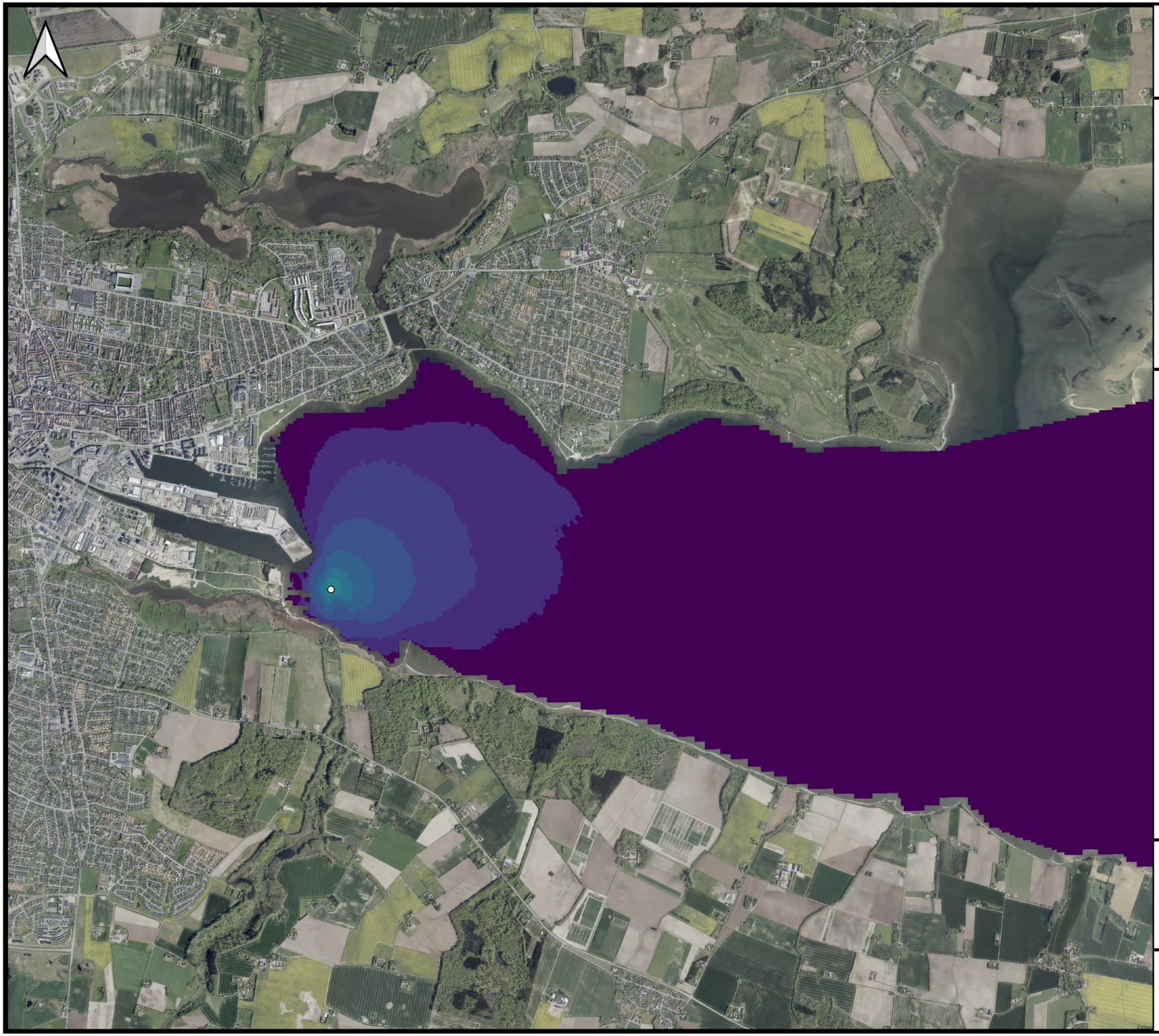
Dato: 19-02-2025

Project Sound Level
SELss i dB ref 1µPa2.s (VHF-weighted)

- < 113
- 113 - 118
- 118 - 123
- 123 - 128
- 128 - 133
- 133 - 138
- 138 - 143
- 143 - 148
- 148 - 153
- 153 - 158
- 158 - 163
- 163 - 168
- 168 - 173
- 173 - 178
- 178 - 183
- > 183

SWECO

0 0,5 1 1,5 2 km



Tegning 3

Beskrivelse:

Udbredelse af undervandsstøj ved ramning af spuns i forbindelse med etablering af vejdæmning over havnebassin.

Kortet viser lydeksponeringsniveauet SELss (single strike) vægtet for marsvin (VHF).

Kildeniveau: 196 dB re 1 µPa2s

Dato: 19-02-2025

Project Sound Level
SELss i dB ref 1µPa2.s (VHF-weighted)

- < 94
- 94 - 99
- 99 - 104
- 104 - 109
- 109 - 114
- 114 - 119
- 119 - 124
- 124 - 129
- 129 - 134
- 134 - 139
- 139 - 144
- 144 - 149
- 149 - 154
- 154 - 159
- 159 - 164
- > 164

SWECO

0 0,5 1 1,5 2 km



Tegning 4

Beskrivelse:

Udbredelse af undervandsstøj ved ramning af spuns i forbindelse med etablering af vejdæmning over havnebassin.

Kortet viser lydeksponeringsniveauet SELss (single strike) vægtet for sæler (PCW).

Kildeniveau: 196 dB re 1 µPa2s

Dato: 19-02-2025

Project Sound Level
SELss i dB ref 1µPa2.s (PCW-weighted)

- < 128
- 128 - 133
- 133 - 138
- 138 - 143
- 143 - 148
- 148 - 153
- 153 - 158
- 158 - 163
- 163 - 168
- 168 - 173
- 173 - 178
- 178 - 183
- 183 - 188
- 188 - 193
- 193 - 198
- > 198

SWECO

0 0,5 1 1,5 2 km



Tegning 5

Beskrivelse:

Udbredelse af undervandsstøj ved ramning af spuns i forbindelse med etablering af vejdæmning over havnebassin.

Kortet viser lydeksponeringsniveauet SELss (single strike) vægtet for sæler (PCW).

Kildeniveau: 196 dB re 1 µPa2s

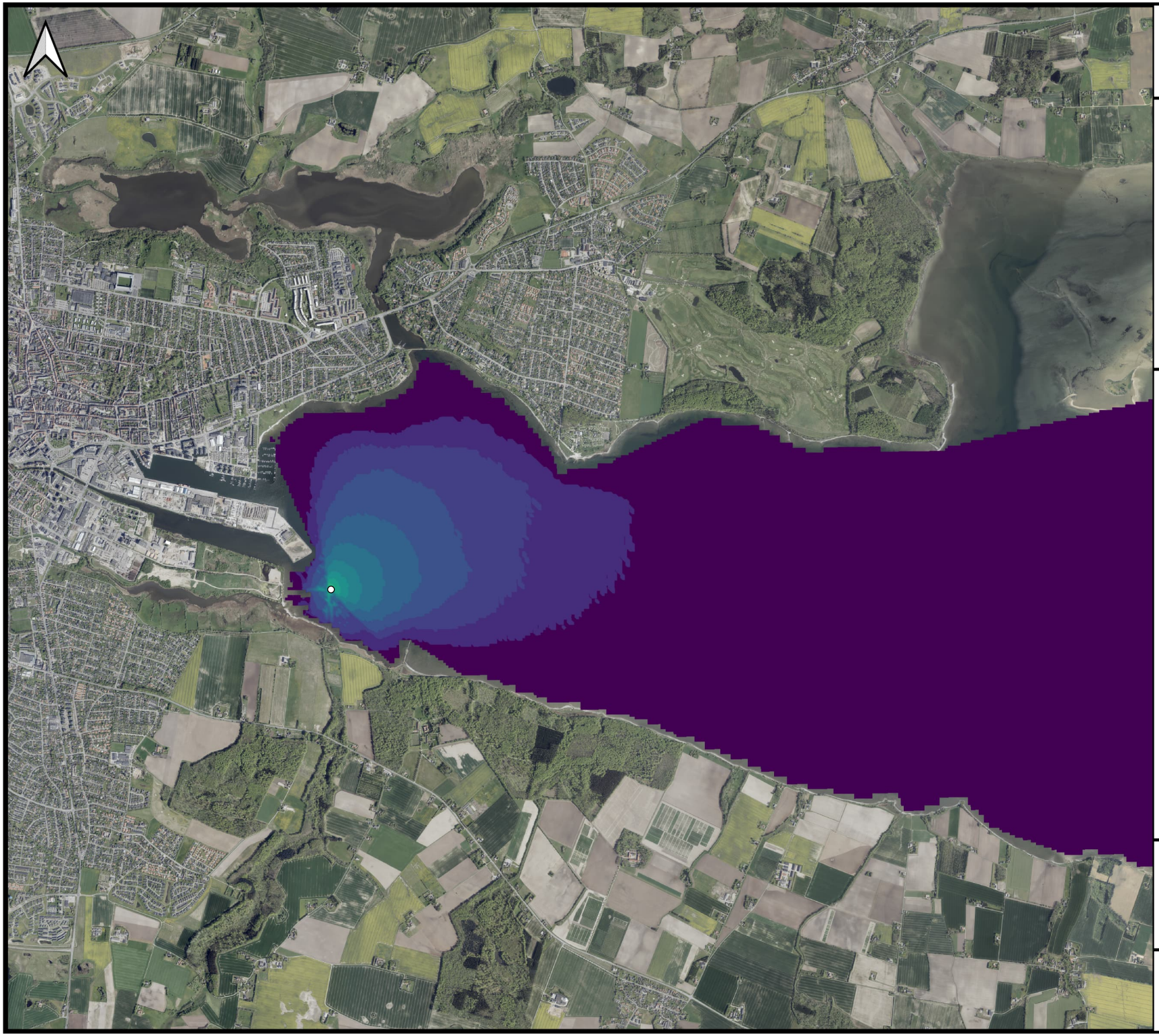
Dato: 19-02-2025

Project Sound Level
SELss i dB ref 1µPa2.s (PCW-weighted)

- < 143
- 143 - 148
- 148 - 153
- 153 - 158
- 158 - 163
- 163 - 168
- 168 - 173
- 173 - 178
- 178 - 183
- 183 - 188
- 188 - 193
- 193 - 198
- 198 - 203
- 203 - 208
- 208 - 213
- > 213

SWECO

0 0,5 1 1,5 2 km



Tegning 6

Beskrivelse:

Udbredelse af undervandsstøj ved ramning af spuns i forbindelse med etablering af vejdæmning over havnebassin.

Kortet viser lydeksponeringsniveauet SELss (single strike) vægtet for sæler (PCW).

Kildeniveau: 196 dB re 1 µPa2s

Dato: 19-02-2025

Project Sound Level
SELss i dB ref 1µPa2.s (PCW-weighted)

- < 111
- 111 - 116
- 116 - 121
- 121 - 126
- 126 - 131
- 131 - 136
- 136 - 141
- 141 - 146
- 146 - 151
- 151 - 156
- 156 - 161
- 161 - 166
- 166 - 171
- 171 - 176
- 176 - 181
- > 181

SWECO

0 0,5 1 1,5 2 km