

Memo

www.tno.nl
5.1.2.e

Aan ONE-Dyas B.V.
Van 5.1.2.e
Onderwerp F06 platform onderwatergeluid berekeningen

Datum
14 oktober 2024
Onze referentie
2024 TNO M10492A

Projectnummer
060.59973

1. Inleiding

ONE-Dyas wil het offshore platform F06-A plaatsen om olie te winnen uit het in 2020 ontdekte IJssel veld in de Noordzee. ONE-Dyas heeft TNO gevraagd om berekeningen uit te voeren van de te verwachten onderwatergeluidniveaus bij de aanleg. Daarmee kan in de milieueffectrapportage en de passende beoordeling inzicht worden gegeven in de te verwachten verstoringseffecten voor bruinvissen en zeehonden.

Zoals beschreven in [1] is vooral het onderwatergeluid bij heiwerkzaamheden van belang voor de verstoring van zeezoogdieren. Daarom is in deze studie gekeken naar de heiwerkzaamheden voor de 4 fundatiepalen voor het platform en voor maximaal 9 conductorpijpen voor de boorputten.

In deze studie is met behulp van het Aquarius 4 voorspellingsmodel (de Jong et al, 2018) uitgerekend wat het te verwachten onderwatergeluidniveau (single strike sound exposure level; SEL_{ss}) is op de referentieafstand (750 m) van de platformlocatie en op de dichtstbijzijnde locatie op de grens met het Duitse deel van de Noordzee en met de Natura2000 gebieden 'Doggerbank'. Ook is berekend binnen welk oppervlak rond het platform bruinvissen en zeehonden verstoord worden, volgens de methodiek van het Kader Ecologie en Cumulatie (KEC, zie [1]).

2. Heiscenario's

De locatie van het F06-A platform is gegeven in [Tabel 1](#) en [Figuur 1](#). Omdat het Aquarius 4 model voor het berekenen van geluidniveaus en verstoringsoppervlakte niet erg gevoelig is voor de exacte locatie binnen een straal van enkele km, is voor alle heiactiviteiten de centrale locatie van het platform als bronlocatie genomen.

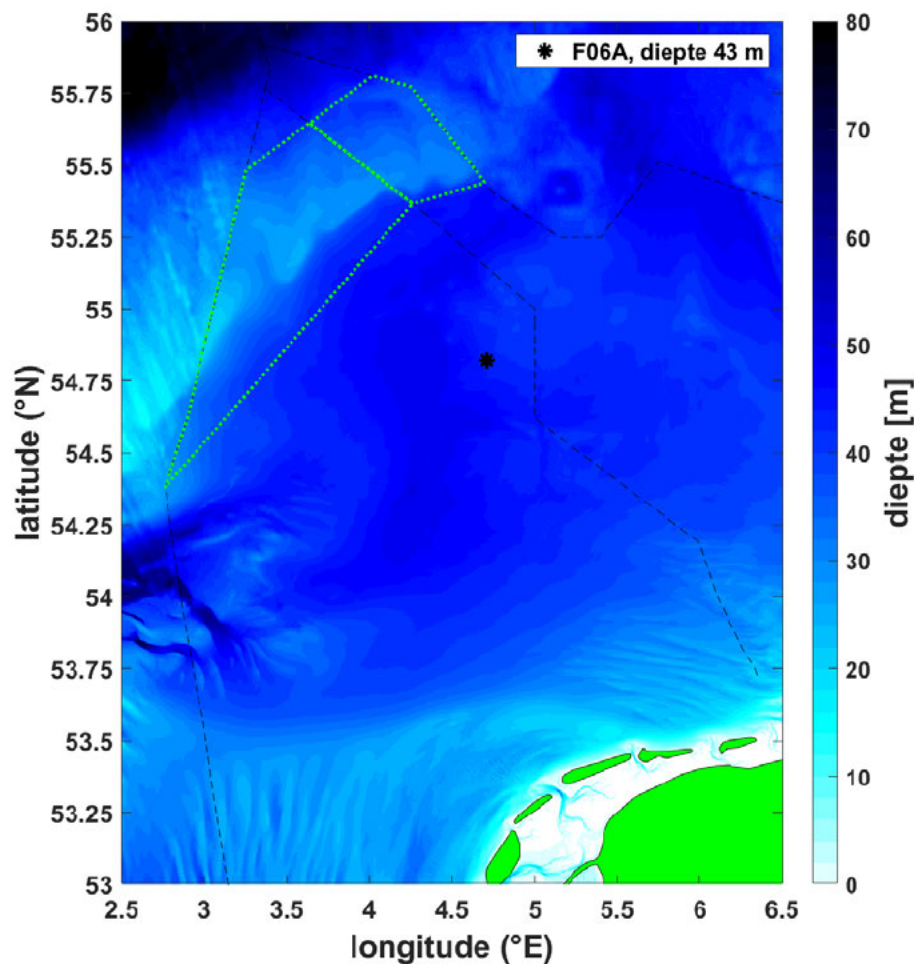
Tabel 1: Platformlocatie

Geografische coördinaten (CRS ED50 UTM31)	610149.0, 6076264.0
Geografische coördinaten (WGS84)	54.8195 N, 4.7129 E
Waterdiepte L.A.T.	43 m

De toegepaste invoergegevens voor de heigeluidberekeningen zijn samengevat in [Tabel 2](#).

Tabel 2: Model parameters voor heiwerkzaamheden

	Platformpalen			conductorpijpen
Aantal palen	4			9
Paaldiameter	2,438 m (96")			0,762 m (30")
Wanddikte	76 mm			25 mm
Hamertype	S-1200	S-2300	MHU-3500	IQIP S-150
Massa ram	60 ton	115 ton	175 ton	4,5 ton
Massa aambeeld	60 ton	115 ton	175 ton	4,5 ton
Contactstijfheid	20 GPa	20 GPa	20 GPa	20 GPa



Figuur 1: Geplande locatie van het F06-A platform (*) en de bathymetrie (laagste astronomisch getij; WGS84; 1/8 minuut resolutie; van <http://www.emodnet-bathymetry.eu/>). De lichte stippellijnen tonen de contouren van de Duitse en Nederlandse Natura2000 gebieden 'Doggerbank'.

Het TNO-rekenmodel Aquarius 4 [2] berekent de onderwatergeluidstraling van de heipaal op basis van de eigenschappen van de hamer en de paal, gebruik makend van het hamermodel van Deeks & Randolph [3]. Bij gebrek aan betere informatie is aangenomen dat de massa van het aambeeld gelijk is aan die van de hamer (ram) en datzelfde geschatte contactstijfheid kan worden gebruikt als in [2].

Om inzicht te verschaffen in de gevoeligheid van het onderwatergeluid voor de keuze van hamer en maximaal toegepaste hamerklapenergie zijn in overleg met ONE-Dyas een aantal scenario's opgesteld waarvoor berekeningen zijn uitgevoerd, zie [Tabel 3](#). Daar is een scenario (10) aan toegevoegd waarbij de massa van het aambeeld gehalveerd is.

Tabel 3: Scenario's voor de onderwatergeluidberekeningen

Nr.	Hamer	hamerenergie
1	S-1200	600 kJ
2	S-2300	600 kJ
3	MHU-3500	600 kJ
4	S-1200	1000 kJ
5	S-2300	1000 kJ
6	MHU-3500	1000 kJ
7	S-2300	2000 kJ
8	MHU-3500	2000 kJ
9	MHU-3500	3000 kJ
10	MHU-3500, massa aambeeld 87,5 ton	3000 kJ
11	S-150	90 kJ

3. Aquarius 4 propagatieberekening

Het TNO-rekenmodel Aquarius 4 [2] berekent de ruimtelijke verspreiding van het onderwatergeluid onder invloed van gegevens van de omgeving (bathymetrie en geologie). In de Aquarius modellen wordt het sediment gemodelleerd als een equivalente uniforme vloeistof (zonder afschuifstijfheid of gelaagdheid). In het Wozep onderzoek is aangetoond dat deze aanname laagfrequent leidt tot een goede match met metingen van het onderwatergeluid bij het heien voor het Gemini windpark, mits rekening gehouden wordt met een frequentieafhankelijke absorptie in het sediment [2].

De berekeningen zijn uitgevoerd op de centerfrequenties van de tertsbanden vanaf 16 Hz tot en met 20 kHz. Het resultaat van de geluidberekeningen is de maximumwaarde van het ongewogen breedband SELss over de waterdiepte.

[Tabel 4](#) geeft een overzicht van de in de berekeningen toegepaste waarden van de omgevingsparameters. De bathymetrie (ten opzichte van het laagste astronomische getij) is verkregen uit het EModNet dataportaal. De overige gegevens zijn gebaseerd op standaardwaarden uit tabel 4.18 van [4], aangepast naar aanleiding van een eerdere validatie van de berekeningsresultaten van het Aquarius 4 model met meetgegevens van het heien voor een turbinefundatie voor het Gemini offshore windpark [2]. Op basis van die validatiestudie kunnen de gegevens als voldoende representatief worden beschouwd voor deze omgeving.

Tabel 4: Omgevingsparameters voor de geluidpropagatieberekeningen

Waterdiepte	EModNet bathymetrie, 1/8 minuut resolutie, (http://www.emodnet-bathymetry.eu/)
Bodemtype	'medium sand' (Ainslie, 2010; Tabel 4.18; $\phi = 1.5$)
Bodem geluidsnelheid	1797 m/s
Bodem dichtheid	2136 kg/m ³
Bodem absorptie	0,88 dB/golflengte voor $f \geq 250$ Hz $\left(\frac{f}{250 \text{ Hz}}\right)^{0.8} \times 0,88$ dB/golflengte voor $f < 250$ Hz
(de Jong et al, 2018)	1500 m/s
Zeewater geluidsnelheid	1000 kg/m ³

4. Resultaten berekeningen onderwatergeluid

Uit de Aquarius 4 berekeningen voor heien zonder mitigatiemaatregelen volgt voor de diverse scenario's een maximumwaarde van de ongewogen breedband SELss op een cirkel met een straal van 750 m rond de platformlocatie (Tabel 1) en op de dichtstbijzijnde locatie op de grens met het Duitse deel van de Noordzee, op 18 km van het platform, zie Tabel 5.

Tabel 5: Berekend onderwatergeluid op voor de diverse scenario's: de maximale waarde van SELss op 750 m afstand van het F06-A platform en SELss op de dichtstbijzijnde locatie op de grens met het Duitse deel van de Noordzee, op 18 km afstand van het platform, en op de grens met de Duitse .

Nr.	Hammer	Hammer-energie	Max. SELss(750m) re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	DE grens SELss(18km) re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	Doggerbank DE SELss(66km) re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	Doggersbank NL SELss(62km) re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$
1	S-1200	600 kJ	168 dB	141 dB	123 dB	125 dB
2	S-2300	600 kJ	163 dB	138 dB	121 dB	123 dB
3	MHU-3500	600 kJ	160 dB	136 dB	119 dB	121 dB
4	S-1200	1000 kJ	171 dB	144 dB	125 dB	127 dB
5	S-2300	1000 kJ	165 dB	141 dB	123 dB	125 dB
6	MHU-3500	1000 kJ	162 dB	138 dB	121 dB	123 dB
7	S-2300	2000 kJ	168 dB	144 dB	126 dB	128 dB
8	MHU-3500	2000 kJ	165 dB	141 dB	124 dB	126 dB
9	MHU-3500	3000 kJ	167 dB	143 dB	126 dB	128 dB
10	MHU-3500, massa aambeeld 87,5 ton	3000 kJ	170 dB	146 dB	129 dB	130 dB
11	S-150	90 kJ	164 dB	127 dB	106 dB	108 dB

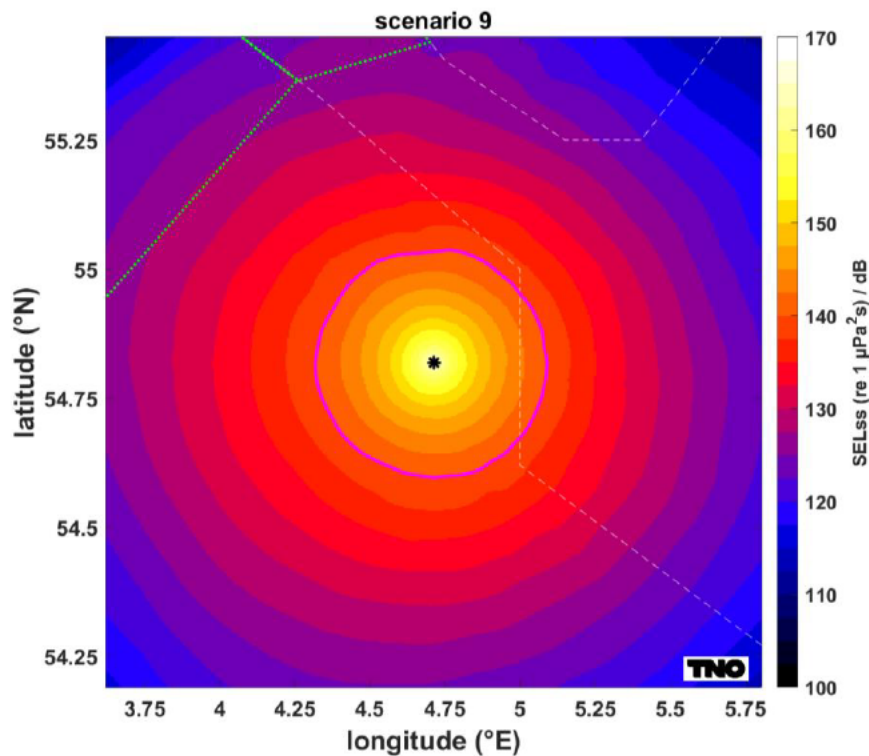
Dit laat zien hoe het heigeluid varieert als functie van zowel hamerenergie als hamertype, in het hamermodel gekarakteriseerd door de massa's van ram en aambeeld. In het algemeen leiden grotere massa's tot lagere berekende geluidniveaus.

Eventueel kan het heigeluid met behulp van in de markt beschikbare maatregelen gemitigeerd worden, zie bijvoorbeeld het overzicht in [Tabel 6](#). Het GABC-systeem is speciaal voor jacket-fundaties ontwikkeld, zie [5].

Tabel 6: overzicht van de bandbreedte aan geluidreducties die eerder zijn behaald met diverse maatregelen, uit [5] (NAS = underwater noise abatement systems; BBC = big bubble curtain; DBBC = double big bubble curtain; IHC-NMS = IHC noise mitigation system; HSD = hydro sound damper; GABC = grout annulus bubble curtain).

No.	Noise Abatement System resp. combination of Noise Abatement Systems (applied air volume for the (D)BBC; water depth)	Insertion loss Δ SEL [dB] (minimum / average / maximum)	Number of foundations
1	IHC-NMS (different designs) (water depth up to 40 m)	13 ≤ 15 ≤ 17 dB IHC-NMS8000 15 ≤ 16 ≤ 17 dB	> 450 > 65
2	HSD (water depth up to 40 m)	10 ≤ 11 ≤ 12 dB	> 340
3	optimized double BBC* ¹ (> 0,5 m ³ /(min m), water depth ~ 40 m)	15 – 16	1
4	combination IHC-NMS + optimized BBC (> 0,3 m ³ /(min m), water depth < 25 m)	17 ≤ 19 ≤ 23	> 100
5	combination IHC-NMS + optimized BBC (> 0,4 m ³ /(min m), water depth ~ 40 m)	17 – 18	> 10
6	combination IHC-NMS + optimized DBBC (> 0,5 m ³ /(min m), water depth ~ 40 m)	19 ≤ 21 ≤ 22	> 65
7	combination HSD + optimized BBC (> 0,4 m ³ /(min m), water depth ~ 30 m)	15 ≤ 16 ≤ 20	> 30
8	combination HSD + optimized DBBC (> 0,5 m ³ /(min m), water depth ~ 40 m)	18 – 19	> 30
9	GABC skirt-piles* ² (water depth bis ~ 40 m)	~ 2 – 3	< 20
10	GABC main-piles* ³ (water depth bis ~ 30 m)	< 7	< 10
11	„noise-optimized“ pile-driving procedure (additional additive, primary noise mitigation measure; chapter 5.2.2)	~ 2 - 3 dB per halving of the blow energy	

[Figuur 2](#) toont een voorbeeld van de berekende geluidverspreiding bij ongemitigeerd heien van de funderingspalen voor het F06-A platform, voor scenario 9.

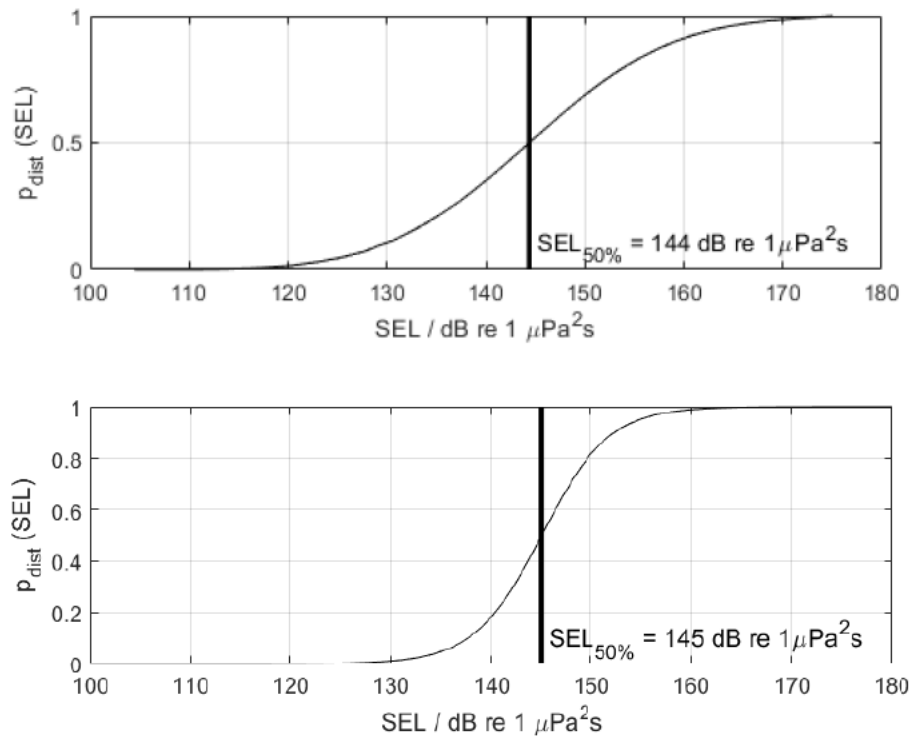


Figuur 2: Met het Aquarius 4 model berekende geluidskaat (ongewogen breedband SELss) voor het heien van de funderingspalen voor het F06-A platform (scenario 9). * = platformlocatie. De magenta lijn geeft de contour voor SELss = 140 dB.

5. Dosis-effect relatie

De verstoring van dieren door geluid varieert per individu en is afhankelijk van de context waarin de dieren aan het geluid worden blootgesteld. Tyack & Thomas [6] benadrukken het belang van het toepassen van dosis-respons relaties bij het schatten van het aantal dieren dat mogelijk beïnvloed wordt, en geven aan dat het toepassen van een discrete drempelwaarde tot een foute inschatting kan leiden. Daarom is in het KEC 4.0 [1] besloten om gebruik te maken van dosis-respons relaties in plaats van de in KEC1.0-3.0 toegepaste discrete drempelwaarden voor verstoring.

Voor bruinvissen is deze relatie geschat op basis van waarnemingen rond heiwerkzaamheden in Nederland, Duitsland en Schotland (o.a. [7], [8], [9]) en voor zeehonden op basis van [10], [11], [12] en [13]. De gebruikte relaties zijn in [Figuur 3](#) weergegeven. Voor verdere details over de toegepaste dosis-effect relaties voor bruinvissen en zeehonden verwijzen we naar het KEC 4.0 rapport [1].



Figuur 3: Relaties tussen geluidsdosis (ongewogen breedband single strike sound exposure level) en kans op het optreden van een gedragsrespons bij bruinvissen (boven) en zeehonden (onder). Er is van uitgegaan dat de respons van gewone en grijze zeehonden vergelijkbaar is. De verticale lijn en de in de figuren weergegeven $\text{SEL}_{50\%}$ -waarde geven aan bij welke SEL er 50% kans op verstoring van de dieren is. Uit [1].

6. Verstoringsoppervlak en aantal verstoorde dieren

Uit de geluidverspreiding is per locatie op de kaart de kans op verstoring van bruinvissen en zeehonden berekend door het toepassen van de dosis-effectrelaties (§5). Het effectieve oppervlak waarbinnen dieren mogelijk verstoord worden door heigeluid is vervolgens berekend door per punt op de kaart de berekende kans te vermenigvuldigen met het oppervlak van de gridcel rond het punt en dit vervolgens te sommeren over alle punten van de geluidkaart.

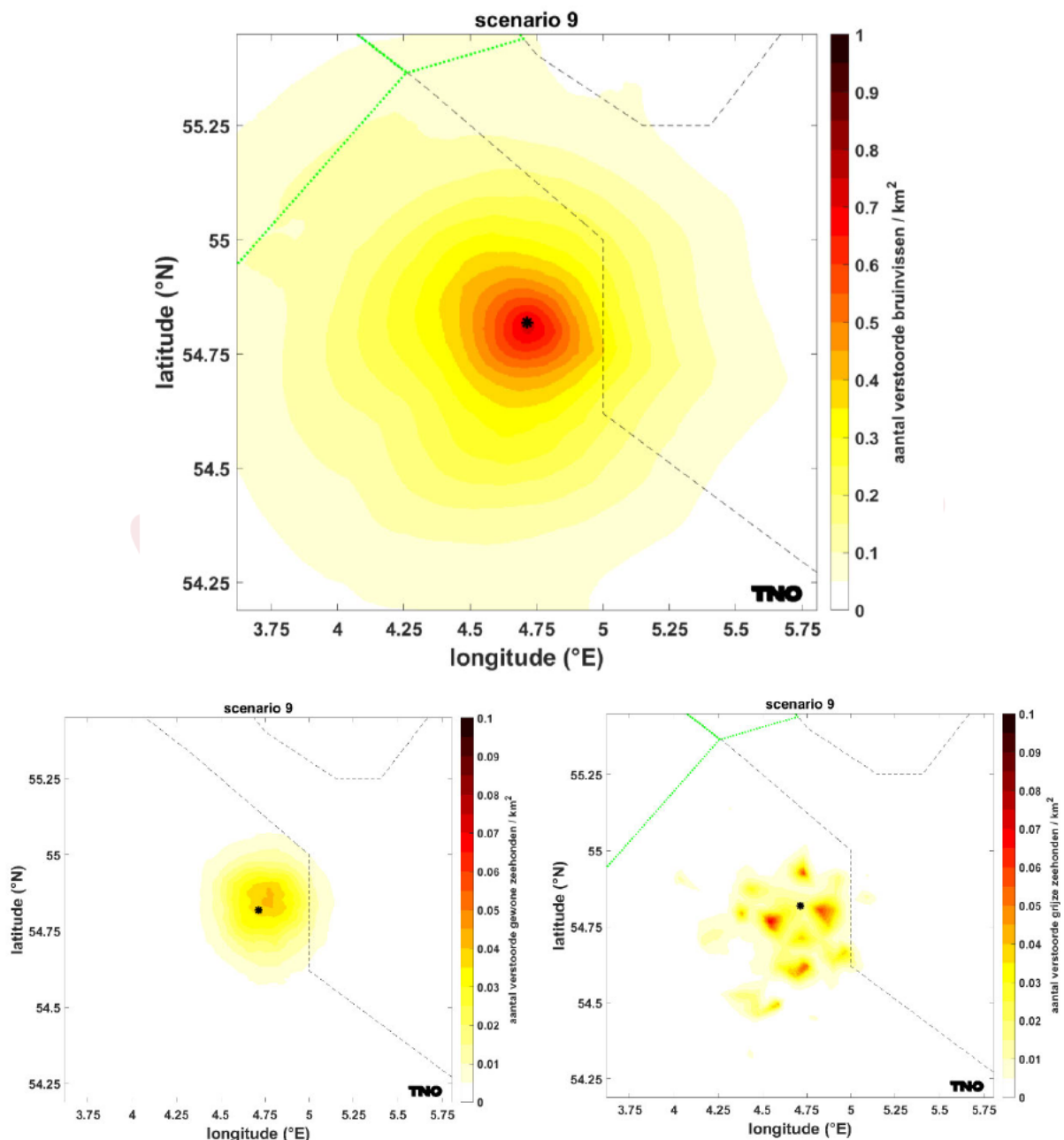
In het KEC 4.0 [1] is gebruik gemaakt van de meest recente verspreidingskaarten van bruinvissen en gewone en grijze zeehonden. Het aantal verstoorde dieren per heidag is voor de drie soorten berekend door voor elk punt in de geluidkaart de kans op verstoring te vermenigvuldigen met het oppervlak van de gridcel rond het punt én met de lokale schatting van de dichtheid van de dieren op dit punt (uit de dierverspreidingskaarten, geïnterpoleerd naar hetzelfde grid als de geluidkaarten) en dit vervolgens te sommeren over alle punten van de kaart.

Voor **bruinvissen** is de lokale dichtheid afgeleid van de kaart die door Gilles et al. [14] in opdracht van Rijkswaterstaat is samengesteld. Vanwege het ontbreken van actuele kaarten voor de overige seizoenen, is er voor deze studie, net zoals in [1] van uitgegaan dat de gemiddelde verspreidingskaart uit Gilles et al. [14] voor het hele jaar geldt.

Voor **zeehonden** op het NCP is uitgegaan van de ten behoeve van het KEC 4.0 samengestelde kaarten van Aarts et al. [15]. Hierin is op basis van alle beschikbare zendergegevens voor elke maand de

dichtheid van de gewone en grijze zeehonden gemodelleerd. Het resulterende aantal verstoorde zeehonden is het maximum over de 12 maanden van het jaar.

Figuur 4 toont een voorbeeld van het aantal verstoorde dieren bij ongemitigeerd heien van de funderingspalen voor het F06-A platform, voor scenario 9. Merk op dat het maximum van de kleurenschaal voor zeehonden een factor 10 lager is dan voor bruinvissen.



Figuur 4: Berekend aantal verstoorde dieren per km² (boven: bruinvissen, linksonder: gewone zeehonden, rechtsonder: grijze zeehonden) bij het heien van de funderingspalen voor het F06-A platform (scenario 9). * = platformlocatie.

De berekende verstoringsoppervlakken en het aantal verstoorde dieren per heidag voor de drie scenario's zijn samengevat in **Tabel 7**.

Tabel 7: Het berekende verstoringsoppervlak en het aantal verstoorde dieren per heidag per scenario, voor ongemitigeerd heien.

Scenario	Verstoringsoppervlak/ km ²		Aantal verstoorde dieren, per heidag		
	bruinvissen	zeehonden	bruinvissen	gewone zeehonden	grijze zeehonden
1	2396	940	2116	209	37
2	1799	579	1579	131	21
3	1384	370	1209	85	13
4	3038	1310	2706	286	54
5	2314	844	2048	188	33
6	1801	560	1584	126	21
7	3211	1372	2873	297	58
8	2537	950	2254	209	38
9	3075	1273	2749	276	53
10	4100	1961	3705	416	87
11	500	217	405	51	6

7. Dierverstoringsdagen

Het totale aantal dierverstoringsdagen ten gevolge van het heien van de funderingspalen voor het platform en de conductorpijpen volgt volgens KEC 4 [1] uit de som van het aantal verstoorde dieren per dag (uit Tabel 7) over het aantal dagen waarop geheid wordt.

8. Discussie modelonzekerheden

TNO heeft in de afgelopen jaren een suite van Aquarius rekenmodellen ontwikkeld waarmee de onderwatergeluidverspreiding rond een heipaal berekend kan worden. De keuze van een modelversie uit die suite hangt af van de beschikbare informatie en de complexiteit van de berekening. De onzekerheid in de berekende geluidverspreiding zou in theorie af moeten nemen wanneer meer gedetailleerde informatie beschikbaar is. De beperkte modelvalidatie aan de hand van meetgegevens voor het heien van funderingspalen voor offshore windturbines op het Nederlands Continentaal Plat (PAWP, Luchterduinen, Gemini; zie [16]) laat zien dat we nog niet goed in staat zijn om die onzekerheid te kwantificeren, omdat we de bijdragen van de diverse parameters aan de onzekerheid niet goed kunnen scheiden. In een eerdere studie bleek de ongewogen breedband SELss uit de (worst-case) Aquarius berekening ongeveer 3 dB af te wijken van de maximaal gemeten waarde.

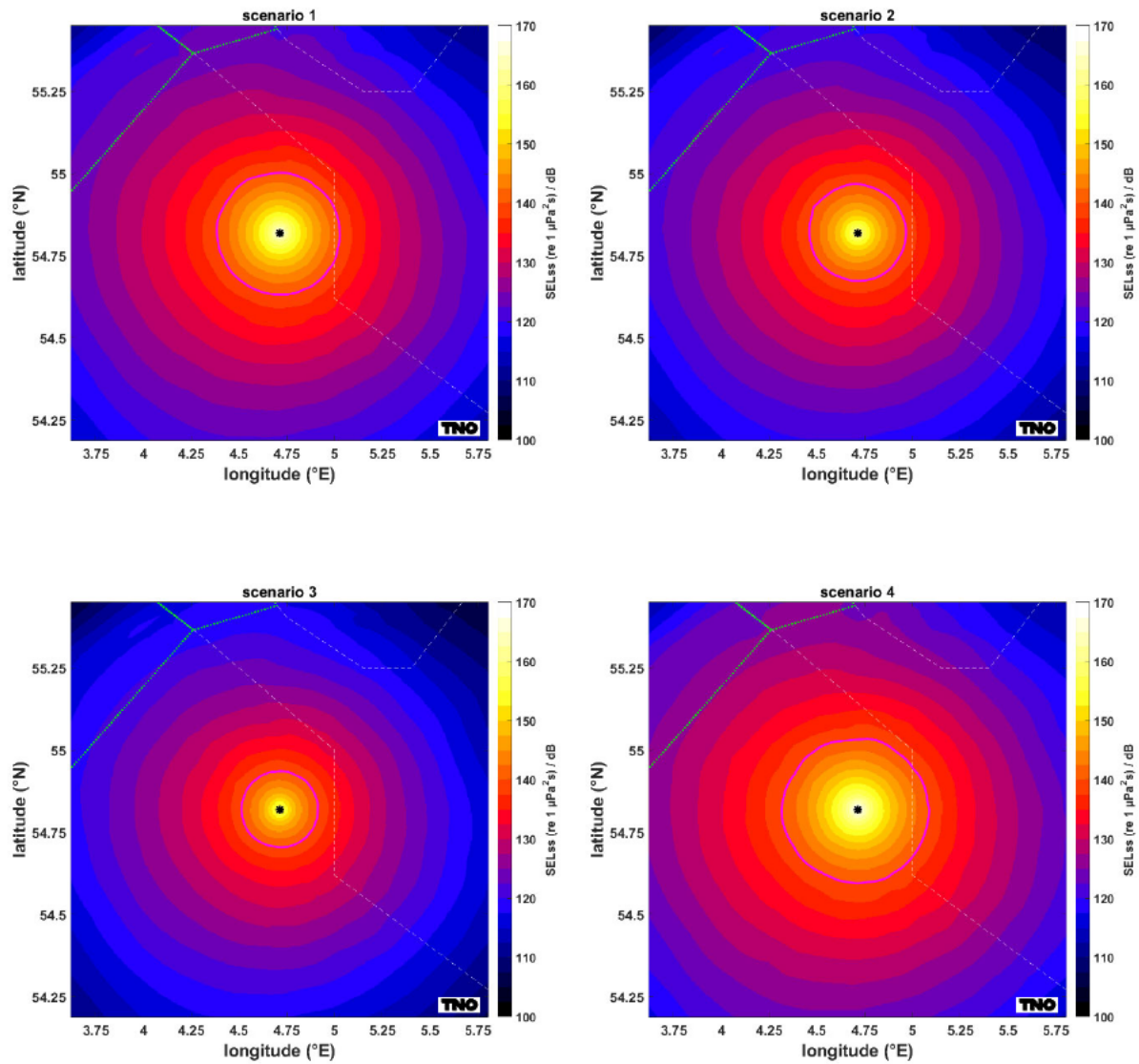
Voor het bepalen van het verstoringsoppervlak is in deze studie uitgegaan van de dosis-effect relaties zoals in het KEC 4.0 gehanteerd. Metingen van verstoring van bruinvissen bij het Gemini park suggereren dat deze berekening mogelijk leidt tot overschatting van aantal verstoorde bruinvissen ten opzichte van de daadwerkelijk gemeten verstoring [7]. Mogelijke verklaringen voor deze discrepanties kunnen zitten in de hypothese dat ook de frequentie-inhoud een rol kan spelen in de versturende werking van het geluid [17].

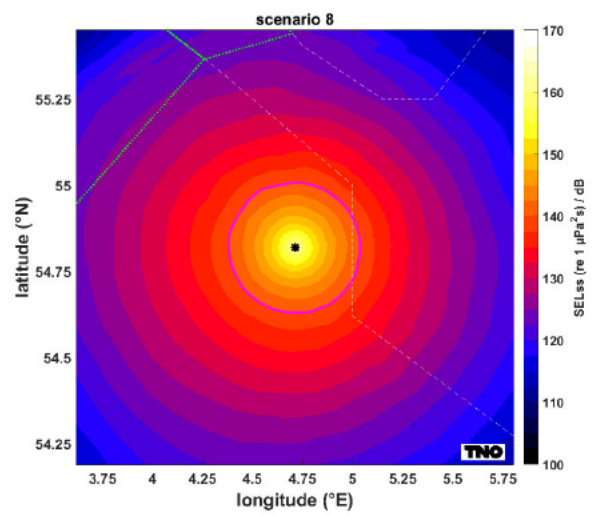
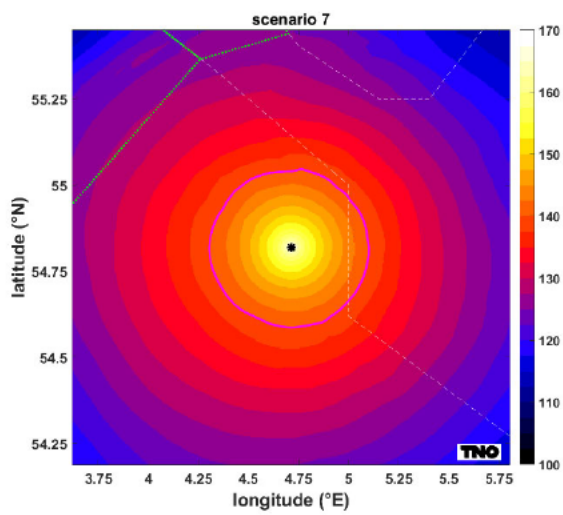
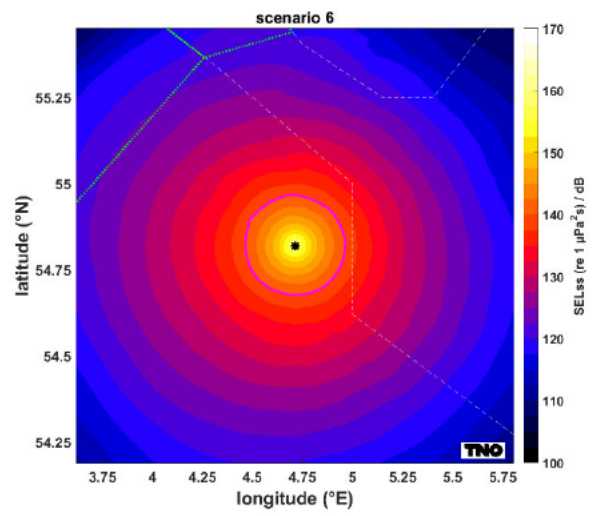
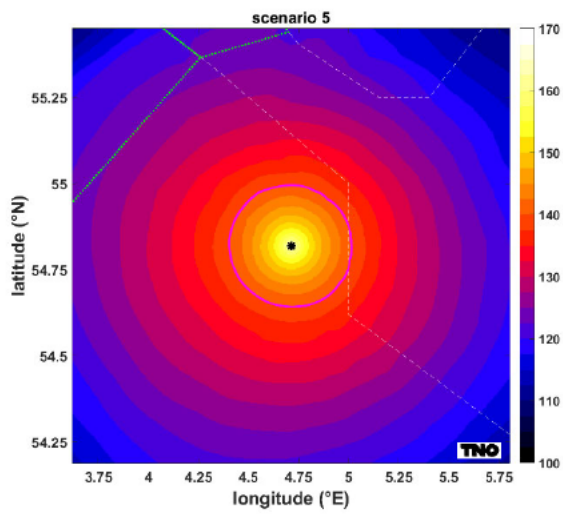
Ook de berekening van het mogelijke aantal verstoorde dieren per heidag is onzeker, vanwege diverse leemten in kennis over de aanwezigheid en het gedrag van bruinvissen en zeehonden, zie [1].

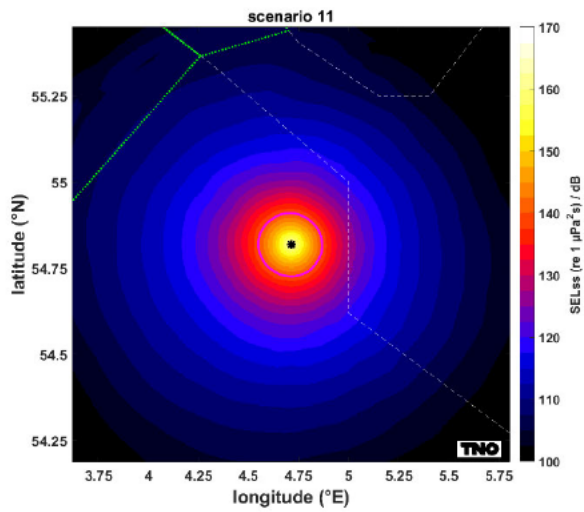
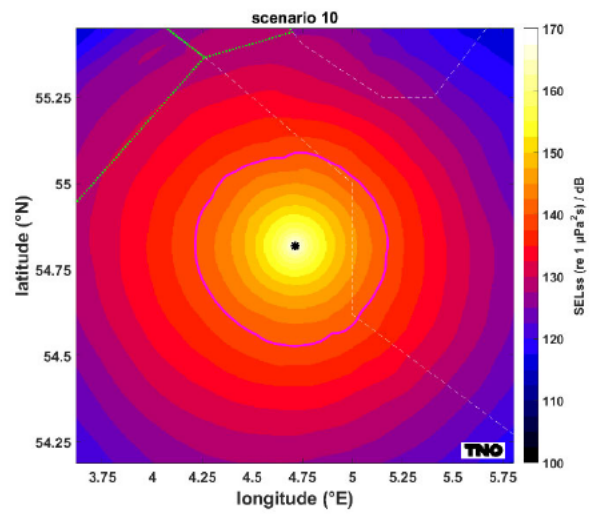
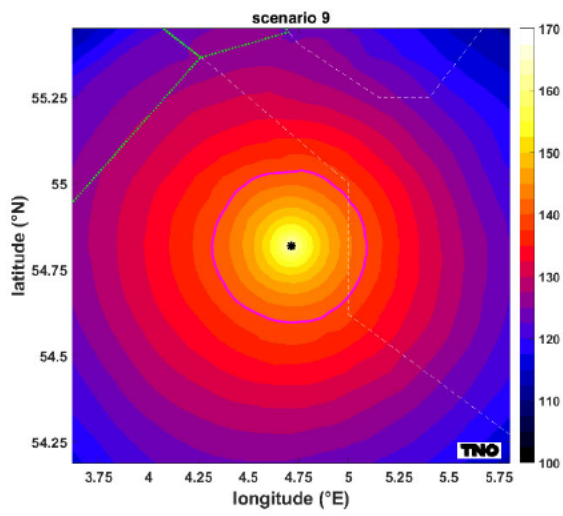
9. Verwijzingen

- [1] F. Heinis, C. de Jong en A. von Benda-Beckmann, „Kader Ecologie en Cumulatie 2021 (KEC 4.0) - zeezoogdieren,” TNO 2021 R12503, The Hague, 2022.
- [2] C. de Jong, B. Binnerts, M. Prior, M. Colin, M. Ainslie, I. Mulder en I. Hartstra, „Wozep – WP2: update of the Aquarius models for marine pile driving sound predictions,” report TNO 2018 R11671, 2019.
- [3] A. Deeks en M. Randolph, „Analytical modelling of hammer impact for pile driving,” *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, vol. 17, pp. 279-302, 1993.
- [4] M. Ainslie, *Principles of Sonar Performance Modeling*, Springer-Praxis, 2010.
- [5] M. Bellmann, A. May, T. Wendt, S. Gerlach, P. Remmers en J. Brinkmann, „Underwater noise during percussive pile driving: Influencing factors on pile-driving noise and technical possibilities to comply with noise mitigation values. ERa Report,” Itap GmbH, Oldenburg, 2020.
- [6] P. Tyack en L. Thomas, „Using dose-response functions to improve calculations of the impact of anthropogenic noise,” *Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst.*, vol. 29, nr. S1, pp. 242-253, 2019.
- [7] S. Geelhoed, E. Friedrich, M. Joost, M. A. Machiels en N. Ströber, „Gemini T-c: aerial surveys and passive acoustic monitoring of harbour porpoises 2015,” Wageningen University & Research report C020/17, 2018.
- [8] M. Brandt, A.-C. Dragon, A. Diederichs, M. Bellmann, V. Wahl, W. Piper, J. Nabe-Nielsen en G. Nehls, „Disturbance of harbour porpoises during construction of the first seven offshore wind farms in Germany,” *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, vol. 596, pp. 213-232, 2018.
- [9] I. M. Graham, N. M. Merchant, A. Farcas, T. R. Barton, B. Cheney, S. Bono en P. M. Thompson, „Harbour porpoise responses to pile-driving diminish over time,” *R. Soc. open sci.* 6: 190335, 2019.
- [10] R. Kastelein, D. van Heerden, R. Gransier en L. Hoek, „Behavioural responses of a harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) to playbacks of broadband pile driving sounds,” *Mar. Environ. Res.*, vol. 92, pp. 206-214, 2013.
- [11] D. Russell, G. Hastie, D. Thompson, V. Janik, P. Hammond, L. Scott-Hayward, J. Matthiopoulos, E. Jones en B. McConnell, „Avoidance of wind farms by harbour seals is limited to pile driving activities,” *Journal of Applied Ecology*, 2016.
- [12] K. Whyte, D. Russell, C. Sparling, B. Binnerts en G. Hastie, „Estimating the effects of pile driving sounds on seals: Pitfalls and possibilities,” *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 147, nr. 6, pp. 3948-3958, 2020.
- [13] G. Aarts, S. Brasseur en R. Kirkwood, „Response of grey seals to pile-driving,” Wageningen Marine Research, report C006/18, 2018.
- [14] A. Gilles, N. Ramirez-Martinez, D. Nachtsheim en U. Siebert, „Update of distribution maps of harbour porpoises in the North Sea,” Institute for Terrestrial and Aquatic Wildlife Research (ITAW), Büsum, 2020.
- [15] G. Aarts, „Estimated distribution of grey and harbour seals for KEC 4.0,” Wageningen Marine Research, 2021.
- [16] B. Binnerts, C. de Jong, M. Ainslie, M. Nijhof, R. Müller en H. Jansen, „Validation of the Aquarius models for prediction of marine pile driving sound,” report TNO 2016 R11338, 2016.
- [17] J. Tougaard, A. Wright en P. Madsen, „Cetacean noise criteria revisited in the light of proposed exposure limits for harbour porpoises,” *Marine Pollution Bulletin*, vol. 90, p. 196-208, 2015.

BIJLAGE: Geluidkaarten voor alle berekende scenario's







CEPT