

*Notitie***Aan**

Maarten Jaspers Faijer (Pondera Consult)
Floor Heinis (HWE)

Van

Bas Binnerts & Christ de Jong

Onderwerp

Onderwatergeluidberekeningen MER Kavelbesluit Hollandse Kust (noord)
(projectnr. 060.28887)

Technical Sciences

Oude Waalsdorperweg 63
2597 AK Den Haag
Postbus 96864
2509 JG Den Haag

www.tno.nl

T +31 88 866 10 00

F +31 70 328 09 61

Datum

27 september 2017

Onze referentie

DHW-TS-2017-0100308785

Contactpersoon

B. Binnerts

E-mail

bas.binnerts@tno.nl

Doorkiesnummer

+31 88 866 33 09

1 Inleiding

Pondera Consult heeft TNO gevraagd om ten behoeve van de milieueffectrapportage (MER) en passende beoordeling (PB) voor het offshore windgebied Hollandse Kust(noord) berekeningen uit te voeren aan de afstanden waarop het onderwatergeluid bij het heien van de turbinefundaties effect kan hebben op bruinvissen en zeehonden. In het zoekgebied Hollandse kust (noord) zal een 700 MW kavel worden gerealiseerd. Daarnaast wordt er overwogen om binnen ditzelfde zoekgebied een innovatiekavel te plaatsen ten behoeve van het demonstren van baanbrekende innovaties. De exacte kavelindeling moet nog vastgesteld worden. Er is in overleg met Pondera en marien ecooloog Floor Heinis (HWE) besloten om de akoestische berekeningen voor heiwerkzaamheden op 6 geselecteerde representatieve locaties uit te voeren. Daarbij is er een bandbreedte aan scenario's opgesteld waarvoor de verspreiding van het onderwatergeluid bij het heien voor turbinefundaties is berekend en vertaald naar het oppervlak rond de heipaal waarbinnen het geluid tot verstoring van bruinvissen en zeehonden kan leiden. Bovendien is voor enkele representatieve scenario's berekend tot op welke afstand van de paal het geluid kan leiden tot een tijdelijke of permanente gehoordrempelverhoging (TTS/PTS). Bij de berekeningen zijn de in de werkgroep Onderwatergeluid van Rijkswaterstaat afgesproken procedures en grenswaarden toegepast [Heinis et al 2015].

2 Inhoud

1. Inleiding
2. Inhoud
3. Aanpak
4. Heilocatie en scenario
5. Bronsterkte van het heigeluid
6. Omgevingsparameters
7. Drempelwaarden voor effecten op bruinvissen en zeehonden
8. Berekeningen en resultaten
9. Onzekerheid
10. Conclusie
11. Referenties

- A. Berekende mijdingsoppervlakten bruinvissen en zeehonden
- B. Enkele geluidverspreidingsgrafieken (cumulatief)

3 Aanpak

De effectafstanden en onderwatergeluidkaarten zijn berekend met behulp van de versie 1.0 van het TNO rekenmodel Aquarius. Dit model berekent de ruimtelijke verspreiding van het geluid, op basis van de energie van de heiklappen, de bathymetrie, het sediment en de windsterkte. Aquarius 1.0 is gebaseerd op een benaderingsmethode voor het propagatieverlies die is beschreven in [Weston 1971, 1976]. De heipaal als geluidbron wordt in deze aanpak niet direct gemodelleerd. Het model gaat uit van het onderwatergeluid dat is gemeten tijdens het heien voor het Prinses Amalia windpark [de Jong & Ainslie 2012]. Het gemeten geluid wordt geschaald met de actuele hamerenergie en het Aquarius-model wordt gebruikt om het geluidveld vanuit de bestaande meetgegevens te extrapoleren naar grotere afstanden.

Datum

27 september 2017

Onze referentie

DHW-TS-2017-0100308785

Blad

2/17

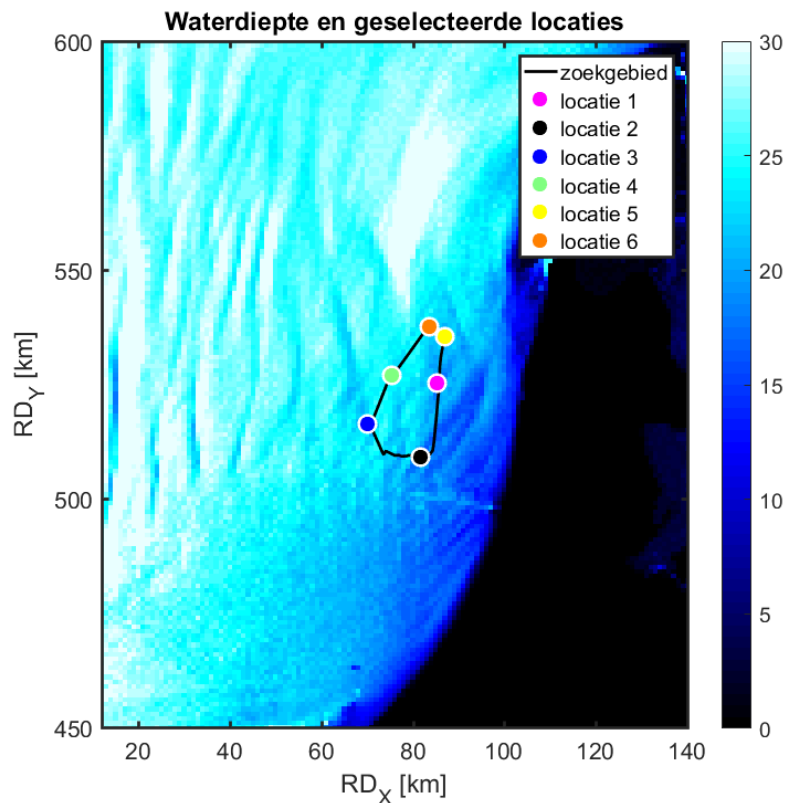
4 Heilocatie en scenario

Heilocatie

Er zijn 6 representatieve heilocaties geselecteerd voor het zoekgebied Hollandse kust (noord). Deze kavels en locaties zijn weergegeven in figuur 1. Tabel 1 geeft de precieze locaties weer inclusief de bijbehorende lokale waterdieptes (één kolom voor de waarden berekend met de publieke database <http://portal.emodnet-bathymetry.eu/> en één met de referentie waterdiepte aangeleverd door Pondera). De waterdiepte ter plekke van de geselecteerde locaties varieert van ±16 meter (punt 2) tot ±27 meter (punt 3). De locaties zijn zodanig gekozen dat ze de contour van het zoekgebied voldoende omstrijken (twee Noord, twee Oost en twee West van het zoekgebied), om daarmee de maximale effectafstanden rond het windpark te vinden. Voor de berekening van de mijdingscontouren is er gebruik gemaakt van de Emodnet database. Het geringe verschil tussen de 2 datasets heeft een verwaarloosbaar effect op de rekenresultaten. Voor de berekening van de cumulatieve blootstelling is er uitgegaan van 27 meter waterdiepte.

Tabel 1: Coördinaten van de 6 geselecteerde heilocaties (in ETRS 1989 UTM 31N) en de bijbehorende waterdieptes (zie tekst voor verdere toelichting)

locatie ID (Figuur 1)	X [meter]	Y [meter]	Lokale waterdiepte [meter]	Referentie lokale waterdiepte [meter]
1	591743	5841158	19	18
2	588546	5824855	16	16
3	576719	5831591	25	27
4	581822	5842514	24	25
5	592982	5851388	23	25
6	589478	5853356	24	25



Datum

27 september 2017

Onze referentie

DHW-TS-2017-0100308785

Blad

3/17

Figuur 1: Bathymetriekaart van het zoekgebied Hollandse Kust noord (zwarte doorgetrokken lijn) met daarin aangegeven de 6 geselecteerde representatieve heilocaties (zie tekst en tabel 1 voor toelichting).

Heiscenario

Met betrekking tot het hei-scenario zijn er berekeningen uitgevoerd voor een minimale hei-energie van 1.000 kJ tot een maximale hei-energie van 3.000 kJ. Ook is er gerekend voor een tussenliggende waarde van 2.000 kJ. Binnen deze bandbreedte kunnen zowel monopiles, jackets als tripods worden aangelegd.

Daarnaast is er onderzocht wat het effect is van het toepassen van een bandbreedte aan mitigatiemaatregelen zodat wordt voldaan aan een maximale grenswaarde van 'N' dB re $1\mu\text{Pa}^2\text{s}$ voor de SEL_{ss} op 750 m van de heipaal. Er is besloten om 'N' te laten variëren van 160 dB tot 180 dB met stapjes van 1 dB. Vervolgens zijn ook berekeningen uitgevoerd van de cumulatieve blootstelling van dieren aan heigeluid voor de drie beschouwde hei-energie waarden. Voor dit scenario wordt er uitgegaan van een 'ramp-up' scenario:

- Voor het goed positioneren van de paal wordt in de eerste ca. 10 minuten met een lagere energie en frequentie gehed ('soft start').
- In de daaropvolgende ca. 30 minuten wordt de hei-energie opgevoerd tot maximaal vermogen (= ca. 95% van het volledige vermogen van de heihamer). In deze periode vinden af en toe controles plaats waarin niet wordt gehed.
- Na deze 40 minuten wordt vervolgens ononderbroken op maximaal vermogen gehed.
- Uitgangspunt is dat in alle alternatieven voor het heien van één paal maximaal 3.500 heiklappen nodig zijn.
- De uiteindelijke totale aanlegduur (periode van heien) bedraagt circa 1,5 tot maximaal 2 uur per monopile.

Het hierboven beschreven 'ramp-up' scenario's is gestileerd op basis van een representatief heiscenario van de windturbinefundatie voor het Teesside park in het Verenigd Koninkrijk. De waterdiepte (20 m) en paaldiameter (4,6 m) bij dit project worden geacht voldoende representatief te zijn voor Hollandse Kust (noord). Figuur 2 toont het oorspronkelijke en gestileerde heiscenario. Elke stip correspondeert met een heiklap. Het totale aantal klappen is 3500. De heiklap energie wordt verkregen door de 'genormaliseerde klapenergie' te vermenigvuldigen met de maximale heiklap-energie.

Datum

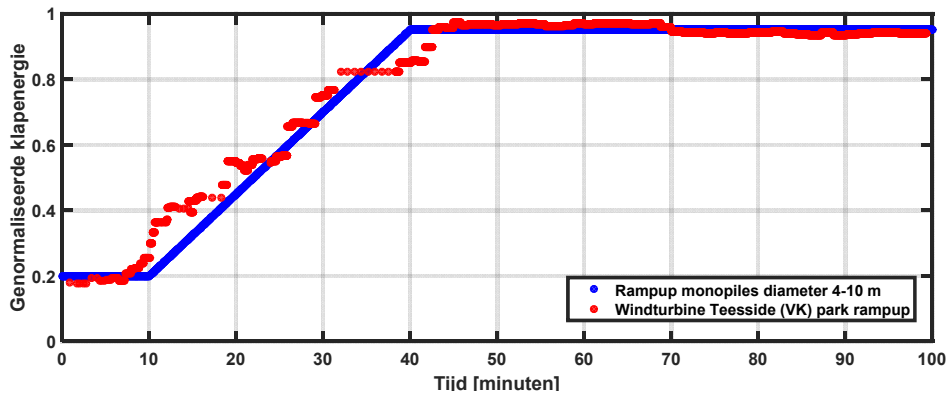
27 september 2017

Onze referentie

DHW-TS-2017-0100308785

Blad

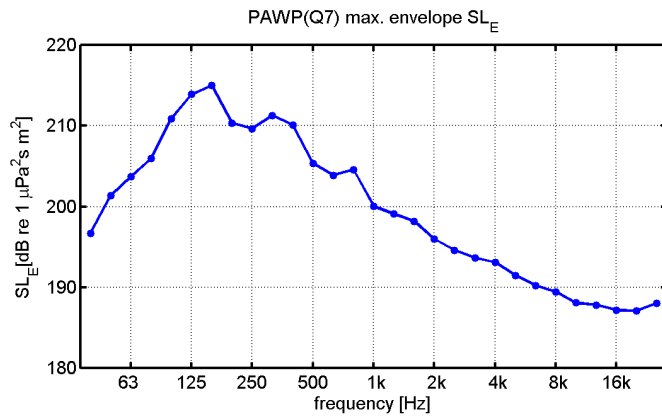
4/17



Figuur 2 Scenario voor het verloop van de genormaliseerde klapenergie als functie van de tijd gedurende het heien, gebaseerd op door aannemersbedrijf Van Oord aangeleverde gegevens van een fundatie voor een windturbine in het Teesside (VK) park.

5 Bronsterkte van het heigeluid

We gaan er van uit dat het heigeluid zoals gemeten bij het Prinses Amaliawindpark (Q7) [de Jong & Ainslie 2012] als maatgevend mag worden beschouwd voor het heien van windturbinefundaties in het zoekgebied Hollandse Kust (noord). Met behulp van het Aquarius model is in [Ainslie et al 2012] een schatting gemaakt van het propagatieverlies PL van het geluid van een puntbron, midden in de waterkolom op de heilocatie, naar de verschillende meetlocaties voor Q7 (21 m waterdiepte, 'medium sand' sediment, 4,5 m/s wind op 10 m hoogte). Door het berekende propagatieverlies (PL) bij de gemeten geluidbelasting (SEL) op te tellen is een schatting gemaakt van de spectra van een energiebronsterkte $SL_E = SEL + PL$ [TNO 2012] per heiklap voor de verschillende meetpunten. De bovengrens van deze schattingen (Figuur 3) wordt hier gebruikt als input voor de Aquarius berekening van de geluidverspreiding bij het heien voor Hollandse Kust (noord). De over de frequentiebanden gesommeerde SL_E per heiklap is 221 dB re $1 \mu Pa^2 s m^2$. De laagste schattingen van de SL_E uit de diverse meetpunten bij Q7 is 215 dB re $1 \mu Pa^2 s m^2$.



Datum

27 september 2017

Onze referentie

DHW-TS-2017-0100308785

Blad

5/17

Figuur 3: Geschatte bovengrens voor het energie bronniveau spectrum (1/3-octaf) voor het heigeluid, gebaseerd op de meetresultaten van Q7 (zie de tekst).

Bij de in beschouwing genomen fundatietypes voor Hollandse Kust is de toegepaste hei-energie groter dan de 800 kJ die bij Q7 is toegepast. Aannemend dat een vast percentage van de klapenergie wordt omgezet in geluidenergie, zou het energiebronniveau bij een veronderstelde klapenergie van 1.000 kJ, 2.000 kJ en 3.000 kJ daardoor respectievelijk 1 dB, 4dB en 6 dB groter¹ zijn. Bij gebrek aan meetgegevens bij deze hogere hei-energie² nemen we voorsnog aan dat de spectrale verdeling niet verandert.

6 Omgevingsparameters

De geluidverspreiding is uitgerekend voor de in Tabel 2 gegeven waarden van de geschatte omgevingsparameters.

Tabel 2: Omgevingsparameters voor de propagatieberekeningen

Waterdiepte bij heipaal	Zie Tabel 1
Bodem type [Ainslie 2010]	'medium sand'
Bodem geluidsnelheid	1785 m/s
Bodem dichtheid	2086 kg/m ³
Bodem absorptie	0,88 dB/golflengte
Zeewater geluidsnelheid	1490 m/s
Zeewater dichtheid	1000 kg/m ³
Windsnelheid (10 m hoogte)	0 m/s c.q. 6,5 m/s

¹ De toename van de energie met een factor komt overeen met een toename van het energieniveau met respectievelijk $10\log_{10}(1000/800) \approx 1$ dB, $10\log_{10}(2000/800) \approx 4$ dB en $10\log_{10}(3000/800) \approx 6$ dB.

² Bij de metingen van het onderwatergeluid tijdens de aanleg van de windparken Eneco Luchterduinen en Gemini was de maximale klapenergie respectievelijk 1110 kJ en 1486 kJ. In Binnerts et al [2016] is getoond dat de spectrale verdeling van het bij deze heiwerkzaamheden op een afstand van ongeveer 750 m van de paal gemeten onderwatergeluid redelijk goed overeenkomt met de Aquarius 1.0 voorspelling op basis van het in Figuur 3 gegeven bronniveau. Alleen bij lage frequenties (<200 Hz) wordt het gemeten bronniveau voor de grotere palen in een grotere waterdiepte bij Gemini onderschat, waardoor het ongewogen breedband geluidniveau (SELs) daar ongeveer 6 dB te laag berekend wordt.

Wind boven zee verstoort het wateroppervlak, waardoor geluid verstrooid en geabsorbeerd wordt. Daardoor neemt het propagatieverlies toe bij toenemende windsnelheid. Dat effect is vooral merkbaar bij windsnelheden (op 10 m boven het wateroppervlak) groter dan 3 tot 4 m/s. Bij de berekening van de geluidverspreiding wordt daarom uitgegaan van twee windsnelheden:

- i. 0 m/s, als 'worst case';
- ii. een gemiddelde windsnelheid op de beoogde planlocatie. Voor Hollandse Kust hebben we daarvoor 6,5 m/s op 10 m boven het zeeoppervlak gekozen.

Datum

27 september 2017

Onze referentie

DHW-TS-2017-0100308785

Blad

6/17

7 Drempelwaarden voor effecten op bruinvissen en zeehonden

De berekening van de geluidverspreiding heeft als doel in te kunnen schatten hoeveel bruinvissen en zeehonden effecten kunnen ondervinden van de geluidbelasting tijdens het heien. Dat aantal hangt samen met het voorkomen van dieren binnen een afstand tot de heipaal waarbinnen het blootstellingsniveau een drempelwaarde overschrijdt waarbij die effecten mogelijk optreden.

In navolging van [Southall et al 2007] onderscheiden we gedragseffecten en fysiologische effecten (TTS: tijdelijke verhoging van de gehoordrempel en PTS: permanente verhoging van de gehoordrempel) ten gevolge van onderwatergeluid. Voor beide typen effecten worden in [Southall et al 2007] drempelwaarden voorgesteld, maar zijn uit onderzoek in Nederland en Duitsland ook recentere gegevens beschikbaar, die meer specifiek toepasbaar zijn voor de bruinvissen en zeehonden in de Noordzee. De te hanteren drempelwaarden voor mijding zijn op basis van consensus gekozen in een door Rijkswaterstaat (RWS) georganiseerde werkgroep 'onderwatergeluid' [Heinis et al 2015], zie Tabel 3. Ook de in Tabel 3 gegeven zwemsnelheden waarmee de dieren vluchten zijn binnen de RWS werkgroep besproken en vastgesteld. Ze zijn gebaseerd op een gezamenlijke interpretatie van gegevens uit diverse publicaties uit de wetenschappelijke en 'grijze' literatuur.

Tabel 3: In deze studie gehanteerde drempelwaarden en zwemsnelheden voor mijding van heigeluid door bruinvissen en zeehonden

	Bruinvis	Zeehond
mijding	$SEL_{SS} > 140 \text{ dB re } 1 \mu\text{Pa}^2\text{s}$	$SEL_{SS,W} > 145 \text{ dB re } 1 \mu\text{Pa}^2\text{s}$
TTS-onset	$SEL_{CUM} > 164 \text{ dB re } 1 \mu\text{Pa}^2\text{s}$	$SEL_{CUM,W} > 171 \text{ dB re } 1 \mu\text{Pa}^2\text{s}$
TTS(1 uur)	$SEL_{CUM} > 169 \text{ dB re } 1 \mu\text{Pa}^2\text{s}$	$SEL_{CUM,W} > 176 \text{ dB re } 1 \mu\text{Pa}^2\text{s}$
PTS-onset	$SEL_{CUM} > 179 \text{ dB re } 1 \mu\text{Pa}^2\text{s}$	$SEL_{CUM,W} > 186 \text{ dB re } 1 \mu\text{Pa}^2\text{s}$
Vluchtsnelheid	3,4 m/s (12,2 km/u).	4,9 m/s (17,6 km/u)

8 Berekeningen en resultaten

Er zijn 576 ($2 \times 2 \times (3+21) \times 6$) scenario's doorgerekend voor het bepalen van de mijdingscontouren ten gevolge van het onderwatergeluid bij het heien voor de windturbinefundaties in het gebied Hollandse Kust:

- Voor 2 diersoorten (bruinvis en zeehond)
- Voor 2 windsnelheden (0 m/s en 6,5 m/s)
- Voor 3 hei-energieën (1.000 kJ, 2.000 kJ en 3.000 kJ) en voor heien met geluidsnorm $SEL_{SS}(750 \text{ m}) \leq 160$ tot 180 dB re $1 \mu\text{Pa}^2\text{s}$ met stappen van 1 dB
- Voor 6 fundatielocaties

De variabele geluidsnorm is in rekening gebracht door het verschil tussen de maximale (rondom de heipaal in het horizontale vlak) berekende SEL_{SS} op 750 m en de normwaarde overall van de berekende SEL_{SS} af te trekken. Merk hierbij op dat het berekende SEL_{SS} op 750 m voor de kleinste hei-energie van 1.000 kJ kleiner is dan de hoogste geluidsnormen (175-177dB tot 180 dB) (zie tabel 5 en appendix A), dus kan in die gevallen zonder extra maatregelen aan de norm voldaan worden. Er zijn geluidkaarten berekend voor de SEL_{SS} (bruinvis) en SEL_{SS,w} (zeehond) voor de 576 scenario's voor een zwemdiepte van 1 m boven de zeebodem bij de maximale klapenergie, rekening houdend met de bathymetrie rond het park. In de berekende geluidkaarten zijn de contourlijnen berekend bij de drempelwaarden voor mijding (Tabel 3).

Datum

27 september 2017

Onze referentie

DHW-TS-2017-0100308785

Blad

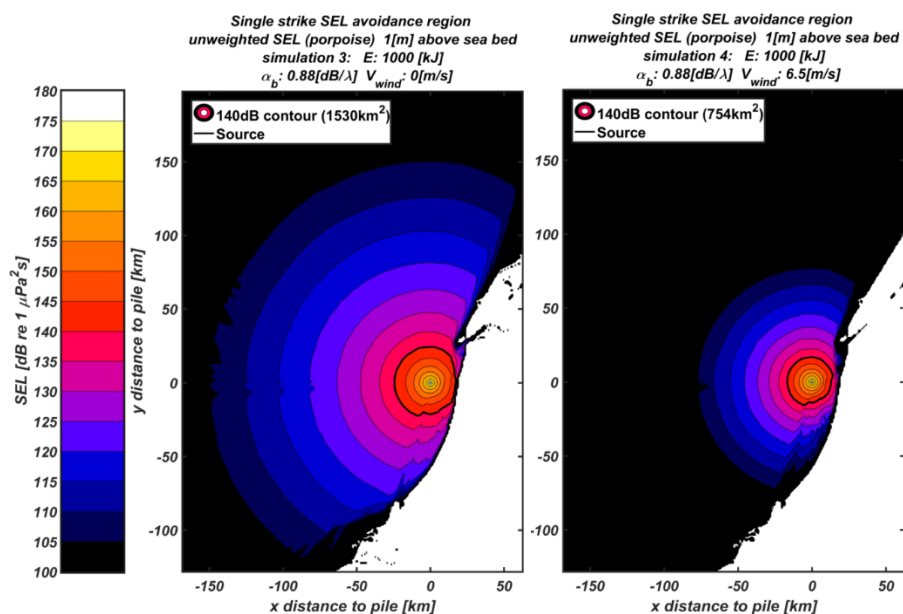
7/17

Op basis van dergelijke kaarten is het totale oppervlakte berekend binnen de contourlijn waarbinnen verwacht wordt dat dieren van de geluidbron weg zullen vluchten. Tabel 4 geeft de mijdingsoppervlakken weer voor de berekende scenario's voor de drie hei-energieën en het SEL_{SS} = 160 dB re 1 μPa²s op 750 meter scenario. De oppervlaktes zijn het gemiddelde van het scenario met en zonder wind.

Tabel 4: Berekend mijdingsoppervlak (in km²) voor bruinvissen en zeehonden, voor de 6 heilocaties, 3 hei-energieën en voor een norm van 160 dB re 1 μPa²s op 750 m. De vermelde waarde is het gemiddelde oppervlakte van de berekening met en zonder wind. Rood geeft het grootste berekende oppervlakte per scenario weer en groen het kleinste.

Dier	Bruinvis				Zeehond			
	1.000 kJ	2.000 kJ	3.000 kJ	160 dB @750m	1.000 kJ	2.000 kJ	3.000 kJ	160 dB @750m
Loc 1	1142	1628	1970	104	566	861	1082	36
Loc 2	929	1328	1618	79	473	705	893	30
Loc 3	1655	2431	3006	114	804	1227	1555	34
Loc 4	1685	2463	3028	142	808	1242	1583	42
Loc 5	1374	1944	2386	122	701	1040	1301	40
Loc 6	1621	2314	2831	153	817	1225	1532	46

De contouren horende bij de 576 scenario's zijn digitaal beschikbaar gesteld aan Pondera. De bijbehorende oppervlaktes en contouren zijn te vinden in appendix A. Tabel 5 geeft het berekende SEL_{SS} weer voor het geval waarin geen geluid reducerende mitigatiemaatregelen wordt toegepast voor de drie beschouwde hei energieën. Figuur 4 geeft een voorbeeld van een berekende contour zoals gegenereerd door Aquarius 1.0. Het gemiddelde van de twee oppervlaktes (1530+754)/2=1142 komt overeen met de waarde gedocumenteerd in tabel 4 (loc 1 en 1.000 kJ).



Datum
27 september 2017

Onze referentie
DHW-TS-2017-0100308785

Blad
8/17

Figuur 4: Paal locatie 1 (1000 kJ, wind 0 m/s (links) en 6.5 m/s (rechts)): berekende verdeling van de SEL_{ss} op een diepte van 1 m boven de zeebodem, voor bruinvissen. De zwarte lijnen tonen de contour waarbinnen de drempelwaarde voor mijdingsgedrag (Tabel 3) wordt overschreden.

Tabel 5: Berekende SEL_{ss} in dB re 1μPa²s voor de drie hei-energieën op 750 m afstand van de 6 geselecteerde paal locaties.

	1.000 kJ	2.000 kJ	3.000 kJ
Loc 1	176	179	181
Loc 2	177	180	181
Loc 3	177	180	182
Loc 4	176	179	181
Loc 5	176	179	181
Loc 6	175	178	180

TTS/PTS

Daarnaast is er ook gekeken naar de cumulatieve blootstelling van dieren aan onderwatergeluid gedurende het heien van een complete paal voor de maximale waterdiepte binnen het gebied (27 m). In deze berekeningen is rekening gehouden met een realistisch heiscenario (Figuur 2) en met mijdingsgedrag van de dieren.

Daarbij is een in de RWS werkgroep vastgesteld scenario gehanteerd, dat een realistische ‘worst case’ simuleert. Omdat de ontvangen geluidniveaus nabij het wateroppervlak overal lager zijn dan de geluidniveaus op grotere diepte gaan we er van uit dat alle dieren zich bij aanvang van het heien op een vaste positie op 1 m van de bodem bevinden. Aangenomen wordt dat de dieren na het waarnemen van de tweede klap voldoende informatie hebben verzameld om op het geluid te reageren. Vanaf klap 3 bevinden alle dieren zich in de berekeningen op dezelfde locatie als bij de eerste twee klappen, maar dan op 1 m van het wateroppervlak. Vanaf die derde klap vluchten de blootgestelde dieren van de paal weg, met de in Tabel 3 gegeven constante snelheid en op een constante diepte, zo lang de ontvangen SEL_{ss} boven de drempelwaarde voor mijdingsgedrag valt. Vanaf het moment dat de ontvangen SEL_{ss} beneden de drempelwaarde voor mijdings-

gedrag valt blijven de dieren stationair. De SEL_{CUM} hangt daarmee af van de positie waar het dier zich bevindt bij de aanvang van het heien.

In appendix B zijn ter illustratie enkele grafieken opgenomen waaruit de effectafstanden voor mijding en fysiologische effecten kunnen worden afgelezen. Deze figuren tonen de berekende blootstelling (SEL_{SS} en SEL_{CUM}) als functie van de afstand van het dier tot de heipaal. Dieren die zich bij aanvang van het heien binnen de afstand bevinden waarbij het geluid een mijdingsreactie veroorzaakt, zwemmen tijdens het heien naar de rand van dit gebied. De uiteindelijke SEL_{CUM} hangt af van de positie waar het dier zich bevindt bij de aanvang van het heien. De resulterende effectafstanden zijn samengevat in Tabel 6.

Datum

27 september 2017

Onze referentie

DHW-TS-2017-0100308785

Blad

9/17

Tabel 6: Berekend effectafstanden (km) voor zeehonden en bruinvissen, in een uniforme waterdiepte van 27 m, drie beschouwde hei-energieën en twee windsnelheden.

Dier	Zeehond					
Hei-energie [kJ]	1000		2000		3000	
Windsnelheid [m/s]	0	6,5	0	6,5	0	6,5
mijdingsafstand 1 m boven zeebodem (km)	21,7	17,1	27,7	21,5	32,0	24,4
mijdingsafstand 1 m onder zeeoppervlak (km)	6,7	4,5	8,7	5,9	10,2	6,8
afstand voor TTS-onset (km)	14,3	9,5	18,1	11,9	20,8	13,7
afstand voor TTS(1 uur) (km)	9,4	6,3	12,1	8,0	14,1	9,3
afstand voor PTS-onset (km)	0,2	0,1	0,3	0,2	0,4	0,3
Dier	Bruinvis					
Hei-energie [kJ]	1000		2000		3000	
Windsnelheid [m/s]	0	6,5	0	6,5	0	6,5
mijdingsafstand 1 m boven zeebodem (km)	33,4	25,5	41,7	31,2	47,3	34,8
mijdingsafstand 1 m onder zeeoppervlak (km)	10,7	7,4	13,7	9,3	15,8	10,7
afstand voor TTS-onset (km)	24,8	16,6	31,0	20,6	34,7	22,9
afstand voor TTS(1 uur) (km)	17,0	11,5	21,5	14,5	24,4	16,3
afstand voor PTS-onset (km)	1,1	0,7	2,3	1,2	2,8	1,5

Datum

27 september 2017

Onze referentie

DHW-TS-2017-0100308785

Blad

10/17

Tabel 7 geeft de berekende effectafstanden voor het geval waarin geluid reducerende mitigatiemaatregelen worden toegepast waarmee juist wordt voldaan aan de door de Duitse overheid gehanteerde grenswaarde van 160 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$ voor de SEL_{SS} op 750 m van de heipaal.

Tabel 7: Berekend effectafstanden (km) voor zeehonden en bruinvissen, in een uniforme waterdiepte van 27 m, bij toepassen van een ongewogen geluidsnorm van 160 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$ voor de SEL_{SS} op 750 m van de heipaal (voor het geval van geen wind).

Dier	Zeehond		Bruinvis	
Windsnelheid [m/s]	0	6,5	0	6,5
mijdingsafstand 1 m boven zeebodem (km)	4,5	3,9	8,5	7,3
mijdingsafstand 1 m onder zeeoppervlak (km)	1,3	1,0	2,4	1,8
afstand voor TTS-onset (km)	3,4	2,3	6,8	4,8
afstand voor TTS(1 uur) (km)	2,0	1,4	4,3	3,1
afstand voor PTS-onset (km)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1

9 Onzekerheid

De in deze studie gekozen aanpak komt overeen met de aanpak zoals beschreven in de leidraad voor het bepalen van de cumulatieve effecten van impulsgekluid op zeezoogdierpopulaties [Heinis et al, 2015]. Bij de ontwikkeling van deze leidraad zijn in overleg met de werkgroep onderwatergeluid diverse pragmatische keuzes gemaakt op basis van de op dat moment beschikbare kennis. Het rapport waarin de leidraad beschreven is [Heinis et al, 2015] geeft daarbij een overzicht van de diverse geïdentificeerde kennisleemten en onzekerheden.

Datum

27 september 2017

Onze referentie

DHW-TS-2017-0100308785

Blad

11/17

Een van die onzekerheden betreft de akoestische modellering. Bij het opstellen van [Heinis et al, 2015] waren er nog geen meetgegevens beschikbaar om de met de Aquarius modellen berekende geluidsniveaus te valideren voor afstanden groter dan 5.6 km van de heipaal, terwijl vermijdingsgedrag van bruinvissen en zeehonden op veel grotere afstanden voorspeld werd. Inmiddels is die validatie uitgevoerd met meetgegevens van de aanleg van de windparken Eneco Luchterduinen en Gemini [Binnerts et al, 2016]. Daarbij is geconstateerd dat de breedbandige SEL_{ss} op grotere afstanden (max 65 km) van de heipaal in de Aquarius 1.0 berekeningen met 10 tot 15 dB onderschat wordt. Die onderschatting wordt grotendeels bepaald door de laagfrequente componenten (<~400 Hz) in het heigeluid. In [Binnerts et al 2016] worden diverse mogelijke modelverbeteringen gesuggereerd, maar die zijn nog niet geïmplementeerd. Om die reden, en om deze studie vergelijkbaar te houden met eerdere studies voor andere offshore wind zoekgebieden, zoals Hollandse Kust Zuid en Borssele, is besloten om vast te houden aan de gekozen aanpak.

De onzekerheid in de hier gehanteerde modellering is het grootst bij lage frequenties (<~400 Hz), terwijl met name bruinvissen veel gevoeliger zijn voor hoogfrequent geluid (> 1 kHz). In de wetenschappelijke literatuur wordt inmiddels aanbevolen om de frequentiegevoeligheid van het gehoor van zeezoogdieren in rekening te brengen bij de effectbeoordeling. In de nieuwste richtlijn van de US National Marine Fisheries Service (NMFS, 2016) voor het beoordelen van het risico van gehoordrempelverhoging door blootstelling aan geluid is deze aanbeveling overgenomen. Binnen het kader van het Wind op Zee Ecologische Programma (Wozep) zal binnenkort in de Werkgroep Onderwatergeluid een mogelijke toekomstige aanpassing van de leidraad voor effectbeoordeling besproken worden.

10 Conclusie

Dit memo geeft de resultaten van een berekening van de afstanden waarop het onderwatergeluid bij het heien voor windturbinefundaties in het gebied Hollandse Kust (noord) mogelijk kan leiden tot mijdingsgedrag of gehoordrempelverhoging (TTS/PTS) van bruinvissen en zeehonden. Bij het beoordelen van de berekende mijdingsafstanden dient rekening gehouden te worden met de vele onzekerheden in berekeningen en grenswaarden.

11 Referenties

- Ainslie 2010**, Principles of Sonar Performance Modeling. Springer-Praxis
- Ainslie et al 2012**, 'What is the source level of pile-driving noise in water?' In The Effects of Noise on Aquatic Life, edited by Popper & Hawkins (Springer), pp 445-448.
- Binnerts et al 2016**, report TNO 2016 R11338 'Validation of the Aquarius models for prediction of marine pile driving sound'
- Heinis, de Jong & RWS werkgroep onderwatergeluid 2015**, Cumulatieve effecten van impulsief onderwatergeluid op zeezoogdieren, TNO rapport TNO 2015 R10335
- de Jong & Ainslie 2012**, report TNO 2012 R10081 'Analysis of the underwater sound during piling activities for the Off-shore Wind Park Q7' (update of TNO report MON-RPT-033-DTS-2007-03388)
- NMFS 2016** NOAA National Marine Fisheries Service Technical Memorandum NMFS-OPR-55, "Technical Guidance for Assessing the Effects of Anthropogenic Sound on Marine Mammal Hearing: Underwater Acoustic Thresholds for Onset of Permanent and Temporary Threshold Shifts"
- Southall et al 2007**, 'Marine mammal noise exposure criteria: Initial scientific recommendations', Aquatic Mammals 33 (4), pp 411-521
- Weston 1971**, 'Intensity-range relations in oceanographic acoustics', Journal of Sound and Vibration 18(2), pp 271-287
- Weston 1976**, 'Propagation in water with uniform sound velocity but variable-depth lossy bottom', Journal of Sound and Vibration 47(4), pp 473-483

Datum

27 september 2017

Onze referentie

DHW-TS-2017-0100308785

Blad

12/17

A. Berekende mijdingsoppervlakten bruinvissen en zeehonden

De tabellen hieronder geven de berekende mijdingsoppervlakten (in km²) voor bruinvissen en zeehonden voor de 6 geselecteerde locaties, 3 hei-energieën en 21 norm criteria, met en zonder wind en het afgeleide gemiddelde mijdingsoppervlakte.

De twee figuren visualiseren de beschikbaar gestelde shapefiles (alle contouren die horen bij de hierboven genoemde mijdingoppervlakten).

Datum

27 september 2017

Onze referentie

DHW-TS-2017-0100308785

Blad

13/17

Porpoise	loc 1			loc 2			loc 3		
	no wind	wind	mean	no wind	wind	mean	no wind	wind	mean
1000 kJ	1530	754	1142	1282	576	929	2151	1159	1655
2000 kJ	2211	1044	1628	1869	787	1328	3236	1625	2431
3000 kJ	2698	1241	1970	2306	929	1618	4056	1955	3006
160 dB	123	84	104	96	62	79	131	97	114
161 dB	143	99	121	113	77	95	151	111	131
162 dB	168	113	141	131	85	108	184	134	159
163 dB	196	131	164	156	101	129	222	156	189
164 dB	231	153	192	187	116	152	262	185	224
165 dB	267	176	222	216	131	174	312	216	264
166 dB	311	197	254	253	153	203	373	251	312
167 dB	367	227	297	295	170	233	439	297	368
168 dB	433	257	345	343	196	270	515	348	432
169 dB	509	289	399	402	225	314	590	395	493
170 dB	592	330	461	462	255	359	692	451	572
171 dB	692	371	532	534	287	411	808	518	663
172 dB	801	423	612	620	323	472	931	585	758
173 dB	926	477	702	716	362	539	1086	662	874
174 dB	1059	543	801	822	405	614	1254	752	1003
175 dB	1224	613	919	948	450	699	1444	843	1144
176 dB	1389	691	1040	1093	501	797	1675	943	1309
177 dB	1578	771	1175	1241	562	902	1932	1060	1496
178 dB	1791	860	1326	1399	624	1012	2226	1195	1711
179 dB	2025	960	1493	1597	691	1144	2554	1335	1945
180 dB	2273	1066	1670	1811	768	1290	2919	1488	2204
	loc 4			loc 5			loc 6		
	no wind	wind	mean	no wind	wind	mean	no wind	wind	mean
1000 kJ	2183	1186	1685	1775	972	1374	2055	1186	1621
2000 kJ	3268	1657	2463	2570	1318	1944	2991	1636	2314
3000 kJ	4047	2009	3028	3195	1576	2386	3712	1950	2831
160 dB	162	122	142	142	102	122	178	127	153
161 dB	190	139	165	171	122	147	209	151	180
162 dB	228	167	198	204	142	173	250	178	214
163 dB	274	194	234	243	166	205	295	207	251
164 dB	318	227	273	289	193	241	353	242	298
165 dB	374	263	319	341	224	283	420	281	351
166 dB	438	304	371	391	257	324	495	329	412
167 dB	521	342	432	455	302	379	582	373	478
168 dB	605	388	497	538	345	442	678	430	554
169 dB	707	448	578	623	389	506	797	499	648
170 dB	833	515	674	717	448	583	916	577	747
171 dB	963	589	776	822	506	664	1059	660	860
172 dB	1113	670	892	952	576	764	1223	750	987
173 dB	1279	772	1026	1084	643	864	1394	848	1121
174 dB	1486	871	1179	1235	726	981	1588	937	1263
175 dB	1716	980	1348	1416	804	1110	1811	1051	1431
176 dB	1977	1098	1538	1611	902	1257	2051	1184	1618
177 dB	2286	1229	1758	1823	1009	1416	2336	1324	1830
178 dB	2628	1377	2003	2073	1114	1594	2650	1477	2064
179 dB	2992	1542	2267	2343	1227	1785	2982	1631	2307
180 dB	3398	1713	2556	2657	1355	2006	3370	1807	2589

SEAL	loc 1			loc 2			loc 3		
	no wind	wind	mean	no wind	wind	mean	no wind	wind	mean
1000 kJ	746	385	566	627	318	473	1000	607	804
2000 kJ	1149	573	861	963	447	705	1567	887	1227
3000 kJ	1459	705	1082	1234	551	893	2025	1084	1555
160 dB	41	30	36	33	26	30	39	29	34
161 dB	51	35	43	41	28	35	47	37	42
162 dB	62	42	52	49	34	42	58	42	50
163 dB	74	52	63	58	41	50	71	55	63
164 dB	87	63	75	71	47	59	90	66	78
165 dB	108	74	91	84	58	71	106	77	92
166 dB	129	84	107	102	64	83	132	96	114
167 dB	153	100	127	121	79	100	159	110	135
168 dB	181	118	150	145	88	117	193	134	164
169 dB	211	135	173	167	106	137	238	160	199
170 dB	249	159	204	199	120	160	282	189	236
171 dB	294	183	239	238	137	188	339	224	282
172 dB	347	208	278	281	158	220	405	264	335
173 dB	408	238	323	326	183	255	478	308	393
174 dB	481	271	376	385	211	298	558	358	458
175 dB	569	309	439	443	240	342	656	415	536
176 dB	665	353	509	516	274	395	758	480	619
177 dB	773	401	587	599	310	455	890	552	721
178 dB	904	456	680	699	345	522	1034	629	832
179 dB	1030	520	775	804	391	598	1204	716	960
180 dB	1194	585	890	930	432	681	1394	811	1103
	loc 4			loc 5			loc 6		
	no wind	wind	mean	no wind	wind	mean	no wind	wind	mean
1000 kJ	1013	602	808	882	520	701	1018	616	817
2000 kJ	1581	903	1242	1326	754	1040	1549	900	1225
3000 kJ	2052	1114	1583	1681	921	1301	1952	1111	1532
160 dB	47	37	42	44	35	40	52	39	46
161 dB	60	44	52	58	40	49	66	52	59
162 dB	74	56	65	69	50	60	84	61	73
163 dB	91	69	80	83	59	71	104	75	90
164 dB	112	82	97	102	73	88	121	86	104
165 dB	133	100	117	123	85	104	152	106	129
166 dB	165	122	144	149	102	126	183	128	156
167 dB	202	140	171	180	123	152	221	153	187
168 dB	237	167	202	216	144	180	264	181	223
169 dB	283	198	241	257	169	213	319	210	265
170 dB	337	229	283	309	200	255	378	249	314
171 dB	400	272	336	369	233	301	451	292	372
172 dB	470	313	392	430	271	351	545	343	444
173 dB	563	361	462	503	316	410	644	397	521
174 dB	671	418	545	592	369	481	751	459	605
175 dB	784	477	631	688	418	553	876	537	707
176 dB	916	545	731	794	477	636	1015	615	815
177 dB	1063	631	847	911	534	723	1166	710	938
178 dB	1220	727	974	1052	616	834	1353	807	1080
179 dB	1420	830	1125	1200	687	944	1545	899	1222
180 dB	1653	939	1296	1370	782	1076	1758	1012	1385

Datum

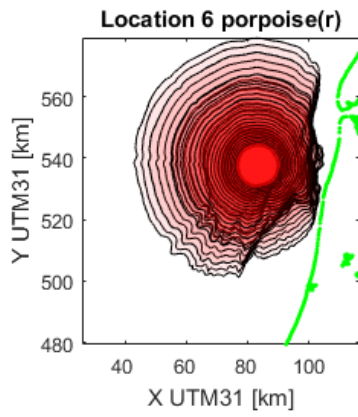
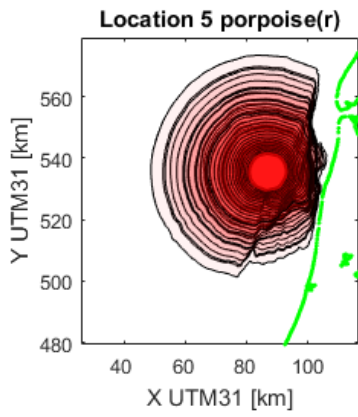
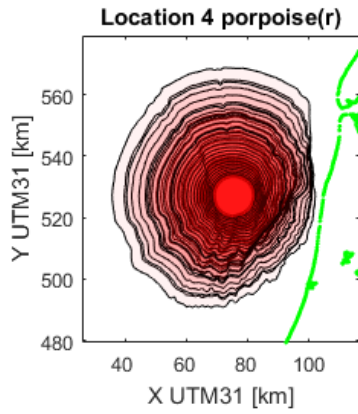
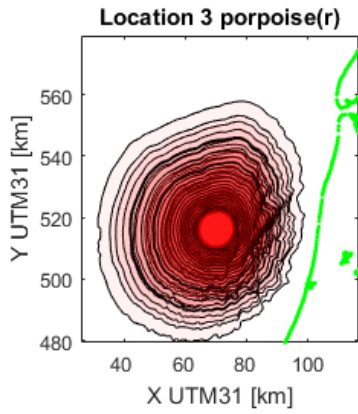
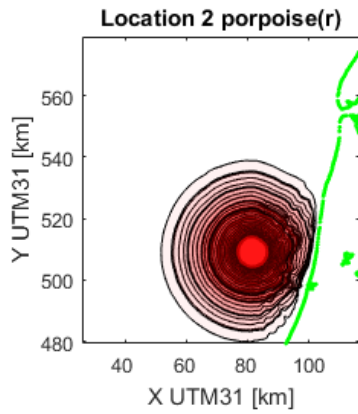
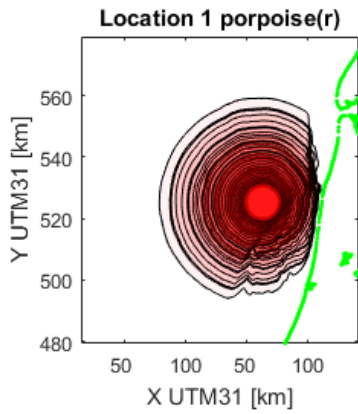
27 september 2017

Onze referentie

DHW-TS-2017-0100308785

Blad

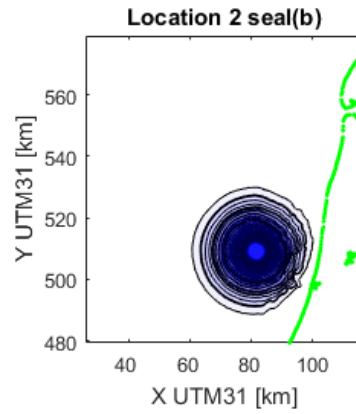
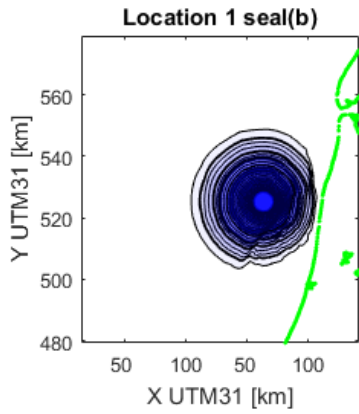
14/17



Datum
27 september 2017

Onze referentie
DHW-TS-2017-0100308785

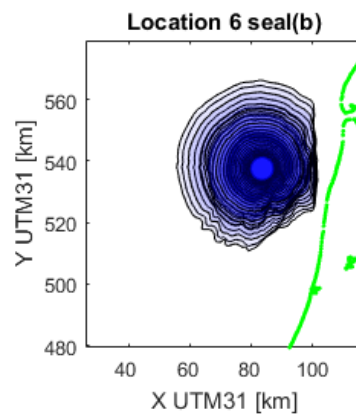
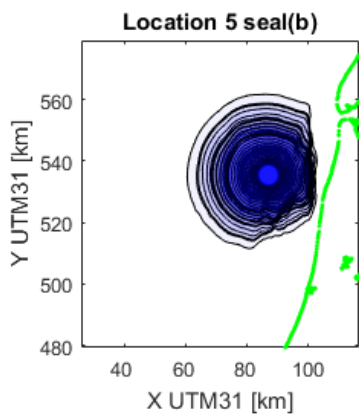
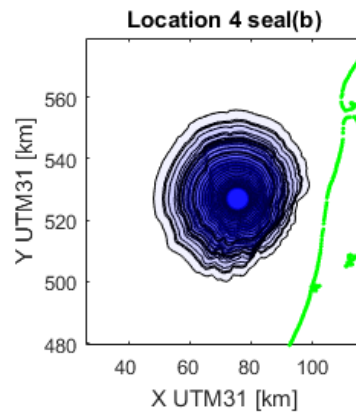
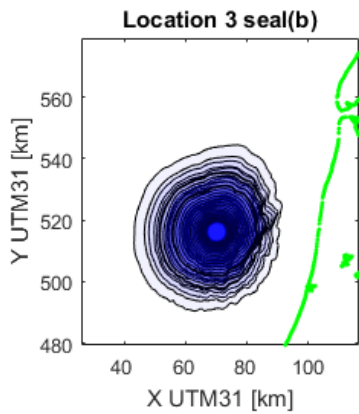
Blad
15/17



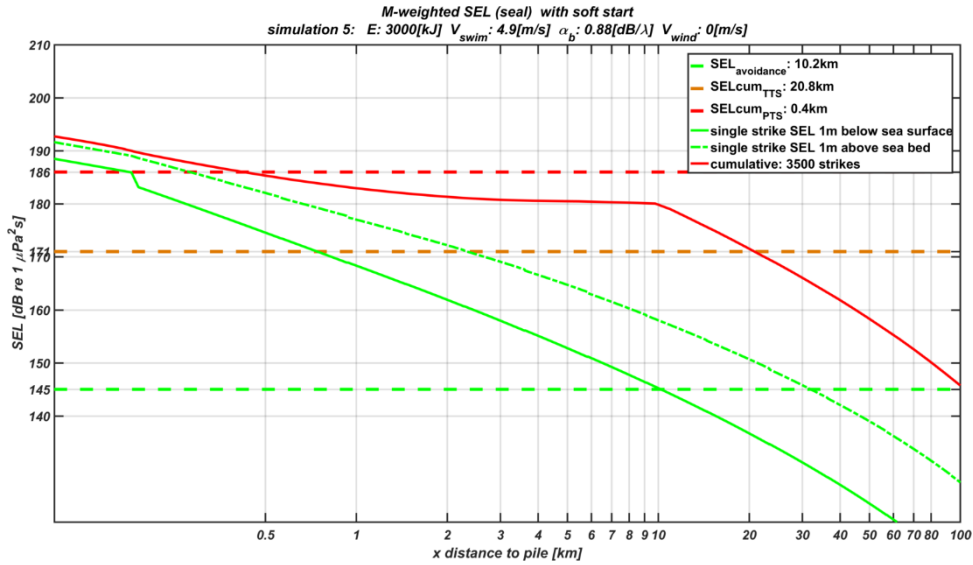
Datum
27 september 2017

Onze referentie
DHW-TS-2017-0100308785

Blad
16/17



B. Enkele geluidverspreidingsgrafieken voor cumulatieve blootstelling

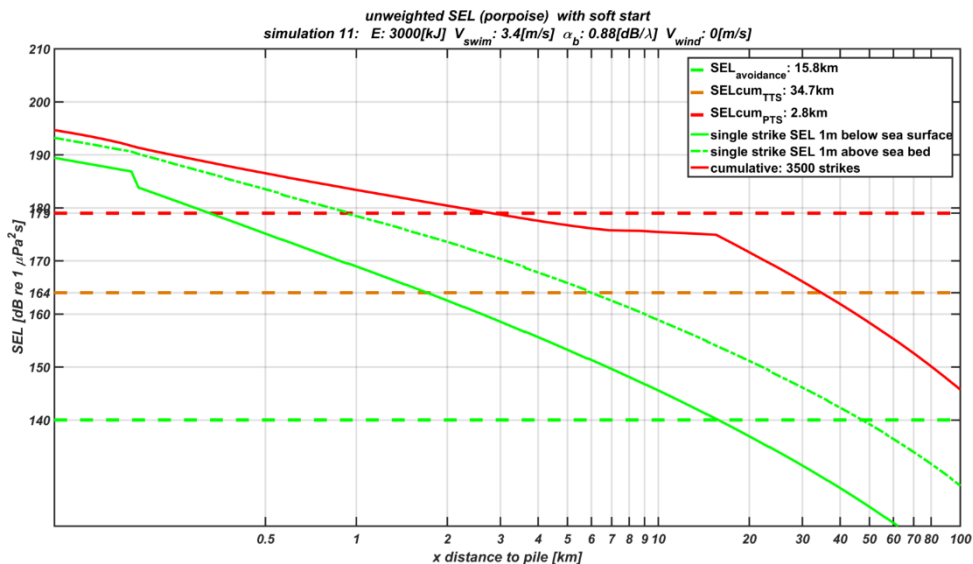


Datum
27 september 2017

Onze referentie
DHW-TS-2017-0100308785

Blad
17/17

Voorbeeld scenario 1: (Diepte 27 m, 3000 kJ, wind 0 m/s, zeehonden): berekende verdeling van de SEL_{SS,W} op een diepte van 1 m onder de waterspiegel (groene doorgetrokken lijn) en op 1 m boven de zeebodem (groene gestippelde curve) en de SEL_{CUM,W} (rode doorgetrokken lijn), als functie van de afstand tot de paal waarop het dier zich bij aanvang van het heien bevindt. Het snijpunt van de groene curven (SEL_{SS}) met de groene horizontale lijn geven de mijdingsafstanden voor zeehonden op twee dieptes. De snijpunten van de rode lijn met de rode en oranje horizontale lijnen geven de 'PTS-afstand' en 'TTS-afstand', zie Tabel 3.



Voorbeeld scenario 2: (Diepte 27 m, 3000 kJ, wind 0 m/s, bruinvissen): berekende verdeling van de SEL₁ op twee dieptes en de SEL_{CUM} (zie verder het bijschrift bij voorbeeld Scenario 1)