

Notitie

Aan

Eric Arends (Pondera Consult)
Maarten Jaspers Fajjer (Pondera Consult)
Floor Heinis (HWE)

Van

Bas Binnerts & Christ de Jong

Onderwerp

Onderwatergeluidberekeningen MER Kavelbesluit Hollandse Kust
(projectnr. 060.19053)

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

15 december 2015

Onze referentie

<vnr-ext>

E-mail

bas.binnerts@tno.nl

Doorkiesnummer

+31 88 866 33 09

Doorkiesfax

+31 88 866 65 75

1 Inleiding

Pondera Consult heeft TNO gevraagd om, in het kader van de voorbereiding van de kavelbesluiten voor het offshore windgebied Hollandse Kust, berekeningen uit te voeren aan de effecten die het onderwatergeluid bij de aanleg van het offshore windpark op het onderwaterleven kan hebben.

In het zoekgebied Hollandse kust zijn vier kavels aangewezen waarbinnen windparken gebouwd kunnen worden. Er is in overleg met Pondera en marien ecooloog Floor Heinis (HWE) besloten om de akoestische berekeningen voor 9 geselecteerde representatieve locaties uit te voeren. Voor de Milieueffect rapportage (MER) en de Passende Beoordeling (PB) is voor deze locaties onderzocht wat de mogelijke effecten van het onderwatergeluid bij de aanleg zijn. 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. Hei locatie en scenario
 5. Bronsterkte van het heigeluid
 6. Omgevingsparameters
 7. Drempelwaarden voor effecten op bruinvissen en zeehonden
 8. Berekeningen en resultaten
 9. Conclusie
 10. 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 heipaals 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
15 december 2015

Onze referentie
<vnr-ext>

Blad
2/17

4 Hei locatie en scenario

Hei locatie

Er zijn 9 representatieve heilocaties geselecteerd voor de aangewezen 4 kavels. Deze kavels en locaties zijn weergegeven in figuur 1. Tabel 1 geeft de precieze locaties weer inclusief de bijbehorende lokale waterdieptes (berekend met de publieke database <http://portal.emodnet-bathymetry.eu/>). In tegenstelling tot het Borssele windpark varieert de waterdiepte binnen de aangewezen kavels voor Hollandse Kust weinig. De waterdiepte ter plekke van de geselecteerde locaties varieert van ± 18 meter (punt 7 dicht bij de kust) tot ± 23 meter (punt 2, meest afgelegen). De locaties per kavel zijn zodanig gekozen dat het verschil in afstand tot de kust maximaal is.

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 precies 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 heipaals. Er is besloten om 'N' te laten variëren van 160 dB tot 180 dB met stapjes van 1 dB.

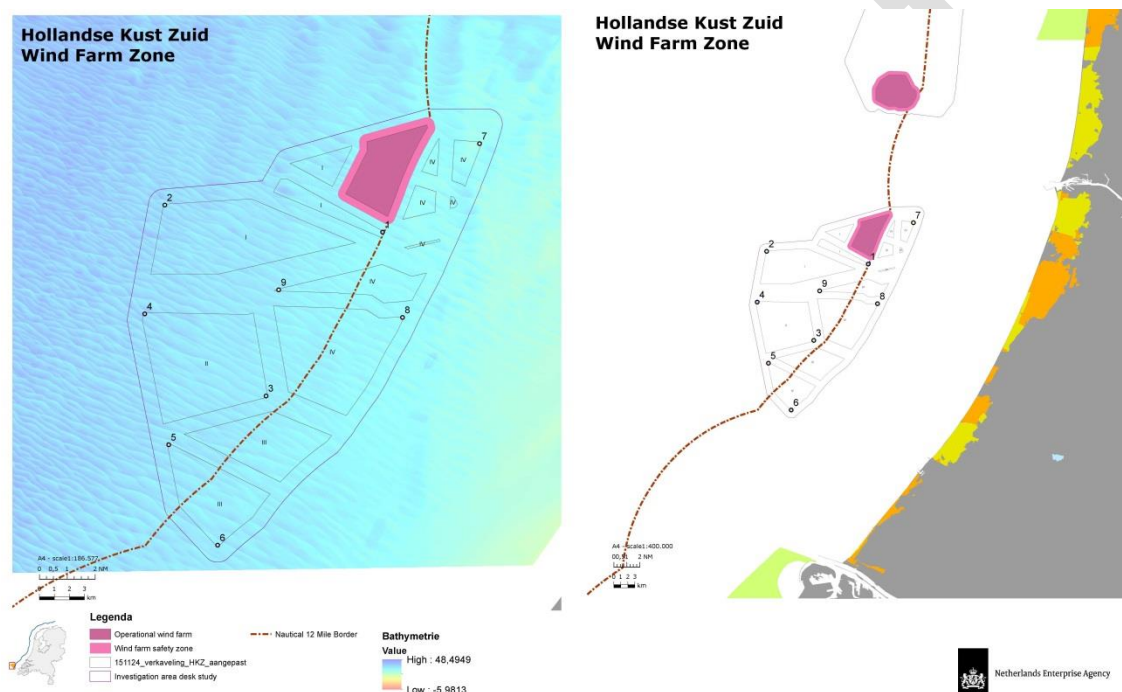
Tabel 1: coördinaten van de 9 geselecteerde heilocaties (in ETRS 1989 UTM 31N).

locatie ID (Figuur 1)	Kavel	X [meter]	Y [meter]	Lokale water diepte [meter]
1	I	578994	5802531	20
2	I	564480	5804336	23
3	II	571225	5791636	21
4	II	563150	5797089	21
5	III	564741	5788385	22
6	III	568005	5781697	21
7	IV	585448	5808421	18
8	IV	580322	5796852	20
9	IV	572073	5798693	21

Datum
15 december 2015

Onze referentie
<vnr-ext>

Blad
3/17



Figuur 1: Bathymetriekaart (links) van het zoekgebied Hollandse Kust met daarin aangegeven de contouren van de kavels en de 9 representatieve heilocaties. Rechts is een overzichtskaart van de zoekgebieden en locaties waar ook de kustlijn zichtbaar is. Beide figuren zijn aangeleverd door Pondera.

Vervolgens zijn ook berekeningen uitgevoerd van de cumulatieve blootstelling van dieren aan heigeluid, voor de maximale beschouwde hei-energie van 3.000 kJ. Voor dit scenario wordt er uit gegaan 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 geheid ('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 geheid.
- Na deze 40 minuten wordt vervolgens ononderbroken op maximaal vermogen geheid.

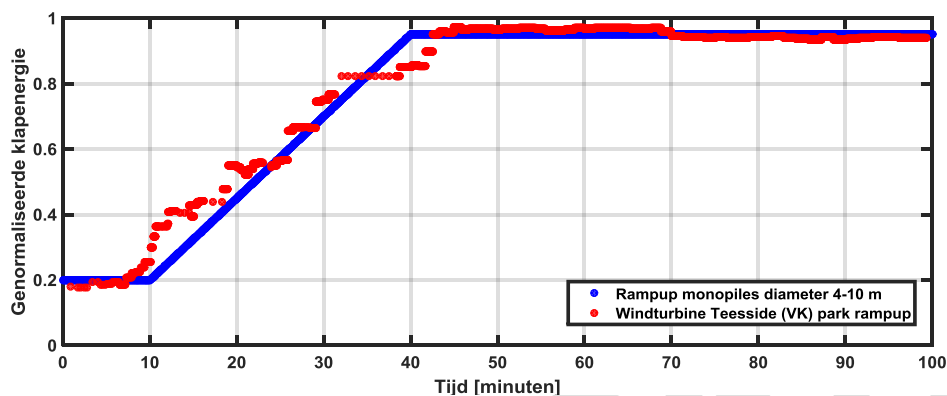
- Uitgangspunt is dat in alle alternatieven voor het heien van één paal maximaal 3.500 heiklappen nodig zijn.
- De uiteindelijke totale aanlegduur (periode van heien) bedraagt circa 1,5 tot maximaal 2 uur per monopile.

Datum
15 december 2015

Onze referentie
<vnr-ext>

Blad
4/17

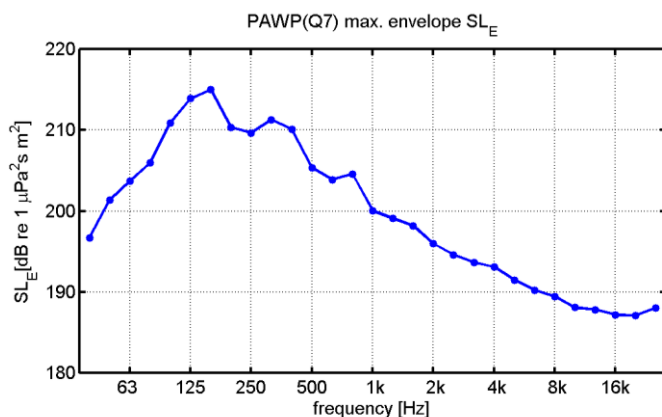
Het hierboven beschreven 'ramp-up' scenario's is gestileerd op basis van een representatief heiscenario van de windturbinefundatie voor het Teesside park in het Verenigd Koninkrijk. De waterdiepte (20 m) en paaldiameter (4,6 m) bij dit project worden geacht voldoende representatief te zijn voor Borssele. Figuur 2 toont het oorspronkelijke en gestileerde hei scenario. 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 hei-energie.



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. 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. 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
15 december 2015

Onze referentie
<vnr-ext>

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-energie nemen we voornamelijk 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 geluidssnelheid	1785 m/s
Bodem dichtheid	2086 kg/m ³
Bodem absorptie	0,88 dB/golflengte
Zeewater geluidssnelheid	1490 m/s
Zeewater dichtheid	1000 kg/m ³
Windsnelheid (10 m hoogte)	0 m/s c.q. 6,5 m/s

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.

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.

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 zwemsnelhedenvoor 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 864 ($2 \times 2 \times (3+21) \times 9$) 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 9 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 norm waarde overal 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 (177/178 dB 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 864 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
15 december 2015

Onze referentie
<vnr-ext>

Blad
6/17

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 $1\mu Pa^2s$ op 750 meter scenario. De oppervlaktes zijn het gemiddelde van het scenario met en zonder wind.

Datum
15 december 2015

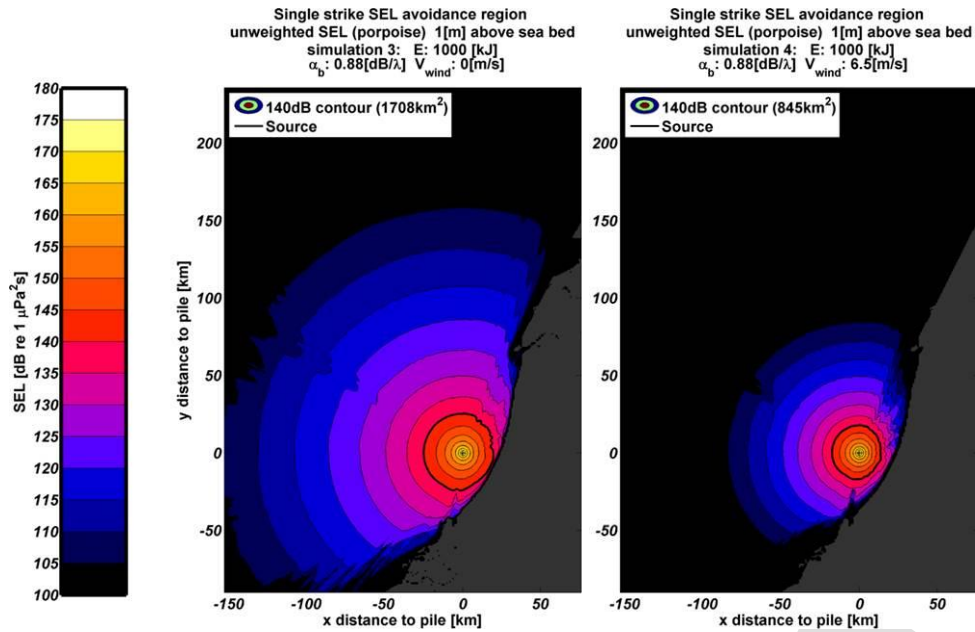
Onze referentie
<vnr-ext>

Blad
7/17

Tabel 4: Berekend mijdingsoppervlak (in km²) voor bruinvissen en zeehonden, voor de 9 heilocaties, 3 hei-energieën en voor een norm van 160 dB re $1\mu Pa^2s$ 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	1277	1812	2210	98	651	986	1237	40
Loc 2	1711	2507	3090	122	847	1306	1660	48
Loc 3	1416	2028	2452	121	729	1100	1379	51
Loc 4	1628	2366	2906	117	810	1245	1575	46
Loc 5	1559	2225	2704	135	799	1214	1522	55
Loc 6	1353	1899	2308	127	726	1071	1315	50
Loc 7	1052	1493	1812	77	551	825	1024	31
Loc 8	1177	1672	2011	112	622	925	1147	46
Loc 9	1447	2111	2577	126	735	1121	1411	52

De contouren horende bij de 864 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 $(1708+845)/2=1277$ komt overeen met de waarde gedocumenteerd in tabel 4 (loc 1 en 1.000 kJ).



Datum
15 december 2015

Onze referentie
<vnr-ext>

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 SELSS in dB re1 µPa₂s voor de drie hei energieën op 750 m afstand van de 9 geselecteerde paal locaties. Voor de lagere hei-energie van 1.000 kJ is het berekende SELSS op 750m lager dan het scenario met "lichte mitigatie" waarbij het niveau op 750m op 177-180 dB is genormaliseerd.

	1.000 kJ	2.000 kJ	3.000 kJ
Loc 1	176	179	181
Loc 2	176	179	181
Loc 3	176	179	181
Loc 4	176	179	181
Loc 5	176	179	180
Loc 6	176	179	181
Loc 7	177	180	182
Loc 8	176	179	180
Loc 9	176	179	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 (23 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 mijdingsgedrag 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.

Datum
15 december 2015

Onze referentie
<vnr-ext>

Blad
9/17

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.

Tabel 6: Berekend effectafstanden (km) voor zeehonden en bruinvissen, in een uniforme waterdiepte van 23 m, voor minimale en maximale hei-energie en twee windsnelheden.

Dier	Zeehond				Bruinvis			
	1000	1000	3000	3000	1000	1000	3000	3000
Hei-energie [kJ]	1000	1000	3000	3000	1000	1000	3000	3000
Windsnelheid [m/s]	0	6,5	0	6,5	0	6,5	0	6,5
mijdingsafstand 1 m boven zeebodem (km)	19,0	14,5	27,8	20,3	28,8	21,0	40,4	28,3
mijdingsafstand 1 m onder zeeoppervlak (km)	6,5	4,4	9,9	6,5	10,3	6,9	15,1	9,9
afstand voor TTS-onset (km)	13,6	8,8	19,7	12,5	23,5	14,9	32,5	20,3
afstand voor TTS(1 uur) (km)	9	6	13,4	8,7	16,2	10,6	23,1	14,7
afstand voor PTS-onset (km)	0,2	0,2	0,4	0,3	1,1	0,7	2,7	1,5

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 23 m, bij toepassen van een geluidsnorm van 160 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$ voor de SEL_{SS} op 750 m van de heipaal.

Dier	Zeehond		Bruinvis	
Windsnelheid [m/s]	0	6,5	0	6,5
mijdingsafstand 1 m boven zeebodem (km)	3,3	2,9	6,2	5,3
mijdingsafstand 1 m onder zeeoppervlak (km)	1,1	0,8	1,9	1,4
afstand voor TTS-onset (km)	2,7	1,9	5,4	3,9
afstand voor TTS(1 uur) (km)	1,6	1,1	3,4	2,5
afstand voor PTS-onset (km)	0,0	0,0	0,03	0,03

9 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 mogelijke kan leiden tot mijdingsgedrag van bruinvissen en zeehonden.

Bij het beoordelen van de berekende mijdingsafstanden dient rekening gehouden te worden met de vele onzekerheden in berekeningen en grenswaarden. De berekeningsresultaten geven een indicatie van de orde van grootte van de afstanden tot de heipaal waarop het onderwatergeluid kan leiden tot mijdingsgedrag of gehoordrempelverhoging (TTS/PTS).

Datum
15 december 2015

Onze referentie
<vnr-ext>

Blad
10/17

Concept

10 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.

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)

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

15 december 2015

Onze referentie

<vnr-ext>

Blad

11/17

Concept

A. Berekende mijdingsoppervlakten bruinvissen en zeehonden

De tabellen hieronder geven de berekende mijdingsoppervlakten (in km²) voor bruinvissen en zeehonden voor de 9 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
15 december 2015

Onze referentie
<vnr-ext>

Blad
12/17

Concept

Porpoise	loc 1			loc 2			loc 3		
	no wind	wind	mean	no wind	wind	mean	no wind	wind	mean
1000 kJ	1708	845	1277	2237	1185	1711	1864	968	1416
2000 kJ	2452	1171	1812	3325	1689	2507	2702	1353	2028
3000 kJ	3004	1416	2210	4127	2053	3090	3291	1612	2452
160 dB	115	81	98	140	103	122	140	102	121
161 dB	138	95	117	169	118	144	167	120	144
162 dB	158	112	135	201	144	173	198	138	168
163 dB	192	132	162	241	168	205	240	163	202
164 dB	225	149	187	285	199	242	288	190	239
165 dB	262	172	217	335	229	282	334	222	278
166 dB	310	197	254	399	263	331	388	253	321
167 dB	367	227	297	472	309	391	463	296	380
168 dB	432	267	350	547	358	453	547	334	441
169 dB	499	300	400	646	408	527	642	388	515
170 dB	591	344	468	768	471	620	740	441	591
171 dB	686	391	539	903	537	720	854	503	679
172 dB	796	442	619	1054	619	837	987	570	779
173 dB	919	506	713	1219	702	961	1151	644	898
174 dB	1068	573	821	1425	805	1115	1325	731	1028
175 dB	1241	643	942	1657	924	1291	1527	820	1174
176 dB	1424	727	1076	1910	1045	1478	1742	920	1331
177 dB	1633	809	1221	2205	1173	1689	1975	1027	1501
178 dB	1867	913	1390	2526	1319	1923	2251	1152	1702
179 dB	2098	1015	1557	2883	1488	2186	2543	1279	1911
180 dB	2358	1133	1746	3280	1664	2472	2852	1421	2137
	loc 4			loc 5			loc 6		
	no wind	wind	mean	no wind	wind	mean	no wind	wind	mean
1000 kJ	2133	1122	1628	2021	1097	1559	1744	961	1353
2000 kJ	3145	1586	2366	2914	1535	2225	2500	1298	1899
3000 kJ	3896	1916	2906	3573	1835	2704	3084	1531	2308
160 dB	135	98	117	156	114	135	147	106	127
161 dB	160	114	137	187	128	158	170	120	145
162 dB	196	135	166	216	153	185	208	145	177
163 dB	231	158	195	266	181	224	247	163	205
164 dB	278	184	231	320	211	266	287	196	242
165 dB	330	221	276	378	250	314	332	219	276
166 dB	383	254	319	439	288	364	390	258	324
167 dB	449	293	371	522	330	426	468	294	381
168 dB	533	342	438	608	381	495	549	335	442
169 dB	627	386	507	713	439	576	639	384	512
170 dB	742	447	595	840	504	672	740	438	589
171 dB	867	517	692	970	577	774	840	510	675
172 dB	1007	590	799	1123	654	889	968	583	776
173 dB	1176	670	923	1304	742	1023	1107	648	878
174 dB	1370	764	1067	1512	840	1176	1263	730	997
175 dB	1590	866	1228	1722	943	1333	1437	815	1126
176 dB	1840	981	1411	1967	1068	1518	1629	909	1269
177 dB	2107	1109	1608	2219	1192	1706	1834	1003	1419
178 dB	2389	1249	1819	2500	1338	1919	2081	1111	1596
179 dB	2747	1405	2076	2813	1494	2154	2343	1225	1784
180 dB	3118	1575	2347	3177	1660	2419	2642	1357	2000
	loc 7			loc 8			loc 9		
	no wind	wind	mean	no wind	wind	mean	no wind	wind	mean
1000 kJ	1423	681	1052	1561	792	1177	1912	982	1447
2000 kJ	2046	939	1493	2240	1103	1672	2830	1391	2111
3000 kJ	2502	1121	1812	2723	1299	2011	3484	1670	2577
160 dB	91	63	77	133	91	112	148	103	126
161 dB	103	72	88	157	109	133	172	122	147
162 dB	126	88	107	188	123	156	208	142	175
163 dB	146	100	123	216	144	180	250	167	209
164 dB	175	114	145	257	165	211	298	194	246
165 dB	203	134	169	304	191	248	348	228	288
166 dB	236	152	194	357	220	289	403	260	332
167 dB	278	177	228	418	250	334	475	303	389
168 dB	330	196	263	486	290	388	562	350	456
169 dB	388	226	307	562	328	445	661	393	527
170 dB	448	256	352	660	372	516	771	449	610
171 dB	525	289	407	769	425	597	886	516	701
172 dB	608	332	470	896	478	687	1041	586	814
173 dB	706	374	540	1026	541	784	1207	670	939
174 dB	818	427	623	1168	610	889	1396	759	1078
175 dB	944	478	711	1326	683	1005	1605	847	1226
176 dB	1082	537	810	1511	767	1139	1835	951	1393
177 dB	1239	598	919	1708	860	1284	2093	1068	1581
178 dB	1396	668	1032	1927	961	1444	2388	1189	1789
179 dB	1587	743	1165	2175	1072	1624	2723	1345	2034
180 dB	1798	833	1316	2428	1175	1802	3073	1485	2284

Datum
15 december 2015

Onze referentie
<vnr-ext>

Blad
13/17

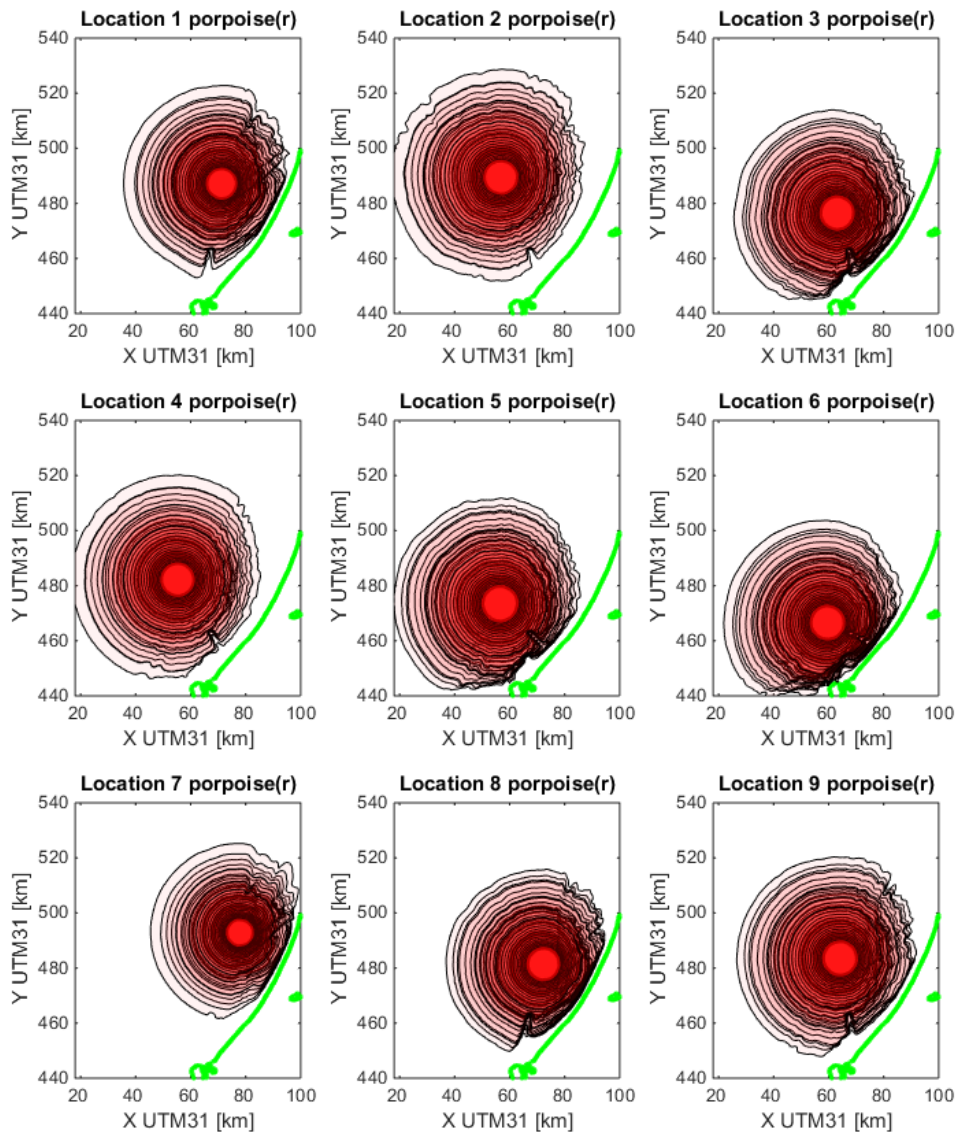
SEAL	loc 1			loc 2			loc 3		
	no wind	wind	mean	no wind	wind	mean	no wind	wind	mean
1000 kJ	807	437	622	1017	590	803,5	884	505	694,5
2000 kJ	1271	644	957,5	1618	892	1255	1375	744	1059,5
3000 kJ	1620	795	1207,5	2108	1109	1608,5	1765	915	1340
160 dB	37	28	33	42	31	37	48	34	41
161 dB	43	33	38	53	40	47	57	41	49
162 dB	56	41	49	64	49	57	70	50	60
163 dB	66	47	57	79	58	69	84	58	71
164 dB	82	58	70	99	70	85	102	72	87
165 dB	100	67	84	118	86	102	126	85	106
166 dB	121	81	101	147	101	124	152	102	127
167 dB	144	96	120	174	119	147	185	122	154
168 dB	172	114	143	212	146	179	219	142	181
169 dB	203	135	169	259	169	214	262	165	214
170 dB	246	153	200	308	204	256	307	195	251
171 dB	288	179	234	373	236	305	363	229	296
172 dB	339	205	272	434	277	356	435	266	351
173 dB	401	239	320	516	323	420	511	308	410
174 dB	478	277	378	612	378	495	601	358	480
175 dB	565	321	443	720	433	577	707	410	559
176 dB	658	366	512	854	507	681	821	476	649
177 dB	766	419	593	1001	576	789	954	539	747
178 dB	889	479	684	1173	668	921	1106	615	861
179 dB	1038	544	791	1363	762	1063	1282	696	989
180 dB	1204	617	911	1588	878	1233	1476	788	1132
	loc 4			loc 5			loc 6		
	no wind	wind	mean	no wind	wind	mean	no wind	wind	mean
1000 kJ	981	556	768,5	961	553	757	872	514	693
2000 kJ	1563	832	1197,5	1515	828	1171,5	1320	742	1031
3000 kJ	2010	1047	1528,5	1919	1026	1472,5	1656	903	1279,5
160 dB	42	31	37	52	34	43	48	32	40
161 dB	52	40	46	61	47	54	54	40	47
162 dB	65	46	56	77	52	65	72	52	62
163 dB	78	56	67	89	66	78	84	60	72
164 dB	96	67	82	114	78	96	106	72	89
165 dB	117	81	99	141	91	116	122	86	104
166 dB	141	98	120	164	115	140	152	106	129
167 dB	172	116	144	206	132	169	182	120	151
168 dB	205	136	171	241	159	200	215	147	181
169 dB	250	165	208	287	187	237	261	170	216
170 dB	298	193	246	345	216	281	312	202	257
171 dB	360	228	294	408	256	332	366	231	299
172 dB	421	263	342	478	300	389	435	269	352
173 dB	500	308	404	571	349	460	517	313	415
174 dB	592	359	476	678	403	541	600	361	481
175 dB	697	420	559	792	466	629	699	415	557
176 dB	822	483	653	925	536	731	811	479	645
177 dB	968	548	758	1082	612	847	922	544	733
178 dB	1132	630	881	1254	703	979	1073	615	844
179 dB	1321	720	1021	1454	801	1128	1226	699	963
180 dB	1539	823	1181	1679	900	1290	1400	790	1095
	loc 7			loc 8			loc 9		
	no wind	wind	mean	no wind	wind	mean	no wind	wind	mean
1000 kJ	698	359	528,5	771	410	590,5	891	504	697,5
2000 kJ	1081	524	802,5	1186	604	895	1413	753	1083
3000 kJ	1364	645	1004,5	1486	746	1116	1814	928	1371
160 dB	29	21	25	47	32	40	48	34	41
161 dB	36	24	30	54	38	46	57	43	50
162 dB	43	32	38	66	49	58	71	52	62
163 dB	53	39	46	81	54	68	87	58	73
164 dB	66	44	55	96	66	81	107	75	91
165 dB	76	52	64	117	80	99	129	88	109
166 dB	97	64	81	141	92	117	156	105	131
167 dB	114	72	93	167	111	139	190	124	157
168 dB	136	90	113	198	128	163	224	148	186
169 dB	157	101	129	237	149	193	270	170	220
170 dB	185	119	152	282	175	229	317	198	258
171 dB	223	138	181	332	197	265	370	238	304
172 dB	263	159	211	387	232	310	446	273	360
173 dB	311	184	248	458	267	363	527	314	421
174 dB	361	212	287	541	306	424	623	363	493
175 dB	429	237	333	634	352	493	735	424	580
176 dB	502	272	387	743	399	571	856	483	670
177 dB	591	311	451	868	454	661	994	553	774
178 dB	684	353	519	998	517	758	1162	631	897
179 dB	788	396	592	1145	583	864	1351	717	1034
180 dB	914	458	686	1296	662	979	1556	814	1185

Datum
15 december 2015

Onze referentie
<vnr-ext>

Blad
14/17

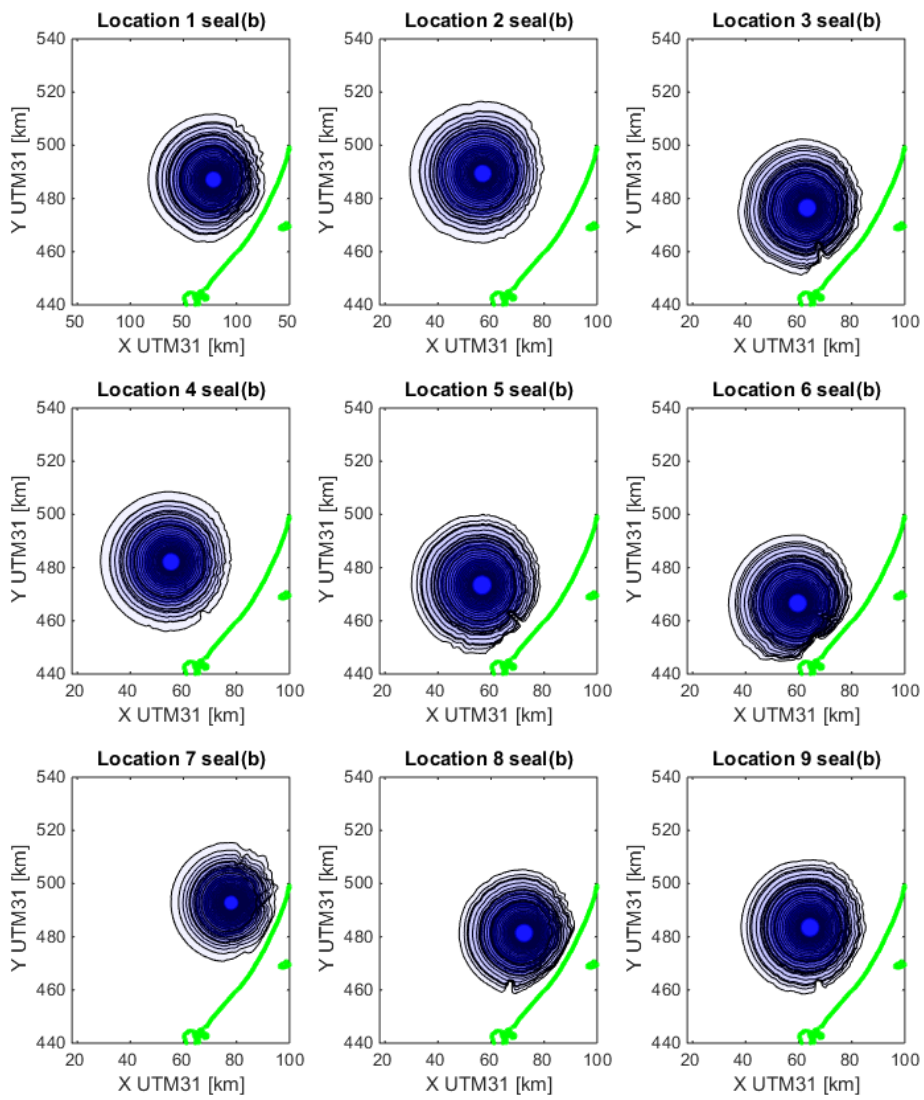




Datum
15 december 2015

Onze referentie
<vnr-ext>

Blad
15/17

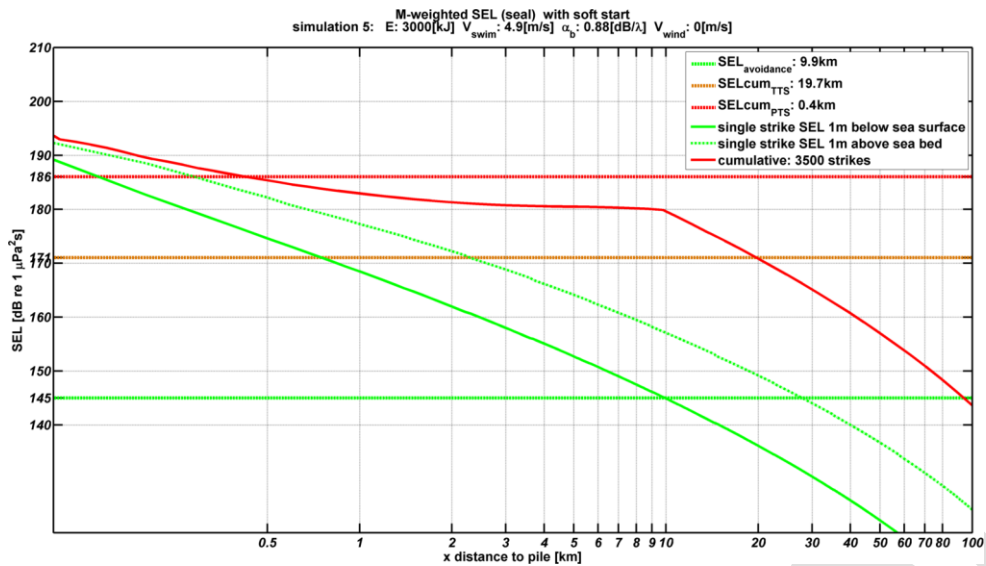


Datum
15 december 2015

Onze referentie
<vnr-ext>

Blad
16/17

B. Enkele geluidverspreidingsgrafieken voor cumulatieve blootstelling

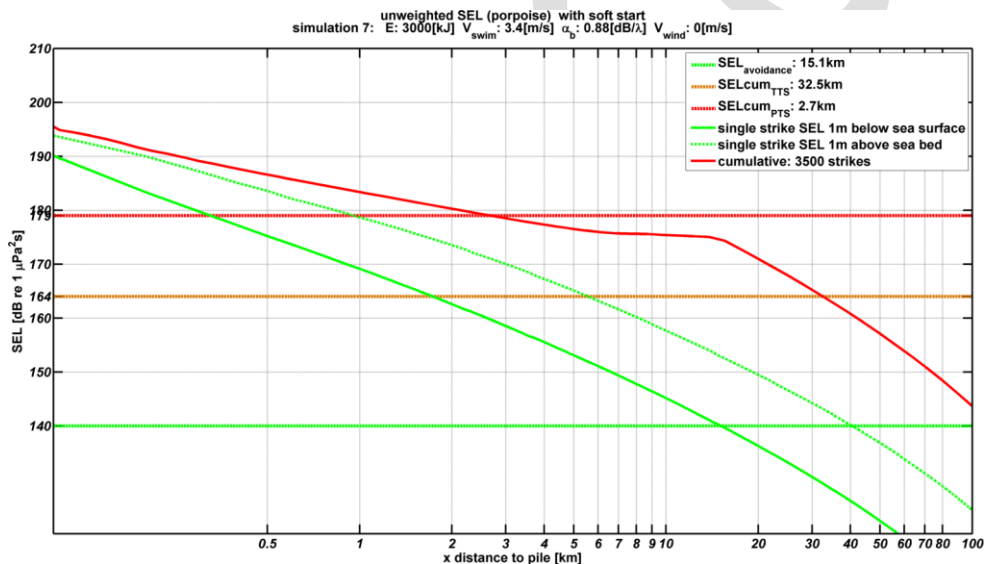


Datum
15 december 2015

Onze referentie
<vnr-ext>

Blad
17/17

Voorbeeld scenario 1: (Diepte 23 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 23 m, 3000 kJ, wind 0 m/s, bruinvissen): berekende verdeling van de SEL_1 op twee dieptes en de SEL_{CUM} (zie verder het bijschrift bij voorbeeld Scenario 1)