

RAPPORT

Onderwatergeluid

MER HES

Klant: HES International B.V.

Referentie: I&BBE4185-101-108R003D02

Versie: 02/Concept

Datum: 14-6-2017

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Jonkerbosplein 52
6534 AB Nijmegen
Netherlands
Industry & Buildings
Trade register number: 56515154

+31 88 348 70 00 **T**
+31 24 323 93 46 **F**
info@rhdhv.com **E**
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Onderwatergeluid

Ondertitel: Onderwatergeluid
Referentie: I&BBE4185-101-108R003D02
Versie: 02/Concept
Datum: 14-6-2017
Projectnaam: MER HES
Projectnummer: BE4185-101-108
Auteur(s): Frank van Hout

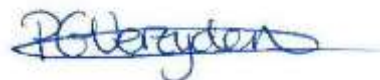
Opgesteld door: Frank van Hout

Gecontroleerd door: Martine van Oostveen, Nelleke Verzijden,
Audrey van Maastricht

Datum/Initialen: 14 juni 2017

Goedgekeurd door: Ard Slomp

Datum/Initialen: 14 juni 2017



Classificatie

Projectgerelateerd



Disclaimer

No part of these specifications/printed matter may be reproduced and/or published by print, photocopy, microfilm or by any other means, without the prior written permission of HaskoningDHV Nederland B.V.; nor may they be used, without such permission, for any purposes other than that for which they were produced. HaskoningDHV Nederland B.V. accepts no responsibility or liability for these specifications/printed matter to any party other than the persons by whom it was commissioned and as concluded under that Appointment. The integrated QHSE management system of HaskoningDHV Nederland B.V. has been certified in accordance with ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 and OHSAS 18001:2007.

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Aanleiding	1
1.2	Achtergrond	1
1.3	Leeswijzer	2
2	Referentiesituatie	3
3	Uitgangspunten prognose berekeningen	4
4	Prognoseberekening bodemtrillingen	7
4.1	Inleiding	7
4.2	Rekenresultaten bodemtrillingen	8
5	Onderwatergeluid	10
5.1	Inleiding	10
5.2	Uitgangspunten geluidbronnen	10
5.3	Normstelling	12
5.4	Berekeningen	13
5.5	Beoordeling onderwatergeluid	18
5.5.1	A1 Bouwactiviteiten direct in het water	18
5.5.2	A2 De baggerwerkzaamheden	18
5.5.3	B Bouwactiviteiten op land	19
5.5.4	Conclusie	19
6	Mitigerende maatregelen	21
7	Leemten in kennis	22
8	Literatuur	23

Bijlagen

1.	Situering HHTT
1.	Prognosetrillingen

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Ten behoeve van de besluitvorming voor de realisatie van de HES Hartel Tank Terminal (HHTT) is een project MER noodzakelijk. In het MER komen de milieueffecten van de realisatie en de gebruiksfase van de HHTT aan bod. Dit betreft ook de haveninfrastructuur die door HbR wordt aangelegd. Onderstaand volgt een beschouwing van het aspect onderwatergeluid.

In de gebruiksfase is onderwatergeluid niet te onderscheiden van andere (achtergrond)geluiden in de haven. Derhalve is het effect van onderwatergeluid ten gevolge van de terminal in de gebruiksfase verwaarloosbaar en niet meegenomen in dit onderzoek.

Dit onderzoek richt zich op onderwatergeluid tijdens de bouwfase. Dit betreft de bouw van de haveninfrastructuur en de terminal inclusief tanks. Het effect van het bouwen van tanks is in dit kader echter onderschikt aan het effect van het bouwen van de haveninfrastructuur. Het onderzoek richt zich derhalve op de bouw van de haveninfrastructuur die onder de verantwoordelijkheid van het HbR wordt aangelegd en betreft:

1. Bouwen zeekade;
2. Bouwen binnenvaartkade en -steiger in de insteekhaven;
3. Vrijbaggeren kades en op diepte brengen insteekhaven.

De te verwachten geluidniveaus en geluidsdoses onderwater vanwege de werkzaamheden 1 t/m 3 zijn onderzocht. We maken hierbij gebruik van literatuurgegevens en een door Royal HaskoningDHV (RHDHV) vervaardigd rekenmodel. In dit rekenmodel berekenen we het overdrachtsverlies van geluid onderwater rekening houdend met de waterdiepte, de absorptie door water en de geometrische uitbreiding.

Factoren zoals de windsnelheid en effecten samenhangend met de bodem en de geometrie van de haven maken geen deel van het rekenmodel uit. Op korte afstanden van enkele honderden meters van de werkzaamheden levert het rekenmodel nauwkeurige resultaten. Als de afstand toeneemt tot meerdere kilometers dan worden de resultaten minder nauwkeurig en is sprake van een overschatting.

In de onderzochte situaties wordt door de werkzaamheden een relatief beperkte hoeveelheid geluidenergie aan het water overgedragen, waardoor zeer grote effectafstanden niet optreden en het ontbreken van factoren zoals de windsnelheid niet van wezenlijke invloed zijn op de bevindingen van het onderzoek.

1.2 Achtergrond

Als gevolg van de te realiseren haveninfrastructuur zijn effecten op de fauna onder water niet uit te sluiten. Het doel van dit rapport is de eventuele effecten in beeld te brengen. Onder de voorgenomen activiteiten wordt verstaan: de aanleg van de nieuwe kades, de steiger en het baggeren.

Alle voorgenomen activiteiten veroorzaken geluid onderwater. We maken onderscheid tussen werkzaamheden die op land plaatsvinden en werkzaamheden die zich direct in het water of in de waterlijn afspelen. Het bouw materieel op land brengt vooral tijdens heiwerkzaamheden de bodem in trilling. De trillingen planten zich door de bodem voort, onder andere richting de waterlijn. In het water aangekomen spreken we niet meer van trillingen, maar van onderwatergeluid. Om de geluidniveaus onder water in te kunnen schatten is onderzoek naar de trillingssterkte in de bodem benodigd. De prognoseberekeringen van trillingen door activiteiten op land gaan dan ook vooraf aan het hoofdstuk 'Onderwatergeluid'.

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt de referentiesituatie beschreven, hoofdstuk 3 geeft een overzicht van de uitgangspunten en hoofdstuk 4 betreft onderzoek naar de te verwachten trillingen in de bodem vanwege bouwmaterieel. De rekenresultaten voor geluiden onderwater met de bijbehorende beoordelingscriteria zijn ondergebracht in hoofdstuk 5. In hoofdstuk 6 zijn tenslotte mitigerende maatregelen opgenomen om effecten door geluid te beperken.

2 Referentiesituatie

In de huidige situatie bestaat door het intensieve gebruik van de haven door schepen een hoog achtergrondgeluidniveau onderwater. Onderstaand volgt een onderbouwing van de schatting van het achtergrondgeluid.

In het algemeen kan worden gesteld dat continue geluidniveaus onderwater van antropogene aard tussen 90 en 100 dB re 1 μ Pa in het frequentiegebied van 100 Hz tot enkele kHz in ondiepe wateren niet ongewoon zijn. Tijdens een regenbui of het voorbij varen van een schip kunnen de geluidniveaus oplopen tot 110 – 120 dB re 1 μ Pa. Voor het geluidniveau vanwege een voorbij varende groot vrachtschip kan een geluidniveau van ca. 146 dB re 1 μ Pa op een afstand van 100 m als richtwaarde worden gehanteerd. Voor een visserschip is dat ongeveer 127 dB re 1 μ Pa op een afstand van 100 m.

Het onderstaande overzicht geeft voor 'Large marine bay and heavy commercial boat traffic' een achtergrondgeluidniveau (effectieve waarde) van 132 tot 143 dB re 1 μ Pa.

Table 4-3. Reported Ambient Underwater Noise Levels (dB re: 1 μ Pa) Recorded at Various Open Water Locations in the Western United States

Environment	Location	Ambient Noise Levels	Source
Large marine bay, heavy industrial use, and boat traffic	San Francisco Bay – Oakland outer harbor	120 – 155 dB _{PEAK} 133 dB _{RMS}	Strategic Environmental Consulting, Inc. 2004
Large marine bay and heavy commercial boat traffic	Elliot Bay – Puget Sound, Washington	147 – 156 dB _{PEAK} 132 – 143 _{RMS}	Laughlin 2006
Large marine inlet and some recreational boat traffic	Hood Canal, Washington	115 – 135 dB _{RMS}	Carlson et al. 2005
Open ocean	Central California coast	74 – 100 dB _{PEAK}	Heathershaw et al. 2001 cited in WSDOT 2006
Large marine bay, nearshore, heavy commercial, and recreational boat traffic	Monterey Bay, California	113 dB _{PEAK}	O'Neil 1998
Large marine bay, offshore, heavy commercial, and recreational boat traffic	Monterey Bay, California	116 dB _{PEAK}	O'Neil 1998
Marine surf	Fort Ord beach, California	138 dB _{PEAK}	Wilson et al. 1997

De bovenstaande tabel bevat een aantal omgevingskenmerken. De kwalificatie 'large marine bay and heavy commercial boat traffic' sluit met een omgevingsgeluid van 132 t/m 143 dB_{RMS} goed aan op de situatie bij HHTT. We achten het reëel om als achtergrondgeluidniveau (effectieve waarde) door het intensieve gebruik van de haven nabij HHTT 140 dB re 1 μ Pa te hanteren.

3 Uitgangspunten prognose berekeningen

De aan te leggen haveninfrastructuur betreft:

1. Bouwen zeekade;
2. Bouwen binnenvaartkade en -steiger in de insteekhaven;
3. Vrijbaggeren kades en op diepte brengen insteekhaven.

De tabellen 1 t/m 4 bevatten de voor het aspect onderwatergeluid relevante bouwactiviteiten. De duur van de activiteiten is eveneens in de tabellen verwerkt. De effectieve bedrijfsduur van de hei- en trilblokken is hierbij 50% van de aangegeven bedrijfsduur in de dag. De gegevens in de tabellen 1 t/m 3 zijn ontleend aan de memo HbR d.d. 20 mei 2016.

Ad 1. Zeekade

Tabel 1: Overzicht materieel zeekade

Activiteit	Kortste afstand tot waterlijn (m)	Periode	Bedrijfsduur in dag
Plaatsen tijdelijke damwand (trilblok PVE 2335VM)	0	8 weken*	Van 07.00 tot 19.00 uur
Heistelling buispaal (bijvoorbeeld heiblok D160)	40 met een damwand als scheiding grond met water	10 weken	Van 07.00 tot 19.00 uur
Heistelling ankers (bijvoorbeeld heiblok S120)	40 met een damwand als scheiding grond met water	30 weken	Van 07.00 tot 19.00 uur
Intrillen damwand (bijvoorbeeld trilblok PvE110)	40 met een damwand als scheiding grond met water	11 weken	Van 07.00 tot 19.00 uur
Heien vibropalen (bijvoorbeeld IHC S-150 hydroblok)	50 met een damwand als scheiding grond met water	30 weken	Van 07.00 tot 19.00 uur
Intrillen buizen (THW-1000-FR, trilblok PVE 110M)	40 met een damwand als scheiding grond met water	10 weken	Van 07.00 tot 19.00 uur

*elke week bevat 6 werkdagen waarop de betreffende activiteit wordt uitgevoerd

Onze ervaringen met het meten van trillingen zijn dat activiteiten zoals het boren van ankers en de inzet van een voorboorkraan significant minder trillingen produceren dan trilblokken. Het gaat dan orde grootte om verhoudingen van respectievelijk 10 á 20%. Analoog hieraan geldt voor aggregaten een verhouding van $\leq 10\%$. Boorwerk en aggregaten zijn voor onderwatergeluid geen relevante bronnen en worden daarom niet nader in beschouwing genomen.

Ad 2. Binnenvaartkade en steiger

Tabel 2: Overzicht materieel binnenvaartkade

Activiteit	Kortste afstand tot waterlijn (m)	Periode	Bedrijfsduur in dag
Plaatsen tijdelijke damwand (trilblok PVE 2335VM)	0	8 weken	Van 07.00 tot 19.00 uur
Heistelling buispaal (bijvoorbeeld heiblok D100)	20 met een damwand als scheiding grond met water	10 weken	Van 07.00 tot 19.00 uur
Intrillen damwand (bijvoorbeeld trilblok PvE110)	20 met een damwand als scheiding grond met water	11 weken	Van 07.00 tot 19.00 uur
Intrillen buizen (THW-1000-FR, trilblok PVE 110M)	20 met een damwand als scheiding grond met water	10 weken	Van 07.00 tot 19.00 uur

Tabel 3: Overzicht materieel steiger Hudsonhaven

Activiteit	Kortste afstand tot waterlijn (m)	Periode	Bedrijfsduur in dag
Heistelling buispaal (bijvoorbeeld heiblok D100)	0	4 weken	Van 07.00 tot 19.00 uur

Ad 3. Baggeren

Bij het baggeren wordt een backhoe en een tweetal sleephopperzuigers ingezet. Een sleephopperzuiger draait 24/7 maar maakt een cyclus en is derhalve maar 10 uur in het projectgebied. De duur van de baggerwerkzaamheden bedraagt 8 maanden, 24 uur per dag.

Tabel 4: Overzicht materieel baggeren

Activiteit	Geïnstalleerd vermogen in kW	Bedrijfsduur in uur
Sleephopperzuiger (2 stuks)	Maximaal 2x 6,5 MW = 13 MW aan pompen en bij maximale aandrijving en incl. bow thruster. Aanname voor representatieve bedrijfsvoering te Rotterdam is 10 MW in totaal.	24
Backhoe	1,6 MW (bijvoorbeeld Van Oord 51,75 x 15,04 m, 665 GT – 199 NT)	24

Activiteiten in de avond- en nachtperiode

Naast het in tabel 4 genoemde baggeren zijn in de avond- en nachtperiode dieselaggregaten in werking, er worden 5 stuks ingezet. De dieselaggregaten zullen gedurende de avond- en nachtperiode 70% van de tijd operationeel zijn. Ze zijn ca. 70 m van de waterlijn gepositioneerd. Zoals al is vermeld zijn de aggregaten geen relevante bronnen in het kader van onderwatergeluid en worden deze in het onderzoek niet meegenomen.

Cumulatie

Binnen het project vinden er verschillende bouwactiviteiten gelijktijdig plaats waardoor er sprake zou kunnen zijn van cumulatie van effecten. Het werk is verdeeld over meerdere fasen die op verschillende locaties worden uitgevoerd. Hierbij blijft het heien van de fundaties voor de steiger (fase onderheien) echter de meest bepalende activiteit voor onderwatergeluid. Het onderzoek richt zich derhalve met name op deze activiteit.

Er zijn geen gegevens waaruit blijkt dat er op redelijke afstand nog andere bouwprojecten worden uitgevoerd die een significante invloed hebben op het onderwatergeluid. Daarmee is cumulatie door andere projecten ook uitgesloten.

4 Prognoseberekening bodemtrillingen

4.1 Inleiding

Op basis van een prognosemodel conform de Europese richtlijn ENV-1993-5:P 1998 is een berekening gemaakt van de onderwatergeluidniveaus als gevolg van activiteiten (heien) in de landbodem. Dit prognosemodel is gebaseerd op de theoretische overdracht op basis van de empirische formule van Barkan voor trillingen in het verre veld van een homogene isotropehalfruimte. Voor de overdracht van trillingen door de bodem wordt gebruikgemaakt van de formule van Barkan [1].

$$V_R = V_{R0} * \left[\frac{R_0}{R} \right]^n e^{-\alpha(R-R_0)}$$

Waarin:

V_R	trillingssterkte (m/s) op een afstand R van de bron;
V_{R0}	trillingssterkte (m/s) op een afstand R ₀ van de bron;
R	afstand tussen immissiepunt en de bron;
R ₀	afstand tussen meetpunt en de bron;
α	materiaaldemping in de bodem (1/m);
n	n = 1 tot 2 voor P- en S-golven; n = 0.5 voor R-golven.

De geometrische demping is afhankelijk van het type golf en de richting vanuit de bron waarin de trillingsuitbreiding plaatsvindt. Voor de R (Rayleigh)-golven of oppervlaktegolven (n = 0.5) is de geometrische demping kleiner dan voor de P-(pressure) golven of compressiegolven en de S-(shear) golven of schuifgolven. Dit geeft voor de Rayleigh-golven op grotere afstand van de bron ten opzichte van de P- en S-golf de grootste energie (>67%).

Bij de berekening is uitgegaan van het volgende:

- In de bodem is de trillingsenergie 7% drukgolven 26% afschuifgolven en 67 % Rayleighgolven conform [2];
- Voor organismen in water zijn alleen drukgolven van belang;
- De afschuifgolven worden in het overgangsgebied van bodem naar water 100% gereflecteerd omdat afschuifgolven niet in water kunnen bestaan;
- De Raleighgolven aan de oppervlakte van de bodem worden omgezet in gravitatiegolven aan de oppervlakte van het water;
- Deze trillingsenergie wordt in een overgangsgebied vanwege de invalshoek van de drukgolf van bodem naar water (45-90 graden) 0% gereflecteerd door de overgang bodem naar water;
- Dit wordt buiten het overgangsgebied vanwege de scherpende invalshoek van de drukgolf van bodem naar water (kleiner dan 45 graden) voornamelijk gereflecteerd door de overgang bodem naar water;
- Transitie van drukgolf in bodem naar drukgolf in water op basis energetische beschouwing.

In de overdrachtsweg is ten tijde van bouwactiviteiten op land een tijdelijke barrière in de vorm van een damwand ter hoogte van de waterlijn aanwezig. Uit de literatuur [2] Vibration of soilsand foundations Richart, Hall en Woods Prentice Hall 1970 Hoofdstuk 8 isolationbybarriers en [4] TNO-rapport B-88-601, “Trillingsreducerende werking van een diepwand”, TNO Delft, 1988 is bekend dat een wand in de overdrachtsweg een beperkte dempende invloed heeft, met name op horizontale trillingen. De dempende invloed is afhankelijk van golflengte en de afstand tot de wand, de dempende invloed neemt af met de afstand tot de wand. Voor de berekening is als worst case benadering uitgegaan van de situatie zonder tijdelijke damwand.

4.2 Rekenresultaten bodemtrillingen

Het trillingsniveau wordt ter hoogte van de waterlijn ten gevolge van de trillingen veroorzaakt door de heihammers en trilblokken geprognosticeerd. Het trillingsniveau vormt namelijk de basis voor de aan het water afgegeven geluidvermogens en geluidniveaus (zie hoofdstuk 5).

In tabel 5 zijn de prognose rekenresultaten samengevat weergegeven. Door de worstcasebenaderingswijze kunnen de resultaten als een prognose van de bovengrens worden beschouwd.

Tabel 5: Rekenresultaten trillingssnelheid V_{max} [mm/s] van een drukgolf in het water ter hoogte van het overgangsgedebied t.g.v. werk aan de zeekade

Activiteit	Kortste afstand tot waterlijn [m]	Maximale energie blok per slag in [kJm]	Overgangsgedebied	
			Gem. trillingssnelheid in mm/s	Oppervlakte in [m ²]
Heistelling buispaal (bijvoorbeeld heiblok D160)	40	550	1,9	2000
Heistelling ankers (bijvoorbeeld heiblok S-120)	40	120	0,9	2000
Intrillen damwand (bijvoorbeeld trilblok PVE110)	40	110 (22 Hz)	0,2	2000
Heien vibropalen (bijvoorbeeld IHC S-150 hydroblok)	50	150	0,8	2500
Intrillen buizen (trilblok PVE 110M)	40	110 (22 Hz)	0,2	2000

In bijlage 1 zijn de prognoseberekeninge n voor stellingen in de worstcase situatie weergegeven.

Uit de berekeninge n blijkt dat bij het heien van een buispaal de trillingssnelheid aan de waterlijn ten gevolge van een drukgolf van het water tot 1,9 mm/s bedraagt. Dit geldt voor het deel van de zeekade op 40 m afstand van de waterlijn. Voor de resultaten van de gemiddelde trillingssnelheid bij werk aan de binnenvaartkade zie tabel 6.

Tabel 6: Rekenresultaten trillingssnelheid V_{max} [mm/s] van een drukgolf in het water ter hoogte van het overgangsgedebied t.g.v. werk aan de binnenvaartkade

Activiteit	Kortste afstand tot waterlijn [m]	Maximale energie blok per slag in [kNm]	Overgangsgedebied	
			Gem. trillingssnelheid in mm/s	Oppervlakte in [m ²]
Heistelling buispaal (bijvoorbeeld heiblok D100)	20	360	3,0	1000
Intrillen damwand (bijvoorbeeld trilblok PvE110)	20	110 (22 Hz)	0,4	1000
Intrillen buizen (THW-1000-FR, trilblok PVE 110M)	20	110 (22 Hz)	0,4	1000

De berekende trillingssnelheden in de bodem zijn relevant voor het onderwatergeluid. De in de tabellen 5 en 6 vermelde resultaten dienen als uitgangspunt voor de in het volgende hoofdstuk beschreven nadere uitwerking van onderwatergeluid in de aanlegfase van de kades.

5 Onderwatergeluid

5.1 Inleiding

De bouwgeluiden hebben mogelijk effect op het leefmilieu van de fauna in het Hartelkanaal. Het onderzoek richt zich op vissen, bruinvissen en zeehonden. Incidenteel wordt bruinvis in de haven waargenomen, het is echter geen primair leefgebied van deze soort. Vanwege de genoemde (spaarzame) aanwezigheid maakt bruinvis deel uit van dit onderzoek.

We hebben de te verwachten geluidrukniveaus onderwater berekend uitgaande van:

- A. bouwactiviteiten direct in het water
- A1 de te plaatsen tijdelijke damwand ten behoeve van de zee- en binnenvaartkades en de buispalen van de steiger;
 - A2 de baggerwerkzaamheden.
- B. Bouwactiviteiten op land. Het betreft de (in hoofdstuk 4) onderzochte trillingsenergie die door verscheidene hei- en trilblokken tijdens fundatiewerk op land via de bodem naar het water gaat.

5.2 Uitgangspunten geluidbronnen

Ad A1. Bouwactiviteiten direct in het water

De geluidsdoses op 10 meter afstand (SEL 10m) van de buispaal en de damwand zijn in tabel 7 aangegeven. De cumulatieve geluidsdoses (SELcum waarden) op 10m vormen de input voor de verdere berekeningen van geluid onderwater.

Tabel 7: Werk in de waterlijn t.b.v. de zeekade, binnenvaartkade en steiger

Activiteit	SEL 10m in dB [$\mu\text{Pa}^2\text{s}$]	SELcum op 10m in dB [$\mu\text{Pa}^2\text{s}$]
Plaatsen tijdelijke damwand (trilblok PVE 2335VM) t.b.v. binnenvaartkade en zeekade	163 dB gedurende 1 s (cf. pag I-119 [7]). Continu geluid	196 dB Op basis van 0,5 uur
Heistelling buispaal (bijvoorbeeld heiblok D100) t.b.v. steiger Hudsonhaven uitgaande van een 24 inch buispaal	178 dB single strike (cf. pag I.2 [7]). Impulsgeluid	206 dB Bij 600 slagen per paal

Ad A2. De baggerwerkzaamheden

Bij baggerwerktuigen bestaat een vaste verhouding tussen het geluidvermogen en het mechanisch vermogen. Het geluidvermogen is 3 ppm van het in hoofdstuk 3 vermelde geïnstalleerde mechanische vermogen, zie tabel 8.

Tabel 8: Overzicht geluidvermogen materieel baggeren

Activiteit	Geluidvermogen, Acoustic Power in [W]
Sleephopperzuiger	30 (in totaal voor 2 stuks)
Backhoe	5

Ad B. Bouwactiviteiten op land

De berekeningen van geluid onderwater veroorzaakt door bouwactiviteiten op land zijn gebaseerd op de in tabel 9 en 10 opgenomen geluidvermogens.

Tabel 9: Overzicht materieel zeeakade

Activiteit	Kortste afstand tot waterlijn [m]	Maximale energie blok per slag in [kNm]	Overgangsgebied		Geluidvermogen Acoustic Power in [W]
			Gem. trillingssnelheid in mm/s	Oppervlakte in [m ²]	
Heistelling buispaal (bijvoorbeeld heiblok D160)	40	550	1,9	2000	33
Heistelling ankers (bijvoorbeeld heiblok S-120)	40	120	0,9	2000	26
Intrillen damwand (bijvoorbeeld trilblok PvE110)	40	110 (22 Hz)	0,2	2000	13
Heien vibropalen (bijvoorbeeld IHC S-150 hydroblok)	50	150	0,8	2500	26
Intrillen buizen (trilblok PVE 110M)	40	110 (22 Hz)	0,2	2000	13

Tabel 10: Overzicht materieel binnenvaartkade

Activiteit	Kortste afstand tot waterlijn [m]	Maximale energie blok per slag in [kJm]	Overgangsgebied		Geluidvermogen Acoustic Power in [W]
			Gem. trillingsnelheid in mm/s	Oppervlakte in [m ²]	
Heistelling buispaal (bijvoorbeeld heiblok D100)	20	360	3,0	1000	34
Intrillen damwand (bijvoorbeeld trilblok PvE110)	20	110 (22 Hz)	0,4	1000	16
Intrillen buizen (THW-1000-FR, trilblok PVE 110M)	20	110 (22 Hz)	0,4	1000	16

5.3 Normstelling

In het onderzoek hanteren we een drempelwaarde voor het optreden van effecten op de gehoorgevoeligheid van bruinvissen, zeehonden en vissen. Er kunnen verschillende categorieën van gehoorgevoeligheid onderscheiden worden bestaande uit tijdelijke (TTS) of permanente gehoordrempelverschuiving (PTS) en verstoring (mijding). PTS moet te allen tijde voorkomen worden. Activiteiten mogen namelijk niet leiden tot permanente schade aan zeezoogdieren en vissen, hiervoor wordt geen ontheffing verleend. TTS is wanneer bij blootgestelde dieren 1 tot 4 minuten na de blootstelling een verhoging van de gehoordrempel met 6 dB bij enige frequentie wordt gemeten. TTS treedt op door langdurige blootstelling aan een bepaald geluid maar als het geluid stopt zal het gehoor langzaam terugkomen. Het optreden van TTS bij zeezoogdieren en vissen is ook ongewenst. Dit onderzoek richt zich vooral op de strengste drempelwaarde, namelijk die voor TTS. Aanvullend zijn voor drie situaties waarin de hoogste geluidsdoses worden verwacht, afstanden berekend waarop PTS optreedt.

Het bovenstaande wijkt af van de huidige redeneerlijn voor het bepalen van cumulatieve effecten van onderwatergeluid op zeezoogdierpopulaties, waarbij onder andere het aantal verstoorde dieren en het effect op de populatie worden onderzocht. Dit is een bewuste keuze aangezien de haven in tegenstelling tot het Nederlands Continentaal Plat geen leefgebied vormt voor grote aantallen zeezoogdieren. Het effect van de voorgenomen activiteiten op een beperkt aantal mogelijk aanwezige zeezoogdieren en vissen in de haven bepalen we daarom op basis van de TTS onset.

Als geluidnormen onder water zijn de volgende waarden gehanteerd:

Soort	Type effect	Waarde (re 1 $\mu\text{Pa}^2 \text{ s}$)	Bron
Vissen (<2 gram)	TTS-onset	SEL _{cum} 183 dB	[5] Stadler en Woodbury (2009);
Vissen (> 2 gram)	TTS-onset	SEL _{cum} 187 dB	[5] Stadler en Woodbury (2009);
Bruinvis	TTS-onset impuls geluid	SEL _{cum} 164 dB	TNO, 2015
	TTS-onset continu geluid	SEL 172 dB	
Zeehonden	TTS-onset impuls geluid	SEL _{cum} 171 dB	TNO, 2015
	TTS-onset continu geluid	SEL _{cum} 184 dB	

We merken op dat de drempelwaarde voor PTS-onset 15 dB boven de drempelwaarde voor TTS-onset ligt.

De voornoemde geluidnormen volgen uit literatuur namelijk de rapportage TNO 2015 R10335 'Cumulatieve effecten van impulsief onderwatergeluid op zeezoogdieren' d.d. maart 2015 door F. Heinis en C.A.F. De Jong in opdracht van Rijkswaterstaat DG Zee en Delta en Stadler en Woodbury, (2009).

5.4 Berekeningen

Ad A1. Bouwactiviteiten direct in het water

Voor de afstanden tot het bereiken van de drempelwaarden voor het optreden van een tijdelijke verhoging van de gehoordrempel bij bruinvissen en zeehonden zie tabel 11 en voor vissen zie tabel 12. De betreffende afstanden zijn in de laatste kolommen van de tabellen vermeld onder de afstand 'distance' D2. Hierbij maken we onder andere gebruik van geometrische uitbreiding volgens de formule $17 \cdot \log(D2/D1)$ met $D1 = 10$ meter als referentieafstand en literatuurgegevens.

Tabel 11: Werk in de waterlijn t.b.v. de zeekade, binnenvaartkade en steiger. Afstanden TTS onset voor bruinvissen en zeehonden

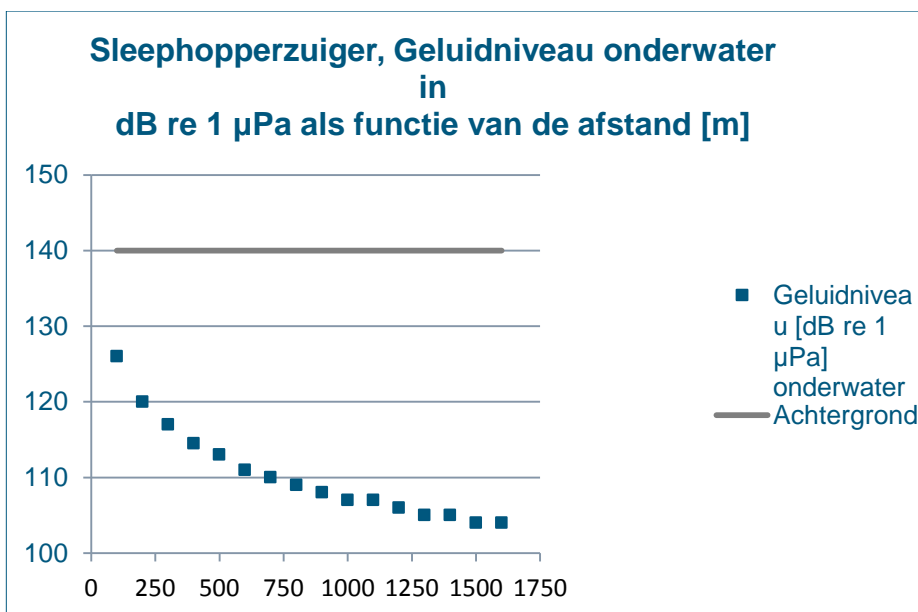
Activiteit	SEL 10m in dB [$\mu\text{Pa}^2\text{s}$]	SELcum,10m in dB [$\mu\text{Pa}^2\text{s}$]	Drempelwaarde TTS-onset, SELcum [$\mu\text{Pa}^2\text{s}$]		D1 in [m]	Afstand D2 in [m] tot de drempelwaarde bruinvis	Afstand D2 in [m] tot de drempelwaarde zeehond
			Bruinvis	Zeehond			
Plaatsen tijdelijke damwand (trilblok PVE 2335VM) t.b.v. binnenvaartkade en zeekade	163 dB gedurende 1 s (cf. pag I-119 [7]). Continu geluid	196 dB Op basis van 0,5 uur	172 [6]	184	10	258	51
Heistelling buispaal (bijvoorbeeld heiblok D100) t.b.v. steiger Hudsonhaven uitgaande van een 24 inch buispaal	178 dB single strike (cf. pag I.2 [7]). Impulsgeluid, aanname 600 slagen per paal	206 dB	164 [8] Geldend voor het realiseren van 1 buispaal	171 Geldend voor het realiseren van 1 buispaal	10	2955	1145

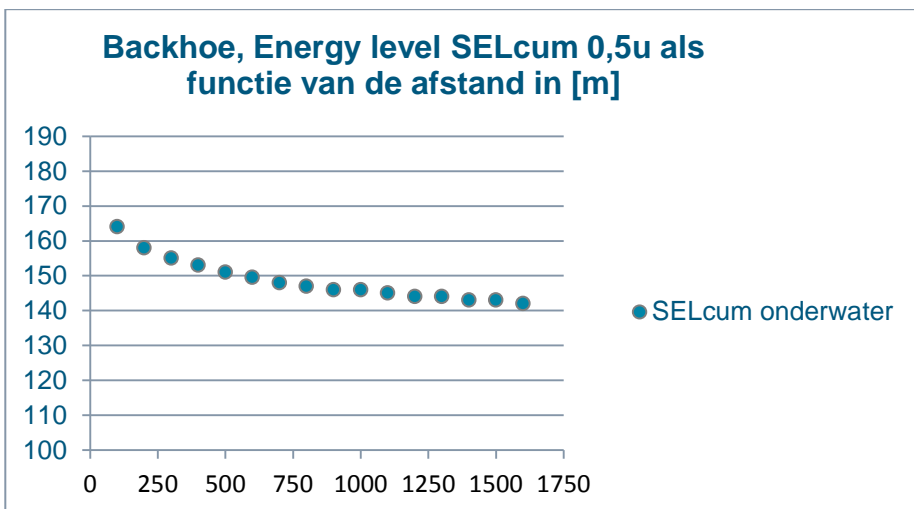
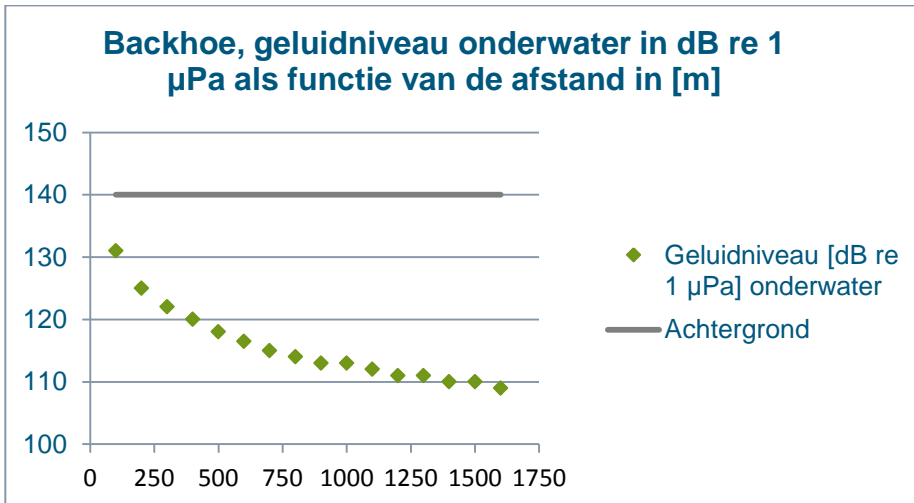
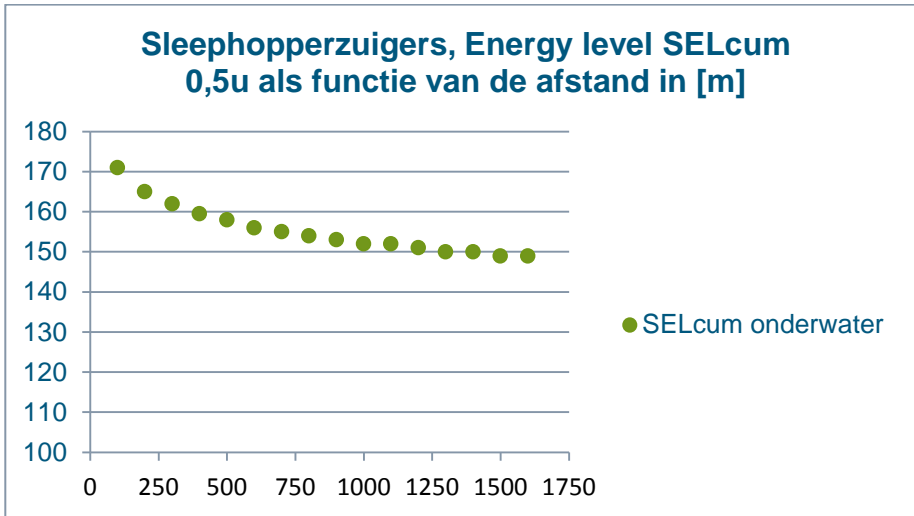
Tabel 12: Werk in de waterlijn t.b.v. de binnenvaartkade, zeekade en steiger. Afstanden TTS onset voor vissen

Activiteit	SEL 10m in dB [$\mu\text{Pa}^2\text{s}$]	SELcum,10m in dB [$\mu\text{Pa}^2\text{s}$]	Drempelwaarde TTS-onset, SELcum [$\mu\text{Pa}^2\text{s}$]		D1 in [m]	Afstand D2 in m] tot de drempelwaarde Vissen >2g	Afstand D2 in m] tot de drempelwaarde Vissen <2g
			Vissen >2g	Vissen <2g			
Plaatsen tijdelijke damwand (trilblok PVE 2335VM) t.b.v. binnenvaartkade en zeekade	163 dB gedurende 1 s (cf. pag I-119 [7]). Continu geluid	196 dB Op basis van 0,5 uur	187	183	10	34	58
Heistelling buispaal (bijvoorbeeld heiblok D100) t.b.v. steiger Hudsonhaven uitgaande van een 24 inch buispaal	178 dB single strike (cf. pag I.2 [7]). Impulsgeluid, aanname 600 slagen per paal	206 dB	187	183	10	131	225

Ad A2. De baggerwerkzaamheden

De verwachte geluidniveaus onderwater en de geluidsdoses zijn voor de sleepopperzuigers en de backhoe in de onderstaande grafieken weergegeven.





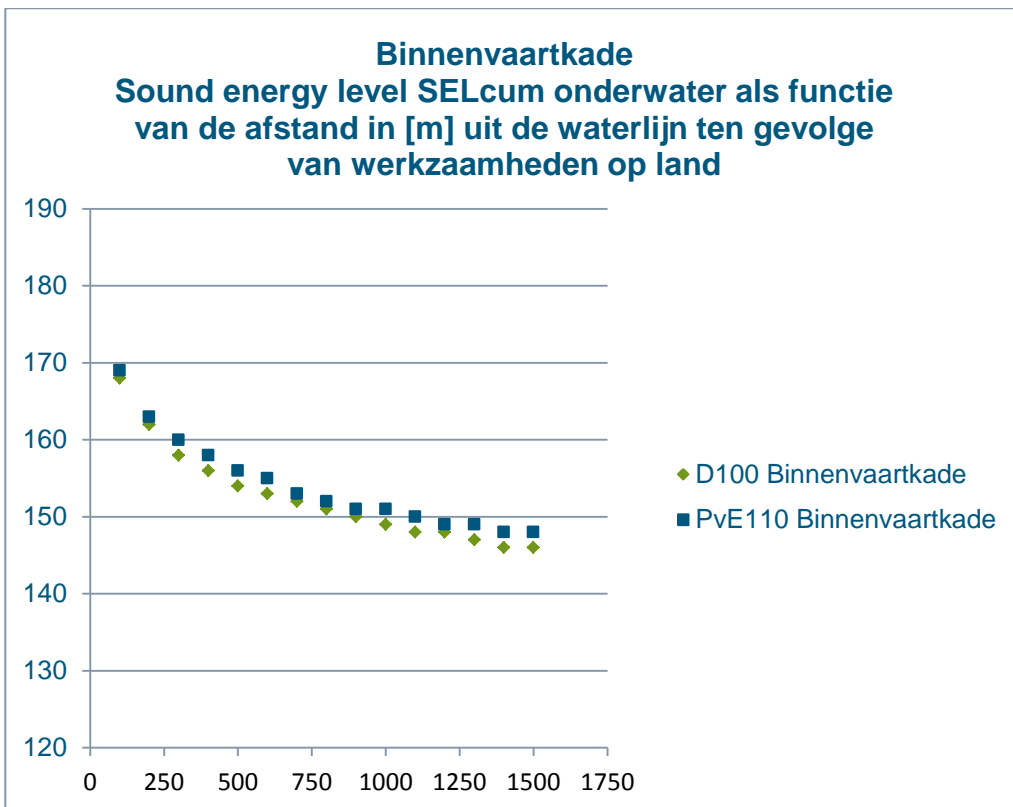
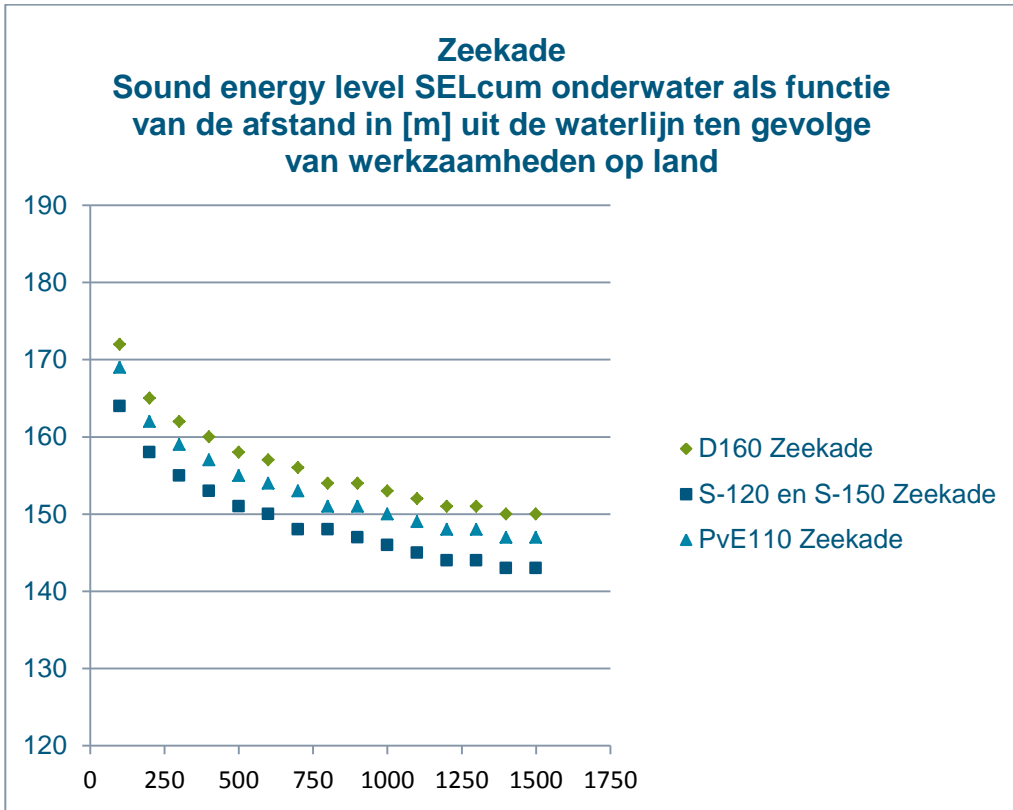
Ad B. Bouwactiviteiten op land

Voor de afstanden waarop de drempelwaarden voor het optreden van een tijdelijke verhoging van de gehoordrempel bij bruinvissen en zeehonden optreden zie tabel 13. De betreffende afstanden zijn in de laatste kolommen van de tabel vermeld onder D2. Hierbij veronderstellen we onder andere dat de geometrische uitbreiding verloopt volgens de formule $17 \cdot \log(D2/D1)$.

Tabel 13: Werk op land t.b.v. de zeekade en de binnenvaartkade. Afstanden TTS onset voor bruinvissen en zeehonden

Activiteit	SELcum in dB [$\mu\text{Pa}^2\text{s}$] D1=100m in dB	Norm TTS-onset, SELcum in dB [$\mu\text{Pa}^2\text{s}$]		D2 in [m] Bruinvis	D2 in [m] Zeehond
		Bruinvis	Zeehond		
<i>Realisatie zeekade</i>					
D160 Heistelling buispaal	172 Impulsgeluid	164 Geldend voor het realiseren van 1 buispaal	171 Geldend voor het realiseren van 1 buispaal	296	114
S-120 Heistelling ankers	164 Impulsgeluid	164	171	100	<100m
Plaatsen tijdelijke damwand (triblok PVE 110)	169 gedurende 0,5 uur. Continu geluid	172 [6]	184	<100m	<100m
S-150 Heien vibropalen	164 Impulsgeluid	164	171	100	<100m
<i>Realisatie binnenvaartkade</i>					
Heistelling buispalen (bijvoorbeeld heiblok D100)	168 Impulsgeluid, aanname 600 slagen per paal	164	171	172	<100m
PvE 110 Intrillen damwanden & buizen	169 gedurende 0,5 uur. Continu geluid	172 [6]	184	<100m	<100m

De hoogst berekende SELcum waarde is 172 dB op 100m uit de waterlijn. Het verloop van SELcum als functie van de afstand uit de waterlijn is in de beide navolgende grafieken weergegeven.



5.5 Beoordeling onderwatergeluid

Bij de beschouwing van de rekenresultaten samenhangend met de voorgenomen activiteiten moet rekening worden gehouden met het feit dat als de berekende afstand toeneemt, de nauwkeurigheid afneemt. De nauwkeurigheid bij berekende afstanden van meer dan 1000 meter uit het werk of de waterlijn is beperkt.

5.5.1 A1 Bouwactiviteiten direct in het water

TTS

Het plaatsen van buispalen ter realisatie van de steiger in de Hudsonhaven levert significant hogere geluidsdoses op dan het trillen van de tijdelijke damwanden ten behoeve van de kades. De drempelwaarden voor TTS onset bij bruinvissen en zeehonden worden bij buispalen op afstanden van 2955 en 1145 meter bereikt. Daarbij moeten we vermelden dat TTS onset een strenge norm betreft. Uit de resultaten van recent onderzoek van SEAMARCO blijkt dat met nagespeeld heigeluid een geringe TTS van 2,3 – 4 dB bij bruinvissen pas kan worden aangetoond bij een SELcum van 180 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$ [Kastelein et al, 2014]. De effectcirkels voor TTS zijn dan met een straal van ca. 300 meter kleiner dan nu berekent. In het onderhavige onderzoek hanteren we de 'strenge' norm voor TTS onset volgens paragraaf 5.3 Normstelling.

De drempelwaarden voor TTS onset bij vissen en vislarven worden op afstanden van 225 meter verwacht.

We stellen vast dat effecten op vissen en zeezoogdieren door heiwerk in het water tot op afstanden van ten hoogste 3000 meter uit het werk zullen optreden. Deze genoemde afstand is door de vorm van de Hudsonhaven alleen in oostelijke richting vanuit de Hudsonhaven van belang, zie ook figuur 1. Het gaat dus uitsluitend om het Hartelkanaal en niet om water dat zich in de overige richtingen bevindt, zoals richting het Beerkanaal en de Noordzee.

De effectafstanden door werk aan tijdelijke damwanden zijn met een factor 10 significant kleiner. De tijdelijke damwanden zijn onderdeel van de aan te leggen kades. De berekende geluidniveaus onderwater treden op in de Mississippihaven (en verder in noordelijke richting), Hudsonhaven en Hartelkanaal. Aan de zuidzijde van deze havens bevindt zich op een afstand van ruim 500 meter het Oostvoornse meer. Door de genoemde afstand zal geluid van de bouwactiviteiten het Oostvoornse meer niet via de bodem bereiken.

PTS

De afstand waarop PTS zal optreden is aanzienlijk kleiner dan de bovengenoemde TTS afstanden. De in tabel 11 genoemde afstand D2 van 258 meter voor TTS bij bruinvissen is, bij het plaatsen van damwanden, gelijk aan enkele tientallen meters voor PTS.

PTS bij het realiseren van buispalen in de Hudsonhaven wordt voor bruinvissen verwacht in een gebied dat zich vooral in oostelijke richting uitstrekt over een afstand van ten hoogste 400 meter (de TTS drempelwaarde wordt dan bereikt op 2955 meter). Voor zeehonden is deze PTS afstand in met name de oostelijke richting 150 meter (bij een TTS afstand van 1145 meter).

5.5.2 A2 De baggerwerkzaamheden

Het achtergrondgeluidniveau van 140 dB betreft een gemiddelde waarde, de momentane waarden variëren gedurende het etmaal. De aan het baggeren gerelateerde geluidniveaus onderwater zijn van dezelfde orde van grootte als het achtergrondgeluidniveau. We stellen daarom dat zowel voor vissen als zeezoogdieren geen sprake zal zijn van nadelige effecten.

5.5.3 B Bouwactiviteiten op land

Alleen de inzet van de heihammers D160 voor de bouw van de zeekeade en de D100 ter realisatie van de binnenvaartkade genereren tot op respectievelijk 296 en 172 meter effecten op bruinvissen. Voor zeehonden is deze afstand tot globaal 100 meter uit de waterlijn. Zouden we, analoog aan A1, uitgaan van een SELcum van 180 dB voor bruinvissen dan zou op afstanden van meer dan 100 meter de drempelwaarde voor TTS onset niet worden bereikt.

De bouwactiviteiten op land veroorzaken geen nadelige effecten op vissen en vislarven.

Na enkele honderden meters vindt geen relevante overdracht meer plaats van geluidenergie door de bodem. In paragraaf 5.5.1 noemden we de afstand van ruim 500 meter tussen de havens en het Oostvoornse meer. De bouwactiviteiten op land veroorzaken in het Oostvoornse meer dan ook geen nadelige effecten.

5.5.4 Conclusie

De bouwactiviteiten die direct in het water plaatsvinden zijn voor geluid onderwater het meest relevant, gevolgd door bouwactiviteiten op land.

Dit onderzoek hanteert een drempelwaarde voor het optreden van effecten op de gehoorgevoeligheid van bruinvissen, zeehonden en vissen. Het gaat om de drempelwaarde voor het optreden van een tijdelijke verhoging van de gehoordrempel, genaamd TTS onset. Het optreden van PTS moet te allen tijde voorkomen worden. Maatregelen voor het voorkomen van TTS zijn tegelijkertijd ook toepasbaar om PTS te voorkomen.

Conclusie bouwactiviteiten in het water

Bij het slaan van buispalen direct in het water (Hudsonhaven) zal in oostelijke richting naar het Hartelkanaal uitstraling van trillingen zijn die binnen een bereik van enkele honderden meters tot 3 kilometer effect (TTS) kunnen hebben op zeezoogdieren en vissen. Bij baggerwerkzaamheden zijn geen nadelige effecten te verwachten omdat de geluidniveaus van dezelfde orde grootte zijn als de huidige achtergrondgeluidniveaus.

Conclusie bouwactiviteiten op land

De bouwactiviteiten op land (t.b.v. de kades) heeft alleen invloed op zeehonden en bruinvissen als deze zich binnen 100 m afstand bevinden. Er is geen effect op het Oostvoornse meer berekend. Cumulatie: als meerdere bouwactiviteiten gelijktijdig plaatsvinden leidt dit niet tot significant hogere belasting omdat de voornaamste bron (het heien van de fundatie van de steiger) bepalend blijft en de locaties van de activiteiten verspreid zijn.

Conclusie Natuurtoets

In de Natuurtoets (RHDHV, 2017) zijn de bovenstaande effecten voor onderwatergeluid beoordeeld in relatie tot het voorkomen van beschermde diersoorten en de verbodsbepaling genoemd in de Wetnatuurbescherming. De natuurtoets concludeert:

Er zijn waarnemingen bekend van zeehonden en bruinvis in de haven van Rotterdam. Mogelijk foerageren enkele individuen hier op vis. Het is echter geen primair leefgebied van deze soorten dat voor bruinvis op open zee ligt en voor zeehonden in de kustzone nabij hun rustgebieden op zandbanken. De zeezoogdieren die door de werkzaamheden verstoord worden kunnen uitwijken naar elders in de haven en langs de kustzone. Ten opzichte van de populatie bruinvissen, gewone zeehond en grijze zeehond zijn de aantallen mogelijk verstoorde individuen minimaal. Er zijn voor zeezoogdieren geen trekroutes in de haven. De zeehonden die tussen de Delta en Waddenzee langs de kust trekken ondervinden geen hinder van de werkzaamheden die zich tot de haven beperken. Effecten van de verstoring op de populatie zijn uitgesloten.

De hoofdvaarweg (Nieuwe waterweg) is onderdeel van de trekroute voor trekvissen. Voor trekvissen is daarom de afstand tot de hoofdvaarweg van belang, deze is bijna 4 km. Gezien het aanwezige achtergrondgeluid en de afstand waarop vissen TTS (tot maximaal 225 meter) kunnen ondervinden van de werkzaamheden wordt uitgesloten dat er een belemmering optreedt in de trekroute van vissen.

Het is niet uitgesloten dat als gevolg van de heiwerkzaamheden individuele vislarven of vissen sterven van soorten die niet beschermd zijn onder Wnb. Door het nemen van mitigerende maatregelen zoals een soft start en/of intrillen kunnen vissen het gebied verlaten waardoor de kans op sterfte of verwonding wordt voorkomen. We adviseren deze maatregel te treffen in het kader van de algemene zorgplicht Wnb.

Geconcludeerd wordt dat wanneer heien wordt toegepast voor de aanleg er sprake is van verstoring en dient het Havenbedrijf Rotterdam een ontheffing aan te vragen voor het verstoren van bruinvis (art.3.5 lid 2 van Wnb). Het nemen van een mitigerende maatregel als een soft start is noodzakelijk om de staat van instandhouding niet aan te tasten.

Er zijn geen effecten op houting en steur dus een ontheffing van art 3.5 lid 2 Wnb is niet nodig. Ook voor gewone en grijze zeehond is geen ontheffing van art 3.10 nodig daar verstoring niet als verbodsbepaling is opgenomen.

6 Mitigerende maatregelen

In geval van heiwerkzaamheden aan de steiger in de Hudsonhaven dient een zogenoemde zachte start toegepast te worden bij het heien van iedere paal of iedere keer dat de heihamer opnieuw in bedrijf gaat. Er wordt dan gestart met een laag vermogen dat geleidelijk toeneemt. Hierdoor krijgen de aanwezige zeezoogdieren en vissen de mogelijkheid het gebied te ontvluchten.

In paragraaf 5.5.1 noemen we PTS afstanden bij de meest luidruchtige activiteiten onderwater in de situatie zonder maatregelen. Het PTS gebied is dan al heel beperkt in omvang. We verwachten dat door de zachte start PTS kan worden voorkomen. Een aanvullende mitigerende maatregel in de vorm van een ADD (acoustic deterrent device) is niet nodig.

7 Leemten in kennis

Er is vrijwel geen onderzoek gedaan naar effecten van onderwatergeluid als gevolg van heien op land. Ten opzichte van werkzaamheden offshore is in de onderhavige situatie bij een deel van de werkzaamheden sprake van de overgang van land naar water. Dit overgangsgebied brengt reken technisch een extra onnauwkeurigheid met zich mee. Eén van de weinige onderzoeken naar effecten van onderwatergeluid heeft plaatsgevonden in de Eemshaven, waar TNO (Blacquièrre et al. 2008) onderwatergeluid heeft gemeten bij binnenlandse heiwerkzaamheden. De resultaten van de Eemshaven zijn echter niet rechtstreeks te vertalen naar de situatie voor de insteekhaven. Mogelijk zijn er verschillen in bodemopbouw. Verschillende bodemtypen zullen tot verschillende voortplantings-karakteristieken voor trillingen leiden. Dit is onvoldoende bekend om te kunnen kwantificeren. De afstand van de heilocatie tot het water is daarnaast kleiner dan in het geval van de Eemshaven (de afstand bedroeg daar 500 á 600 meter). Uit het onderzoek van TNO is gebleken dat ca. 600 meter uit de waterlijn zeehonden geen effecten meer ondervonden. Het onderwatergeluid ontstaat door trillingen in de grond. Bovengronds geluid draagt niet tot nauwelijks bij aan het ontstaan van onderwatergeluid (Blacquièrre et al.2008).

Er is geen exacte informatie bekend over aantallen zeezoogdieren en vissen in de haven van Rotterdam. Waarnemingen zijn incidenteel en anekdotisch. Voorts is niet bekend of de aanwezige soorten er jaarrond voorkomen, een specifiek jaargetijde of dat ze er per ongeluk terecht zijn gekomen. Voor de effectbeoordeling wordt aangenomen dat specifiekere informatie niet essentieel is, omdat de haven van Rotterdam niet als essentieel leefgebied voor de soorten wordt beschouwd.

8 Literatuur

- [1] Dynamics of bases and foundations, D.D. Barkan 1962
- [2] Vibration of soils and foundations Richart, Hall en Woods Prentice Hall 1970
- [3] Europese richtlijn ENV-1993-5: 1998
- [4] TNO-rapport B-88-601, "Trillingsreducerende werking van een diepwand", TNO Delft, 1988
- [5] Assessing the effects to fishes from pile driving: Application of new hydroacoustic criteria, Stadler en Woodbury (2009);
- [6] Kastelein et al. 2013
- [7] Technical Guidance for Assessment and Mitigation of the Hydroacoustic Effects of Pile Driving on Fish d.d. feb 2009
- [8] Lucke et al. 2009
- [9] Royal HaskoningDHV, 2017. Natuurtoets

Figuur

1. Situering HHTT

Figuur 1: Situering HHTT en omgeving



Bijlage

1. Prognosetrillingen

heiblok	D160			
bodem	afstand	r	40	[m]
	maximale energie blok	m.h	550	[kNm]
	ground factor conform ENV 1993-5:1998	C	0,75	[-]
	energie per slag	w	550000	[J]
	voortplantingssnelheid drukgolf in zand conform [1]	C _b	300	[m/s]
trillingsnelheid in bodem op afstand 5 m	conform ENV 1993-5:1998	V _b	111,2	[mm/s]
trillingsnelheid drukgolf in bodem op afstand r	overgang van bodem naar water conform ENV 1993-5:1998	V _b	1,0	[mm/s]
uitgangspunt 1	in de bodem is de trillingsenergie 7% drukgolven 26% afschuifgolven en 67% Rayleighgolven conform [2]			
uitgangspunt 2	voor organismen in water zijn alleen drukgolven van belang			
uitgangspunt 3	de afschuifgolven worden in het overgangsgebied van bodem naar water 100% gereflecteerd omdat afschuifgolven niet in water kunnen bestaan			
uitgangspunt 4	De rayleighgolven aan de oppervlakte van de bodem worden omgezet in gravitatiegolven aan de oppervlakte in het water			
uitgangspunt 5	stel de trillingsenergie wordt in het overgangsgebied vanwege de invalshoek van de drukgolf van bodem naar water ((45-90 graden) 0% gereflecteerd door de overgang van bodem naar water			
uitgangspunt 6	stel de trillingsenergie wordt in het overgangsgebied vanwege de invalshoek van de drukgolf van bodem naar water ((kleiner dan 45 graden) voornamelijk gereflecteerd door de overgang van bodem naar water			
uitgangspunt 7	transitie van drukgolf in bodem naar drukgolf in water op basis van energetische beschouwing			
water		T	20	[C]
	voortplantingssnelheid	C _w	1510	[m/s]
	dichtheid zand met water verzadigd	ρ	1950	[kg/m ³]
	compressibiliteit water (bij 293 Kelvin)	κ	4,60E-10	{Pa-1}
	compressiemodulus water (bij 293 Kelvin)	K	2,17E+09	[Pa]
	dichtheid water	ρ	1024	[kg/m ³]
	trillingsnelheid drukgolf in het water in de overgang van bodem naar water	V _w	1,9	[mm/s]
	oppervlakte overgangsgebied waar het water een trillingsnelheid V _w heeft op basis van exper	A	2000	[m ²]
	midden overgangsgebied	V _w	1,9	[mm/s]
	rand overgangsgebied	V _w	1,0	[mm/s]

heiblok	S-120			
bodem	afstand	r	40	[m]
	maximale energie blok	m.h	120	[kNm]
	ground factor conform ENV 1993-5:1998	C	0,75	[-]
	energie per slag	w	120000	[J]
	voortplantingssnelheid drukgolf in zand conform [1]	C _b	300	[m/s]
trillingsnelheid in bodem op afstand 5 m	conform ENV 1993-5:1998	V _b	52,0	[mm/s]
trillingsnelheid drukgolf in bodem op afstand r	overgang van bodem naar water conform ENV 1993-5:1998	V _b	0,5	[mm/s]
uitgangspunt 1	in de bodem is de trillingsenergie 7% drukgolven 26% afschuifgolven en 67% Rayleighgolven conform [2]			
uitgangspunt 2	voor organismen in water zijn alleen drukgolven van belang			
uitgangspunt 3	de afschuifgolven worden in het overgangsgebied van bodem naar water 100% gereflecteerd omdat afschuifgolven niet in water kunnen bestaan			
uitgangspunt 4	De rayleighgolven aan de oppervlakte van de bodem worden omgezet in gravitatiegolven aan de oppervlakte in het water			
uitgangspunt 5	stel de trillingsenergie wordt in het overgangsgebied vanwege de invalshoek van de drukgolf van bodem naar water ((45-90 graden) 0% gereflecteerd door de overgang van bodem naar water			
uitgangspunt 6	stel de trillingsenergie wordt in het overgangsgebied vanwege de invalshoek van de drukgolf van bodem naar water ((kleiner dan 45 graden) voornamelijk gereflecteerd door de overgang van bodem naar water			
uitgangspunt 7	transitie van drukgolf in bodem naar drukgolf in water op basis van energetische beschouwing			
water		T	20	[C]
	voortplantingssnelheid	C _w	1510	[m/s]
	dichtheid zand met water verzadigd	ρ	1950	[kg/m ³]
	compressibiliteit water (bij 293 Kelvin)	κ	4,60E-10	[Pa ⁻¹]
	compressiemodulus water (bij 293 Kelvin)	K	2,17E+09	[Pa]
	dichtheid water	ρ	1024	[kg/m ³]
	trillingssnelheid drukgolf in het water in de overgang van bodem naar water	V _w	0,9	[mm/s]
	oppervlakte overgangsgebied waar het water een trillingssnelheid V _w heeft op basis van exper	A	2000	[m ²]
	midden overgangsgebied	V _w	0,9	[mm/s]
	rand overgangsgebied	V _w	0,5	[mm/s]

trilblok	PvE 110 M		
bodem	afstand	r	40 [m]
	maximale energie blok	m.h	110 [kNm]
		f	22 [Hz]
	ground factor conform ENV 1993-5:1998	C	0,75 [-]
	energie per slag	w	5000 [J]
	voortplantingssnelheid drukgolf in zand conform [1]	C _b	300 [m/s]
trillingsnelheid in bodem op afstand 5 m	conform ENV 1993-5:1998	V _b	10,6 [mm/s]
trillingsnelheid drukgolf in bodem op afstand r	overgang van bodem naar water conform ENV 1993-5:1998	V _b	0,1 [mm/s]
uitgangspunt 1	in de bodem is de trillingsenergie 7% drukgolven 26% afschuifgolven en 67% Rayleighgolven conform [2]		
uitgangspunt 2	voor organismen in water zijn alleen drukgolven van belang		
uitgangspunt 3	de afschuifgolven worden in het overgangsgebied van bodem naar water 100% gereflecteerd omdat afschuifgolven niet in water kunnen bestaan		
uitgangspunt 4	De rayleighgolven aan de oppervlakte van de bodem worden omgezet in gravitatiegolven aan de oopervlakte in het water		
uitgangspunt 5	stel de trillingsenergie wordt in het overgangsgebied vanwege de invalshoek van de drukgolf van bodem naar water ((45-90 graden) 0% gereflecteerd door de overgang van bodem naar water		
uitgangspunt 6	stel de trillingsenergie wordt in het overgangsgebied vanwege de invalshoek van de drukgolf van bodem naar water ((kleiner dan 45 graden) voornamelijk gereflecteerd door de overgang van bodem naar water		
uitgangspunt 7	transitie van drukgolf in bodem naar drukgolf in water op basis van energetische beschouwing		
water		T	20 [C]
	voortplantingssnelheid	C _w	1510 [m/s]
	dichtheid zand met water verzadigd	ρ	1950 [kg/m ³]
	compressibiliteit water (bij 293 Kelvin)	κ	4,60E-10 [Pa ⁻¹]
	compressiemodulus water (bij 293 Kelvin)	K	2,17E+09 [Pa]
	dichtheid water	ρ	1024 [kg/m ³]
	trillingsnelheid drukgolf in het water in de overgang van bodem naar water	V _w	0,2 [mm/s]
	oppervlakte overgangsgebied waar het water een trillingsnelheid V _w heeft op basis van exper	A	2000 [m ²]
	midden overgangsgebied	V _w	0,2 [mm/s]
	rand overgangsgebied	V _w	0,1 [mm/s]

heiblok	IHC S-150			
bodem	afstand	r	50	[m]
	maximale energie blok	m.h	150	[kNm]
	ground factor conform ENV 1993-5:1998	C	0,75	[-]
	energie per slag	w	150000	[J]
	voortplantingssnelheid drukgolf in zand conform [1]	C _b	300	[m/s]
trillingsnelheid in bodem op afstand 5 m	conform ENV 1993-5:1998	V _b	58,1	[mm/s]
trillingsnelheid drukgolf in bodem op afstand r	overgang van bodem naar water conform ENV 1993-5:1998	V _b	0,4	[mm/s]
uitgangspunt 1	in de bodem is de trillingsenergie 7% drukgolven 26% afschuifgolven en 67% Rayleighgolven conform [2]			
uitgangspunt 2	voor organismen in water zijn alleen drukgolven van belang			
uitgangspunt 3	de afschuifgolven worden in het overgangsgebied van bodem naar water 100% gereflecteerd omdat afschuifgolven niet in water kunnen bestaan			
uitgangspunt 4	De rayleighgolven aan de oppervlakte van de bodem worden omgezet in gravitatiegolven aan de oppervlakte in het water			
uitgangspunt 5	stel de trillingsenergie wordt in het overgangsgebied vanwege de invalshoek van de drukgolf van bodem naar water ((45-90 graden) 0% gereflecteerd door de overgang van bodem naar water			
uitgangspunt 6	stel de trillingsenergie wordt in het overgangsgebied vanwege de invalshoek van de drukgolf van bodem naar water ((kleiner dan 45 graden) voornamelijk gereflecteerd door de overgang van bodem naar water			
uitgangspunt 7	transitie van drukgolf in bodem naar drukgolf in water op basis van energetische beschouwing			
water		T	20	[C]
	voortplantingssnelheid	C _w	1510	[m/s]
	dichtheid zand met water verzadigd	ρ	1950	[kg/m ³]
	compressibiliteit water (bij 293 Kelvin)	κ	4,60E-10	[Pa ⁻¹]
	compressiemodulus water (bij 293 Kelvin)	K	2,17E+09	[Pa]
	dichtheid water	ρ	1024	[kg/m ³]
	trillingssnelheid drukgolf in het water in de overgang van bodem naar water	V _w	0,8	[mm/s]
	oppervlakte overgangsgebied waar het water een trillingssnelheid V _w heeft op basis van exper	A	2500	[m ²]
	midden overgangsgebied	V _w	0,8	[mm/s]
	rand overgangsgebied	V _w	0,4	[mm/s]

heiblok	D100			
bodem	afstand	r	20	[m]
	maximale energie blok	m.h	360	[kNm]
	ground factor conform ENV 1993-5:1998	C	0,75	[-]
	energie per slag	w	360000	[J]
	voortplantingssnelheid drukgolf in zand conform [1]	C _b	300	[m/s]
trillingsnelheid in bodem op afstand 5 m	conform ENV 1993-5:1998	V _b	90,0	[mm/s]
trillingsnelheid drukgolf in bodem op afstand r	overgang van bodem naar water conform ENV 1993-5:1998	V _b	1,6	[mm/s]
uitgangspunt 1	in de bodem is de trillingsenergie 7% drukgolven 26% afschuifgolven en 67% Rayleighgolven conform [2]			
uitgangspunt 2	voor organismen in water zijn alleen drukgolven van belang			
uitgangspunt 3	de afschuifgolven worden in het overgangsgebied van bodem naar water 100% gereflecteerd omdat afschuifgolven niet in water kunnen bestaan			
uitgangspunt 4	De rayleighgolven aan de oppervlakte van de bodem worden omgezet in gravitatiegolven aan de oppervlakte in het water			
uitgangspunt 5	stel de trillingsenergie wordt in het overgangsgebied vanwege de invalshoek van de drukgolf van bodem naar water ((45-90 graden) 0% gereflecteerd door de overgang van bodem naar water			
uitgangspunt 6	stel de trillingsenergie wordt in het overgangsgebied vanwege de invalshoek van de drukgolf van bodem naar water ((kleiner dan 45 graden) voornamelijk gereflecteerd door de overgang van bodem naar water			
uitgangspunt 7	transitie van drukgolf in bodem naar drukgolf in water op basis van energetische beschouwing			
water		T	20	[C]
	voortplantingssnelheid	C _w	1510	[m/s]
	dichtheid zand met water verzadigd	ρ	1950	[kg/m ³]
	compressibiliteit water (bij 293 Kelvin)	κ	4,60E-10	[Pa ⁻¹]
	compressiemodulus water (bij 293 Kelvin)	K	2,17E+09	[Pa]
	dichtheid water	ρ	1024	[kg/m ³]
	trillingssnelheid drukgolf in het water in de overgang van bodem naar water	V _w	3,0	[mm/s]
	oppervlakte overgangsgebied waar het water een trillingssnelheid V _w heeft op basis van exper	A	1000	[m ²]
	midden overgangsgebied	V _w	3,0	[mm/s]
		V _w	1,4	[mm/s]

trilblok	PvE 110 M		
bodem	afstand	r	20 [m]
	maximale energie blok	m.h	110 [kNm]
		f	22 [Hz]
	ground factor conform ENV 1993-5:1998	C	0,75 [-]
	energie per slag	w	5000 [J]
	voortplantingssnelheid drukgolf in zand conform [1]	C _b	300 [m/s]
trillingssnelheid in bodem op afstand 5 m	conform ENV 1993-5:1998	V _b	10,6 [mm/s]
trillingssnelheid drukgolf in bodem op afstand r	overgang van bodem naar water conform ENV 1993-5:1998	V _b	0,2 [mm/s]
uitgangspunt 1	in de bodem is de trillingsenergie 7% drukgolven 26% afschuifgolven en 67% Rayleighgolven conform [2]		
uitgangspunt 2	voor organismen in water zijn alleen drukgolven van belang		
uitgangspunt 3	de afschuifgolven worden in het overgangsgebied van bodem naar water 100% gereflecteerd omdat afschuifgolven niet in water kunnen bestaan		
uitgangspunt 4	De rayleighgolven aan de oppervlakte van de bodem worden omgezet in gravitatiegolven aan de oopervlakte in het water		
uitgangspunt 5	stel de trillingsenergie wordt in het overgangsgebied vanwege de invalshoek van de drukgolf van bodem naar water ((45-90 graden) 0% gereflecteerd door de overgang van bodem naar water		
uitgangspunt 6	stel de trillingsenergie wordt in het overgangsgebied vanwege de invalshoek van de drukgolf van bodem naar water ((kleiner dan 45 graden) voornamelijk gereflecteerd door de overgang van bodem naar water		
uitgangspunt 7	transitie van drukgolf in bodem naar drukgolf in water op basis van energetische beschouwing		
water		T	20 [C]
	voortplantingssnelheid	C _w	1510 [m/s]
	dichtheid zand met water verzadigd	ρ	1950 [kg/m ³]
	compressibiliteit water (bij 293 Kelvin)	κ	4,60E-10 [Pa ⁻¹]
	compressiemodulus water (bij 293 Kelvin)	K	2,17E+09 [Pa]
	dichtheid water	ρ	1024 [kg/m ³]
	trillingssnelheid drukgolf in het water in de overgang van bodem naar water	V _w	0,4 [mm/s]
	oppervlakte overgangsgebied waar het water een trillingssnelheid V _w heeft op basis van exper	A	1000 [m ²]
	midden overgangsgebied	V _w	0,4 [mm/s]
	rand overgangsgebied	V _w	0,2 [mm/s]