



# Onderwatergeluid

## MER realisatie insteekhaven en afmeergelegenheden Tankterminal Europoort West

Havenbedrijf Rotterdam N.V.

27 november 2012

Definitief rapport

9X2667.02



George Hintzenweg 85  
Postbus 8520  
3009 AM Rotterdam  
+31 10 443 36 66 Telefoon  
info@rotterdam.royalhaskoning.com E-mail  
www.royalhaskoningdhv.com Internet  
Arnhem 09122561 KvK

Documenttitel   Onderwatergeluid  
MER realisatie insteekhaven en  
afmeergelegenheden Tankterminal Europoort  
West  
Verkorte documenttitel   Onderwatergeluid  
Status   Definitief rapport  
Datum   27 november 2012  
Projectnaam   MER realisatie insteekhaven en  
afmeergelegenheden Tankterminal Europoort  
West  
Projectnummer   9X2667.02  
Opdrachtgever   Havenbedrijf Rotterdam N.V.  
Referentie   9X2667.02/R0005/Rev6/Rott

Auteur(s)   Frank van Hout  
Collegialetoets   Hans Schinck  
Datum/paraaf   14-12-2012  
Vrijgegeven door   Roelof Wentzel  
Datum/paraaf   14-12-2012

b/a   


## INHOUDSOPGAVE

	Blz.	
1	INLEIDING	1
1.1	Aanleiding	1
1.2	Achtergrond en kader	1
1.3	Leeswijzer	2
2	REFERENTIE SITUATIE	3
3	UITGANGSPUNTEN PROGNOSE BEREKENINGEN	4
3.1	Inleiding	4
3.2	Prognoseberekening	4
3.3	Rekenresultaten bodemtrillingen	5
4	ONDERWATERGELUID	7
4.1	Inleiding	7
4.2	Uitgangspunten	7
4.3	Normstelling	8
4.4	Berekeningen	9
4.5	Beoordeling geprognoseerde geluidniveaus onder water	10
5	MITIGERENDE MAATREGELEN	11
6	LEEMTEN IN KENNIS	12
7	MONITORING	13
8	LITERATUUR	14

## BIJLAGEN

Bijlage 1	Prognose trillingen
-----------	---------------------

## 1 INLEIDING

### 1.1 Aanleiding

Het Havenbedrijf Rotterdam N.V. (verder te noemen Havenbedrijf) is voornemens een havenbassin en de aanverwante haveninfrastructuur, met inbegrip van de afmeergelegenheden en de inrit naar de terminalpercelen, te realiseren in Europoort West, Rotterdam.

Aanleiding is de aanleg en exploitatie van de Tank Terminal Europoort West (verder te noemen TEW) door Shtandart TT B.V. (verder te noemen Shtandart). Om het laden en lossen van zeeschepen mogelijk te maken, realiseert het Havenbedrijf een insteekhaven en kademuren aan het Calandkanaal. Bovendien wordt grenzend aan het Beerkanaal, langs de westzijde van het terrein van de tankterminal, een kade geplaatst. Daarnaast wordt in de Tennesseehaven aan het Beerkanaal een geschikte afmeergelegenheid voor zeeschepen gecreëerd. Voor binnenvaartschepen wordt een kade in de Dintelhaven aangelegd.

In 2010 heeft het Havenbedrijf een openbare aanbestedingsprocedure opgestart voor het bouwen en exploiteren van een nieuwe Tankterminal op de 'Kop van de Beer', genaamd Tank Terminal Europoort West (TEW). Shtandart werd op grond van haar bid geselecteerd om het project uit te voeren. De Russische president Medvedev en de Nederlandse minister-president Rutte hebben op 20 oktober 2011 een lange termijn overeenkomst getekend tussen Shtandart en het Havenbedrijf.

De terminal zal functioneren als een 'open hub terminal' voor het opslaan en doorvoeren van met name Oeral ruwe olie. Shtandart zal ongeveer 4,1 miljoen m<sup>3</sup> aan opslagcapaciteit realiseren, waarvan 2,8 miljoen m<sup>3</sup> voor ruwe olie en 1,3 miljoen m<sup>3</sup> voor olieproducten zoals diesel en stookolie. De ruwe olie zal vanuit de haven van Primorsk (nabij Sint Petersburg, Rusland) via de Finse Golf, de Baltische- en Oostzee, Skaggegat, Kattegat en de Noordzee naar Rotterdam worden vervoerd met een pendeldienst van olietankers. Afvoer zal plaatsvinden zowel per zee- als binnenvaartschip als per pijpleiding.

### 1.2 Achtergrond en kader

Als gevolg van de te realiseren haven 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 activiteit wordt verstaan: de aanleg van een nieuwe kade en het plaatsen van tankputwanden (zie ook hoofdstuk 4).

Het bouwmaterieel 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. Het hoofdstuk met betrekking tot de prognoseberekeringen van trillingen gaat dan ook vooraf aan het hoofdstuk 'Onderwatergeluid'.

### **1.3 Leeswijzer**

In hoofdstuk 2 wordt de referentiesituatie beschreven, hoofdstuk 3 betreft onderzoek naar de te verwachten trillingen in de bodem vanwege bouwmaterieel. Het toetsingskader voor geluiden onder water met de bijbehorende beoordelingscriteria is ondergebracht in hoofdstuk 4. In hoofdstuk 5 zijn tenslotte de mitigerende maatregelen opgenomen.

## 2 REFERENTIE SITUATIE

De insteekhaven is op korte afstand van de monding van de Rotterdamse haven geprojecteerd. In de huidige situatie bestaat door het intensieve gebruik van het Calandkanaal door schepen een hoog achtergrondgeluidniveau onder water. Onderstaand volgt een onderbouwing van de schatting van het achtergrondgeluid.

Verboom, 1991, beschrijft de resultaten van een aantal geluidmetingen van het natuurlijk achtergrondgeluid in de Noordzee. De, in een waterdiepte van 30 meter, gemeten breedbandige geluiddruk niveaus waren minimaal ca. 95 dB re 1  $\mu$ Pa en maximaal ca. 110 dB re 1  $\mu$ Pa.

In het algemeen kan worden gesteld dat continue geluidniveaus onder water van antropogene aard tussen 90 en 100 dB re 1  $\mu$ 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  $\mu$ Pa. Voor het geluidniveau vanwege een voorbij varende groot vrachtschip kan op basis van Verboom, een geluidniveau van ca. 146 dB re 1  $\mu$ Pa op een afstand van 100 m als richtwaarde worden gehanteerd. Voor een visserschip is dat ongeveer 127 dB re 1  $\mu$ Pa op een zelfde afstand van 100 m.

De scheepvaartintensiteit over het (ca. 600 meter brede) Calandkanaal is hoog. In de periode van 07.00 – 19.00 uur passeren hier ca. 36 zeeschepen en 81 binnenvaartschepen. Het aantal zeeschepen over het Beerkanaal is in deze periode 95 stuks, tevens passeren hier 95 binnenvaartschepen. We schatten het achtergrondgeluidniveau door deze bewegingen en overige havenactiviteiten nabij de geplande insteekhaven en de monding van de Rotterdamse haven op 130 á 140 dB re 1  $\mu$ Pa.

### 3 UITGANGSPUNTEN PROGNOSE BEREKENINGEN

#### 3.1 Inleiding

De heiwerkzaamheden worden uitgevoerd voor de aanleg van een kademuur en het plaatsen van tankputwanden. De dichtstbij het water gelegen heilokaties zijn maatgevend.

Het in te zetten heiblok is een IHC SC 500 voor het naheien van de buispalen van de combiwand. Het in te zetten trilblok is een PVE 110 M voor het intrillen van de buispalen en de damwanden.

Naast het voornoemde heiwerk aan de combiwand onderzoeken we ook het plaatsen van ankerschermen in geval van de realisatie van een diepwand. Tenslotte maken trillingen vanwege het heien van tankputwanden deel uit van het onderzoek.

#### 3.2 Prognoseberekening

Op basis van een prognosemodel conform de Europese richtlijn ENV-1993-5:P 1998 is een berekening gemaakt. 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 bepaald. 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 R0 van de bron;
- R afstand tussen immissiepunt en de bron;
- $R_0$  afstand tussen meetpunt en de bron;
- $\alpha$  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 de volgende uitgangspunten:

- 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;
- Stel 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;
- Stel dit wordt buiten het overgangsgebied vanwege de scherpe 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.

Of in de overdrachtweg ten tijde van de heiwerkzaamheden een barrière, zoals een kade aanwezig is, is onbekend. Uit de literatuur [1] 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 keerwand in de overdrachtweg een beperkte dempende invloed heeft, met name op horizontale trillingen. De dempende invloed is afhankelijk van golflengte en afstand tot de keerwand, de dempende invloed neemt af met de afstand tot de keerwand. Voor de berekening is als worst case uitgegaan van de situatie zonder kade.

### **3.3 Rekenresultaten bodemtrillingen**

Doel is het trillingsniveau ter hoogte van de waterlijn ten gevolge van de trillingen veroorzaakt door de heistellingen te prognosticeren.

In bijlage 1 zijn de prognoseberekeringen voor één heistelling in de worst case situatie weergegeven. In tabel 3.1 zijn de prognose rekenresultaten samengevat weergegeven. Gezien de worst case aanname kunnen de resultaten als een prognose van de bovengrens worden beschouwd.



**Tabel 3.1: Rekenresultaten trillingssnelheidVmax [mm/s] van een drukgolf in het water ter hoogte van de kade t.g.v. heiwerk**

Heistelling	Afstand tot water [m]	TrillingssnelheidVmax[--]
<b>Combiwand</b>		
IHC SC 500	44	1,4
PVE 110 M	44	0,2 (22 Hz)
IHC SC 500	5	10,8
PVE 110 M	5	1,2 (22 Hz)
<b>Diepwand</b>		
PVE 60 M	35	0,1
<b>Tankputwand</b>		
D 60	75	0,3
D 60	10	1,9

Uit de prognose rekenresultaten, blijkt dat bij het naheien van een buispaal dichtst bij het water, de trillingssnelheid aan de waterlijn ten gevolge van een drukgolf van het water tot 1,4 mm/s. Dit geldt voor het deel van de zee-kade op 44 m afstand van de waterlijn.

Voor het laatste stukje noord-zuid lopende zee-kade zullen zich kortdurend hogere niveaus voordoen. Hiervoor is een berekening op 5 m afstand van de waterlijn verricht.

De berekende trillingssnelheden in de bodem zijn relevant voor het milieuaspect onderwatergeluid. De in tabel 3.1 vermelde resultaten dienen als uitgangspunt voor het in het volgende hoofdstuk beschreven onderzoek naar onderwatergeluid in de aanlegfase van de insteekhaven en terminal.

## 4 ONDERWATERGELUID

### 4.1 Inleiding

Naast de geplande Tankterminal Europoort West zal een insteekhaven worden gerealiseerd. Een aantal verschillende bouwactiviteiten zullen hier plaatsvinden en zijn onderzocht. De meest relevante activiteiten voor het aspect onderwatergeluid zijn de realisatie van een kademuur en het plaatsen van tankputwanden. De bouwgeluiden hebben mogelijk effect op het leefmilieu van de fauna in het Calandkanaal en het Beerkanaal. Het onderzoek is indicatief van karakter en richt zich op vissen, bruinvissen en zeehonden.

We hebben de te verwachten geluiddrukkniveaus onder water berekend uitgaande van de trillingsenergie die door verscheidene hei- en trilblokken tijdens fundatiewerk op land in de bodem wordt gebracht. Hierbij hanteren we enkele uitgangspunten als volgt:

- 7% van de trillingsenergie in de bodem manifesteert zich in de vorm van drukgolven;
- Voor organismen in water zijn alleen drukgolven van belang;
- De transitie van een drukgolf in de bodem naar een drukgolf in water beschouwen we energetisch, we veronderstellen geen verliezen in het overgangsgedebied.

In deze notitie komen achtereenvolgens de uitgangspunten, normstelling en de berekeningen inclusief een beoordeling aan de orde.

### 4.2 Uitgangspunten

In de onderstaande tabel 4.1 zijn de onderzochte activiteiten, het in te zetten materieel en de afstand van het materieel tot de waterlijn opgenomen.

**Tabel 4.1 Onderzochte activiteiten**

Activiteit	Geluidrelevantmaterieel	Kortsteafstand tot waterlijn
Basisalternatief	Heihamer S500	5 en 44 m
Plaatsencombiwand	Trilblok PvE110m	5 en 44 m
Variant 1 Diepwand	Trillenscherm, PvE 60m	35 m
Vervaardigentankputwand	Heiblok D60	5 m

Als bedrijfsduur van elk van de genoemde activiteiten gaan we uit een effectieve tijd van 6 uur per heistelling. In 6 uur heien vinden er (3500 slagen per uur) 21000 slagen plaats van de heihamer. De onderzochte locaties betreffen alle zogenoemde worstcase situaties. Dit betekent dat werkzaamheden op een zo kort mogelijke afstand van de waterlijn plaatsvinden. Omdat een tweede heistelling zich op grotere afstand van de waterlijn bevindt is er geen sprake van het gelijktijdig in bedrijf zijn van heistellingen. De trillingen vanwege een tweede heistelling zijn niet significant zijn ten opzichte de heistelling die het meest dicht bij de waterlijn is.

De resultaten uit het onderzoek naar trillingen ten gevolge van heiwerk vormen de invoergegevens van de berekeningen naar de geluiddrukkniveaus onder water, zie de onderstaande tabel.

Activiteit			Afstand tot waterlijn in [m]	Maximale energie blok in [kNm]	Overgangsgebied		Acoustic Watt [W]
					gem. trillingssnelheid in [mm/s]	Oppervlakte in [m <sup>2</sup> ]	
<b>Basisalternatief</b>							
Plaatsen combiwand heihamer			5	500	10,8	100	35
" "			44	500	1,4	2200	30
Plaatsen combiwand trilblok			5	110	1,2	100	16
" "			44	110	0,2	2200	13
<b>Variant 1</b>							
Diepwand			35	60	0,1	1750	6
<b>Terminal</b>							
Realiseren tankputwanden			10	60	1,9	500	27
" "			75	60	0,3	3750	20

### 4.3 Normstelling

Als geluidnormen onder water zijn de volgende waarden gehanteerd:

- Voor vissen in het kader van gedragsverandering (het mijden van een gebied) een geluiddruk niveau van 150 dB re 1  $\mu$ Pa (effectieve waarde). De bron hiervoor is Stadler en Woodbury (2009);
- Voor vissen wordt in het kader van gehoorschade een cumulatieve geluidsbelasting aangehouden van 187 dB re 1  $\mu$ Pa<sup>2</sup>s (SEL) (voor vissen zwaarder dan 2 gram) en 183 dB re 1  $\mu$ Pa<sup>2</sup>s (SEL) (voor vissen lichter dan 2 gram) aangehouden). De bron hiervoor is Stadler en Woodbury (2009);
- Vanuit het oogpunt van het voorkomen van TTS (Temporary Threshold Shift, dit is een tijdelijke verschuiving van de gehoordrempel) hanteren we voor bruinvissen de dosismaat SEL = 150 dB re 1  $\mu$ Pa<sup>2</sup> s;
- Vanuit het oogpunt van het voorkomen van TTS hanteren we voor zeehonden de dosismaat SEL = 163 dB re 1  $\mu$ Pa<sup>2</sup> s.

Vanwege het indicatieve karakter van het onderzoek volstaan we bij de beoordeling van de bovengenoemde fauna met breedbandig geluid. De geluidnormen volgen uit de literatuur en worden en zijn gangbaar bij de beoordeling van onderwatergeluid.

#### 4.4 Berekeningen

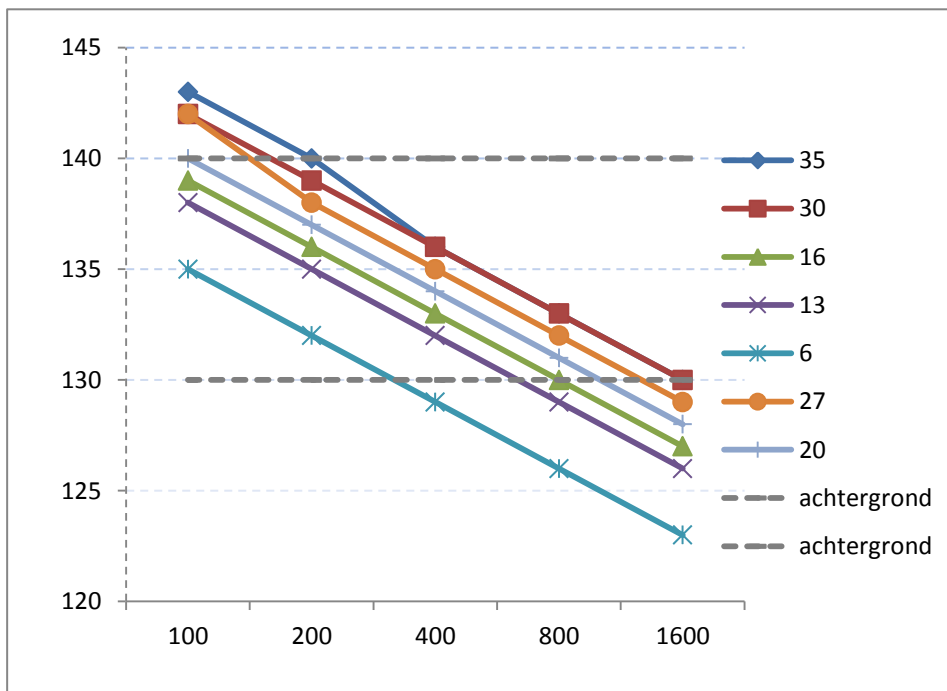
Royal Haskoning heeft een prognosemodel ontwikkeld waarmee de geluiddruk niveaus onder water kunnen worden berekend. Voor afstanden uit de waterlijn van 100, 200, 400, 800 en 1600 meter zijn de geluiddruk niveaus vanwege de bouw bepaald, zie de onderstaande tabel. Tevens staan tussen haakjes de SEL-waarde weergegeven. De SEL waarde is de geluidenergie omgerekend naar een equivalent geluidniveau over 1 seconde. Voor de berekening van de SEL-waarde is uitgegaan van 21000 seconde effectief heien of trillen gedurende een werkdag (3500 slagen/uur gedurende 6 uur heien met 1 slag is 1 seconde).

Berekend geluiddruk niveau op afstanden dB// $\mu$ Pa

	100	200	400	800	1600	Afstand in [m]
35	143(186)	140(183)	136(179)	133(176)	130(173)	
30	142(185)	139(182)	136(179)	133(176)	130(173)	
16	139(182)	136(179)	133(176)	130(173)	127(170)	
13	138(181)	135(178)	132(175)	129(172)	126(169)	
6	135(178)	132(175)	129(172)	126(169)	123(166)	
27	142(185)	138(181)	135(178)	132(175)	129(172)	
20	140(183)	137(180)	134(177)	131(174)	128(171)	
achtergrond	130(173)	130(173)	130(173)	130(173)	130(173)	

Acoustic Watt [W]

De bovenstaande berekende waarden zijn weergegeven in de volgende figuur.



**Figuur 4.1 Berekend geluidniveau onderwater (geluiddruk niveau in dB re 1  $\mu$ Pa)**

## 4.5 Beoordeling geprognosticeerde geluidniveaus onder water

### 4.5.1 Basisalternatief

Werk aan de combiwand met heihammers levert hogere geluidniveaus onder water dan werkzaamheden met trilblokken. Op grond van de berekeningen verwachten we geluiddrukkniveaus van ten hoogste 143 dB re 1  $\mu$  Pa op 100 meter uit de waterlijn vanwege heihammers. Geluiden vanwege trilblokken zijn op 100 meter uit de waterlijn niet hoger dan het achtergrondgeluidniveau van 130 tot 140 dB re 1  $\mu$ Pa. De trilblokken leveren daarmee in de omgeving een kleinere impact dan de heihammers uitgaande van dezelfde afstanden tussen stelling en waterlijn. Het rekenmodel is overigens minder geschikt om geluiddrukkniveaus op kortere afstanden dan 100 meter te bepalen vanwege de omvang van de bron (bestaande uit het overgangsgebied).

Omdat de berekende geluiddrukkniveaus lager dan 150 dB re 1  $\mu$ Pa (effectieve waarde) zijn, verwachten we geen effecten op het gedrag van vissen. We verwachten dan ook geen effecten van heiwerkzaamheden op trekvisen.

Een SEL-waarde voor vislarven van 183 dB wordt overschreden op een afstand van minder dan 200 meter uit de waterlijn. De SEL-waarde van 187 dB voor vissen zwaarder dan 2 g wordt naar verwachting overal gerespecteerd.

Ondanks het feit dat op 200 m uit de waterlijn de bouwgeluiden onder water van dezelfde orde van grootte zijn als het achtergrondgeluid zal de SEL-waarde van 150 dB voor bruinvissen in het Calandkanaal ter hoogte van de bouwlocatie worden overschreden. Dit geldt ook voor de SEL-waarde van 163 dB voor zeehonden in het Calandkanaal.

### 4.5.2 Variant 1 Diepwand

Werkzaamheden aan de diepwand zijn akoestisch gezien significant stiller dan werkzaamheden aan de combiwand. Voor vissen verwachten we geen effecten. De SEL-waarde voor bruinvissen in het Calandkanaal zal worden overschreden, voor zeehonden wordt mogelijk afhankelijk van de verblijfsduur nabij de bouwlocatie de dosismaat (SEL = 163 dB) eveneens overschreden.

### 4.5.3 Tankputwanden terminal

Werkzaamheden aan de tankputwanden zijn qua geluiddrukkniveaus onder water vergelijkbaar met werkzaamheden aan de combiwand. We merken op dat op 150 meter uit de waterlijn de bouwgeluiden van een zelfde orde van grootte zullen zijn als de achtergrondgeluiden.

## 5 MITIGERENDE MAATREGELEN

### **Intrillen**

De onderhavige berekeningen en onze ervaringen met trillingen in de bodem door bouwmaterieel geven aan dat trillingssnelheden vanwege trilblokken lager zijn dan vanwege heihammers ter realisatie van hetzelfde werk.

### **Operationeel**

Door een zogenoemde zachte start, waarbij wordt begonnen met een laag vermogen dat geleidelijk toeneemt, krijgen de zeezoogdieren en vissen de mogelijkheid het gebied te ontvluchten.

## 6 LEEMTEN IN KENNIS

Er is vrijwel geen onderzoek gedaan naar effecten van onderwatergeluid als gevolg van heien. Vooral het feit dat de werkzaamheden op land plaatsvinden maakt de situatie complex. Ten opzichte van werkzaamheden offshore is in de onderhavige situatie ook 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 voortplantingskarakteristieken voor trillingen leiden. Dit is onvoldoende bekend om te kunnen kwantificeren. De afstand van de heillocatie 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).



## 7 MONITORING

In hoofdstuk 2 is een beschouwing opgenomen over het huidige achtergrondgeluidniveau. Scheepvaartbewegingen en overige havenactiviteiten veroorzaken momenteel een achtergrondgeluidniveau nabij de geplande insteekhaven en de monding van de Rotterdamse haven van 130 á 140 dB re 1  $\mu$ Pa. De voornoemde waarden betreffen gemiddelde waarden, de momentane waarden variëren daarnaast gedurende het etmaal. De geprognoseerde bouw gerelateerde geluidniveaus onder water zijn van dezelfde orde van grootte als het achtergrondgeluidniveau. Monitoring levert daarmee naar verwachting geen toegevoegde waarde.

## 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

## **Bijlage 1 Prognosetrillingen**

heiblok	IHC S500			
bodem	afstand	r	44	[m]
	maximale energie blok	m.h	500	[kNm]
	ground factor conform ENV 1993-5:1998	C	0,75	[--]
	energie per slag	w	500000	[J]
	voortplantingssnelheid drukgolf in zand conform [1]	C <sub>b</sub>	300	[m/s]
trillingsnelheid in bodem op afstand 5 m	conform ENV 1993-5:1998	V <sub>b</sub>	106,1	[mm/s]
trillingsnelheid drukgolf in bodem op afstand r	overgang van bodem naar water conform ENV 1993-5:1998	V <sub>b</sub>	0,8	[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 ooppervlakte 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 <sub>w</sub>	1510	[m/s]
	dichtheid zand met water verzadigd	ρ	1950	[kg/m <sup>3</sup> ]
	compressibiliteit water (bij 293 Kelvin)	κ	4,60E-10	[Pa <sup>-1</sup> ]
	compressiemodulus water (bij 293 Kelvin)	K	2,17E+09	[Pa]
	dichtheid water	ρ	1024	[kg/m <sup>3</sup> ]
	trillingsnelheid drukgolf in het water in de overgang van bodem naar water	V <sub>w</sub>	1,6	[mm/s]
	oppervlakte overgangsgebied waar het water een trillingsnelheid V <sub>w</sub> heeft op basis van exper	A	2200	[m <sup>2</sup> ]
	midden overgangsgebied	V <sub>w</sub>	1,6	[mm/s]
	rand overgangsgebied	V <sub>w</sub>	1,1	[mm/s]

trilblok	PvE 110 M			
bodem	afstand	r	44	[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 <sub>b</sub>	300	[m/s]
trillingssnelheid in bodem op afstand 5 m	conform ENV 1993-5:1998	V <sub>b</sub>	10,6	[mm/s]
trillingssnelheid drukgolf in bodem op afstand r	overgang van bodem naar water conform ENV 1993-5:1998	V <sub>b</sub>	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 <sub>w</sub>	1510	[m/s]
	dichtheid zand met water verzadigd	ρ	1950	[kg/m3]
	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/m3]
	trillingssnelheid drukgolf in het water in de overgang van bodem naar water	V <sub>w</sub>	0,2	[mm/s]
	oppervlakte overgangsgebied waar het water een trillingssnelheid V <sub>w</sub> heeft op basis van exper	A	2200	[m2]
	midden overgangsgebied	V <sub>w</sub>	0,2	[mm/s]
	rand overgangsgebied	V <sub>w</sub>	0,1	[mm/s]

trilblok	PvE 60 M			
bodem	afstand	r	35	[m]
	maximale energie blok	m.h	60	[kNm]
		f	22	[Hz]
	ground factor conform ENV 1993-5:1998	C	0,75	[--]
	energie per slag	w	2727,272727	[J]
	voortplantingssnelheid drukgolf in zand conform [1]	C <sub>b</sub>	300	[m/s]
trillingssnelheid in bodem op afstand 5 m	conform ENV 1993-5:1998	V <sub>b</sub>	7,8	[mm/s]
trillingssnelheid drukgolf in bodem op afstand r	overgang van bodem naar water conform ENV 1993-5:1998	V <sub>b</sub>	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 <sub>w</sub>	1510	[m/s]
	dichtheid zand met water verzadigd	ρ	1950	[kg/m3]
	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/m3]
	trillingssnelheid drukgolf in het water in de overgang van bodem naar water	V <sub>w</sub>	0,1	[mm/s]
	oppervlakte overgangsgebied waar het water een trillingssnelheid V <sub>w</sub> heeft op basis van exper	A	1750	[m2]
	midden overgangsgebied	V <sub>w</sub>	0,1	[mm/s]
	rand overgangsgebied	V <sub>w</sub>	0,1	[mm/s]

heiblok	IHC S500			
bodem	afstand	r	5	[m]
	maximale energie blok	m.h	500	[kJNm]
	ground factor conform ENV 1993-5:1998	C	0,75	[--]
	energie per slag	w	500000	[J]
	voortplantingssnelheid drukgolf in zand conform [1]	C <sub>b</sub>	300	[m/s]
trillingsnelheid in bodem op afstand 5 m	conform ENV 1993-5:1998	V <sub>b</sub>	106,1	[mm/s]
trillingsnelheid drukgolf in bodem op afstand r	overgang van bodem naar water conform ENV 1993-5:1998	V <sub>b</sub>	7,4	[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 ooppervlakte 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 <sub>w</sub>	1510	[m/s]
	dichtheid zand met water verzadigd	ρ	1950	[kg/m <sup>3</sup> ]
	compressibiliteit water (bij 293 Kelvin)	κ	4,60E-10	[Pa <sup>-1</sup> ]
	compressiemodulus water (bij 293 Kelvin)	K	2,17E+09	[Pa]
	dichtheid water	ρ	1024	[kg/m <sup>3</sup> ]
	trillingsnelheid drukgolf in het water in de overgang van bodem naar water	V <sub>w</sub>	14,1	[mm/s]
	oppervlakte overgangsgebied waar het water een trillingsnelheid V <sub>w</sub> heeft op basis van exper	A	100	[m <sup>2</sup> ]
	midden overgangsgebied	V <sub>w</sub>	14,1	[mm/s]
	rand overgangsgebied	V <sub>w</sub>	7,4	[mm/s]



trilblok	PvE 110 M			
bodem	afstand	r	5	[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 <sub>b</sub>	300	[m/s]
trillingssnelheid in bodem op afstand 5 m	conform ENV 1993-5:1998	V <sub>b</sub>	10,6	[mm/s]
trillingssnelheid drukgolf in bodem op afstand r	overgang van bodem naar water conform ENV 1993-5:1998	V <sub>b</sub>	0,7	[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 ooppervlakte 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 <sub>w</sub>	1510	[m/s]
	dichtheid zand met water verzadigd	ρ	1950	[kg/m <sup>3</sup> ]
	compressibiliteit water (bij 293 Kelvin)	κ	4,60E-10	[Pa <sup>-1</sup> ]
	compressiemodulus water (bij 293 Kelvin)	K	2,17E+09	[Pa]
	dichtheid water	ρ	1024	[kg/m <sup>3</sup> ]
	trillingssnelheid drukgolf in het water in de overgang van bodem naar water	V <sub>w</sub>	1,4	[mm/s]
	oppervlakte overgangsgebied waar het water een trillingssnelheid V <sub>w</sub> heeft op basis van exper	A	100	[m <sup>2</sup> ]
	midden overgangsgebied	V <sub>w</sub>	1,4	[mm/s]
	rand overgangsgebied	V <sub>w</sub>	1,0	[mm/s]

heiblok	D60			
bodem	afstand	r	10	[m]
	maximale energie blok	m.h	60	[kNm]
	ground factor conform ENV 1993-5:1998	C	0,75	[--]
	energie per slag	w	60000	[J]
	voortplantingssnelheid drukgolf in zand conform [1]	C <sub>b</sub>	300	[m/s]
trillingsnelheid in bodem op afstand 5 m	conform ENV 1993-5:1998	V <sub>b</sub>	36,7	[mm/s]
trillingsnelheid drukgolf in bodem op afstand r	overgang van bodem naar water conform ENV 1993-5:1998	V <sub>b</sub>	1,3	[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 ooppervlakte 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 <sub>w</sub>	1510	[m/s]
	dichtheid zand met water verzadigd	ρ	1950	[kg/m <sup>3</sup> ]
	compressibiliteit water (bij 293 Kelvin)	κ	4,60E-10	[Pa <sup>-1</sup> ]
	compressiemodulus water (bij 293 Kelvin)	K	2,17E+09	[Pa]
	dichtheid water	ρ	1024	[kg/m <sup>3</sup> ]
	trillingsnelheid drukgolf in het water in de overgang van bodem naar water	V <sub>w</sub>	2,4	[mm/s]
	oppervlakte overgangsgebied waar het water een trillingsnelheid V <sub>w</sub> heeft op basis van exper	A	500	[m <sup>2</sup> ]
	midden overgangsgebied	V <sub>w</sub>	2,4	[mm/s]
		V <sub>w</sub>	1,4	[mm/s]

heiblok	D60			
bodem	afstand	r	75	[m]
	maximale energie blok	m.h	60	[kNm]
	ground factor conform ENV 1993-5:1998	C	0,75	[--]
	energie per slag	w	60000	[J]
	voortplantingssnelheid drukgolf in zand conform [1]	C <sub>b</sub>	300	[m/s]
trillingsnelheid in bodem op afstand 5 m	conform ENV 1993-5:1998	V <sub>b</sub>	36,7	[mm/s]
trillingsnelheid drukgolf in bodem op afstand r	overgang van bodem naar water conform ENV 1993-5:1998	V <sub>b</sub>	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 ooppervlakte 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 <sub>w</sub>	1510	[m/s]
	dichtheid zand met water verzadigd	ρ	1950	[kg/m <sup>3</sup> ]
	compressibiliteit water (bij 293 Kelvin)	κ	4,60E-10	[Pa <sup>-1</sup> ]
	compressiemodulus water (bij 293 Kelvin)	K	2,17E+09	[Pa]
	dichtheid water	ρ	1024	[kg/m <sup>3</sup> ]
	trillingsnelheid drukgolf in het water in de overgang van bodem naar water	V <sub>w</sub>	0,3	[mm/s]
	oppervlakte overgangsgebied waar het water een trillingsnelheid V <sub>w</sub> heeft op basis van exper	A	3750	[m <sup>2</sup> ]
	midden overgangsgebied	V <sub>w</sub>	0,3	[mm/s]
	rand overgangsgebied	V <sub>w</sub>	0,2	[mm/s]