



Port of
Rotterdam

PROJECTORGANISATIE
MAASVLAKTE 2



Monitoring effecten Maasvlakte 2

Onderwatergeluid tijdens aanleg en relatie met zeezoogdieren en vissen



Monitoring effecten Maasvlakte 2: Onderwatergeluid tijdens aanleg en relatie met zeezoogdieren en vissen

Auteur : Dr. Floor Heinis
Datum : 17 mei 2013
Kenmerk : 10-03-23-Z5A
Projectonderdeel : MP/MEP Aanleg
Opdrachtgever : PMV2
Versie : 7.0
Classificatie : Openbaar

Projectorganisatie Maasvlakte 2
World Port Center
Wilhelminakade 909
3072 AP Rotterdam
Havennr. 1247
Postbus 6622
3002 AP Rotterdam
Tel. 010-252 10 10
Fax 010-252 10 20

Documenthistorie

Versie	Datum	Gewijzigde hoofdstukken	Beschrijving wijzigingen
1.0	15-03-2013	alle	Eerste totaalconcept t.b.v. interne review
2.0	07-05-2013	alle	Aangepaste versie n.a.v. interne review
7.0	17-05-2013	alle	Eindversie n.a.v. informele bespreking met BG

Inhoud

1	Inleiding	6
1.1	Achtergrond en doel	6
1.2	Leeswijzer	7
2	Vraagstelling op grond van voorspelde effecten in MER/PB	8
2.1	De effectketen	8
2.2	Vraagstelling	8
3	Onderzoek naar onderwatergeluid	10
3.1	Vertaling van vergunningvoorschrift in onderzoek	10
3.2	Uitgevoerd onderzoek	10
3.2.1	Metingen	10
3.2.2	Grootheden en eenheden onderwatergeluid	14
3.2.3	Bewerking meetgegevens (modellering)	14
3.2.4	Onderwatergeluid tijdens aanleg MV2 in relatie tot vissen en zeezoogdieren	15
4	Resultaten	18
4.1	Nulmetingen 2008	18
4.2	Bronniveaus onderdelen baggercyclus en achtergrondgeluid 2009	19
4.3	Geluidskaarten	21
4.4	Invloed van baggerwerkzaamheden op vissen en zeezoogdieren	23
4.4.1	Relatie tussen afstand t.o.v. baggerschip en geluidsdosis (SEL)	23
4.4.2	Ontvangen geluidsdosis (SEL) door stilliggende en zwemmende dieren	25
5	Conclusies onderzoek TNO	30
5.1	Metingen 2008 en 2009	30
5.2	Validatie van propagatiemodel AQUARIUS	30
5.3	Invloed van baggergeluid op vissen en zeezoogdieren	30
5.4	Leemten in kennis	31
6	Evaluatie	33
6.1	Vergunningvoorschrift (art. 3, lid 6 sub C, punt 7)	33
6.2	Monitoringsplan Aanleg Maasvlakte 2 (factsheet Z5)	33
6.2.1	Geluidscontouren	33
6.2.2	Vergelijking met voorspelde effecten in MER en PB	34
6.3	Evaluatievraag 9c MEP Aanleg Maasvlakte 2	34
6.3.1	Relevante onderzoeksresultaten voor het beantwoorden van de evaluatievraag	35
6.3.2	Conclusie	35
7	Literatuur	37

1 Inleiding

1.1 Achtergrond en doel

In de Ontgrondingenvergunning voor de aanleg van Maasvlakte 2 is een voorschrift opgenomen (artikel 3, lid 6 sub C onder punt 7) dat de vergunninghouder (Havenbedrijf Rotterdam NV, hierna HbR) verplicht tot het uitvoeren van “geluidsmetingen om de daadwerkelijke geluidsproductie van zandwinning, zandtransport en het aanbrengen van het zand te meten”. De resultaten van deze monitoring zullen een bijdrage leveren aan de beantwoording van evaluatievraag 9c uit het door de bevoegde gezagen opgestelde Monitoring- en Evaluatieprogramma Aanleg (in het vervolg: MEP Aanleg): “In hoeverre wordt het gedrag van zeezoogdieren en vissen beïnvloed door het onderwatergeluid dat geproduceerd wordt als gevolg van de winning, het transport en het storten van het zand, zodanig dat populaties van zeezoogdieren en vissen worden beïnvloed?” In het door de betrokken bevoegde gezagen goedgekeurde Monitoringsplan Aanleg Maasvlakte 2 is het monitoringonderdeel opgenomen in factsheet Z5 en bijlage 7).

In het Monitoringsplan Aanleg Maasvlakte 2 is voor het beantwoorden van de vraag als meetstrategie beschreven ‘het meten¹ van bronsterkten van een sleepopperzuiger met behulp van een meetboot op locatie tijdens het zandzuigen, varen naar het stort, klappen van zand, rainbowen, en walpersen van zand uit de beun van het schip. Op basis van de metingen bepaalde bronsterkten (van karakteristieke zuigers) worden m.b.v. een numeriek model geluidsc contouren, gewogen naar de gehoorfrequenties van de zeezoogdieren (bruinvis en zeehond) uitgerekend voor de omgeving van het werk’. Een nadere, op verzoek van HbR door TNO Sonar and Acoustics opgestelde uitwerking van de meetstrategie is opgenomen in Bijlage 7 van het Monitoringsplan Aanleg Maasvlakte 2.

In 2008 en 2009 zijn door TNO metingen aan onderwatergeluid uitgevoerd. De resultaten daarvan zijn vastgelegd in een tweetal datarapporten met gegevens over het in 2008 en 2009 gemeten achtergrondgeluid en het onderwatergeluid als gevolg van de diverse onderdelen van de baggercyclus van de werkende sleepopperzuigers (Dreschler e.a., 2009; de Jong e.a., 2010). Laatstgenoemde metingen zijn in 2009 uitgevoerd. Vervolgens zijn aanvullende modelberekeningen uitgevoerd om een indruk te krijgen van mogelijke effecten op zeezoogdieren en vissen. De resultaten daarvan zijn vastgelegd in een derde rapport (Ainslie e.a., 2012).

Het voorliggende rapport bevat een beschrijving van de belangrijkste resultaten van het uitgevoerde onderzoek en een bespreking van deze resultaten in het licht van de in het Milieueffectrapport (MER) en de Passende Beoordeling (PB) voorspelde effecten en de in het MEP Aanleg opgenomen evaluatievraag.

¹ Strikt genomen kunnen bronsterkten (of bronniveaus) niet direct in het veld worden gemeten, maar moeten via ‘inverse’ modellering uit het in het veld geregistreerde onderwatergeluid worden berekend (zie verder paragraaf 3.2.3). Er wordt in dit rapport toch vaak over ‘gemeten’ bronniveaus gesproken, omdat de metingen specifiek waren gericht op het zo goed mogelijk bepalen (= zo dicht mogelijk bij de bron) van het door baggerschepen veroorzaakte onderwatergeluid tijdens de verschillende activiteiten.

1.2 Leeswijzer

Na de inleiding, waarin achtergrond en doel van deze rapportage is geschetst, volgt in hoofdstuk 2 een beschrijving van de in het MER en de PB voorspelde effecten van onderwatergeluid tijdens de aanleg van Maasvlakte 2 op mariene organismen. Daarbij wordt eerst ingegaan op de effectketen (paragraaf 2.1), waarna dieper wordt ingegaan op de specifieke vraagstelling voor het onderzoek waarin in deze rapportage verslag wordt gedaan (paragraaf 2.2.).

Hoofdstuk 3 bevat een beschrijving van het voor de beantwoording van de onderzoeksvragen uitgevoerde onderzoek. Achtereenvolgens wordt ingegaan op de wijze waarop de verschillende stappen in de effectketen zijn vertaald in specifieke onderzoeksvragen (paragraaf 3.1), waarna een beschrijving volgt van het uitgevoerde onderzoek (paragraaf 3.2).

In hoofdstuk 4 zijn de resultaten van het uitgevoerde onderzoek samengevat. Eerst worden de resultaten van de nulmeting in 2008 (4.1) en de resultaten van de metingen van het achtergrondgeluid en het door de baggerschepen gegenereerde onderwatergeluid in 2009 beschreven (4.2). In paragraaf 4.3 worden de op grond van deze metingen samengestelde geluidskaarten gepresenteerd, waarna in paragraaf 4.4 wordt ingegaan op de mogelijke invloed van het met de baggerwerkzaamheden samenhangende onderwatergeluid op vissen en zeezoogdieren.

De belangrijkste conclusies van het door TNO uitgevoerde onderzoek zijn opgenomen in Hoofdstuk 5. Hoofdstuk 6 bevat de 'eindevaluatie' van het aspect onderwatergeluid in relatie tot de aanleg van Maasvlakte 2. In paragraaf 6.1 wordt aangetoond dat met het onderzoek en de bijbehorende gegevenslevering is voldaan aan het voorschrift uit de verleende vergunning in het kader van de Ontgrondingenwet. In paragraaf 6.2 wordt getoetst of het in het Monitoringsplan Aanleg Maasvlakte 2 opgenomen werkplan naar behoren is uitgevoerd en worden de bevindingen getoetst aan de in het MER en de PB voorspelde effectcontouren. In paragraaf 6.3 wordt ingegaan op de relevantie van de onderzoeksresultaten voor de beantwoording van vraag 9c uit het MEP Aanleg Maasvlakte. Dit laatste onderdeel vloeit strikt genomen niet voort uit de aan het HbR opgelegde monitoringverplichting uit de vergunning OgW.

Het rapport wordt afgesloten met een literatuurlijst en een bijlage.

2 Vraagstelling op grond van voorspelde effecten in MER/PB

2.1 De effectketen

Tijdens de aanleg neemt het aantal aanwezige (bagger)schepen toe waardoor het geluidsniveau lokaal toeneemt. Als gevolg van de toegenomen geluidsniveaus zou in de periode dat de aanleg van Maasvlakte 2 plaatsheeft verstoring kunnen optreden bij vissen en zeezoogdieren.

Bij de bepaling van de effecten van door baggerschepen gegenereerd onderwatergeluid op vissen en zeezoogdieren is er in het MER en de PB op basis van Thomsen e.a. (2006) van uitgegaan dat het gedrag van zeezoogdieren beïnvloed wordt bij een waarde 75 dB of meer boven de gehoorrens. Voor het hanteren van deze drempelwaarde was geen hard empirisch bewijs beschikbaar. Wel waren er op grond van resultaten van empirisch onderzoek aanwijzingen dat met deze theoretische drempelwaarde berekende reactiezones vergelijkbaar zijn met reactiezones die in onderzoek zijn waargenomen (Thomsen e.a., 2006). In de voor het MER en de PB uitgevoerde berekeningen zijn de reacties van vissen en zeezoogdieren omgerekend naar afstanden tot de bron². Voor het bepalen van de gehoorrens is gebruik gemaakt van door Nedwell e.a. (2004) samengevat onderzoek aan de hoorbaarheid van onderwatergeluid bij diverse soorten vissen en zeezoogdieren. De geluidberekeningen zijn gebaseerd op berekende bronemissies van een type baggerschip dat representatief is voor het materieel dat tijdens de aanleg van Maasvlakte 2 zal worden ingezet. De resultaten van de berekeningen en de verantwoording daarvan zijn voor alle scenario's vermeld in de Bijlage Milieukwaliteit bij het MER Aanleg en de daarbij behorende Annex 3.

Op basis van de destijds best beschikbare kennis³ zijn ten behoeve van het MER en de PB modelberekeningen uitgevoerd. Hieruit bleek dat onder water rond baggerschepen sprake kan zijn van een geluidsniveau dat boven de gehoordrempel van vissen en zeezoogdieren ligt. Op een afstand van meer dan enkele honderden meters van het schip zou de genoemde drempelwaarde van 75 dB boven de gehoorrens echter niet worden overschreden (Vertegaal e.a., 2007; Vellinga, 2007). Op grond daarvan is in 2007 in het MER en de PB geconcludeerd dat het effectgebied verwaarloosbaar klein is ten opzichte van de totale ruimte op zee, die door de dieren als foerageergebied en doortrekgebied wordt benut.

2.2 Vraagstelling

De geluidsberekeningen voor het MER en de PB waren gebaseerd op toentertijd beschikbare gegevens van de, voor de werkzaamheden voor de aanleg van Maasvlakte 2 representatief geachte

² paragraaf 5.4.4, pagina 120 van Bijlage Natuur bij MER Aanleg MV2.

³ Door voortschrijdend inzicht en de toegenomen beschikbaarheid van gegevens zouden de berekeningen tegenwoordig (2012) niet meer op dezelfde wijze uitgevoerd worden.

sleehopperzuiger Gerardus Mercator. De gegevens waren echter relatief beperkt, omdat het uitsluitend gegevens tijdens het baggeren en niet tijdens het transport of het storten betrof. Ook was niet zeker in hoeverre de omstandigheden waaronder de gegevens waren verkregen vergelijkbaar waren met de situatie in het plangebied voor de zandwinning en de aanleg van Maasvlakte 2. Voor het inschatten van eventuele effecten op mariene organismen is het noodzakelijk preciezere informatie te verzamelen over de daadwerkelijke geluidsproductie tijdens zandwinning, zandtransport en het aanbrengen van het zand bij de aanleg van Maasvlakte 2.

Bij het onderzoek dat in het kader van het in de vergunning opgenomen voorschrift is uitgevoerd, gaat het om beantwoording van de volgende vragen:

- Wat is het bronniveau van het onderwatergeluid tijdens de diverse onderdelen van de baggercyclus van de ingezette sleehopperzuigers?
- Hoe verhouden deze niveaus zich tot het achtergrondgeluid?
- In hoeverre verhouden de op basis van de bronniveaus bepaalde, en naar de gehoorgevoeligheid van relevante diersoorten gewogen, effectcontouren zich tot de in het MER en de PB voorspelde contouren waarbinnen mogelijk effecten op mariene organismen optreden?

3 Onderzoek naar onderwatergeluid

3.1 Vertaling van vergunningvoorschrift in onderzoek

HbR heeft zelf geen uitgebreide expertise op het gebied van het registreren van onderwatergeluid en het verwerken van verzamelde meetgegevens en heeft daarom aan TNO opdracht gegeven een meetstrategie voor de in het de vergunning opgenomen monitoringverplichting uit te werken. Deze is als Bijlage 7 in het Monitoringplan Aanleg Maasvlakte 2 integraal opgenomen.

Om aan de het gestelde in de vergunningvoorwaarden te kunnen voldoen zijn in de meetstrategie de volgende metingen voorgesteld:

- Continue registratie van het achtergrondgeluid op een vaste locatie gedurende een periode van een week, voorafgaand aan de start van de aanlegwerkzaamheden (T0 meting): meetcampagne 1;
- Continue registratie van het achtergrondgeluid (op een vaste locatie) en het onderwatergeluid als gevolg van de constructiewerkzaamheden gedurende een periode van een week in 2009; hierbij worden opnames gemaakt van de diverse onderdelen van de baggercyclus en van de verschillende typen, bij het werk ingezette sleepopperzuigers (TSHD): meetcampagne 2;
- Continue registratie van het achtergrondgeluid (op een vaste locatie) en het onderwatergeluid als gevolg van de constructiewerkzaamheden gedurende een periode van een week in 2010; hierbij worden opnames gemaakt van de diverse onderdelen van de baggercyclus en van de verschillende typen, bij het werk ingezette sleepopperzuigers (TSHD): meetcampagne 3.

Belangrijk onderdeel van de door TNO opgestelde meetstrategie is verder de daarin, in overleg met HbR en het Bevoegd Gezag gemaakte keuze voor het combineren van metingen in het veld met akoestische modellering van de geluidspropagatie. Hiermee is het mogelijk over een groter gebied dan de meetlocatie zelf onderwater geluidsniveaus te voorspellen. De modellering werkt twee kanten op:

- Inverse modellering: vanuit het op de meetlocatie geregistreerde onderwatergeluid terugrekenen naar het geluidsniveau bij de bron (de sleepopperzuigers tijdens verschillende onderdelen van de baggercyclus); dit is het deel van het onderzoek dat specifiek is gericht op het voldoen aan het voorschrift uit de vergunning (leveren van bronniveaus van sleepopperzuigers);
- Modellering vanuit de bron: hierbij worden, uitgaande van een of meer aanwezige bronnen geluidsniveaus in de gehele driedimensionale ruimte onder water berekend; op grond van deze berekeningen kunnen geluidskarten worden gemaakt, al dan niet gewogen voor de specifieke gevoeligheid voor geluid van mariene organismen.

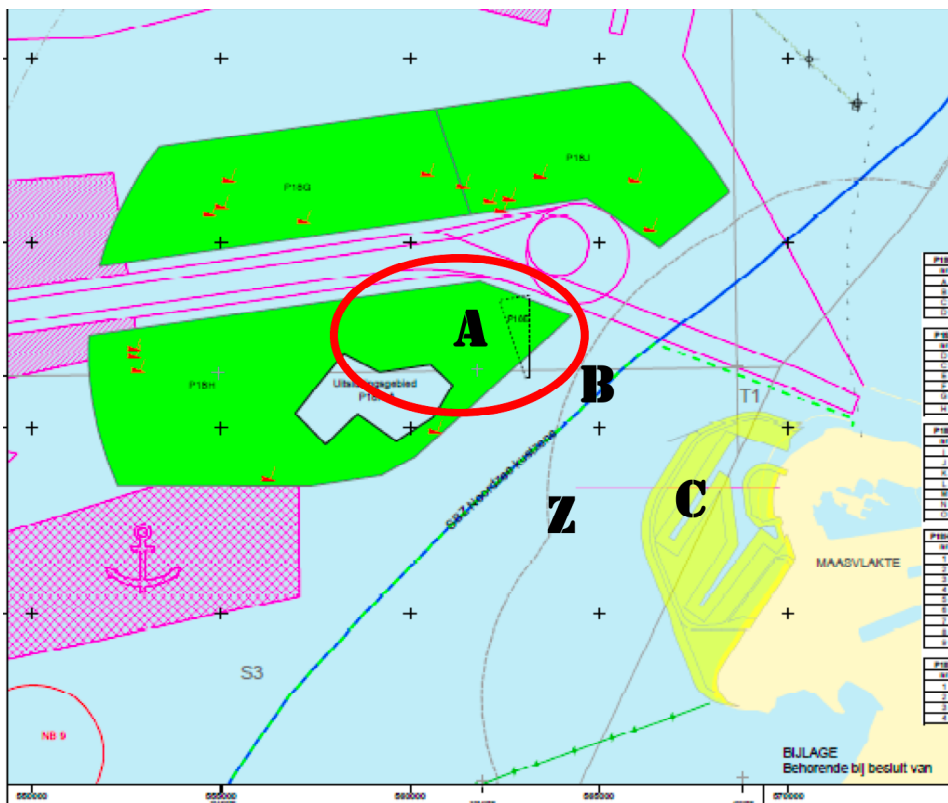
3.2 Uitgevoerd onderzoek

3.2.1 Metingen

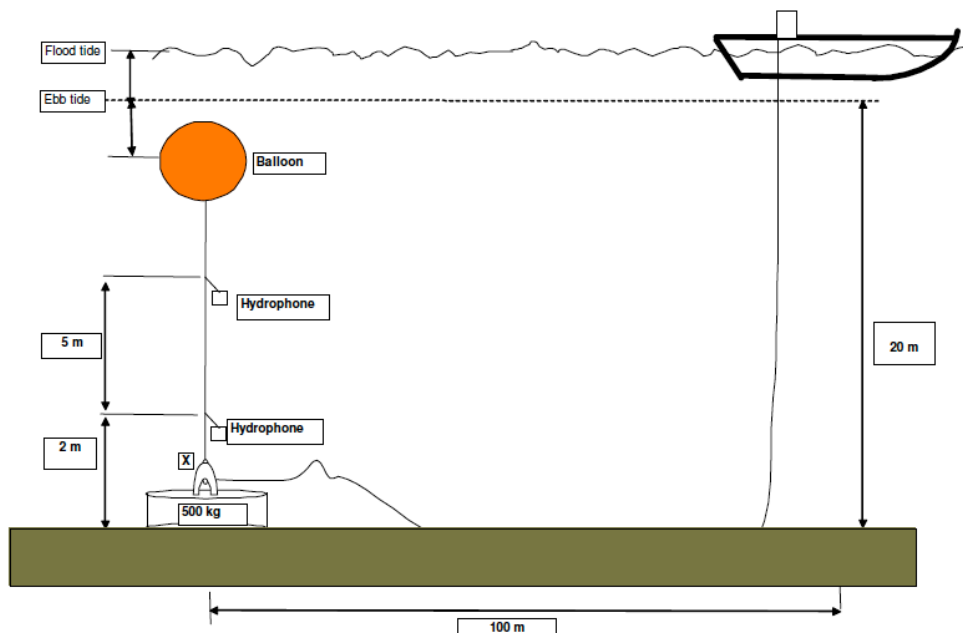
Metingen van het achtergrondgeluid, voorafgaand aan de aanleg van Maasvlakte 2 (de nulmetingen) zijn uitgevoerd in de week van 8 tot 15 september 2008 vanaf een vaste locatie (aangegeven met Z in Figuur 3-1). In deze week zijn gedurende 5,5 opeenvolgende etmalen opnames gemaakt op 2 meter van de zeebodem en gedurende ruim 3 etmalen in dezelfde periode op 7 meter van de zeebodem (totale waterdiepte ca. 20 m). Van elke minuut werd een sample van 6 seconden geregistreerd. De in 2008

gebruikte meetopstelling is schematisch weergegeven in Figuur 3-2. Uitgangspunten bij- en nadere details van deze nulmetingen zijn opgenomen in Dreschler e.a. (2009).

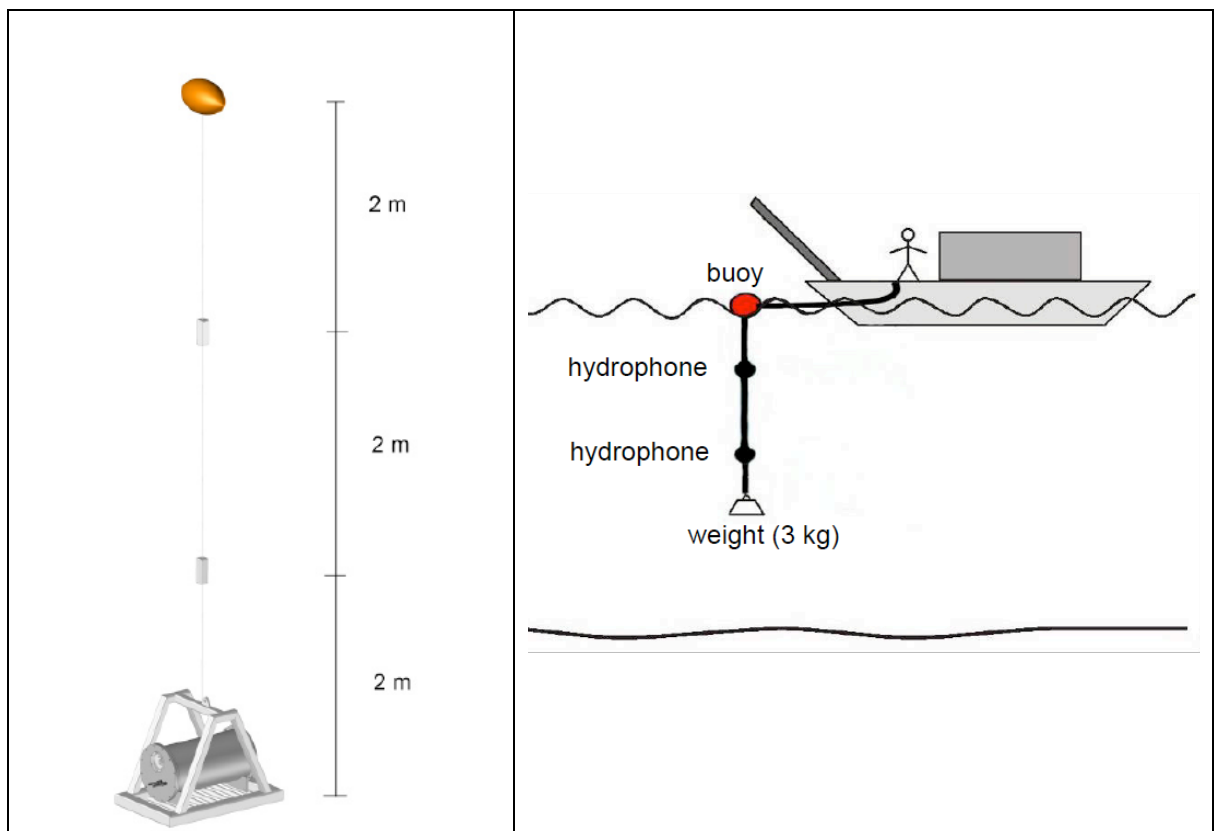
In de periode van 22 september tot en met 5 oktober 2009 zijn op verschillende locaties geluidsopnamen gemaakt die aan de diverse onderdelen van de baggercyclus zijn gerelateerd. De meetlocaties zijn bij benadering weergegeven in Figuur 3-1. Daarnaast zijn net als in 2008 op een vaste locatie metingen van het achtergrondgeluid uitgevoerd. In 2009 is daarvoor gebruik gemaakt van een 'stand alone' meetsysteem, SESAME genaamd (Shallow water Extendible Stand alone Acoustic Measuring System). Schematische weergaven van de in 2009 gebruikte meetopstellingen zijn opgenomen in Figuur 3-3. Uitgangspunten bij- en nadere details van in 2009 uitgevoerde metingen zijn opgenomen in De Jong e.a. (2010).



Figuur 3-1 Kaart van de aan te leggen Maasvlakte 2 (geelgroen) en de vergunde zandwinlocaties (groen). De rode ellips geeft aan waar daadwerkelijk zand is gewonnen voor de aanleg van Maasvlakte 2. De grote letters geven de locaties weer waar opnamen van onderwatergeluid zijn gemaakt. Z: achtergrondgeluid, A: winning van zand, B: transport van zand (transit), C: aanbrengen van zand (klappen, rainbowen en walpersen).



Figuur 3-2 Schematische weergave van de tijdens de nulmeting in 2008 gebruikte vaste meetopstelling op locatie Z₂₀₀₈



Figuur 3-3 Schematische weergave van de in 2009 gebruikte, vaste meetopstelling SESAME voor het registreren van achtergrondgeluid op locatie Z₂₀₀₉ (links) en de mobiele opstelling voor het meten van het geluidsniveau van de verschillende onderdelen van de baggercyclus van werkende sleeppopperzuigers (rechts)

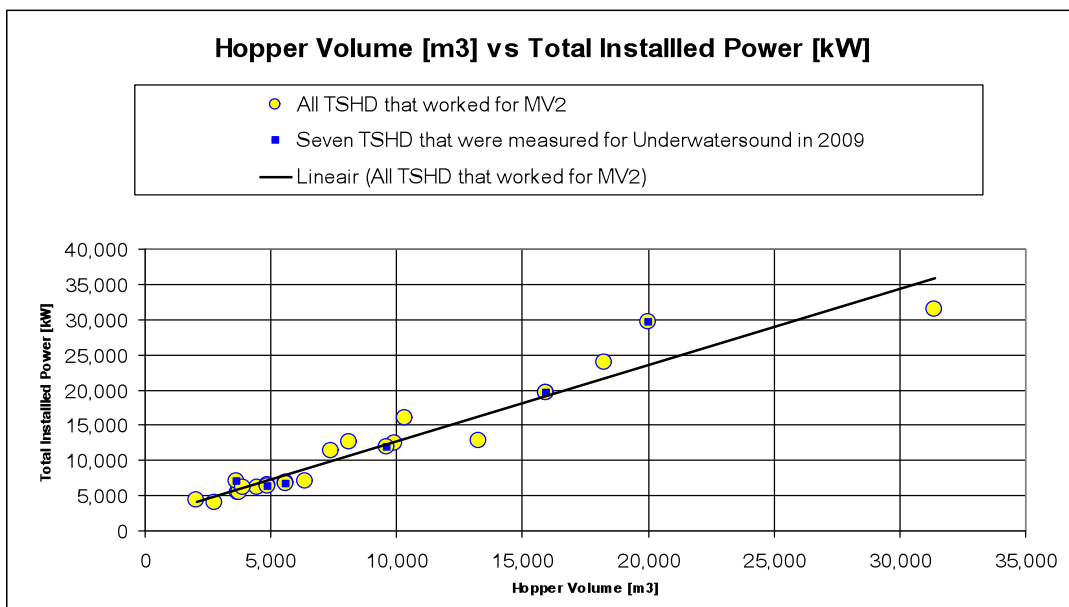
Ten tijde van het opstellen van het Monitoringsplan Aanleg Maasvlakte 2 werd ervan uitgegaan dat het tempo van de zandwinning geleidelijk zou verlopen (ca. 60 miljoen m³/jaar). Vanuit dat scenario bezien was niet direct duidelijk of alle baggeronderdelen ook in de eerste meetweek in 2009 zouden kunnen worden geregistreerd. Dit betrof met name het onderdeel walpersen. Na de start in januari 2009 werd echter duidelijk dat de aannemer PUMA zeer voortvarend te werk ging en de zandwinning in een hoog tempo uitvoerde. Tijdens de meetweek in 2009 bleek dat alle onderdelen van de baggercyclus, inclusief walpersen, in voldoende mate aanwezig waren. In overleg met het bevoegd gezag is daarom vastgesteld dat aan de verplichting in het Monitoringsplan Aanleg Maasvlakte 2 voldaan was en een 3^{de} meetcampagne geen extra informatie zou opleveren en dus niet nodig was (zie Intermezzo, Representativiteit metingen 2009).

Intermezzo

Representativiteit metingen 2009

Tijdens de in oktober 2009 gedurende een week uitgevoerde metingen waren zeven sleephopperzuigers (TSHD) aan het werk. Van alle zeven schepen zijn opnamen van het onderwater geproduceerde geluid gemaakt en van de volgende onderdelen van de baggercyclus: baggeren, varen met lading, klappen, rainbowen, walpersen, varen zonder lading.

Om de representativiteit van deze zeven schepen aan te geven zijn in de onderstaande figuur alle 21, bij de aanleg van Maasvlakte 2 ingezette TSHD weergegeven inclusief de zeven bemeten schepen (met een blauwe stip aangegeven). Twee schepen zijn (bijna) identieke zusterschepen. In de figuur is het totaal geïnstalleerde vermogen (kW) tegen het laadvermogen (m³) uitgezet. In de figuur is te zien dat de zeven bemeten schepen een representatieve selectie vormen van de schepen die bij het werk voor Maasvlakte 2 zijn ingezet.



Onderstaande, uit De Jong e.a. (2010) overgenomen tabel bevat een overzicht van de bemeten onderdelen van de baggercyclus. Te zien is dat alle onderdelen bemeten zijn, zij het niet allemaal even vaak. Er kan echter van worden uitgegaan dat een voldoende representatief beeld is verkregen van de gehele range aan geluidsdrukknivaus die met de uitgevoerde werkzaamheden verband houden, omdat:

- Zowel het door het grootste als het kleinste schip gegenereerde geluid is gemeten;

- Het geluid onder water niet wordt bepaald door de apparatuur die bij de verschillende activiteiten, zoals walpersen en 'rainbowen' wordt gebruikt, maar door de cavitatie van de (boeg)schroeven.

Het uitvoeren van extra metingen aan schepen die aan het klappen of walpersen zijn, de onderdelen van de baggercyclus waarvan relatief weinig gegevens zijn verzameld, zal daarom geen extra informatie opleveren.

Week 39 & 40 in 2009	
Action	number of events:
Transit : fully loaded	16
Transit : empty	16
Dredging port side	15
Dredging starboard side	10
Rainbowing	13
Pumping ashore	2
Dumping	2

3.2.2 Grootheden en eenheden onderwatergeluid

Bij de beschrijving van het onderwatergeluid, waaraan de dieren kunnen worden blootgesteld, worden verschillende grootheden en eenheden onderscheiden. In het onderzoek zijn de volgende akoestische grootheden met bijbehorende eenheden gebruikt:

- Bronniveau (Source Level): het geluidsdrumniveau (Sound Pressure Level) in tertsbanden op 1 meter van de geluidsbron; eenheid: dB re $1 \mu\text{Pa}^2\text{m}^2$ (in oudere literatuur ook wel dB re μPa op 1m of dB re $\mu\text{Pa-m}$);
- Breedband geluidsdrumniveau (broadband Sound Pressure Level): het, over de tijd gemiddelde kwadratische geluidsdrumniveau voor continue geluiden (zoals scheepsgeluid) of het over de pulsduur gemiddelde geluidsdrumniveau voor pulsgeluiden (zoals heigeluid); eenheid: dB re $1 \mu\text{Pa}^2$;
- Geluidblootstellingsniveau (Sound Exposure Level): het totale, over een bepaalde tijdsduur geïntegreerde kwadratische geluidsdrumniveau; wordt als grootheid zowel bij continue als bij pulsgeluiden gebruikt; eenheid: dB re $1 \mu\text{Pa}^2\text{s}$.

3.2.3 Bewerking meetgegevens (modellering)

De via de hydrofoons opgenomen akoestische gegevens zijn omgezet in geluidsdrumniveaus (SPL = Sound Pressure Level) per tertsband (1/3-octave bands), met een frequentiebereik van 20 Hz tot 80 kHz (2008) en 12,5 Hz tot 160 kHz (2009). De verschillende, daarvoor benodigde rekenstappen zijn beschreven in par. 4.2 van het eerste TNO-rapport (Dreschler e.a., 2009).

De met de diverse onderdelen van de baggercyclus corresponderende bronniveaus zijn bepaald via 'inverse modellering'. Dit houdt in dat, uitgaande van de op diverse afstanden van het baggerschip gemeten geluidsniveaus per tertsband is teruggerekend naar het geluidsniveau bij de bron (i.e. het baggerschip). Details van wijze waarop deze berekeningen zijn uitgevoerd en de uitgangspunten die daarbij zijn gehanteerd, zijn beschreven in hoofdstuk 4 van het TNO-rapport (De Jong e.a., 2010).

Vervolgens is berekend hoe geluid zich vanuit een bepaalde bron (een sleepopperzuiger) in het gebied rond Maasvlakte 2 verspreidt en hoe de energie ervan met de afstand verandert. Uiteindelijk gaat het erom te bepalen in hoeverre de werkzaamheden van de baggerschepen tot veranderingen in het

'geluidlandschap' leiden. Het gemeten achtergrondgeluid en de uit de diverse, in 2009 uitgevoerde metingen bepaalde bronniveaus vormden de basis voor deze berekeningen. Het door TNO ontwikkelde propagatiemodel AQUARIUS (voorheen ANOMALY genaamd) werd gebruikt om op ieder punt in de driedimensionale ruimte geluidsniveaus te kunnen berekenen. In het model is de ondergrond, in het geval van het Maasvlakte-gebied betreft het een zandige bodem, één van de onderdelen die bepalend zijn voor de transmissie van het geluid. Het model werd gevalideerd door spectra van gemeten geluidsniveaus te vergelijken met gemodelleerde waarden (zie paragraaf 2.5 in TNO-rapport door Ainslie e.a., 2012). Voor een tweetal, tijdens de aanleg van Maasvlakte 2 karakteristieke momenten zijn geluidskaarten gemaakt. Daarnaast is rond deze momenten een animatiefilmpje gemaakt waarin is te zien hoe het 'geluidlandschap' in het gebied rond de Maasvlakte gedurende 24 uur kan veranderen.

3.2.4 Onderwatergeluid tijdens aanleg MV2 in relatie tot vissen en zeezoogdieren

Onderwatergeluid kan mariene organismen al naar gelang het geluidsdrukniveau en de frequentie op verschillende manieren beïnvloeden (e.g. Richardson e.a., 1995; Kastelein e.a., 2008). In de literatuur worden meestal zones van geluidsbeïnvloeding onderscheiden, lopend van een zone waarbij het geluid wordt gehoord, maar waarin het dier niet reageert tot aan een zone waarin ernstige fysieke schade of (zelfs de) dood optreedt. Daartussen liggen zones van gedragsbeïnvloeding, waarin het dier van het geluid wegzwemt of erdoor wordt aangetrokken en een zone waarbij een dier tijdelijk of permanent minder goed hoort (respectievelijk TTS = tijdelijke verhoging van de gehoordrempel en PTS = permanente verhoging van de gehoordrempel). Daarnaast kan voor sommige dieren maskering een rol spelen. Dit is de situatie waarin het niet-natuurlijke geluid een vergelijkbaar frequentiebereik en een vergelijkbare geluidsterkte heeft als de door de dieren of hun prooien geproduceerde geluiden. Dit hindert met name dieren die hun prooi opsporen met echolocatie, zoals de bruinvissen. In het geval van scheepsgeluid speelt dit geen rol, aangezien dit geluid relatief laagfrequent is en er geen overlap is met de zeer hoog frequente, door bruinvissen gebruikte vocalisaties (rond 120 kHz).

In de studie die TNO voor HbR heeft uitgevoerd, is als criterium voor beïnvloeding van dieren primair uitgegaan van het geluidsblootstellingsniveau (SEL = Sound Exposure Level) waarbij een tijdelijke verhoging van de gehoordrempel kan optreden (TTS). Dit is een algemeen geaccepteerde grens die mede is gekozen, omdat uit overwegingen in Southall e.a. (2007) kan worden afgeleid dat bij lagere waarden bij zeehonden geen mijding zal optreden⁴. Voor bruinvissen en zeehonden is uitgegaan van door Southall e.a. (2007) afgeleide waarden voor continu geluid, waarbij de SEL is gewogen voor de specifieke gehoorgevoeligheid van de dieren. Daarbij is gebruik gemaakt van de zogenaamde M-weging (Southall e.a., 2007). Naast TTS zijn voor bruinvissen en zeehonden ook de waarden waarbij een permanente verhoging van de gehoordrempel zou kunnen optreden in de beschouwing meegenomen (PTS).

Voor vissen bestaan geen grenswaarden voor het optreden van schade na blootstelling aan continu geluid als gevolg van bijvoorbeeld scheepvaart. De US Fish Hydroacoustic Working Group (FHWG) voorgestelde criteria hebben betrekking op pulsgeluiden als gevolg van heiwerkzaamheden (Oestman e.a., 2009). Daarbij is onderscheid gemaakt tussen kleine vissen (< 2 gram versgewicht) en grotere vissen (> 2 gram versgewicht). Het is niet duidelijk in hoeverre deze waarden kunnen worden toegepast

⁴ De in het MER en de PB gehanteerde grenswaarde voor gedragsbeïnvloeding van 75 dB boven de gehoordrempel, is sinds verschijnen van de, door Thomson e.a. (2006) aangehaalde publicatie van Nedwell e.a. (2003) niet verder gevalideerd. Deze waarde wordt in recentere publicaties over effecten van onderwatergeluid op mariene organismen ook niet meer gebruikt.

bij continu geluid. Vaak gelden voor continue geluiden wat hogere drempelwaarden dan voor pulsgeluiden, wat betekent dat toepassing van deze criteria op continu geluid een 'worst case' van de mogelijke effecten geeft.

Een overzicht van de gehanteerde grenswaarden is opgenomen in Tabel 3-1.

Tabel 3-1 SEL grenswaarden, in dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$ voor risico op PTS en TTS. Grenswaarden voor bruinvis en zeehond uit Southall e.a. (2007) en voor vis uit Oestman e.a., 2009. M_{hf} = M-weging voor 'high frequency cetaceans' (waaronder bruinvis); M_{pw} = M-weging voor 'pinnipeds in water' (zeehonden).

Diersoort(groep)	PTS risico grenswaarde	TTS risico grenswaarde	weging
bruinvis	215	195	M_{hf}
zeehond	203	183	M_{pw}
vis > 2 g	-	187	geen
vis < 2 g	-	183	geen

Bij de inschatting van mogelijke effecten van werkzaamheden van baggerschepen op mariene organismen zijn in eerste instantie twee scenario's beschouwd:

- Zandzuigend (stationair) schip waar een dier met een bepaalde snelheid langs zwemt (relatieve snelheid t.o.v. vaarsnelheid schip = 1 m/s);
- Baggerschip dat tijdens de transit van win- naar aanleglocatie langs een dier vaart dat op een bepaalde afstand van het varende schip verblijft (relatieve snelheid t.o.v. zwemsnelheid dier = 7 m/s).

Bij deze scenario's is de totale SEL als functie van de afstand ten opzichte van het schip berekend. Voor deze twee scenario's is eerst de situatie beschouwd waarin de propagatie van het geluid naar alle kanten gelijk verloopt (spherical spreading). Deze benadering geeft een eerste indruk van de grootteorde van de effecten en de invloed van het bronniveau, de afstand ten opzichte van de bron, de zwem- of vaarsnelheid op het blootstellingsniveau (SEL). Een dier dat met een snelheid van 1 m/s op een bepaalde afstand van een stilliggend schip zwemt, wordt 7-maal zo lang aan het geluid blootgesteld als een stilliggend dier waar een baggerschip op dezelfde afstand met een snelheid van 7 m/s langs vaart. Dit verschil in relatieve snelheden tussen dier en schip vertaalt zich door in effectafstanden die in de situatie dat een baggerschip langs een stilliggend dier vaart een orde grootte kleiner zijn dan de situatie waarbij het dier langs een stilliggend (zandwinnend) baggerschip zwemt (Tabel 3-2). Preciezer, meer realistische berekeningen met het propagatiemodel AQUARIUS zijn daarom alleen uitgevoerd voor het scenario waarbij een dier langs een stilliggend baggerschip zwemt.

Tabel 3-2 Afstand ten opzichte van een baggerschip waarop een 'ontvanger' zich bevindt en waarbij de in de eerste kolom weergegeven blootstellingsniveaus worden overschreden. Resultaat van 'eerste indruk' berekeningen waarbij is uitgegaan van 'spherical spreading'.

SEL (dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$)	SL = 200 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{m}^2$		SL = 190 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{m}^2$	
	$v = 1 \text{ m/s}$	$v = 7 \text{ m/s}$	$v = 1 \text{ m/s}$	$v = 7 \text{ m/s}$
195 dB	10 m	< 3 m	< 3 m	< 3 m
185 dB	100 m	14 m	10 m	< 3 m
175 dB	1000 m	140 m	100 m	14 m

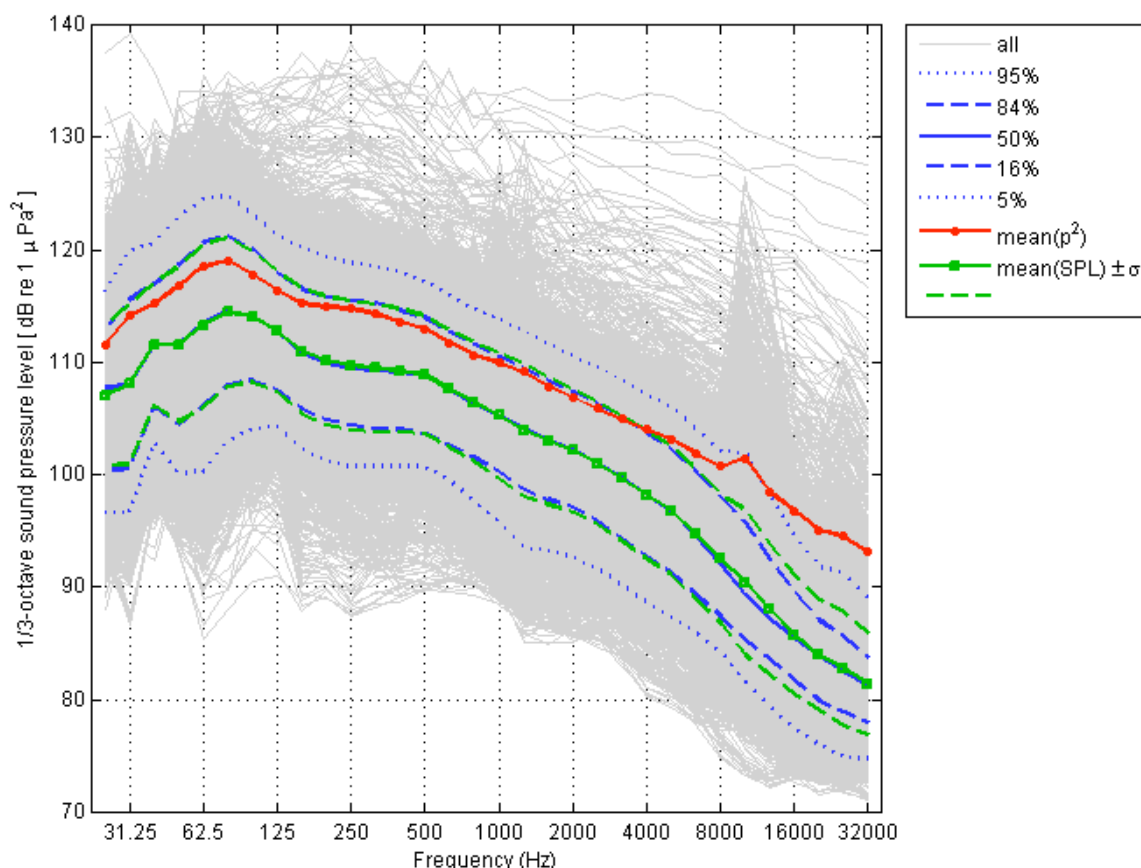
Voor een drietal dieptes is de relatie berekend tussen de afstand waarop het zwemmende dier zich ten opzichte van het stilliggende, zandzuigende schip bevindt en de totale geluidsdosis waaraan het is blootgesteld. De aldus berekende waarden zijn vergeleken met grenswaarden voor TTS en PTS.

Daarnaast zijn geluidskarten gemaakt waaruit voor ieder punt in het onderzochte gebied van circa 15 km x 15 km is af te leiden welke dosis onderwatergeluid vissen en zeezoogdieren ontvangen als zij zich gedurende 24 uur op dat punt bevinden. Deze karten zijn gemaakt voor dieren die zich dicht bij het wateroppervlak (1 m) bevinden en voor dieren die dichtbij de bodem (1 m) verblijven. In werkelijkheid zijn mariene organismen echter altijd in beweging. Daarom is ook berekend welke geluidsdosis bruinvissen en zeehonden ontvangen die gedurende 24 uur in rechte, zuid-noordlijnen door het gebied zwemmen en wat het aandeel van de dieren is waarbij grenswaarden voor TTS (of PTS) worden overschreden. Hierbij is zowel de situatie doorgerekend waarbij uitsluitend reguliere scheepvaart aanwezig als de situatie waarbij ook de activiteiten van de baggerschepen voor de aanleg van Maasvlakte 2 zijn inbegrepen. Daarnaast is het (theoretische) geval doorgerekend dat uitsluitend sleeplopperzuigers voor de aanleg van Maasvlakte 2 aanwezig zijn.

4 Resultaten

4.1 Nulmetingen 2008

Tijdens de nulmetingen zijn voorafgaand aan de start van de aanleg van Maasvlakte 2 op een vaste locatie (punt Z₂₀₀₈), die op minder dan 5 km van het zandwingebied en de toekomstige Maasvlakte 2 ligt, gegevens over het achtergrondgeluid verzameld. In dit gebied bleken typische geluidsdruk niveaus per tertsband bij 100 Hz, 1 kHz en 10 kHz respectievelijk 114 ± 6 , 105 ± 6 en 90 ± 6 dB re $1 \mu\text{Pa}^2$ te bedragen (Figuur 4-1). Corresponderende spectrumniveaus waren respectievelijk 100 ± 6 , 82 ± 6 en 57 ± 6 dB re $1 \mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ (zie Figuur 5.2 in Dreschler e.a., 2009). De grijze lijnen in figuur 4.1 geven de resultaten van de individuele metingen weer. De gekleurde lijnen staan voor verschillende statistische parameters die in paragraaf 5.1 van het TNO-rapport van Dreschler e.a. (2009) nader zijn beschreven.



Figuur 4-1 Geluidsdruk niveaus (SPL) per tertsband. De resultaten van alle individuele metingen worden weergegeven door de grijze lijnen. De blauw gestippelde, gestreepte en doorgetrokken lijnen geven de P_5 , P_{16} , P_{50} , P_{84} en P_{95} weer. Gemiddelde waarden van de geluidsniveaus van alle metingen worden weergegeven door de rode lijn en de groene, doorgetrokken lijn (± 1 standaard deviatie in gestreepte groene lijn).

Bij frequenties tussen 50 Hz en 10 kHz bleken de gemeten geluidsdruk niveaus significant te worden beïnvloed door variaties in het scheepvaartverkeer. Bij hogere frequenties was de invloed ook nog waarneembaar, maar in veel geringere mate. Vanaf een frequentie van ongeveer 5 kHz namen de

effecten met de frequentie in omvang af. Ook de wind was van invloed op de gemeten geluidsdruk niveaus. Er werd bij de hogere frequenties een sterke positieve correlatie tussen de windsnelheid en gemeten geluidsdruk niveaus waargenomen: boven een frequentie van ongeveer 10 kHz kan door wind veroorzaakt geluid, bijvoorbeeld als gevolg van het breken van golven, een belangrijke bijdrage leveren aan het achtergrondgeluid.

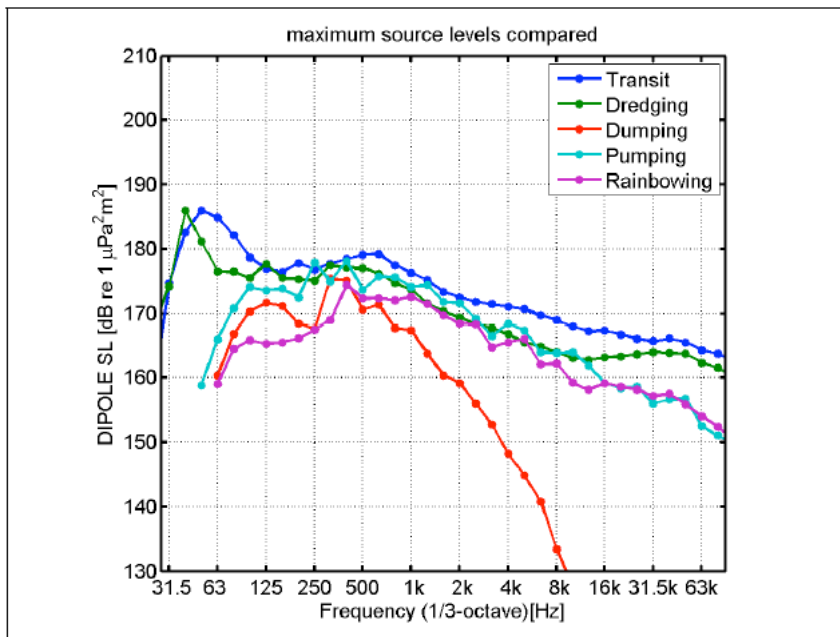
4.2 Bronniveaus onderdelen baggercyclus en achtergrondgeluid 2009

In 2009 zijn van alle onderdelen van de baggercyclus geluidsopnamen worden gemaakt. Deze zijn met de, in hoofdstuk 4 van De Jong e.a. (2010) beschreven methode omgerekend naar zogenaamde dipool⁵ bronniveaus (SL = Source Level). Maximale waarden van deze bronniveaus voor de verschillende activiteiten zijn weergegeven in Figuur 4-2. In de figuur is te zien dat baggerschepen het meeste geluid produceren tijdens de overtocht van de zandwinlocaties naar de aanleglocatie en *vice versa* (bij een vaarsnelheid van 16 knopen). Tijdens het zandwinnen werden vergelijkbare niveaus geproduceerd, zij het dat de niveaus bij de meeste tertsbanden enkele decibels lager lagen. Tijdens walpersen en rainbowen was het (maximale) bronniveau bij frequenties tussen 500 Hz en 10 kHz vergelijkbaar met dat van een zand winnend schip, maar substantieel lager bij frequenties die buiten deze range lagen. De laagste bronniveaus werden tijdens het klappen van zand gemeten bij frequenties boven 1 kHz en tijdens rainbowen bij frequenties van 500 Hz en lager. Bij een frequentie van ca. 100 Hz is het bronniveau voor alle onderdelen van de baggercyclus vergelijkbaar met uitzondering van rainbowen. Naar alle waarschijnlijkheid is de productie van onderwatergeluid door baggerschepen vooral het gevolg van het cavitatie geluid van de schroef en boegschroeven.

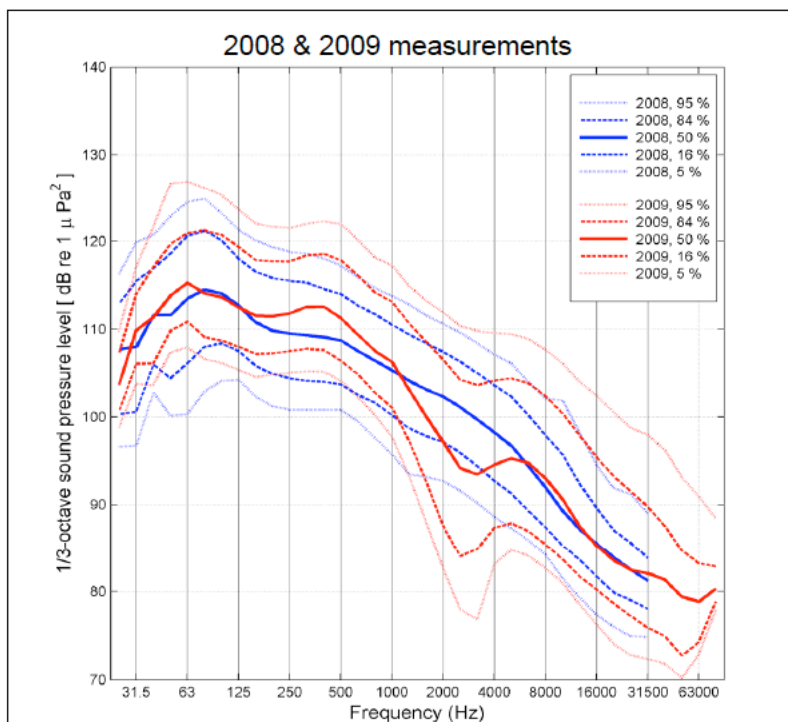
Net als in 2008 zijn in 2009 werd het vanaf een vaste locatie gemeten achtergrondgeluid gedomineerd door scheepvaartgeluid. De in 2009 gemeten geluidsniveaus waren in het algemeen hoger dan de in 2008 geregistreerde niveaus (Figuur 4-3). Er was een sterke correlatie met de afstand tot baggerschepen en waarschijnlijk leverden de langsvarende baggerschepen 'in transit' de belangrijkste bijdrage aan het op de locatie geregistreerde onderwatergeluid (zie verder hierna paragraaf 4.3). De baggerschepen voeren soms zeer dicht langs het vaste meetstation SESAME, als gevolg waarvan in 2009 veel grotere variaties in het achtergrondgeluid werden gemeten dan in 2008.

Bij frequenties van meer dan 10 kHz was de wind – en daarmee het geluid als gevolg van golfslag – bepalend voor de gemeten geluidsniveaus, behalve als er een baggerschip langs voer. In het frequentiegebied tussen 100 Hz en 10 kHz werd een negatieve correlatie tussen de windsnelheid en het achtergrondgeluid waargenomen. Dit is waarschijnlijk het gevolg van een verhoogd propagatieverlies dat optreedt als de golven hoger worden, omdat er dan meer verstrooiing van geluid optreedt.

⁵ Ainslie e.a., 2012: "Source level" is a quantitative measure of the sound radiated by an underwater source in idealised conditions. The term can take on many different meanings. For example, the sound radiated by a monopole (point omnidirectional source) is characterised by the monopole source level (MSL, a property of point source that can be combined with propagation loss (PL) from point source propagation model to predict sound pressure level: $SPL = MSL - PL$). Also relevant is the dipole source level (DSL), the equivalent quantity for a point source combined with its surface reflected image. The DSL is especially relevant for surface ships because of the inseparable nature of these from the sea surface. At high frequency, DSL exceeds MSL by about 3 dB. At low frequency, MSL exceeds DSL by an amount that increases with decreasing frequency.



Figuur 4-2 Maximale 'dipool' bronniveau spectra van de verschillende activiteiten van baggerschepen tijdens de aanleg van Maasvlakte 2



Figuur 4-3 Geluidsdrumniveaus (SPL) per tertsband op een vast station in het gebied tussen de zandwinlocatie en de aanleglocatie van Maasvlakte 2 in 2008 (blauwe lijnen) en 2009 (rode lijnen). De 'dip' in de curves van 2009 bij 3 kHz is mogelijk het gevolg van de (nachtelijke) aanwezigheid van grote aantallen kleine vissen met een zwemblaas (zie De Jong e.a., 2010, par. 6.4.2)

4.3 Geluidskaarten

Als eerste stap bij het maken van geluidskaarten is het propagatiemodel AQUARIUS gevalideerd door de bijdrage van de bronniveaus aan het achtergrondgeluid via het model te berekenen en te vergelijken met het via SESAME gemeten achtergrondgeluid. Het model AQUARIUS blijkt gemeten geluidsspectra redelijk goed te voorspellen, maar vertoont een systematische onderschatting van gemeten waarden bij lagere frequenties dan 500 Hz en een overschatting van de waarden bij frequenties tussen 700 Hz en 30 kHz. Omdat de meeste geluidsenergie in de lagere frequenties zit, kan hierdoor het totale, breedband geluidsdruk niveau met zo'n 6,6 dB worden onderschat. Met het verhogen van de in het model gebruikte sediment-geluidssnelheid van 1760 m/s (gemiddeld grof zand) naar 1960 m/s (grof zand) kon deze discrepantie worden gereduceerd tot 3,5 dB (vergelijk figuren 8 en 9 in TNO-rapport van Ainslie e.a., 2012).

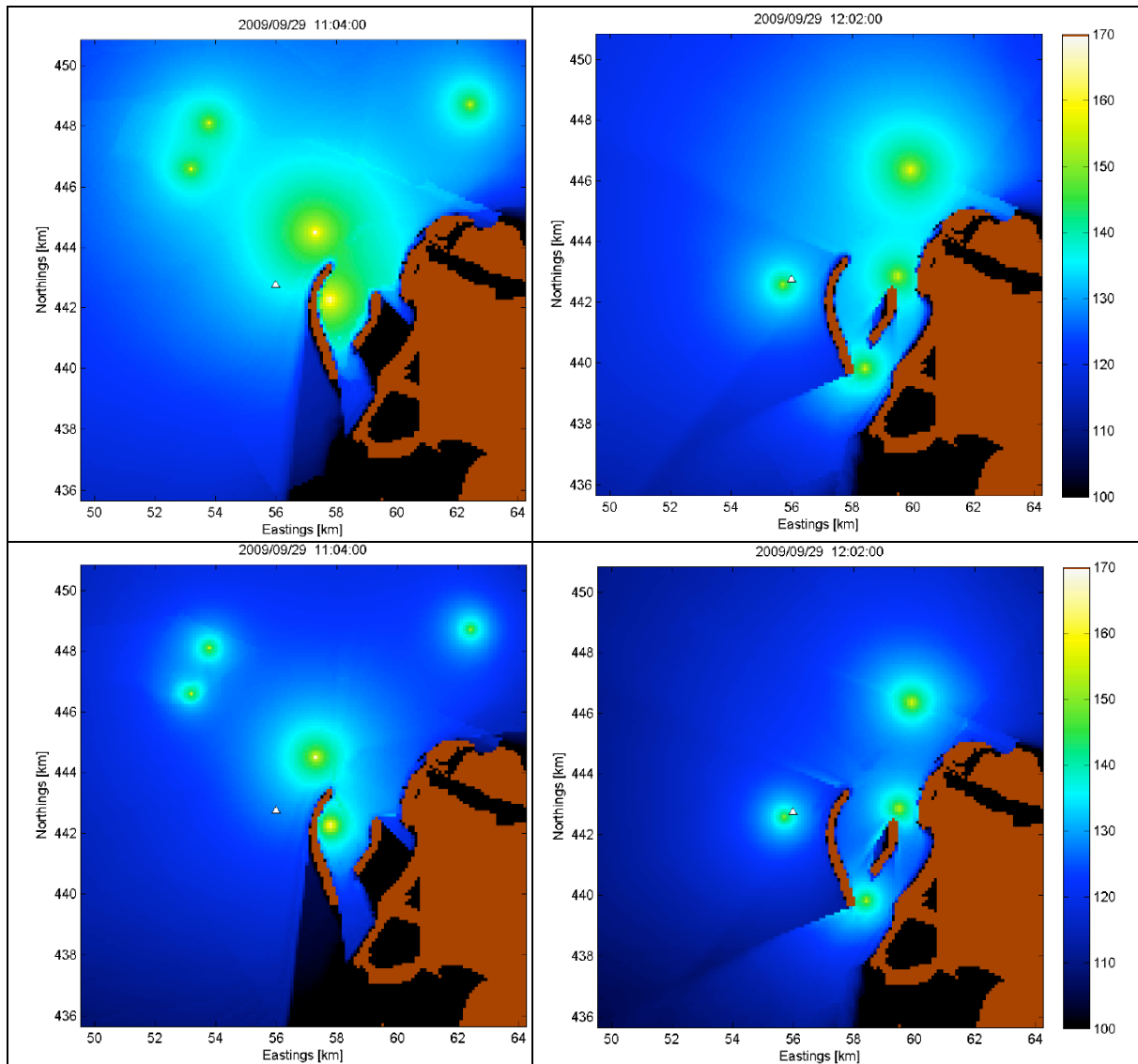
Het gevalideerde AQUARIUS model is gebruikt om voor twee momenten in de tijd op 29 september 2009 geluidskaarten te maken. Voor elk van de twee momenten is een kaart voor een diepte van 1 m van de zeebodem gemaakt en een voor een diepte van 1 m vanaf het wateroppervlak. Tabel 4-1 bevat een overzicht van de in het model gebruikte invoergegevens. De resultaten van de berekeningen, in de vorm van 4 kaarten zijn weergegeven in Figuur 4-4.

Tabel 4-1 Invoergegevens voor berekeningen geluidskaarten

Parameter	waarde
Snelheid van het geluid door de bodem	1960 m/s*
Windsnelheid	0 m/s*
Bronniveau	gekozen op basis van de beste overeenkomst met activiteit en snelheid (AIS gegevens)
Diepte	1 m van de zeebodem, representatief voor dieren die zich ergens in de waterkolom bevinden, met uitzondering van de bovenste meters (afhankelijk van de frequentie) 1 m van het wateroppervlak, representatief voor dieren die dichtbij het wateroppervlak zwemmen
Tijdstip	29 september 2009 11.04 (baggerschip 1 op kortste afstand van SESAME)** 29 september 2009 12.02 (baggerschip 7 op kortste afstand van SESAME)**

* Deze parameters zijn zodanig gekozen dat er sprake is van relatief goede propagatie van het geluid, wat leidt tot 'worst case' effectafstanden. Bij windsnelheden van meer dan ca. 4 m/s en lagere sedimentsnelheden komt het geluid als gevolg van verstrooiing en absorptie minder ver.

** Figuren met bronniveaus van de bemeeten baggerschepen tijdens het uitvoeren van verschillende onderdelen van de baggercyclus zijn opgenomen in Bijlage 1 bij dit rapport.



Figuur 4-4 Geluidskaat voor baggerschip 1 op kortste afstand van het vaste meetstation SESAME (geluidsbron ten noorden van banaanvormige zandopspuiting in linkerpanelen) en voor baggerschip 7 op kortste afstand van SESAME (geluidsbron vlakbij SESAME in rechterpanelen) op 1 m van de bodem (bovenste panelen) en 1 m van het wateroppervlak (onderste panelen). In de rechterpanelen is baggerschip 1 aan het werk bij de zuidpunt van de 'banaan'. De kleuren geven het verloop van het breedband geluidsdrumniveau (dB re 1 μPa^2) weer. Met het witte driehoekje is de locatie van SESAME aangegeven.

De in Figuur 4-4 weergegeven kaarten geven voor een tweetal momenten in de tijd de geluidsverspreiding onder water weer als gevolg van activiteiten van baggerschepen in het Maasvlakte 2 gebied. Het gebied beslaat een oppervlakte van ongeveer 15 km x 15 km. Achtergrondgeluid, bijvoorbeeld als gevolg van wind en golven of van andere scheepvaart en havenactiviteiten zijn in de berekeningen voor deze kaarten niet meegenomen. De gele cirkels laten zien waar de verschillende baggerschepen zich bevinden. De uitstraling van het geluid wordt weergegeven in cirkels, omdat de schepen in feite als een puntbron zijn beschouwd. De resulterende contouren met een gelijk geluidsniveau kunnen worden beschouwd als een 'worst case', omdat is gerekend met een windsnelheid van 0 m/s en een, bij grof zand behorende snelheid van het geluid door de bodem.

Van de totale periode van een kwartier vóór het langs SESAME varen van baggerschip 1 tot een kwartier na het langs varen van baggerschip 7 is voor een diepte van 1 m boven de zeebodem een filmpje gemaakt dat op de bij het TNO-rapport (Ainslie e.a., 2012) gevoegde DVD staat. Op de DVD staan ook filmpjes waarin voor de twee dieptes te zien is wat de variaties in het geluidslandschap onder water rond Maasvlakte 2 op 29 september 2009 (0.00 to 24.00) zijn geweest en hoe deze er uit zouden hebben gezien zonder aanwezigheid van baggerschepen. Ook zijn filmpjes gemaakt voor het (theoretische) geval dat alleen baggerschepen aan het werk zijn en er geen andere scheepvaart aanwezig is. De in Figuur 4-4 getoonde geluidskaarten vormen momentopnamen uit deze filmpjes.

4.4 Invloed van baggerwerkzaamheden op vissen en zeezoogdieren

4.4.1 Relatie tussen afstand t.o.v. baggerschip en geluidsdosis (SEL)

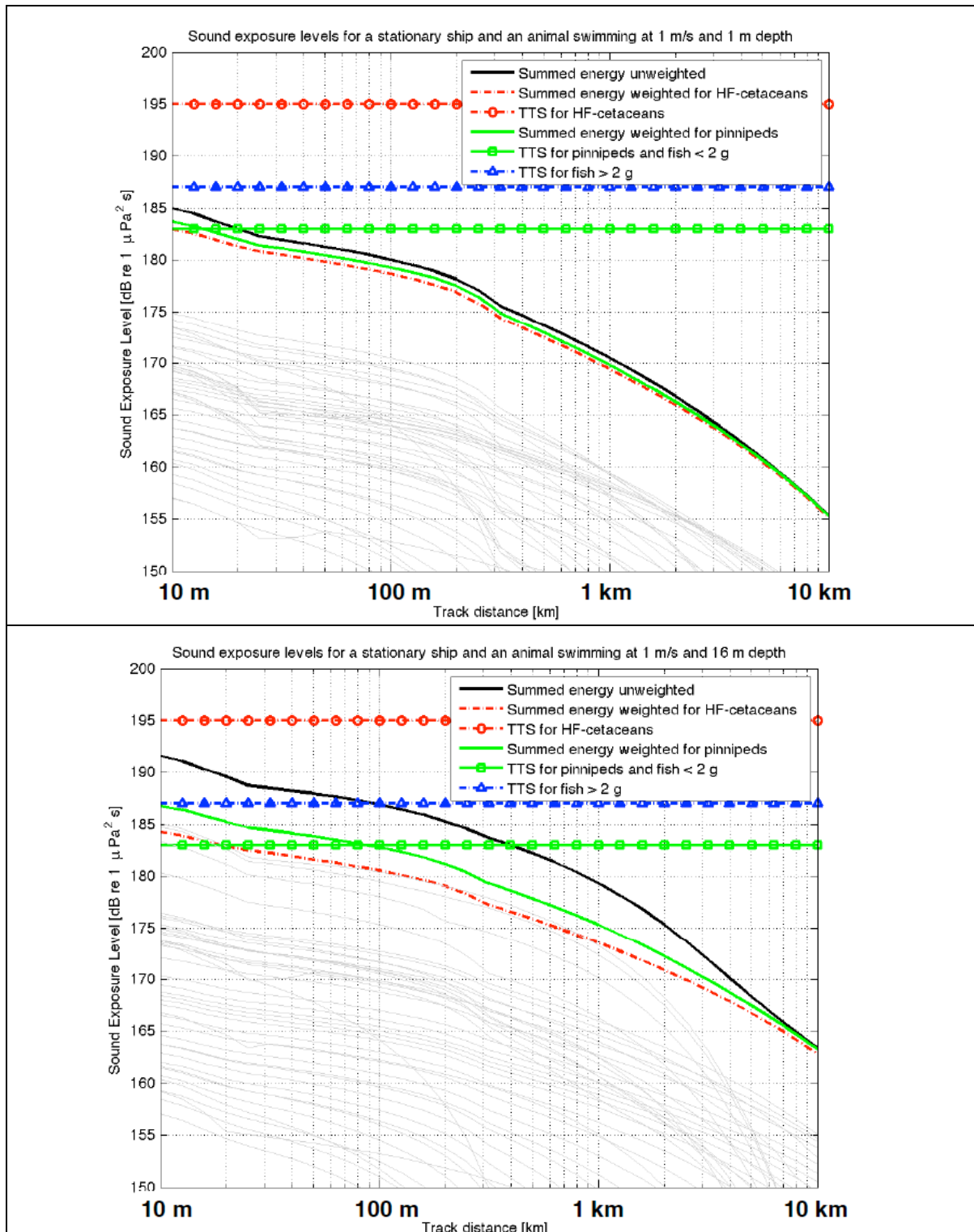
Met het model AQUARIUS is berekend aan welke dosis onderwatergeluid vissen, bruinvissen en zeehonden zijn blootgesteld die op verschillende dieptes met een snelheid van 1 m/s in een rechte lijn langs een stilliggend, zandzuigend baggerschip zwemmen. Bij de berekeningen zijn de volgende 'worst case' uitgangspunten gehanteerd:

- Een totale blootstellingsduur van 24 uur; in werkelijkheid zal het gehoor van het dier in deze 24 uur in elk geval voor een deel herstellen, het is echter niet bekend bij welk niveau dit gebeurt;
- Er is gebruik gemaakt van het hoogste bronniveau dat in de studie is gevonden, namelijk dat van baggerschip 1 dat met hoge snelheid tussen winlocatie en aanleglocatie vaart; er is van uitgegaan dat dit ook het maximale bronniveau is tijdens zand zuigen;
- Minimaal propagatieverlies bij hogere frequenties (windsnelheid 0 m/s en snelheid van het geluid door de bodem van 1960 m/s).

De resultaten van de berekeningen zijn voor een diepte van 1 m en 16 m weergegeven in Figuur 4-5 en Tabel 4-2. Voor bruinvissen wordt de TTS grenswaarden op geen enkele afstand van het baggerschip overschreden. Zeehonden zouden TTS kunnen oplopen als zij gedurende 24 uur op een diepte van 16 m op afstanden van 90 m of minder langs het schip zwemmen. Voor vissen bedragen de afstanden 100 m of minder voor grotere vissen (> 2 g) en 400 m of minder voor kleine vissen (< 2 g). Voor dieren die dicht bij het wateroppervlak zwemmen zijn de afstanden kleiner en bedragen 15 m voor zeehonden en 20 m voor kleinere vissen (zie Figuur 4-5, boven). Voor op deze diepte zwemmende bruinvissen en grotere vissen worden de grenswaarden niet overschreden.

Tabel 4-2 Afstand t.o.v. baggerschip waarop TTS grenswaarde (zie Tabel 3-1) voor bruinvissen, zeehonden en vissen wordt overschreden op een diepte van 16 m (worst case). In alle gevallen beweegt het dier met een snelheid van 1 m/s t.o.v. het baggerschip. Totale blootstellingduur 24 uur.

Grenswaarde TTS	Bruinvis 195 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	Zeehond 183 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	Vis > 2 g 187 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	Vis < 2 g 183 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$
afstand tov baggerschip	n.v.t.	90 m	100 m	400 m



Figuur 4-5 Relatie tussen afstand t.o.v. baggerschip en geluidsblootstellingsniveau (SEL) in dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$ van een zwemmend dier met een relatieve snelheid t.o.v. het schip van 1 m/s op een diepte van 1 m (boven) en 16 m (onder).

4.4.2 Ontvangen geluidsdosis (SEL) door stilliggende en zwemmende dieren

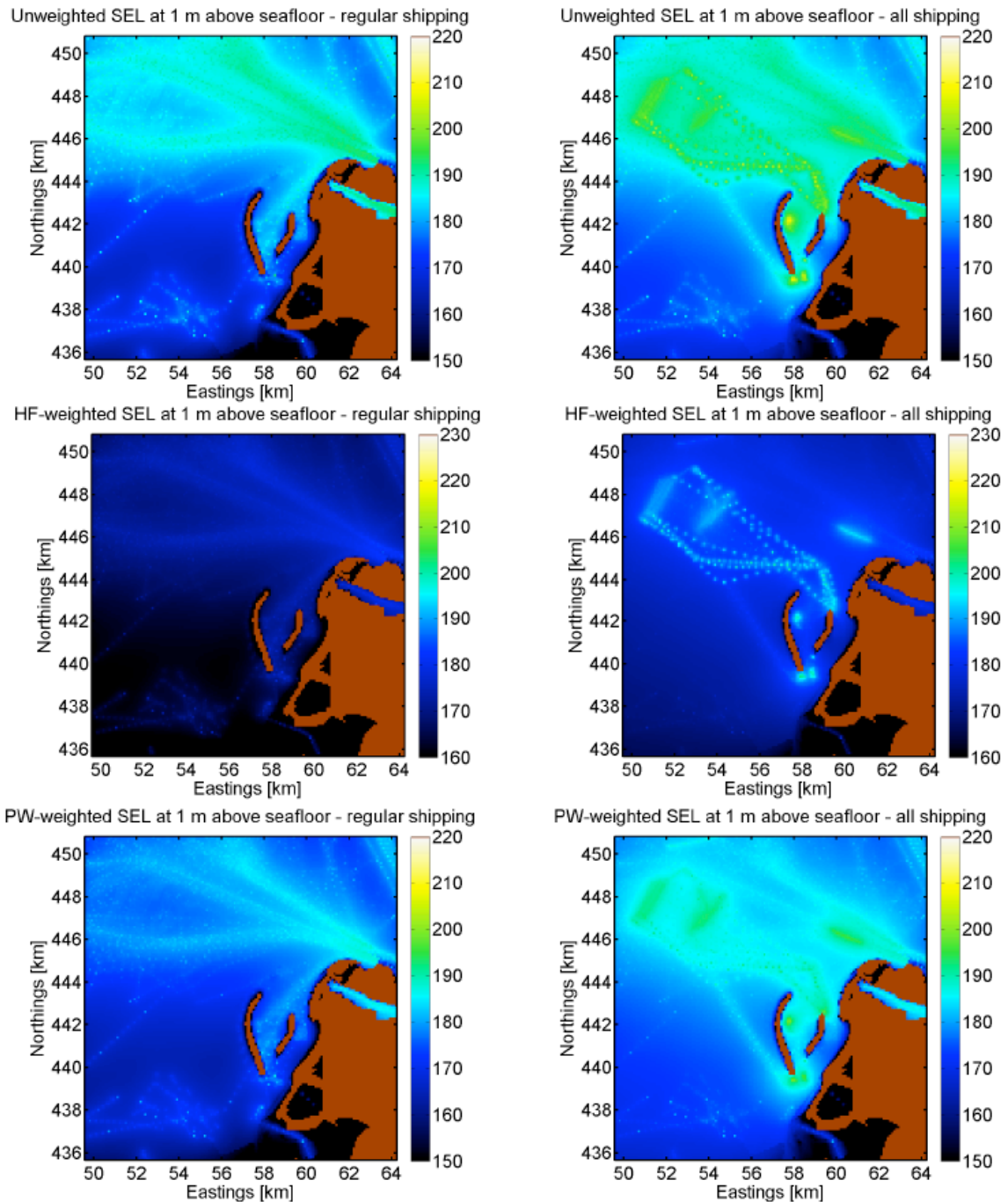
De in paragraaf 4.3 gepresenteerde geluidkaarten en bijbehorende films geven een goed en representatief beeld van de veranderingen in het 'geluidlandschap' ten tijde van de aanleg van Maasvlakte 2. Uit deze kaarten is echter niet goed af te leiden aan welke geluidsdosis dieren blootstaan, of zij nu op één plaats verblijven of door het gebied zwemmen. De resultaten van de berekeningen die in paragraaf 4.4.1 zijn gepresenteerd geven weliswaar een indruk van de afstand ten opzichte van een baggerschip waarbinnen dieren TTS kunnen oplopen, maar daaruit is nog niet af te leiden hoe groot de kans is dat dat ook werkelijk gebeurt. De werkelijke blootstelling hangt niet alleen af van de positie van het dier ten opzichte van de bron en de propagatieomstandigheden, maar ook van het gedrag van het dier.

Naar het gehoorgevoeligheid van de dieren gewogen kaarten geven een indruk van de totale hoeveelheid geluid waaraan een dier is blootgesteld dat zich gedurende 24 uur op een bepaald punt in het onderzoeksgebied bevindt (niet-zwemmend dier). Er zijn kaarten van de 24-uurs cumulatieve blootstelling (SEL₂₄) gemaakt voor de volgende situaties (in totaal 18 kaarten):

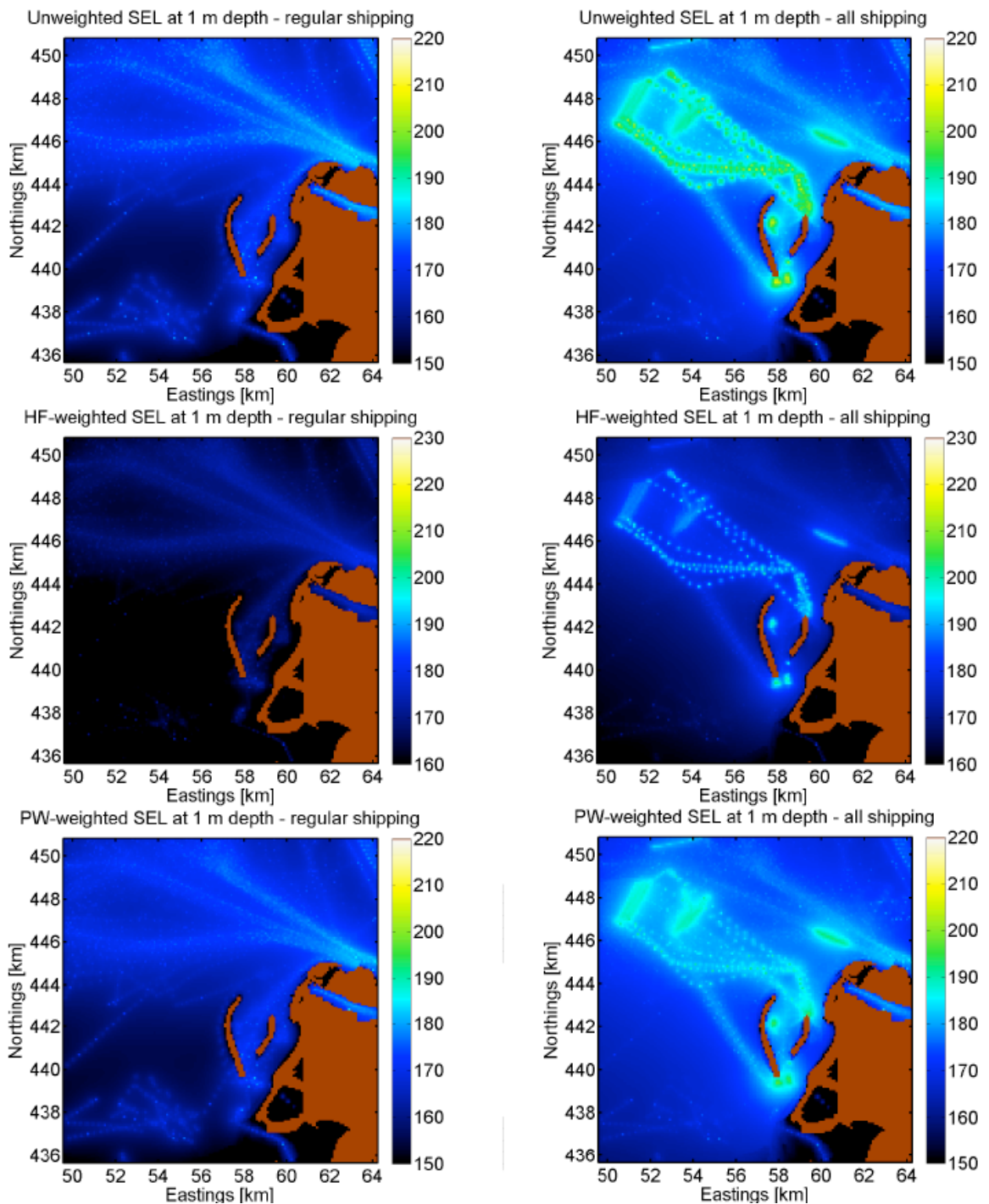
- Reguliere scheepvaart, reguliere scheepvaart + baggerschepen, alleen baggerschepen (3 mogelijkheden);
- Diepte 1 m van het wateroppervlak en diepte 1 m boven de zeebodem (2 mogelijkheden);
- Ongewogen geluidsniveaus (vissen), M-weging voor 'high frequency cetaceans' w.o. de bruinvis (M_{hf}) en M-weging voor 'pinnipeds in water' (vinpotigen w.o. zeehonden, M_{pw}) (3 mogelijkheden).

De invloed van de bagger- en stortwerkzaamheden op het door de verschillende diersoort(groep)en ervaren geluidlandschap, als zij gedurende 24 uur op één plaats zouden blijven, is af te lezen door in Figuur 4-6 en Figuur 4-7 de 3 linkerpanelen (reguliere scheepvaart) met de 3 rechterpanelen te vergelijken (reguliere scheepvaart + baggerschepen). Figuur 4-6 geeft de situatie op 1 m boven de zeebodem weer en Figuur 4-7 die op 1 m onder het wateroppervlak. Voor de 6 corresponderende kaarten waarin alleen het effect van de baggerschepen is opgenomen wordt verwezen naar bijlage A van het TNO-rapport (Ainslie e.a., 2012).

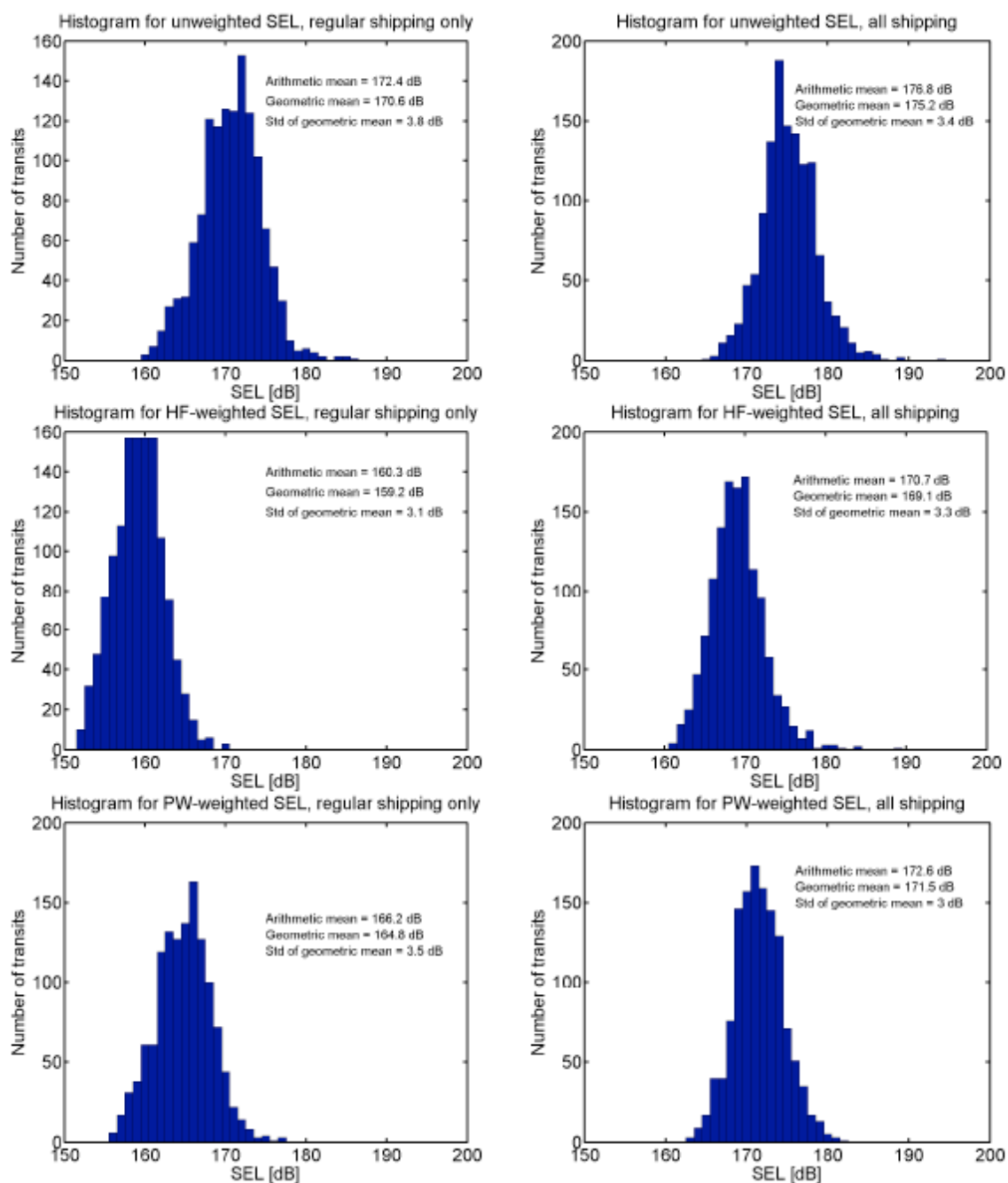
Uitgaande van de in Tabel 3-1 weergegeven grenswaarden waarbij vissen, bruinvissen en zeehonden TTS kunnen oplopen kan binnen het onderzochte gebied van 15 km x 15 km een oppervlakte worden berekend waar deze grenswaarden worden overschreden. Zonder de bijdrage van baggerschepen bedraagt deze op 1 m van de zeebodem (worst case) voor kleine vissen 68 km² en voor grotere vissen 23 km² (respectievelijk 30% en 10% van het onderzoeksgebied van 225 km²). In aanwezigheid van de baggerschepen is dit respectievelijk 97 km² en 72 km² (= 43% en 32% van onderzoeksgebied). Voor zeehonden en bruinvissen gaat het op 1 m van de zeebodem om oppervlakten van respectievelijk 10 km² en 0,0 km² als er alleen reguliere scheepvaart aanwezig is en om oppervlakten van 72 km² (zeehond) en 0,5 km² (bruinvis) inclusief de bijdrage van baggerschepen (respectievelijk 32% en 0,2% van onderzoeksgebied). Voor dieren die zich dicht bij het wateroppervlak bevinden zijn deze oppervlakten veel kleiner.



Figuur 4-6 Geluidskarten als gevolg van reguliere scheepvaart (links) en reguliere scheepvaart + baggerschepen (rechts) op een diepte van 1 m bodem de zeebodem. Weergegeven is het breedband geluidsblootstellingniveau (dB re 1 μ Pa²s) gecumuleerd over een periode van 24 uur, respectievelijk niet gewogen (boven, representatief voor vissen), M-gewogen voor 'high frequency cetaceans' (midden, representatief voor bruinvis) en M-gewogen voor 'pinnipeds in water' (onder, representatief voor zeehonden).



Figuur 4-7 Geluidskarten als gevolg van reguliere scheepvaart (links) en reguliere scheepvaart + baggerschepen (rechts) op een diepte van 1 m onder het wateroppervlak. Weergegeven is het breedband geluidsblootstellingniveau (dB re 1 μPa²s) gecumuleerd over een periode van 24 uur, respectievelijk niet gewogen (boven, representatief voor vissen), M-gewogen voor 'high frequency cetaceans' (midden, representatief voor bruinvis) en M-gewogen voor 'pinnipeds in water' (onder, representatief voor zeehonden).



Figuur 4-8 Frequentieverdeling van geluidsdosis (SEL) waaraan dieren die op 1 m van de zeebodem, langs een noord-zuidtraject in het Maasvlakte 2 gebied zwemmen blootstaan, met reguliere scheepvaart (links) en reguliere scheepvaart inclusief baggerschepen (rechts). Wegingen: ongewogen (boven), M_{HF} (midden, relevant voor bruinvissen) en H_{PW} (relevant voor zeehonden).

Omdat mariene organismen altijd in beweging zijn, is ook berekend welke geluidsdosis bruinvissen en zeehonden⁶ ontvangen die in rechte lijnen in noord-zuidrichting door het gebied zwemmen. Hierbij is aangenomen dat steeds 15 dieren om de 15 minuten op een, tussen km 50 en km 57 gelegen lijn aan de zuidrand van het gebied van 15 km x 15 km, op 500 m van elkaar gelegen punten starten en met een snelheid van 6 km/h noordwaarts zwemmen. Er is voor rechte lijnen gekozen, omdat alle dieren dan een even grote afstand afleggen. De starttijd van de eerste 15 dieren werd gezet op 29 september 2009 om 0.00 uur, waarna tot aan het eind van het etmaal elke 15 minuten een nieuwe set van 15 dieren startte (29 september 2009, 24.00 uur). Voor alle 1440 (24x4x15) overtochten is de totale geluidsdosis berekend waaraan het dier gedurende de 2,5 uur durende overtocht is blootgesteld.

In Figuur 4-8 zijn voor de drie, eerder toegepaste frequentiewegingen histogrammen weergegeven van de rekenresultaten voor alle 1440 overtochten. Er is ook berekend aan welke geluidsdosis dieren gemiddeld zouden kunnen blootstaan die gedurende 24 uur in het Maasvlakte 2 gebied (zwemmend) verblijven. Hiervoor is bij het gemiddelde van de enkele overtochten 9,8 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$ opgeteld. Dit is de geluidsdosis waaraan een dier is blootgesteld dat in 24 uur, achter elkaar, zonder pauze het zuid-noord traject van 15 km aflegt ($10\log_{10}(6 \text{ km/h} \times 24 \text{ h} / 15 \text{ km}) = 9,8$). Tabel 4-3 bevat een overzicht van de resultaten van de berekeningen. Vergelijking van de kolommen 4 en 5 met laat zien dat de TTS-grenswaarden bij zwemmende bruinvissen en zeehonden niet worden overschreden. In feite ondervinden minder dan 0,1% van de zeehonden en nog minder bruinvissen een blootstelling waarbij de TTS-grenswaarde wordt overschreden.

Tabel 4-3 Berekende SEL-waarden voor zuid-noord overtochten (zweemsnelheid = 6 km/h). S = reguliere scheepvaart; S + D = reguliere scheepvaart + baggerschepen

scheepvaart	weging	grenswaarde uit Tabel 3-1 SEL _{TTS} : dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	gemiddelde (enkele overtocht) SEL: dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	24 uur blootstelling (meerdere overtochten) SEL + 9,8: dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$
S	geen	n.v.t.	172,4	182,2
S + D	geen	n.v.t.	176,8	186,6
S	M_{hf} (bruinvis)	195	160,3	170,1
S + D	M_{hf} (bruinvis)	195	170,7	180,5
S	M_{pw} (zeehond)	183	166,2	176,0
S + D	M_{pw} (zeehond)	183	172,6	182,4

⁶ Deze berekeningen zijn niet uitgevoerd voor vissen. Zij zullen in het algemeen echter langzamer zwemmen dan bruinvissen en zeehonden. Voor schattingen van effecten op vissen kan 'worst case' worden uitgegaan van de resultaten van de berekeningen voor stilliggende dieren (Figuur 4-6, Figuur 4-7 en begeleidende tekst).

5 Conclusies onderzoek TNO

5.1 Metingen 2008 en 2009

- Voorafgaand aan de aanleg van Maasvlakte 2 werd het achtergrondgeluid gekenmerkt door tertsband geluidsdrukniveaus (SPL) van 114 ± 6 , 105 ± 6 en 90 ± 6 dB 1 re μPa^2 bij frequenties van respectievelijk 100 Hz, 1 kHz en 10 kHz. Corresponderende gemiddelde spectrumniveaus lagen respectievelijk bij 100 ± 6 , 82 ± 6 en 57 ± 6 dB 1 re $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$.
- In het gebied rond de (toekomstige) Maasvlakte 2 wordt het achtergrondgeluid in vrijwel het hele gemeten frequentiegebied tot 40 kHz gedomineerd door onderwatergeluid als gevolg van scheepvaart. Bij weinig scheepvaart en frequenties van meer dan 10 kHz is de wind de belangrijkste bepalende factor.
- Geluidsdrukniveaus van het in 2009 gemeten achtergrondgeluid waren in het algemeen iets hoger dan tijdens de metingen van 2008 en vertoonden een sterke correlatie met de afstand van (langsvarende) baggerschepen tot het meetstation SESAME.
- Een nieuwe methode is ontwikkeld om meetgegevens te analyseren en de verschillende activiteiten van de baggerschepen te karakteriseren.
- Baggerschepen die heen en weer voeren tussen de zandwinlocatie en de aanleglocatie produceerden het meeste geluid, gevolgd door schepen die aan het zand zuigen waren. Tijdens het walpersen en rainbowen waren bronniveaus in het frequentiegebied tussen 500 Hz en 10 kHz vergelijkbaar met die van zand zuigende schepen, maar bij lagere en hogere frequenties beduidend lager. Het minste geluid werd geproduceerd tijdens het klappen van zand.
- Aangenomen kan worden dat het door baggerschepen gegenereerde onderwatergeluid vooral het gevolg is van de cavitatie van de hoofdschroef en de boegschroeven.

5.2 Validatie van propagatiemodel AQUARIUS

Gemeten geluidsdrukniveaus (SPL) zijn vergeleken met door het model AQUARIUS voorspelde waarden. Dit is voor twee verschillende baggerschepen gedaan die respectievelijk op een afstand van 330 en 2250 m langs het vaste meetstation SESAME voeren. Het model AQUARIUS kan gemeten geluidsspectra redelijk goed voorspellen, maar vertoont een systematische onderschatting van gemeten waarden bij lagere frequenties dan 500 Hz en een overschatting van de waarden bij frequenties tussen 700 en 30 kHz. Het totale, breedband geluidsdrukniveau kan met zo'n 6,6 dB worden onderschat. Met het verhogen van de in het model gebruikte sediment-geluidssnelheid van 1760 m/s (gemiddeld grof zand) naar 1960 m/s (grof zand) kan deze discrepantie tot 3,5 dB worden gereduceerd. In de berekeningen voor het bepalen van mogelijke effecten op vissen en zeezoogdieren is uitgegaan van de hogere geluidssnelheid van 1960 m/s.

5.3 Invloed van baggergeluid op vissen en zeezoogdieren

- Mogelijke effecten op vissen en zeezoogdieren zijn ingeschat door voor stilliggende- en langs zand zuigende schepen zwemmende dieren de over 24 uur opgelopen geluidsdosis te vergelijken met

grenswaarden voor effecten op vissen en zeezoogdieren uit de literatuur. Hierbij is voor zeezoogdieren uitgegaan van grenswaarden voor TTS (= tijdelijke verhoging van de gehoordrempel) uit Southall e.a. (2007) en voor de vissen van de door de FHVG gepubliceerde waarden (Oestman e.a., 2009). Ten tijde van het opstellen van het MER en de PB waren deze grenswaarden nog niet beschikbaar. Er is toen voor de relevante diersoorten uitgegaan van een door Nedwell e.a. (2003) gepostuleerde grenswaarde voor gedragsbeïnvloeding van 75 dB boven de gehoordrempel.

- De berekeningen voor dieren die gedurende 24 uur op 1 m van de zeebodem verblijven – wat voor zeezoogdieren vanwege het feit dat ze moeten ademen eigenlijk niet realistisch is – leiden tot de volgende resultaten:
 - Voor vissen neemt de oppervlakte van het beïnvloedingsgebied van 23 km² naar 72 km² toe als gevolg van de aanwezigheid van baggeractiviteiten; voor kleinere vissen gaat het om oppervlakten van respectievelijk 68 km² en 97 km² voor reguliere scheepvaart en scheepvaart inclusief baggeractiviteiten.
 - Het gebied waarbinnen zeehonden TTS kunnen oplopen bedraagt 10 km² bij reguliere scheepvaart en 72 km² als ook baggeractiviteiten aanwezig zijn.
 - Voor bruinvissen is dit respectievelijk 0,0 en 0,5 km².

De oppervlakten zijn aanzienlijk kleiner voor dieren die dicht bij het wateroppervlak verblijven. De drempelwaarde voor een permanente beïnvloeding van het gehoor (PTS = permanent threshold shift) wordt in geen van de gevallen en voor geen van de betrokken diersoorten overschreden.

- Zeehonden die bij de zeebodem met een snelheid van 1 m/s, ofwel 3,6 km/h (eenmalig) langs een stilliggend, zand zuigend baggerschip zwemmen kunnen alleen TTS ondervinden als zij dat 1 m boven de bodem zwemmend op een afstand van 90 m of minder doen; als zij 1 m onder het wateroppervlak zwemmen bedraagt deze afstand ongeveer 11 m. Bruinvissen lopen in geen van de gevallen TTS op. Voor vissen zijn de effectafstanden op 1 m van de zeebodem groter, namelijk 100 m voor vissen van meer dan 2 g en 400 m voor kleinere vissen. Voor vissen die dicht bij het wateroppervlak, i.e. op een waterdiepte van 4 m zwemmen, bedragen de afstanden respectievelijk 20 en 110 m.

De drempelwaarde voor een permanente beïnvloeding van het gehoor (PTS = permanent threshold shift) wordt in geen van de gevallen en voor geen van de betrokken diersoorten overschreden.

- Bruinvissen en zeehonden die gedurende 24 uur met een realistische snelheid van 6 km/h op 1 m van de zeebodem⁷ herhaaldelijk in het gebied heen en weer zwemmen, lopen geen TTS op, ook niet in aanwezigheid van een, voor de aanleg van Maasvlakte 2 representatieve aanwezigheid van baggeractiviteiten.

5.4 Leemten in kennis

Een belangrijke leemte in kennis betreft de zeer beperkte beschikbaarheid van gegevens over niveaus waarbij gedragsbeïnvloeding optreedt (deze zijn vrijwel afwezig) en gegevens over andere, tijdelijke of permanente effecten op het gehoor. Dit is de belangrijkste reden dat in het onderzoek als primaire effectindicator is gekozen voor het niveau waarbij een tijdelijke verhoging van de gehoordrempel optreedt (TTS). Hiervan zijn wel gegevens beschikbaar, zij het nog relatief beperkt. Er zijn namelijk nog geen effectmetingen gedaan waarbij dieren zijn blootgesteld aan continue geluiden die het meest relevant zijn voor het door schepen gegenereerde onderwatergeluid, te weten breedband geluid met

⁷ Dit is een niet realistische 'worst case'. Bruinvissen en zeehonden kunnen niet 24 uur achter elkaar zonder ademen onder water blijven.

veel energie bij de relatief lage frequenties. Dit betekent dat, ondanks dat in de loop van het onderzoek van TNO nieuwe resultaten van experimenteel onderzoek aan o.a. bruinvissen beschikbaar kwamen, deze niet konden worden gebruikt omdat zij betrekking hadden op pulsgeluid (Lucke e.a., 2009) of op andere, hogere frequenties dan de frequenties die in relatie tot scheepvaartgeluid relevant zijn (Kastelein e.a., 2012).

Een andere leemte in kennis betreft het ontbreken van gegevens over de tijd waarbinnen en de omstandigheden waaronder herstel van TTS optreedt. Dit kan belangrijke implicaties hebben voor het bepalen van effecten op dieren die door een gebied met verschillende, al dan niet mobiele geluidsbronnen zwemmen en de totale tijdsduur waarover het geluid moet worden gecumuleerd (in de TNO studie was dat 24 uur).

6 Evaluatie

6.1 Vergunningvoorschrift (art. 3, lid 6 sub C, punt 7)

Het voorschrift in de Ontgrondingenvergunning voor de aanleg van Maasvlakte 2 verplichtte het HbR tot het uitvoeren van 'geluidsmetingen om de daadwerkelijke geluidsproductie van zandwinning, zandtransport en het aanbrengen van het zand te bepalen'. Dit voorschrift is in het, door de bevoegde gezagen goedgekeurde Monitoringsplan Aanleg Maasvlakte 2 vertaald als 'het meten van bronsterkten van een sleeppopperzuiger met behulp van een meetboot op locatie tijdens het zandzuigen, varen naar het stort, klappen van zand, rainbowen, en walpersen van zand uit de beun van het schip'.

Door middel van het opleveren van het rapport over de nulmetingen en het datarapport met de resultaten van de metingen van achtergrondgeluid en geluid als gevolg van de baggeractiviteiten van TNO, is invulling gegeven aan het vergunningvoorschrift (Dreschler e.a., 2009; De Jong e.a., 2010). De rapporten geven een compleet beeld van de variatie in de bronniveaus als gevolg van de verschillende onderdelen van de baggercyclus (zie ook intermezzo Representativiteit metingen in paragraaf 3.2.1).

Bij het laatste, door TNO in november 2012 opgeleverde rapport is bovendien een DVD gevoegd met een serie van 24-uurs animatiefilmpjes (18 stuks) voor een, voor de activiteiten van de baggerschepen representatieve dag (29 september 2009). Hierin is voor drie situaties en 2 dieptes te zien hoe het geluidlandschap onder water in die 24 uur varieert:

- Alleen baggeractiviteiten;
- Baggeractiviteiten en reguliere scheepvaart;
- Alleen reguliere scheepvaart.

De achtergronden voor de berekeningen die aan de animatiefilmpjes ten grondslag liggen, zijn beschreven in het genoemde TNO-rapport (Ainslie e.a., 2012).

6.2 Monitoringsplan Aanleg Maasvlakte 2 (factsheet Z5)

6.2.1 Geluidscontouren

In het Monitoringsplan Aanleg Maasvlakte 2 is beschreven dat door het uitvoeren van metingen van onderwatergeluid in het veld zal worden bepaald wat de bronsterkten van een sleeppopperzuiger zijn tijdens het zandzuigen, varen naar het stort, klappen van zand, rainbowen, en walpersen van zand uit de beun van het schip. Op basis van de aldus bepaalde bronsterkten (van karakteristieke zuigers) zijn voor de omgeving van het werk met een numeriek model geluidscontouren, gewogen naar de gehoorfrequenties van de zeezoogdieren (bruinvis en zeehond) uitgerekend.

Op vergelijkbare wijze als de animatiefilmpjes voor ongewogen geluid (zie paragraaf 6.1) zijn ook filmpjes gemaakt waarin het geluid is gewogen voor de specifieke gehoorgevoeligheid van bruinvissen en zeehonden. Hierbij is gebruik gemaakt van de door Southall e.a. (2007) voorgestelde M-weging. Voor vissen zijn de geluiden niet gewogen, omdat vissen juist gevoelig zijn voor laag frequent geluid, zoals dat door schepen wordt geproduceerd. De in de animatiefilmpjes weergegeven contouren van breedband geluidsdrukniveau (SPL in dB re $1 \mu\text{Pa}^2$) geven een goed beeld van de ruimtelijke en temporele variaties in het geluidlandschap zoals dat door de drie verschillende soort(groep)en zou

kunnen worden ervaren. In zoverre is daarmee invulling gegeven aan de in factsheet Z5 van het Monitoringsplan Aanleg Maasvlakte 2 opgenomen meetstrategie. Vanwege het mobiele karakter van de geluidsbronnen (de schepen) is uit de filmpjes echter niet af te leiden wat de omvang van eventuele effecten is en hoe deze zich tot de effectvoorspellingen in het MER en de PB verhouden.

6.2.2 Vergelijking met voorspelde effecten in MER en PB

Indertijd is in het MER en de PB op grond van – inmiddels achterhaalde – uitgangspunten geconcludeerd dat het gedrag van vissen en zeezoogdieren binnen enkele honderden meters van een baggerschip kunnen worden beïnvloed (zie paragraaf 2.1). In de studie van TNO zijn andere uitgangspunten, criteria en berekeningswijzen gehanteerd. In relatie tot de beoordeling van effecten op dieren is de belangrijkste daarvan dat eventuele effecten zijn afgemeten aan een gecumuleerde geluidsdosis waarbij een tijdelijke verhoging van de gehoordrempel kan optreden (TTS-onset). Er is voor dit fysiologisch criterium gekozen, vanwege het ontbreken van relevante grenswaarden voor gedragsbeïnvloeding. Er zijn echter aanwijzingen dat bij geluidsniveaus die onder de TTS-drempel liggen geen gedragsveranderingen bij bepaalde soorten zeezoogdieren, waaronder de zeehond, optreden (Southall e.a., 2007). Om een indruk te krijgen van effectcontouren is berekend in hoeverre vissen, zeehonden en bruinvissen die met een relatief geringe snelheid van 1 m/s langs een stilliggend, zand zuigend baggerschip zwemmen TTS (of PTS) zouden kunnen oplopen.

Voor de onderzochte zeezoogdieren blijkt op grond van de Southall-criteria, dat:

- Bij bruinvissen de grenswaarden voor PTS of TTS niet worden overschreden;
- Bij zeehonden
 - de grenswaarde voor PTS niet wordt overschreden,
 - die op 1 m onder het wateroppervlak zwemmen de grenswaarde voor TTS op een afstand van 15 m of minder t.o.v. het baggerschip wordt overschreden,
 - die op 1 m boven de zeebodem zwemmen de grenswaarde voor TTS op een afstand van 90 m of minder t.o.v. het baggerschip wordt overschreden.

De in dit onderzoek berekende effectcontouren zijn voor bruinvissen en zeehonden dus lager dan de ‘enkele honderden meters’ waarvan in het MER en de PB sprake was.

Voor vissen zijn op grond van de FHWG-criteria voor effecten van heigeluid de volgende contouren berekend:

- Voor vissen van meer dan 2 g, die op 1 m boven de zeebodem zwemmen wordt het criterium op een afstand van 100 m of minder t.o.v. het baggerschip overschreden; voor kleinere vissen is het 400 m;
- Voor vissen van meer dan 2 g, die op 1 m onder het wateroppervlak zwemmen wordt het criterium niet overschreden; voor kleinere vissen wordt het criterium op een afstand van 20 m of minder t.o.v. het baggerschip overschreden.

Voor vissen kan worden geconcludeerd dat de in het onderzoek berekende maximale effectcontouren in dezelfde orde van grootte liggen als waarvan in het MER en de PB sprake was.

6.3 Evaluatievraag 9c MEP Aanleg Maasvlakte 2

In deze paragraaf wordt ingegaan op de vraag of en zo ja, in hoeverre de resultaten van het TNO-onderzoek een bijdrage kunnen leveren aan de beantwoording van evaluatievraag 9c uit het door de bevoegde gezagen opgestelde MEP-Aanleg: “In hoeverre wordt het gedrag van zeezoogdieren en vissen beïnvloed door het onderwatergeluid dat geproduceerd wordt als gevolg van de winning, het

transport en het storten van het zand, zodanig dat populaties van zeezoogdieren en vissen worden beïnvloed?” De doorvertaling van eventuele effecten van de toename van onderwatergeluid tijdens de aanleg van Maasvlakte 2 op het gedrag van zeezoogdieren en vissen en daarmee op populaties van deze dieren maakt geen deel uit van de voorziene en vastgelegde monitoring door HbR. Op grond van de resultaten van het onderzoek kunnen echter wel enkele conclusies worden getrokken die een bijdrage kunnen leveren aan het beantwoorden van de evaluatievraag.

6.3.1 Relevante onderzoeksresultaten voor het beantwoorden van de evaluatievraag

Om een indruk te krijgen van mogelijke, maximale effectafstanden is berekend waar binnen het beschouwde gebied van 15 km x 15 km grenswaarden voor TTS zouden worden overschreden als een dier daar gedurende 24 uur stil zou blijven liggen (en dus aan geluid zou blootstaan van langsvarende schepen). De berekeningen zijn uitgevoerd voor 2 dieptes en voor een scenario mét en zonder actieve baggerschepen. De kaarten waarin is te zien hoe dit voor vissen en zeezoogdieren uit zou pakken zijn gepresenteerd in Figuur 4-6 en Figuur 4-7. Vervolgens is de omvang van het gebied berekend waarbinnen de stilliggende dieren TTS zouden kunnen oplopen. Voor bruinvissen bleek dit een oppervlakte van minder dan 1 km² te beslaan. Voor zeehonden die gedurende 24 uur nabij de zeebodem verbleven ging het om oppervlakten van 10 km² voor de reguliere scheepvaart tot 72 km² (reguliere scheepvaart + baggerschepen). Voor dieren die 24 uur op één punt dichtbij het wateroppervlak verblijven, zijn de oppervlakten veel kleiner. Voor vissen is een grotere, maximale omvang van het beïnvloedingsgebied berekend (zie paragraaf 5.3).

In werkelijkheid liggen zeezoogdieren natuurlijk nooit gedurende langere tijd stil; zij zwemmen voortdurend om te foerageren en om van de ene locatie naar de andere te komen. Ook zullen zij meer tijd in de relatieve nabijheid van het wateroppervlak doorbrengen dan bij de bodem, aangezien zij geen zuurstof uit het water kunnen opnemen. Er zijn daarom berekeningen uitgevoerd waarbij zeehonden en bruinvissen gedurende 24 uur met een realistische snelheid van 6 km/h herhaaldelijk in noord-zuidlijnen in het gebied van 15 km bij 15 km zwemmen (dit zijn 9,6 overtochten in 24 uur). Als worst case (bij het wateroppervlak is het geluidsniveau lager) zijn alleen berekeningen uitgevoerd voor dieren die gedurende 24 uur op 1 m van de zeebodem zwemmen. Bij dit, niet helemaal realistische scenario lopen bruinvissen en zeehonden geen TTS op, ook niet in aanwezigheid van een, voor de aanleg van Maasvlakte 2 representatieve aanwezigheid van baggeractiviteiten.

6.3.2 Conclusie

In de evaluatievraag gaat het in eerste instantie om de vraag of vissen en zeezoogdieren in hun normale gedrag worden gestoord, omdat tijdens de aanleg van Maasvlakte 2 geluidsniveaus onder water te sterk toenemen. De vervolgvraag is dan of een eventuele beïnvloeding van het gedrag tot negatieve effecten op de populatie kan leiden.

In de voorgaande paragraaf is op grond van de resultaten van het onderzoek van TNO, aan de hand van de criteria van Southall e.a. (2007) aangetoond dat de baggerwerkzaamheden voor de aanleg van Maasvlakte 2 het gehoor van bruinvissen en zeehonden niet negatief beïnvloeden. Dit betekent dat deze soorten, ondanks dat zij de schepen wel kunnen horen, niet zouden worden gehinderd in het waarnemen van het omringende ‘geluidlandschap’. Als dat zo is, dan is het ook aannemelijk dat zij hun natuurlijke (foerageer)gedrag kunnen vertonen. Populatie-effecten zouden daarmee kunnen worden uitgesloten. Voor vissen zijn de, op grond van de gehanteerde criteria berekende effectafstanden groter.

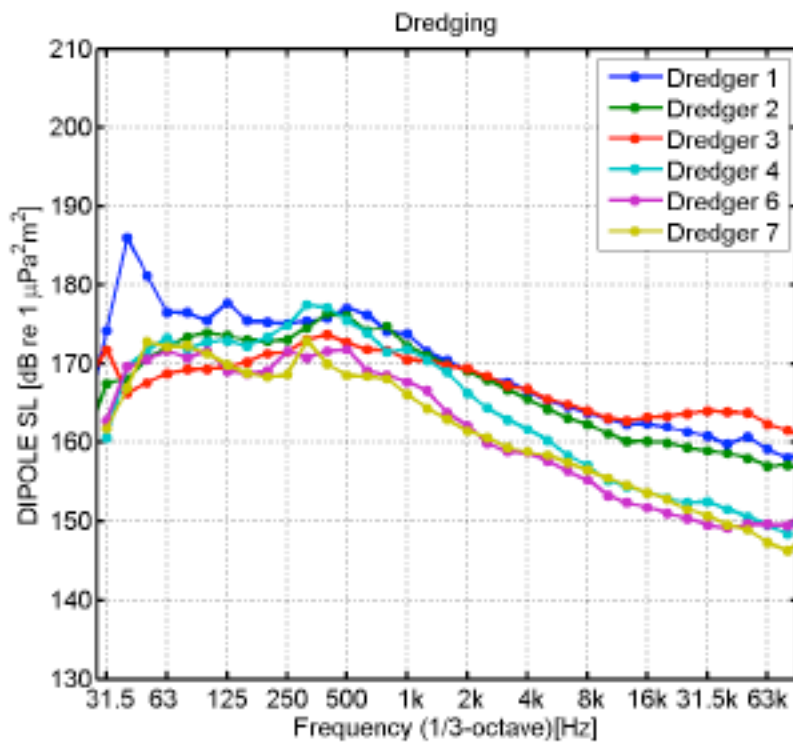
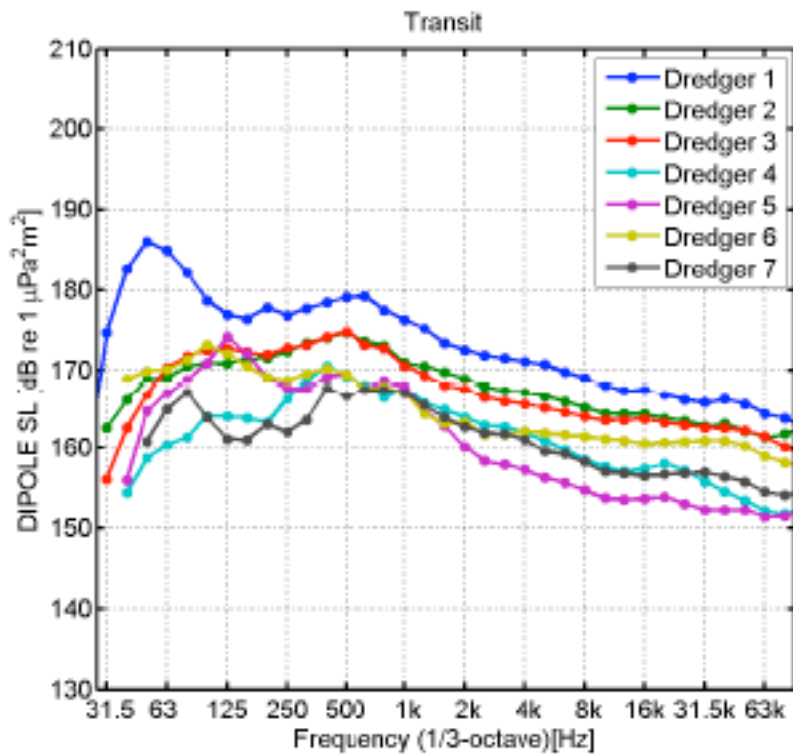
De totale oppervlakten (tijdelijk) beïnvloed gebied zijn ten opzichte van de oppervlakte van het totale leefgebied echter zeer beperkt. Er is daarom sprake van een lokaal effect.

Kanttekening bij deze conclusie is dat relevante kennis over geluidsniveaus waarbij effecten als gevolg van blootstelling aan continue geluiden kunnen optreden ten tijde van het onderzoek relatief beperkt was (en nog steeds is). Gegevens over (verschillen in) de respons van zeehonden en bruinvissen op geluid dat representatief is voor scheepvaartgeluid zijn namelijk niet beschikbaar. De verwachting is dat deze leemte in kennis niet snel wordt opgevuld, aangezien huidige onderzoeksprogramma's vooral zijn gericht op de effecten van het, ten opzichte van scheepvaartgeluid veel luidere pulsgeluid als gevolg van heiwerkzaamheden op zee.

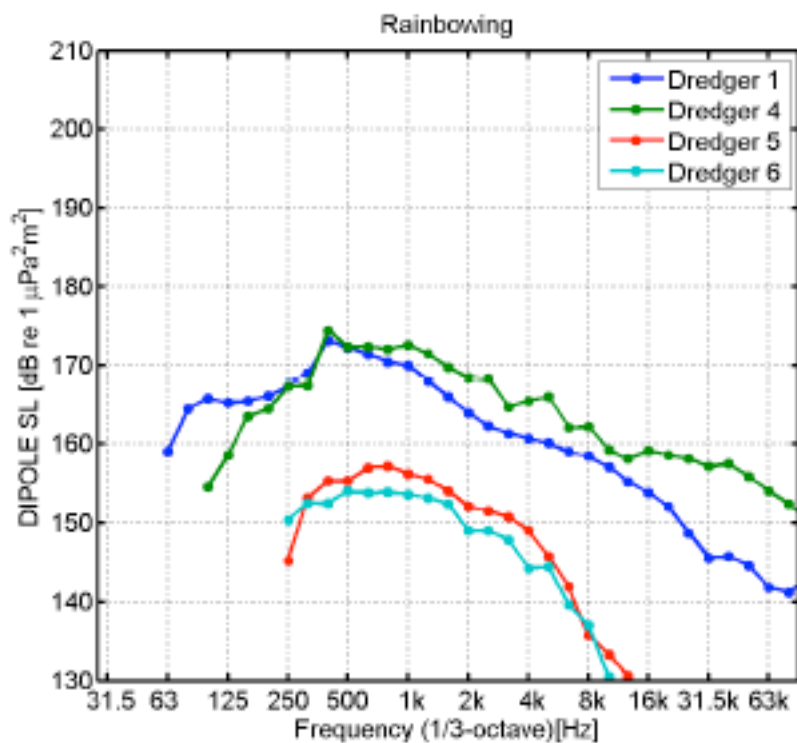
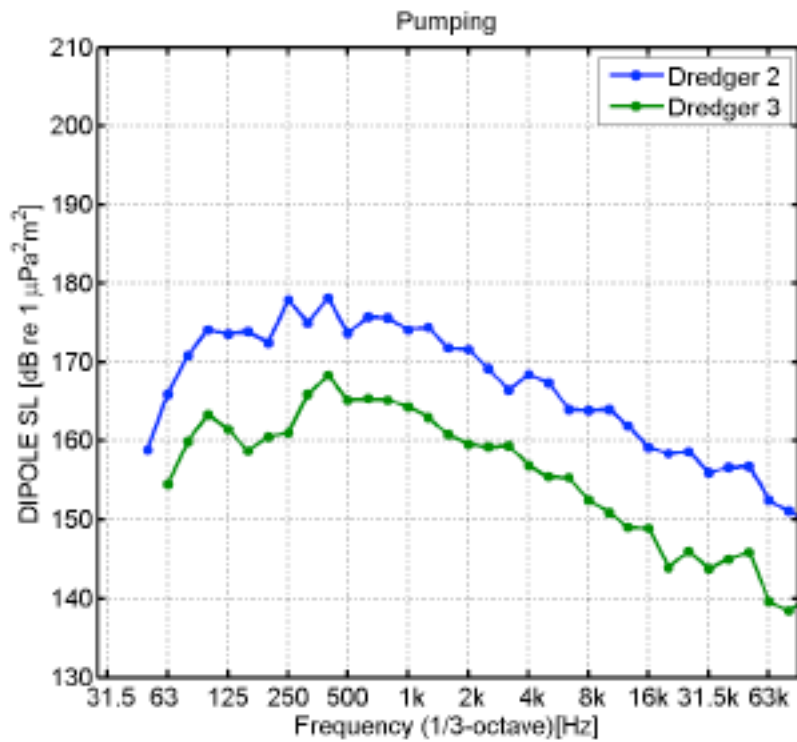
7 Literatuur

- Ainslie, M.A., C.A.F. de Jong, J. Janmaat & H.J.M. Heemskerk, 2012. Dredger noise during Maasvlakte 2 construction: Noise maps and risk assessment. Commissioned by Port of Rotterdam. TNO report TNO 2012 R 10818 | Final report.
- De Jong, C., M. Ainslie, J. Dreschler, E. Jansen, E. Heemskerk & W. Groen, 2010. Underwater noise of Trailing Suction Hopper Dredgers at Maasvlakte 2: Analysis of source levels and Background noise. Commissioned by Port of Rotterdam. TNO report TNO-DV 2010 C335.
- Dreschler, J., M.A. Ainslie & W.H.M. de Groen, 2009. Measurements of underwater background noise Maasvlakte 2. Commissioned by Port of Rotterdam. TNO report TNO-DV 2009 C212.
- Kastelein, R.A., W.C. Verboom, J.M. Terhune, N. Jennings & A. Schollik, 2008. Towards a generic evaluation method for wind turbine park permit requests: assessing the effects of construction, operation and decommissioning noise on marine mammals in the Dutch North Sea. SEAMARCO report no. 1-2008. Commissioned by Deltares.
- Kastelein, R.A., R Gransier, L. Hoek, A. Macleod & J.M. Terhune, 2012. Temporary threshold shifts and recovery in a harbor porpoise (*Phocoena phocoena*) after octave-band noise at 4kHz'. Journal of the Acoustical Society of America 132(5), pp 3525-3537.
- Lucke, K., U Siebert, P.A. Lepper & M-A. Blanchet, 2009. Temporary shift in masked hearing threshold in a harbor porpoise (*Phocoena phocoena*) after exposure to seismic airgun stimuli. Journal of the Acoustical Society of America 125(6), pp 4060-4070.
- Nedwell, J.R., B. Edwards, A.H.W. Turnpenny & J. Gordon, 2004. Fish and Marine Mammal Audiograms: A summary of available information. Subacoustech report 534R0214.
- Oestman, R., D. Buehler, J.A. Reyff & R. Rodkin, 2009. Technical Guidance for Assessment and Mitigation of the Hydroacoustic Effects of Pile Driving on Fish. Prepared for California Department of Transportation. http://www.dot.ca.gov/hq/env/bio/files/Guidance_Manual_2_09.pdf (last accessed 11 October 2011).
- Richardson, W.J., C.R. Greene Jr., C.I. Malme & D.H. Thomson, 1995. Marine Mammals and Noise. Academic Press. San Diego.
- Southall, B.L., Bowles, A.E., Ellison, W.T., Finneran, J.J., Gentry, R.L., Greene Jr., C.R., Darlene, D.K., Ketten, R., Miller, J.H., Nachtigall, P.E., Richardson, W.J., Thomas, J.A., and Tyack, P.L., 2007. Marine mammal noise exposure criteria: initial scientific recommendations, Aquatic Mammals 33(4), p. 411 - 522.
- Tomsen, F., K. Lüdemann, R. Kafemann & W. Piper, 2006. Effects of offshore wind farm noise on marine mammals and fish. Biola, Hamburg, Germany. On behalf of COWRIE Ltd.
- Vellinga, T., 2007. Milieueffectrapport Aanleg en Bestemming Maasvlakte 2. Nadere toelichting vragen en opmerkingen Commissie m.e.r. Havenbedrijf Rotterdam N.V.
- Vertegaal, C.T.M., F. Heinis & C.R.J. Goderie, 2007. Milieueffectrapport Aanleg Maasvlakte 2, Bijlage Natuur. Havenbedrijf Rotterdam NV.

BIJLAGE 1



Bijlage figuur 1 Dipool bronniveau (dB re 1 μPa^2) in terstbanden van baggerschepen 1 t/m 7 tijdens transit (boven) en van baggerschepen 1 t/m 4 en 6 en 7 tijdens zandwinnen (onder)



Bijlage figuur 2 Dipool bronniveau (dB re 1 μPa^2) in terstbanden van baggerschepen 2 en 3 tijdens walpersen (boven) en van baggerschepen 1, 4, 5 en 6 tijdens rainbowen (onder)