

# Prototype Offshore Luidspreker Rifgeluid

Techniek Ontwikkeling En praktijkTest van  
Rifgeluid als maatregel voor kickstarten  
rifherstel platte oester - TOETER

K. Dideren, Q.J.F. Schürmann, S. Beelen, W. Van Broekhoven, J.H. Bergsma, J. Brinkkemper



**WAARDEN  
BURG**  
Ecology



we  
consult  
nature.

## Prototype Offshore Luidspreker Rifgeluid

Techniek Ontwikkeling En praktijkTEst van Rifgeluid als maatregel voor kickstarten rifherstel platte oester - TOETER

K. Didderen, Q.J.F. Schürmann, S. Beelen, W. Van Broekhoven, J.H. Bergsma, J. Brinkkemper

Status uitgave:	definitief
Rapportnummer:	25-358
Projectnummer:	24-0972
Datum uitgave:	19 november 2025
Opdrachtgever:	Ministerie van LVVN
Referentie opdrachtgever:	IUC202501047
Foto omslag:	Floor Driessen / Waardenburg Ecology
Graag citeren als:	Didderen, K., Q.J.F. Schürmann, S. Beelen, W. Van Broekhoven, J.H. Bergsma & J. Brinkkemper. Prototype Offshore Luidspreker Rifgeluid, 2025. Rapport 25-358. Waardenburg Ecology, WaterProof B.V., Van Oord, Ecoshape.
Trefwoorden:	Oesterherstel, natuurversterking, Noordzee, riffen

### © Waardenburg Ecology / Ministerie van LVVN

Dit rapport is vervaardigd op verzoek van opdrachtgever en is zijn eigendom. Niets uit dit rapport mag worden vervaardigd en/of openbaar gemaakt worden d.m.v. druk, fotokopie, digitale kopie of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de opdrachtgever hierboven aangegeven en Waardenburg Ecology, noch mag het zonder een dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd.

Waardenburg Ecology is een handelsnaam van Bureau Waardenburg BV. Lid van de branchevereniging Netwerk Groene Bureaus. Het kwaliteitsmanagementsysteem is gecertificeerd door EIK Certificering overeenkomstig ISO 9001:2015. Waardenburg Ecology hanteert als algemene voorwaarden de DNR 2011, tenzij schriftelijk anders wordt overeengekomen.

Waardenburg Ecology | +31(0)345 512710 | info@waardenburg.eco | www.waardenburg.eco

## Voorwoord

Dit rapport is opgesteld in het kader van Natuurversterking Noordzee. Met dank aan Sam Hidskes, Lotte Braat en Marijke Harnas voor de begeleiding vanuit het programma. De inzet van onze collega's Michel van Staveren, Nienke Oostenbrink, Marloes Vilijn, Tom Brinkkemper, Michiel van de Voort, Pieter Bas Broekx, Robin Olde Wolbers, Peter Vodegel, en Maartje Zant zijn van belang geweest voor zowel het technische ontwerp als de uitvoering van de veld- en labwerkzaamheden. Ernst Schrijver van ARK rewilding bedanken we voor de samenwerking en voor zijn gebiedskennis van de Voordelta.

Dit rapport dragen we op aan Roelant Snoek, die in 2025 overleed. Met zijn opnames van het geluid van oesterriffen in de Voordelta ontstond het idee om onderwatergeluid in te zetten voor natuurherstel. Daarmee werd hij een van de grondleggers van dit werkveld op het snijvlak van ecologie en techniek. Zijn liefde voor de zee, zijn technische scherpzinnigheid en zijn onvermoeibare energie zullen we blijven missen.

## Inhoud

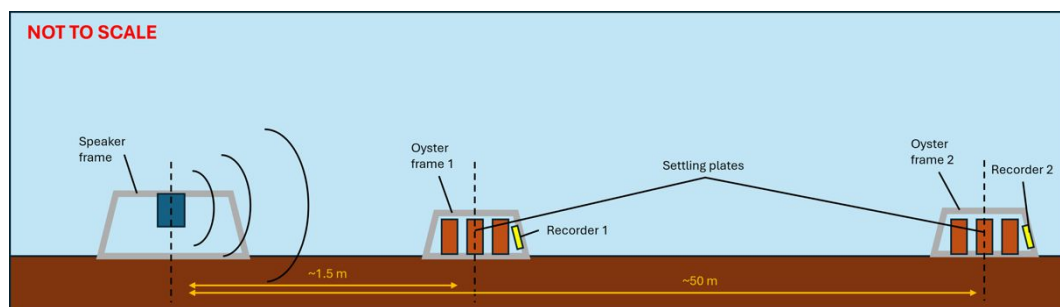
Voorwoord.....	2
Samenvatting .....	5
1 Inleiding.....	6
1.1 Aanleiding .....	6
1.2 Doel .....	6
1.3 Waarom oesterverstiging stimuleren met geluid.....	7
1.4 Leeswijzer .....	7
2 Methode.....	8
2.1 Methodiek.....	8
2.2 Oesterverstigingstest .....	8
2.3 Veldtest Noordzee.....	11
2.4 Validatie rifgeluid.....	14
2.5 Validatie oesterverstiging.....	14
3 Prototype Offshore Luidspreker Rifgeluid.....	16
3.1 Technische beschrijving .....	16
3.2 Ontwerp van afspeelsysteem.....	16
3.3 Ontwerp behuizing en frame .....	18
3.4 Af te spelen bestand en filterselectie .....	19
4 Principe test en validatie rifgeluid <i>in situ</i> .....	20
4.1 Validatie afgespeelde geluid .....	20
4.2 Conclusie en Discussie – afspelen rifgeluid .....	21
5 Eerste praktische toepassing oesterverstiging .....	22
5.1 Oesterverstiging .....	22
5.2 Overige soorten .....	22
5.3 Discussie – praktijktest oesterverstiging .....	24
6 Conclusie en plan van aanpak.....	26
6.1 Conclusie.....	26
6.2 Verbeterrichtingen.....	26
6.3 Plan van aanpak.....	27
6.4 De rol van omgevingsgeluid .....	28
Literatuur.....	29
Bijlage I: Vestiging per substraat type.....	31



## Samenvatting

Vanuit Natuurversterking Noordzee wordt gewerkt aan grootschalig oesterrifherstel op de Noordzee. Het stimuleren van de vestiging van oesterlarven zou goed kunnen helpen om de effectiviteit van maatregelen te vergroten.

Oesterlarven zwemmen van nature in het water totdat ze omgevingssignalen detecteren die wijzen op een goede habitat voor vestiging. Een van die signalen is geluid, waarbij karakteristiek rifgeluid of 'rifgekraak', veroorzaakt door garnalen, vissen en ander zeeleven een aantrekkende werking heeft. Onderzoekers in Australië hebben ontdekt dat het afspelen van onderwatergeluiden van gezonde oesterriffen oesterlarven kan aanmoedigen zich te vestigen. In deze studie is onderzocht of het 1) mogelijk is een offshore luidspreker te ontwikkelen die bestand is tegen Noordzee conditie 2) Door offshore luidsprekers te plaatsen die natuurlijke rifgeluiden uitzenden, vrijzwemmende larven kunnen lokken naar vestigingssubstraten.



Figuur 1 Schematische weergave van de veldopstelling met en zonder rifgeluid.

In dit veldexperiment in de Noordzee staan een eerste prototype ontwikkeling en principe toepassing in Noordzee condities centraal. Binnen het experiment werd een offshore luidspreker ontwikkeld en in de Noordzee geplaatst. Daarnaast werden vestigingssubstraten voor oesters geplaatst op een locatie met luidspreker en een referentielocatie om te testen of rifgeluid via een luidspreker de vestiging van oesters bevordert (Figuur 1).

De resultaten laten zien dat het mogelijk is voor een bedrag van 5000 EURO (materiaalkosten) een offshore luidspreker te ontwikkelen die op een Noordzee locatie rifgeluid kan afspelen en daarbij een bereik heeft van circa 30 meter gedurende een maand. In tegenstelling tot de verwachting was oestervestiging op een locatie met rifgeluid via een luidspreker lager dan op een referentielocatie zonder luidspreker. Dit kan mogelijk verklaard worden door de hogere aangroei van andere soorten (o.a. mosselen) op de luidspreker locatie. De mogelijkheden voor verbeteringen van de methodiek, techniek en ecologische toepassing zijn beschreven, inclusief aanbevelingen voor vervolgstudies.

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

Platte oesterriffen bedekten rond 1900 circa 20% van het Nederlandse deel van de Noordzee (Olsen, 1883), maar platte oesters (*Ostrea edulis*) zijn sindsdien functioneel uitgestorven als gevolg van overbevissing, degradatie van het habitat en ziekte (Christianen et al., 2018). Als gevolg van het verdwijnen van oesterriffen is ook de structurele complexiteit van de riffen verdwenen evenals de daarbij horende ecologische functies en biodiversiteit (Christianen et al., 2018). Afgelopen decennium is de aandacht voor de platte oester, en herstel van oesterriffen, in de Noordzee toegenomen en het habitat is thans aangewezen op de lijst van OSPAR habitats, KRM en EU-natuurherstelwet.

Vanuit Natuurversterking Noordzee wordt gewerkt aan grootschalig oesterrifherstel op de Noordzee. Het stimuleren van de vestiging van oesterlarven zou goed kunnen helpen om de effectiviteit van maatregelen te vergroten.

## 1.2 Doel

- Het doel is om een prototype en methodiek te ontwikkelen om vestiging (settlement) van platte oesterlarven op een gekozen locatie te stimuleren, door het geluid van een gezond oesterrif te reproduceren, met nadruk op de praktische implementatie.
- Het overkoepelende doel is het uitbreiden van technieken voor en kennis van maatregelen die de vestigingskans van platte oesterlarven in de Noordzee kunnen bevorderen.

### Subdoelen en onderzoeksvragen

**Technisch** resulteert het project in een prototype beschrijving, ontwerp, technische eisen en validatie van een offshore onderwaterluidspreker met de onderzoeksvraag:

1. Is het technisch mogelijk een luidspreker voor onderwatergeluid te ontwerpen, ontwikkelen en in de Noordzee te plaatsen om platte oestervestiging te stimuleren met rifgeluid?

**Ecologisch** resulteert het project in een eerste praktijktoepassing van een onderwaterluidspreker voor oesterherstel met de onderzoeksvraag:

2. Hoe verhoudt de vestiging van oesterlarven zich tot de aanwezigheid van geproduceerd rifgeluid bij een eenvoudige vestigingstest?

**Methodisch** resulteert het project in een praktisch plan van aanpak voor rifgeluid als actieve herstelmaatregel met de onderzoeksvraag:

3. Hoe kan rifgeluid gebruikt worden bij oesterherstel op de Noordzee, op een specifiek gekozen locatie?

### 1.3 Waarom oesterverstiging stimuleren met geluid

De platte oester (*Ostrea edulis*) is functioneel uitgestorven in de Noordzee en vestigingsomstandigheden voor oesterlarven zijn ontoereikend vanwege twee factoren: i) de meeste voormalige oesterhabitats bestaan thans uit zacht sediment, dat weinig geschikt substraat biedt, en ii) er zijn te weinig oesterlarven aanwezig om dit schaarse substraat effectief te koloniseren. Het effect van rifgeluid op passerende oesterlarven biedt een kans om rifvorming te bevorderen op kansrijke locaties, door de schaarse oesterlarven te stimuleren om het schaarse substraat te koloniseren en zich van daaruit uit te breiden.

Platte oesterlarven leven 1 à 2 weken planktonisch en verspreiden zich met de heersende waterstromingen over grote oppervlakten. Het is bekend dat oesterlarven gebruik maken van chemische (Vasquez et al., 2014, Japanse oester), structurele (Potet et al., 2021) en visuele signalen (Herman, 1937) om een geschikte vestigingslocatie te selecteren. Voor andere oestersoorten dan *O. edulis*, en voor andere rifbouwende soorten met een larvaal stadium zoals koraallarven is tevens bewezen dat zij akoestische signalen gebruiken. ((Lillis et al., 2013, 2015; Gordon et al., 2019; Montgomery et al., 2006; Simpson et al., 2005; Vermeij et al., 2010). Geluid reist tegen de stroming in en trekt larven van grotere afstand aan. Daarom is een onderliggende hypothese dat oesterlarven zich eerst op geluid oriënteren bij het kiezen van een vestigingslocatie, waarna chemische, structurele en visuele signalen volgen en een rol spelen.

Het stimuleren van oesterverstiging in veelbelovende gebieden kan de vorming van rif bevorderen, maar is moeilijk. Stimulatie met geluid is in Australië effectief gebleken voor het bevorderen van vestiging van een verwante oestersoort (*Ostrea angas*). Hierbij is gebruik gemaakt van een state-of-the-art techniek die rifgeluiden van een gezond rif uitzendt via een offshore luidspreker (McAfee et al., 2023; Williams et al., 2023). Natuurlijke rifgeluiden in de Noordzee verschillen aanzienlijk van het geluid van de zandige zeebodem (Didden et al., 2023) en het is daarom aannemelijk dat deze ook hier oesterverstiging van de platte oester kunnen bevorderen. Een dergelijke maatregel kan helpen om grootschalig oesterrifierherstel te versnellen.

### 1.4 Leeswijzer

Na een beknopte methodebeschrijving in hoofdstuk 2 volgen de technische resultaten, de ecologische resultaten en doorwerking. De technische hoofdstukken beschrijven het prototype offshore luidspreker (hoofdstuk 3) en de principetest van de offshore luidspreker in de Noordzee (hoofdstuk 4). De ecologische hoofdstukken beschrijven de resultaten van de eerste praktische toepassing voor oesterherstel (Oesterverstigingstest hoofdstuk 5) en een plan van aanpak voor het toepassen van rifgeluid in de toekomst.

## 2 Methode

### 2.1 Methodiek

In deze studie is openbaar beschikbare luidsprekertechnologie ingezet op een locatie in de Noordzee om te testen of geluid de vestiging van oesters op substraten kan verbeteren. Allereerst is er een luidspreker ontwikkeld die bestand is tegen offshore condities in de Noordzee en rifgeluid afspeelt gedurende het vestigingsseizoen van oesters. Geluidsopnames van een natuurlijk rif >1 km van de onderzoekslocatie zijn afgespeeld door deze luidspreker. Zo bootst de opstelling natuurlijke rifgeluiden na op één locatie, die in het onderzoek werd vergeleken met een referentielocatie zonder via een luidspreker afgespeeld rifgeluid. Het afspelen van natuurlijk rifgeluid heeft als doel om te onderzoeken of het mogelijk is om (1 technisch) natuurlijk rifgeluid te stimuleren in een locatie zonder natuurlijk rif (2 ecologisch) oestervestiging te stimuleren met rifgeluid.

De methodiek bestond uit de volgende stappen:

- Prototype luidspreker: ontwerp, ontwikkeling, beschrijving, assemblage, dry-run.
- Eerste praktische toepassing oestervestiging: ontwerp, materiaalvoorbereiding
- Veldtest Noordzee: plaatsing luidspreker en onderzoeksmaterialen voor oester vestigingstest, verwijdering.
- Validatie rifgeluid: veldvalidatie, geluidsanalyse en validatie.
- Test oestervestiging: labanalyse, analyse.

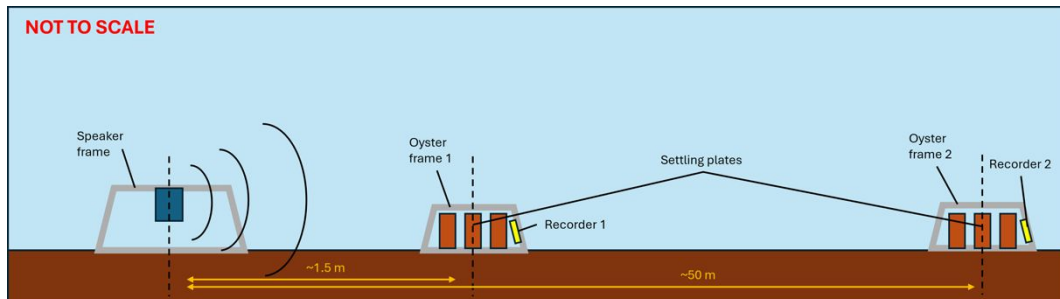
Voor de oestervestiging is geen onderscheid gemaakt in soorten Japanse oester of platte oester; de broedjes zijn beide meegenomen in deze test.

### 2.2 Oestervestigingstest

#### Behandeling rifgeluid versus referentielocatie

Het basisontwerp van de oestervestigingstest bestaat uit de vergelijking van een locatie met geluid versus een locatie zonder geluid (referentie) (Figuur 2.1).

Vervolgens is per locatie een identieke set vestigingssubstraten aangebracht om oestervestiging te kwantificeren. De eerste locatie 'rifgeluid' is blootgesteld aan kunstmatig rifgeluid middels luidsprekertechnologie, oftewel een luidspreker bevestigd op een zeewaardig en stabiel frame. De tweede locatie 'referentie' omvat slechts natuurlijk onderwatergeluid zonder riffen in de omgeving. Beide locaties zijn geselecteerd met voldoende afstand van een natuurlijk rif (>50 m) en voldoende afstand van elkaar (>50 m). De afstand tussen het hart van het frame met de offshore onderwaterluidspreker en het hart van het dichtstbijzijnde substraat-frame is ongeveer 1,5 m. De referentie locatie staat op meer dan 50 m van de geluidsbron.



Figuur 2.1 Schematische weergave van de veldopstelling met en zonder rifgeluid.

### Selectie type vestigingssubstraat

De keuze voor de vestigingssubstraten voor oesters is gebaseerd op 1) materialen die elders in de Voordelta zijn gebruikt en waarvan bekend is dat het geschikt is voor platte oester vestiging 2) uit de wetenschappelijke literatuur bekend zijn als substraat met een hoge dichtheid van oestervestiging (Kamermans et al, 2025 en 2025b.). De vestigingsmaterialen zijn oesterschelpen (hierna schelpen) en dakpannen bedekt met BESE-reef paste (hierna reef paste, producent BESE products, Culemborg).

Het vestigingssubstraat schelpen bestaat uit een spatcollector van Japanse oesterschelpen die na minimaal een jaar droogtijd per zes exemplaren in een zak zijn verzameld. Het gewicht varieerde van 95 gram tot 135 gram schelp en 50 tot 65 ml per zak. Dit type substraat is vergelijkbaar aan de standaard spatcollectors die wereldwijd en in de Voordelta veel zijn toegepast in schelpdieronderzoek. Het vestigingssubstraat reef paste bestaat uit dakpannen, die bedekt zijn met een laag reef paste van 0,5 cm dikte. Het gewicht varieerde van xx tot xx gram per substraat. Dit type substraat is gemaakt van schelpengruis en kwam recent als beste uit de test in verschillende vestigingsproeven (Kamermans et al., 2025), en is eveneens elders in gebruik in de Voordelta met aantoonbare vestiging van platte oester.

### Configuratie vestigingssubstraten

Per locatie is gebruik gemaakt van een substraat-frame. Het betreft een zeewaardig en stabiel frame dat speciaal voor dit onderzoek is vervaardigd. Hierop zijn vier identieke sets vestigingssubstraten bevestigd, aan elke zijde en op gelijke hoogte van de bodem. Deze vier zogenaamde 'sets' bestaan uit een beschermingszak van gaas met daarbinnen twee typen substraten, waarvan van elk type (zak met zes oesterschelpen; dakpan met reef paste) drie exemplaren aanwezig waren (Foto 2.1), resulterend in 24 vestigingssubstraten per locatie.

### Geluidsrecorder

Om achteraf het daadwerkelijke lokale geluid, als ook de geluidsniveaus van versturende geluiden per locatie te kunnen bepalen is er per substraat-frame een recorder met hydrofoon geplaatst. De recorder (RTsys sylene) meet met een

frequentie van 64 kHz. Op deze recorder is een HTI hydrofoon aangesloten met een gevoeligheid van -170 dB/V.



Foto 2.1 Foto impressie. Oestervestigingssubstraat overzicht (rechts) en in gaaszak (links).





Foto 2.2 Foto impressie. Oestervestigingssubstraat verspreid over 2 frames (1 luidspreker 2 referentie) met hydrofoons die geluid meten.

## 2.3 Veldtest Noordzee

### Locatie

Deze studie werd uitgevoerd op twee locaties in de Voordelta, Noordzee. Het rifgeluid is eerder opgenomen op het natuurlijke oesterrif bij de Blokkendam (Didderen et al., 2023). De locaties liggen allen in een vergelijkbare omgeving met 2-6 meter waterdiepte afhankelijk van het getij. De afstand tussen de rifgeluid locatie en de referentielocatie bedroeg 72 meter.

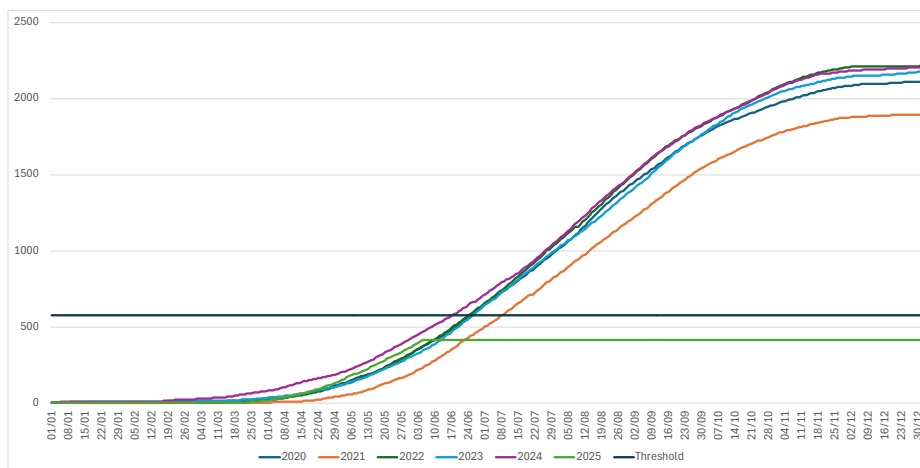
Tabel 2.1 Onderzoeklocaties.

Locatie	Afstand vestigingssubstraat tot luidspreker met rifgeluid	Coördinaat	Coördinaat	Substraat
Rifgeluid	0.5-1.5 meter	51.78342	3.83451	Zand, slib
Referentie	> 72 meter	51.78276	3.83438	Zand, slib

### Temperatuursom

Ondanks het verlies van natuurlijke oesterriffen kunnen platte oester-larven op de onderzoekslocatie nog steeds in grote aantallen aanwezig zijn in de waterkolom. De waargenomen vestigingsperiode in de Voordelta loopt van half juni tot eind augustus

waarbij de larvenpiek zich het best laat voorspellen door de zogenaamde Temperatuursom, met een grenswaarde van 593 gradendagen (Kamermans et al., 2025; Maathuis et al., 2023). Om het juiste moment te bepalen om de vestigingssubstraten te water te laten is de temperatuursom bijgehouden aan de hand van temperatuurgegevens van meetpunt Brouwershavensegat 8. De groene lijn van 2025 laat zien dat tot 5 juni de trend tussen 2020 en 2024 in lag en de verwachting was dat de temperatuursom werd bereikt omstreeks 17 juni (Figuur 2.2). Dit is gebruikt voor de timing en planning van de uitplaatsing. Van 6 juni tot en met 8 september ontbreken meetgegevens van dit meetpunt, waardoor achteraf niet bepaald kon worden wanneer de grenswaarde daadwerkelijk bereikt werd.



Figuur 2.2 Temperatuursom in de Voordelta (Brouwershavensegat 8) in de jaren 2020 -2025.

### Installatie

De installatie vond plaats op 18 juni 2025 met gemiddelde zee condities met maximaal 0,5 meter golven. De lokale turbiditeit was hoog met slecht doorzicht door een Phaeocystis bloei. De plaatsing verliep zonder bijzonderheden en volgens planning. De oriëntatie van de substraat-frames was op beide locaties identiek en ook vergelijkbaar ten opzichte van de getijbeweging.



Foto 2.3 Foto impressie. Luidspreker op frame met geluidsdrager en batterij, ten tijde van uitplaatsing (boven), na uitplaatsing (beneden).

## 2.4 Validatie rifgeluid

Op beide locaties wordt het lokale omgevingsgeluid gemeten. Dit wordt achteraf geanalyseerd om te kunnen controleren of er daadwerkelijk de hele tijd rifgeluid is afgespeeld. In hoofdstuk 4 wordt hier verder op in gegaan.

## 2.5 Validatie oesterverstiging

### Aantal gevestigde oesters

Na 2 maanden, op 23 september 2025, zijn de substraat frames verwijderd. Deze zijn gekoeld opgeslagen en per substraat onderzocht in het laboratorium. Per substraat werd het aantal gevestigde oesters geteld, waarbij geen determinatie tot soortniveau heeft plaatsgevonden. Het gaat hierbij om een mix van zowel platte als Japanse oesters. Uit eerdere voorlopige onderzoeken aan de hand van spatcollectors in de Voordelta, blijkt dat het percentage platte oesters ongeveer 15% betreft (mond. Med. P. Kamermand).



Foto 2.4 Vestigingssubstraat: voorbeeld met enkele oesters en aangroei-soorten.

### Biovolume mosselen en bedekking aangroei-soorten

Aangezien het direct opviel dat de bedekking met andere soorten aanzienlijk was, zijn ook deze meegenomen in de analyse. Het betreft het biovolume mosselen en de bedekking met aangroei-soorten. Het bepalen van het biovolume van mosselen dient om de hoeveelheid op gestandaardiseerde wijze te kwantificeren. De mosselen zijn handmatig verzameld van de substraten en ontdaan van overtollig sediment. De mosselen zijn in een maatcilinder met bekend volume water geplaatst, waarbij het verplaatste volume (in ml) is afgelezen als biovolume.

De aangroei soorten (Foto 2.4) bestaan uit een diverse mix waarbij onder andere verschillende soorten zeepokken zoals Vulkaantje (*Perforatus perforatus*) en Pacifische zeepok (*Balanus glandula*), de driekantige kalkkokerworm (*Spirobranchus triqueter*) en een Japans mosdiertje *Schizoporella* zijn gedetermineerd. Ook zijn er

hoge bedekkingen mosselen en slijkgarnalen (Foto 2.5). Per vestigingssubstraat is één gemiddelde bedekking berekend. Bij de schelpen werd de gemiddelde bedekking bepaald aan de hand van de bedekking op vijf willekeurige schelpen per schelpenzakje. Voor reepaste gold dat de bedekking op vijf willekeurige plekken is bepaald, waarna deze is gemiddeld.



Foto 2.5 Vestigingssubstraat (links) en zelfde substraat waarbij de mosselen handmatig zijn verwijderd (rechts).

#### Statistische analyse

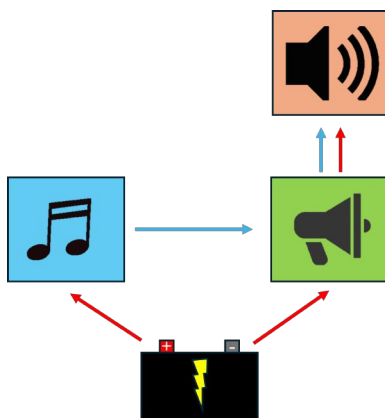
De twee vestigingssubstraten zijn elk als unieke replica behandeld in de statistische analyse. Het verschil in vestiging van oesters, mosselen en aangroei-soorten tussen de locatie met rifgeluid en de referentie is getoetst met de Mann-Whitney U test.

## 3 Prototype Offshore Luidspreker Rifgeluid

### 3.1 Technische beschrijving

Om een opgenomen geluid af te kunnen spelen zijn vier onderdelen vereist: een stroombron, een geluidsdrager (speler), een versterker en een luidspreker (Figuur 3.1). Elk onderdeel kent eigen eisen en uitdagingen en die verder in dit hoofdstuk uiteengezet worden:

- Stroombron  
*Deze moet over voldoende capaciteit beschikken zodat tenminste een maand vermogen wordt geleverd aan de overige componenten*
- Speler  
*Deze moet instelbaar zijn om het geluidsniveau te kunnen aanpassen aan de omstandigheden, zo min mogelijk vermogen vragen en zonder (lange) onderbrekingen het geluid afspelen.*
- Versterker  
*Vormt de verbinding tussen de speler en de luidspreker en moet daarop afgestemd zijn. Daarnaast moet deze zo min mogelijk vermogen vragen.*
- Luidspreker  
*Moet in het relevante frequentiebereik efficiënt kunnen afspelen. Daarnaast niet teveel variatie tussen verschillende invalshoeken ten opzichte van de luidspreker bevatten.*

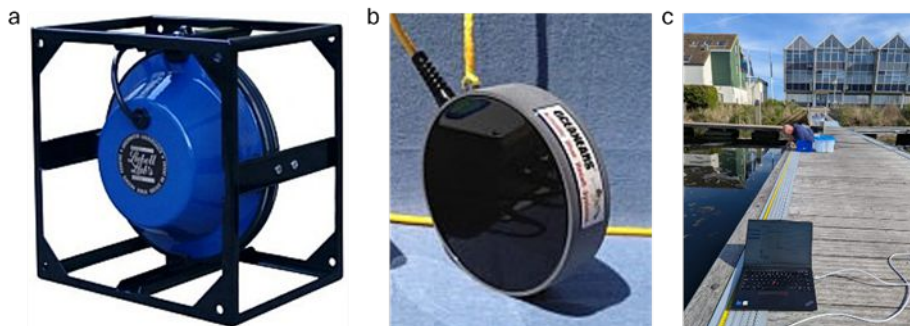


Figuur 3.1 Schets van concept voor de offshore onderwaterluidspreker. Rode pijlen: stroom; blauwe pijlen: signaal.

### 3.2 Ontwerp van afspeelsysteem

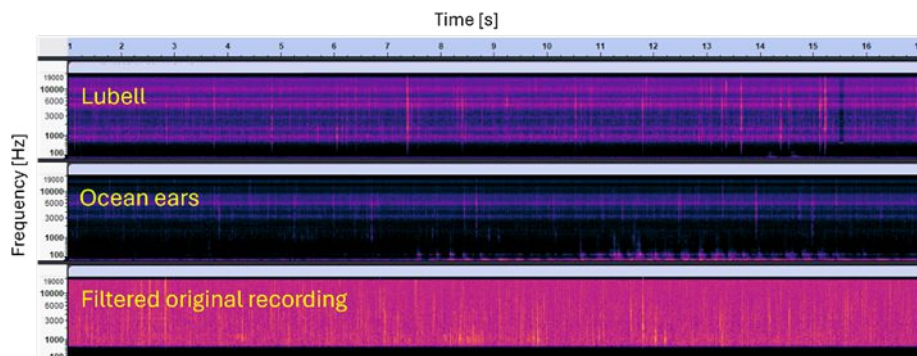
De technische beschrijving is specifiek gemaakt door middel van de technische eisen. Gezien het hier om het ontwerp van een prototype gaat zijn de technische eisen mede een gevolg van de beschikbaarheid van de verschillende componenten. Uit inventariserende berekeningen volgde dat de speler en de versterker samen

bepalend zijn voor het stroomverbruik. Daarom volgen de eisen rondom de luidspreker uit de kwaliteit van het afgespeelde geluid. Met kwaliteit is in deze bedoeld hoe dicht het afgespeelde geluid op een betrouwbare manier bij het opgenomen geluid kan komen. Qua ontwerp waren er twee keuzes voor de luidspreker a) de Lubell LL916 en b) de Ocean ears DRS12. Met beide luidsprekers zijn testen uitgevoerd in een haven aan het IJsselmeer (Figuur 3.2).



Figuur 3.2 a) Lubell LL916c b) Ocean ears DRS 12 c) Testen in de haven

Uit de testen kwam naar voren dat de Lubell LL916c 2 bepalende voordelen heeft ten opzichte van de Ocean ears DRS12. Allereerst wordt bij gelijk vermogen een hoger en veel gelijkmatiger geluidsniveau gehaald (Figuur 3.3), ten tweede is de luidspreker minder richtingsgevoelig (als de Lubell draait t.o.v. de hydrofoon verandert het ontvangen geluid minder dan bij de Ocean ears), dit is niet weergegeven in een figuur.



Figuur 3.3 Spectrogrammen van a) de Lubell b) Ocean ears c) Gefilterd origineel signaal. Alles onder de 500 Hz -50 dB en daarna genormaliseerd. Het originele signaal is afgespeeld in figuren a) en b).

Naar aanleiding van deze testen is de Lubell gekozen, het verschil in prestatie was dermate groot dat verdere analyse niet plaats heeft gevonden. De gelijkmatigere en hogere geluidsniveaus van de Lubell zorgen voor minder eisen aan de speler en versterker. Voor verschillen tussen de originele opname en de luidspreker zoals te zien in Figuur 3.3 is gecompenseerd door instellingen van de speler, verder toegelicht in paragraaf 3.4.

In de haven zijn technische-testen uitgevoerd met geluidmetingen op verschillende afstanden van de luidspreker. Deze testresultaten lieten zien dat het geluidsniveau met afstand uitdoofde volgens het te verwachten verloop. Om zo min mogelijk stroom te gebruiken kan de luidspreker het best een zo laag mogelijk geluidsniveau afspelen. Dit betekent dat de luidspreker zo dicht mogelijk bij de doellocatie moet staan. De afstand van de luidspreker tot het oesterframe is ongeveer 1.5m en daarom is deze afstand als maatgevend weergegeven in dit rapport. De luidspreker kan tot 15m diepte worden ingezet.

De versterker moet zo min mogelijk stroom verbruiken. D-klasse versterkers (schakelende versterkers) zijn het meest efficiënt. Er is gekozen voor een PAM8302A versterker. Deze is geschikt om tot 2.5W te versterken, daarmee zijn de gewenste geluidsniveaus te behalen. Andere eisen dan een geschikt output vermogen en een efficiënt type zijn er niet voor de versterker.

Met de luidspreker en de versterker staan de randvoorwaarden voor de speler vast, deze moet namelijk kunnen compenseren voor hetgeen de luidspreker versterker combinatie niet goed afspeelt. In Figuur 3.3 is te zien dat het af te spelen bestand bijvoorbeeld relatief gezien versterkt moet worden in de band rond de 3 kHz. Een audiobestand moet deze compensatie bevatten. De speler moet dit vervolgens goed overbrengen. In het bestand zitten luidere klikjes en verder veel ruisachtig geluid ('rifgekraak' en geluid dat klinkt als een haardvuur). Om het verschil in niveau goed te kunnen afspelen is beperkte interne ruis belangrijk. Een goede kwaliteit speler is van belang, dergelijke spelers zijn op de markt in de vorm van allerlei verschillende MP3 spelers. In dit geval is gekozen voor een speler zonder scherm of andere energie verbruikende onderdelen. De speler is voor langere tijd op kwaliteit getest, ook is de bouwkwiteit voldoende zodat er beperkte ruis is.

De stroombron dient de aansturing en de luidspreker van stroom te voorzien. De combinatie van speler, versterker en luidspreker vraagt tussen de 30 en 50 mA, om een maand af te spelen is dan opgeteld een capaciteit van 22-36 Ah nodig. Een D-cell batterij heeft een capaciteit van meer dan 4.5 Ah, met 8 D-cell batterijen is er dan voldoende capaciteit voor een maand. In het prototype was plek voor 24 batterijen en voor de zekerheid zijn deze allemaal gebruikt. Er zijn 4x6 D-cell batterijen parallel geschakeld, wat een voltage van 9V aanbiedt. Een voltage regelaar zorgt voor een stabiel voltage op de versterker en speler.

### 3.3 Ontwerp behuizing en frame

Voor de behuizing voor de batterijen en electronica is een bestaande waterdichte koker gekozen. Deze koker is vaker gebruikt en daarmee getest op waterdichtheid. De koker heeft een diameter van ongeveer 15 cm en een lengte van ongeveer 60 cm. De koker is waterdicht tot zeker 30m waterdiepte. Het frame is gekozen op stabiliteit,

beschikbaarheid en gewicht. Een lichter frame heeft de voorkeur voor hanteerbaarheid, een zwaarder frame is stabiel en verder is er gekozen op basis van de beschikbare frames binnen Waterproof. Het gekozen frame is te zien in foto 1 met de waterdichte koker met de batterij en elektronica en de luidspreker. Het frame weegt 40 kg. Er waren lichtere frames beschikbaar, echter vereisten die veel aanpassingen en zijn ze minder stabiel in het water.

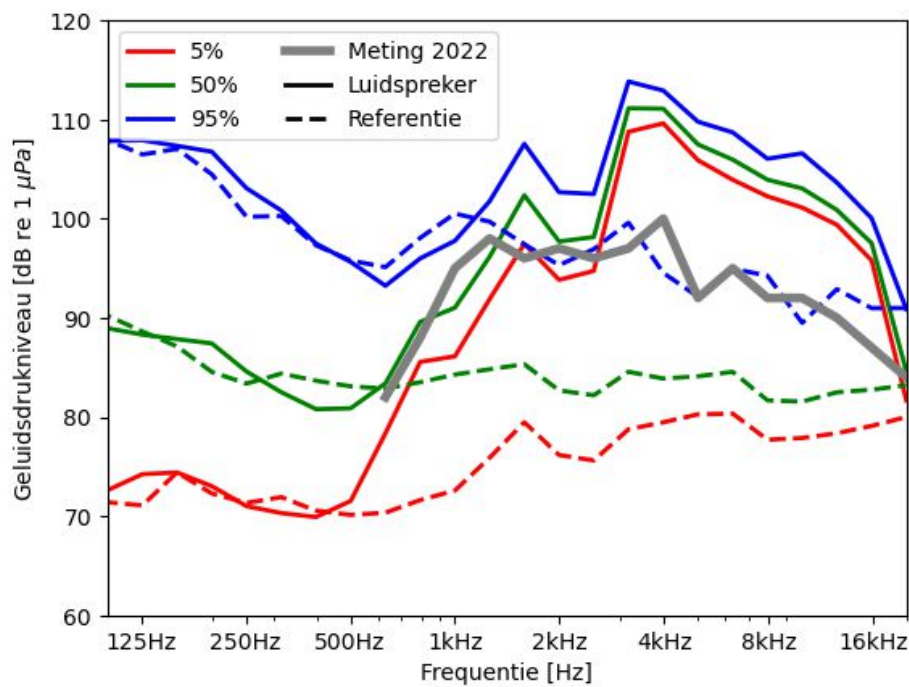
### 3.4 Af te spelen bestand en filterselectie

Het bestand dat wordt afgespeeld compenseert voor de vervorming van de luidspreker/versterker combinatie. Met andere woorden, voor de plaatsing is getest in welke het geluid vervormt ten gevolge van de luidspreker. Dit is getest met een hydrofoon recht voor de luidspreker. Het verschil tussen het afgespeelde bestand en het gemeten bestand moet gecompenseerd worden. Dit is meerdere keren gemeten en meerdere keren is daarop het filter aangepast, totdat het uitgestuurde geluid minimaal was vervormd.

## 4 Principe test en validatie rifgeluid *in situ*

### 4.1 Validatie afgespeelde geluid

De validatie van het rifgeluid is uitgevoerd door het verschil tussen de locatie met rifgeluid en de locatie zonder rifgeluid te vergelijken. In Figuur 4.1 zijn de gemeten percentielen van de geluidsniveaus op de luidspreker locatie en de referentie locatie weergegeven. Het 95<sup>e</sup> percentiel geeft het geluidsniveau aan waaronder deze 95% van de tijd is. Soortgelijk voor de overige percentielen, het 5<sup>e</sup> percentiel geeft het geluidsniveau aan waaronder deze 5% van de tijd is. Het 5<sup>e</sup> percentiel is lager dan het 95<sup>e</sup> percentiel. Met een analyse van de percentielen is te zien hoe constant het geluid is geweest (uitgaande van een voldoende constant signaal). Hierin valt te zien dat vanaf 500 Hz het afgespeelde bestand ruim boven de achtergrond waarde uitkomt.



Figuur 4.1 Validatie van het rifgeluid. Verschillende percentielen van de verschillende locaties zijn weergegeven. De metingen van het oesterrif in 2022 zijn ook weergegeven maar afgekapt onder de 500 Hz waar het rifgeluid niet meer te onderscheiden was van het achtergrondgeluid.

Het behaalde geluidsniveau is in de frequentiebanden boven de 2 kHz ruim hoger dan de metingen in 2022. Tussen de 500 Hz en 2 kHz komen de geluidsniveaus goed overeen. De dip rond de 2 kHz is niet in overeenstemming met de metingen, maar het verloop van de geluidsniveaus is op deze dip na vergelijkbaar. Met andere woorden, het volume was nagenoeg gelijk aan de metingen onder de 2 kHz en te hoog boven de 2

kHz. Het lijkt dat het filter hier niet voldoende goed was ingesteld. Dit kan liggen aan de verschillen tussen de testlocatie van het prototype en de plaatsingslocatie. Het kan ook komen doordat de testen werden uitgevoerd met een initieel droge luidspreker, met weinig tijd in het water. Na verloop van tijd kan bijvoorbeeld het rubber in de luidspreker soepeler of minder soepel worden in het water.

Het feit dat de 95% en 5% percentiel waardes dicht bij elkaar liggen laat zien dat de luidspreker over de plaatsingstijd (19 juni – 18 augustus) constant heeft afgespeeld. Het afgespeelde geluid komt ongeveer 20-25 dB boven het achtergrond geluidniveau uit. Grofweg is iedere 6 dB een verdubbeling in afstand. Omdat op ongeveer 1,5 m is gemeten vertaalt dit naar een maximale uitstralingsafstand van 30 m.

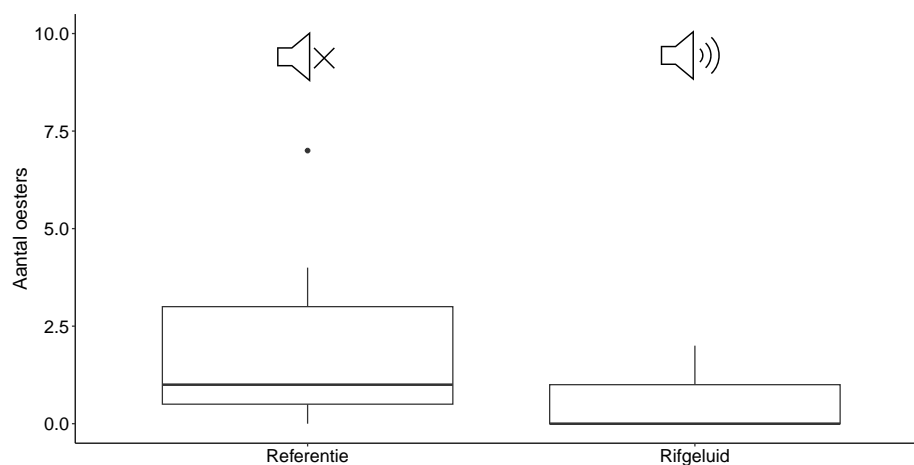
## 4.2 Conclusie en Discussie – afspelen rifgeluid

De luidspreker heeft continu het rifgeluid afgespeeld. Er zit een dip rond de 2 kHz waarboven het geluid hoger is dan de metingen en waaronder het geluidniveau nagenoeg op de metingen ligt. Het filter had beter ingesteld kunnen worden voor de plaatsingslocatie. Het opgenomen geluid tijdens het instellen van het filter hangt af van de omgeving waarin het geluid wordt afgespeeld. De beste methode om dit mee te nemen in het regelproces is om het filter af te stellen op de exacte plaatsingslocatie. Het lokaal afstellen van het filter is lastig en tijdrovend en vraagt extra scheepstijd, waardoor er is gekozen voor voorbereiding en filterinstelling op een andere locatie. Het afgespeelde geluid was onder en boven de 2 kHz nagenoeg gelijk aan het opgenomen geluid, echter zat er een verschil in volume rond deze grenswaarde. Indien er specifieke gevoeligheid is voor het volume kan dit enige invloed hebben gehad, maar of dit significant is, is onduidelijk.

## 5 Eerste praktische toepassing oesterverstiging

### 5.1 Oesterverstiging

Het doel van de ontwikkeling en toepassing van een offshore luidspreker met rifgeluid is het toekomstig gebruik ervan als maatregel voor het kickstarten van rifierstel van (platte) oesters. Daarom is het belangrijk te weten hoeveel oesters zich op substraten vestigen bij rifgeluid vergeleken met een referentielocatie. Tegen de verwachting in zijn er significant meer oesters gevestigd op substraten op de referentielocatie dan op de locatie met rifgeluid ( $W=422$ ,  $p<0,01$ ), zoals te zien is in Figuur 5.1. Het aantal oesters per substraat varieerde op de rifgeluid locatie van 0 - 1, terwijl op de referentielocatie tot 4 oesters per substraat zijn aangetroffen (met een uitschieter naar 7). Bovendien vestigden oesters zich meer op dakpannen met BESE reeppaste dan op oesterschelpen (Figuur 7.1 Bijlage I). Het formaat van de oesters varieerde sterk, waarbij het merendeel een klein formaat had.



Figuur 5.1 Het aantal gevestigde oesters op de vestigingssubstraten voor een locatie met rifgeluid en op een referentielocatie.

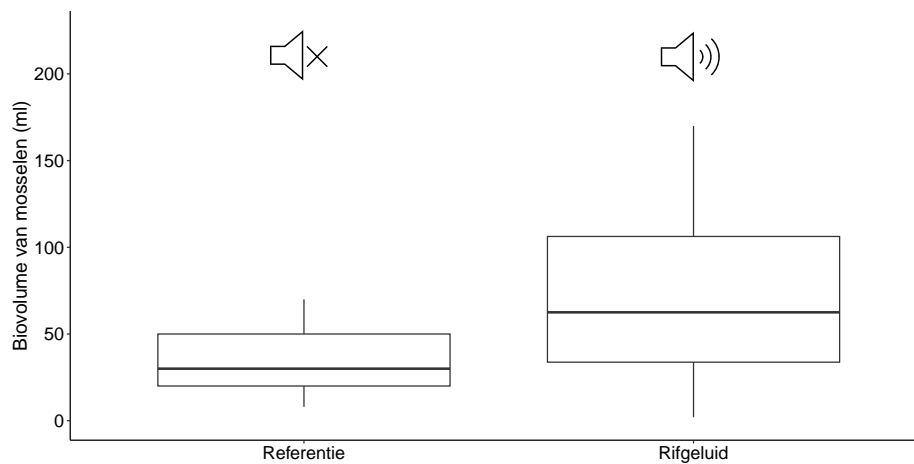
### 5.2 Overige soorten

#### Mosselen

Op alle vestigingssubstraten zijn mosselen (*Mytilus edulis*) aangetroffen. Op de locatie met rifgeluid ( $Q1=34$ , mediaan=63,  $Q3=106$ ) hebben zich significant meer mosselen gevestigd dan op de referentielocatie ( $Q1=20$ , mediaan=30,  $Q3=40$ ;  $W=161$ ,  $p=0,01$ ; Figuur 5.2). Wanneer de vestiging per locatie opgesplitst wordt voor de twee substraattypen,

is er een hogere vestiging van mosselen waarneembaar op de oesterschelpen, zowel voor de rifgeluid- als referentielocatie (Figuur 7.2, Bijlage I).

Wanneer veel mosselen zich vestigen is er mogelijk onvoldoende ruimte voor oesters om een geschikte vestigingslocatie te vinden. Daarom is de vestiging van mosselen meegenomen om de oestervestigingspatronen te duiden.

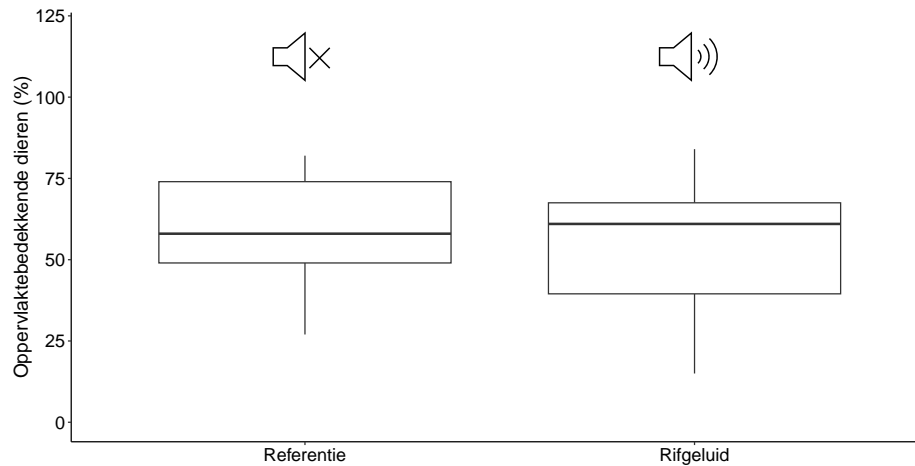


**Figuur 5.2** De hoeveelheid gevestigde mosselen (in biovolume (ml)) op een locatie met rifgeluid en op een referentielocatie.

#### Overige aangroei-soorten

Net zoals geldt voor andere schelpdieren, zoals mosselen, kunnen aangroei-soorten (bijv. Zeepokken en slijkgarnalen) geschikte vestigingslocaties voor oesterlarven bezetten. Aangroei-soorten zijn daarom ook nader onderzocht en meegenomen als verklarende variabele.

Hoewel bedekkingen iets hoger zijn, bedekken aangroei-soorten niet significant meer of minder van de substraten op de locatie met rifgeluid of de referentielocatie ( $W=164,5$ ,  $p=0,72$  Figuur 5.3 en Bijlage I Figuur 7.3).



**Figuur 5.3** De geschatte percentuele bedekking van aangroei-soorten op vestigingssubstraten bij de locatie met rifgeluid en de referentielocatie.

## 5.3 Discussie – praktijktest oestervestiging

### Methodische set-up

De methodische set-up bestaat uit het testen van één luidsprekeropstelling, versus een referentielocatie, waardoor er sprake is van pseudoreplicering. Vanuit financiële en praktische overwegingen was het niet mogelijk om een set-up te creëren waarbij meerdere replica's gebruikt werden. Om toch tot een enigszins houdende statistische analyse te komen van data zijn de pseudoreplica's als replica's behandeld.

### Oestervestiging

Het is opmerkelijk dat er meer oesters zijn gevonden op de referentielocatie dan op de locatie met rifgeluid. Dit was tegen de verwachting in gezien het positieve effect van rifgeluid op de aantrekking en vestiging van oesterlarven in Australië (McAfee et al., 2023; Williams et al., 2023), Verenigde Staten (Lillis et al., 2015) en met de in de Noordzee voorkomende Japanse oester onder labcondities (Schmidlin et al., 2024; Stocks et al., 2012). In de huidige opzet van het onderzoek is geen visueel onderscheid gemaakt tussen de platte en Japanse oester, waardoor onze resultaten eveneens vestiging van Japanse oesters omvat.

Er zijn een aantal mogelijke verklaringen voor lagere vestiging van oesterlarven op een locatie met rifgeluid: 1) geschikte vestigingslocaties waren al bezet, 2) het afgespeelde rifgeluid was niet voldoende geschikt of werd gemaskeerd door antropogeen geluid 3) locatie effecten, zoals de beschikbaarheid van aanwezige larven waren sterker dan het effect van rifgeluid.

Naast oesterlarven zijn er ook larven van andere soorten, zoals mosselen (Jolivet et al., 2016) en zeepokken (Stanley et al., 2014), die ook akoestische signalen of trillingen

gebruiken voor de zoektocht naar een geschikte vestigingslocatie. Wanneer deze soorten eerder vestigen, doordat ze al massaal in de waterkolom aanwezig zijn en/of betere zwemmers zijn dan oesterlarven, kunnen ze mogelijk sneller vestigen. Het gevolg is dat geschikte vestigingslocaties al bezet zijn voordat de oesterlarven arriveren. Mogelijk waren er enkel nog geschikte vestigingslocaties beschikbaar op de referentielocatie, waardoor daar een hogere vestiging van oesters is waargenomen.

Deze resultaten hebben de praktische consequentie dat de toepassing van een luidspreker met rifgeluid op zee ter bevordering van oesterrifvorming nog niet wordt bekrachtigd. Het is echter mogelijk dat een dergelijke toepassing op grotere dieptes leidt tot betere resultaten. Aangezien platte oesters tot ruim 50 meter diep kunnen voorkomen, waar veel andere soorten dat niet meer doen, zal de concurrentie voor geschikte vestigingslocaties lager zijn.

#### Vestigingssubstraten

Er is een verschil in vestiging tussen de vestigingssubstraten schelpen en reefpaste waargenomen (zie Bijlage I voor de resultaten). Zo vestigen oesterlarven meer op reefpaste dan op schelpen, terwijl een hoger biovolume van mosselen werd gevonden op schelpen dan op reefpaste. Dit kan eventueel een voorkeur van oesterlarven voor reefpaste aanduiden, echter kan het ook het geval zijn dat de mosselen geschikte vestigingslocaties op de schelpen al hadden bezet. Andere aangroeiëieren hadden een hogere bedekking op reefpaste dan op schelpen.

Deze verschillen resulteren niet in een andere conclusie m.b.t. de resultaten eerder gepresenteerd, aangezien er een gelijk aandeel van schelpen en reefpaste op beide studielocaties aanwezig was.

## 6 Conclusie en plan van aanpak

### 6.1 Conclusie

Op basis van deze studie, waarbij voor het eerst een offshore luidspreker is ontwikkeld en in de Noordzee is toegepast om te testen of afgespeeld rifgeluid de vestiging van platte oesters bevordert zijn de conclusies:

- Het is mogelijk voor een bedrag van 5000 EURO (materiaalkosten nieuw) of 4000 Euro (gedeeltelijk 2<sup>e</sup> hands) een offshore luidspreker te ontwikkelen die op een Noordzee locatie rifgeluid kan afspelen en daarbij een bereik heeft van circa 30 meter.
- Het prototype kan opnieuw worden ingezet, met het advies om het filter opnieuw af te stellen afhankelijk van de plaatsingslocatie.
- De luidspreker heeft 2 maanden een geluidsniveau gehaald dat gelijk (< 2 kHz) of hoger (> 2 kHz) was dan de gemeten niveaus dicht bij een oesterrif en kon daarmee gedurende het gehele natuurlijke reproductiesizoen van de platte oester continue actief zijn zonder dat vervanging van accu's nodig was.
- In tegenstelling tot de verwachting was oestervestiging op een locatie met rifgeluid via een luidspreker lager dan op een referentielocatie.
- Het kunstmatig afspelen van rifgeluid lijkt bij deze eerste praktische test geen geschikte maatregel om soortgerichte vestiging van platte oester te stimuleren,

Op andere locaties en onder andere omstandigheden anders zou dit anders kunnen uitpakken.

### 6.2 Verbeterrichtingen

De studie kon (nog) niet bevestigen of het afspelen van rifgeluid op grote schaal kan leiden tot oesterrifherstel. Wel geven de uitkomsten in combinatie met eerder onderzoek een indicatie dat, met behulp van geluid, vestiging van verschillende soorten organismen gestimuleerd kan worden.

In Tabel 6.1 zijn vervolgstappen aangedragen die nodig zijn om te ontdekken of:

- 1) De techniek met aanpassingen of in bepaalde omstandigheden het gewenste effect kan sorteren op vestiging van de platte oester;
- 2) De toepassing van geluid voor andere soorten / voor rifvorming in meer algemene zin relevant kan zijn in de context van natuurversterking.

Voor Natuurversterking Noordzee is werken op grotere diepte een zeer relevante factor aangezien naar offshore oesterrifherstel wordt toegewerkt. Er ligt zowel een verbeteropgave die onder gecontroleerde omstandigheden vervolg kan krijgen (bijv. Testen van combinaties van mossellarven en oesterlarven en hun onderlinge timing), als een verbeteropgave die zich leent voor testen in de praktijk van de offshore

Noordzee (bijv. Testen op grotere diepte bij een oesterrifherstelproject). In paragraaf 6.3 is een concretere uitwerking voorgesteld van dit laatste.

Tabel 6.1 Verbeteringen voor geluidstoepassing natuurversterking Noordzee

Verbetering	Aspect	Verwacht resultaat
Groter aantal luidsprekers	methodisch	Voorkomen van pseudoreplica's en een sterk locatie effect
Standaardisatie oppervlakte vestigingssubstraat	methodisch	Eenvoudige onderlinge vergelijking tussen type substraten en omrekening naar oesterdichtheid mogelijk
Ander filter voor rifgeluid	technisch	Het filter versterkte te veel boven de 2 kHz, een lager geluidniveau boven de 2 kHz zorgt voor een betere nabootsing van het rifgeluid
Geschikt maken voor diepte > 15 m	technisch	Grotere diepte vereist aanvullende testen met de speaker of herziening van het ontwerp
Diepere locatie	ecologisch	Meer soortgericht effect voor platte oester. Minder aangroei van andere soorten (o.a. mosselen, zeepokken en Japanse oester)
Niet-soortgerichte toepassing rifsoorten	ecologisch	Aantrekken van rifbewoners, niet zo zeer platte oester. Indirect leidt de geluidsproductie van de rifbewoners (krabben, garnalen), mogelijk tot een vestigingssignaal voor rifsoorten
Minimaliseren antropogeen geluid	ecologisch	Verbeteren natuurlijke geluidssignalen

### 6.3 Plan van aanpak

Dit project heeft geresulteerd in een werkend prototype, dat gedurende de gehele uitplaatsingsperiode zelfstandig heeft gefunctioneerd op de interne accu's. Aan de hand van de opgedane ervaringen en in het licht van de opgave van Natuurversterking Noordzee schetst deze paragraaf een plan van aanpak voor een volgende stap binnen dit onderwerp.

De hoofdlijn is:

1. Het testen op dieper gelegen offshore locaties vanwege de aansluiting bij Natuurversterking Noordzee en vanwege de mogelijke andere vestigingsrespons van platte oester dan in ondiep kustwater.
2. Het meenemen van de reactie van meer soorten dan alleen de platte oester om de toepasbaarheid voor rifvorming in meer algemene zin beter te begrijpen.

De aanpak bestaat uit de volgende onderdelen:

1. Technische aanpassingen offshore locatie
  - Aanpassing geluidsfilter op lokale omgeving
  - Herziening ontwerp voor diepte > 15 m
2. Praktijkproef speakers en substraten
  - Productie meerdere systemen om een gerepliceerd experiment te kunnen uitvoeren. Minimaal: 5 actieve speakers en 5 dummies (frames zonder afgespeeld geluid)
  - Uitplaatsing tijdens larvenpiek
  - Ophalen systemen en substraten
  - Aanvullende metingen overige rifbewoners

Aangezien scheepstijd gewoonlijk de meest kostbare component bij offshore projecten vormt, verdient het aanbeveling om een praktijktest te combineren met andere zeegaande initiatieven. Bijvoorbeeld wanneer vanuit Natuurversterking Noordzee met rifherstel op het Friese Front wordt gestart. Belangrijk bijkomend voordeel van deze combinatie is dat vanuit Natuurversterking Noordzee wordt gewerkt aan actief platte oesterrifherstel op het Friese Front. Daardoor zullen er ter plaatse oesterlarven worden geproduceerd door de uitgeplaatste oesters. Dit zal naar verwachting vanaf 1 jaar na uitplaatsing (zomer 2028) van de oesters (verwachte uitplaatsing zomer 2027) het geval zijn. Dit is een logisch moment om een test met rifgeluid uit te voeren. Eventueel kan eerder (zomer 2027) al een test plaatsvinden, waarbij in vermoedelijke afwezigheid van platte oesterlarven specifiek kan worden onderzocht wat de respons is van andere soorten rifbewoners.

## 6.4 De rol van omgevingsgeluid

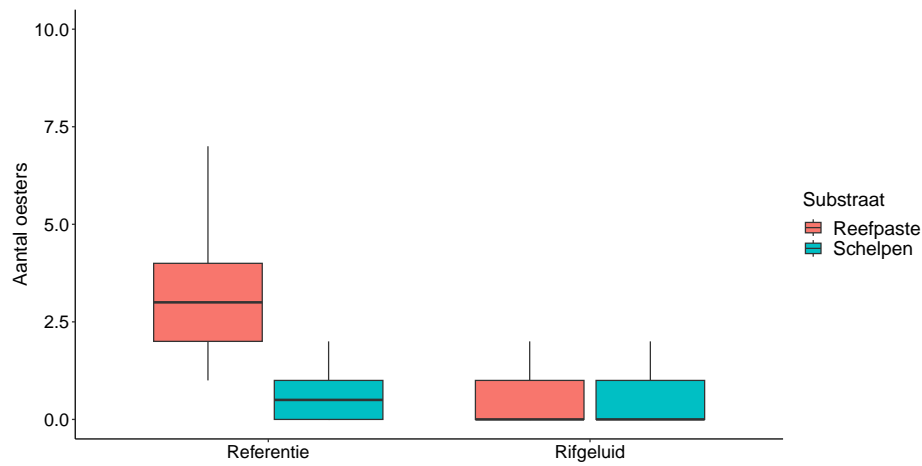
De Noordzee is een drukbevangen zee. Hierdoor kunnen de afgespeelde rifgeluiden gemaskeerd zijn, waarbij de akoestische signalen voor aantrekking en vestiging onvoldoende worden ontvangen door de larven (Duarte et al., 2023). Voor Japanse oester en de Australische platte oester is bijvoorbeeld gevonden dat rifgeluid in combinatie met scheepsgeluid niet langer leidt tot een hogere aantrekking of vestiging (Schmidlin et al., 2024, Williams et al., 2024). Naast aandacht voor de mogelijkheden om geluid in te zetten als maatregel voor natuurversterking is het van belang aandacht te richten om negatieve effecten van antropogeen geluid. Maatregelen die zich richten op het minimaliseren van antropogeen geluid dragen positief bij aan het verbeteren van het natuurlijke onderwatergeluid-landschap. Tot slot is een aanpak om de natuurlijke geluidsproductie snel op te starten door rifbewoners, en niet soortgericht platte oester, aan te trekken met geluid een aanpak die verder verkend kan worden in de context van natuurversterking Noordzee.

## Literatuur

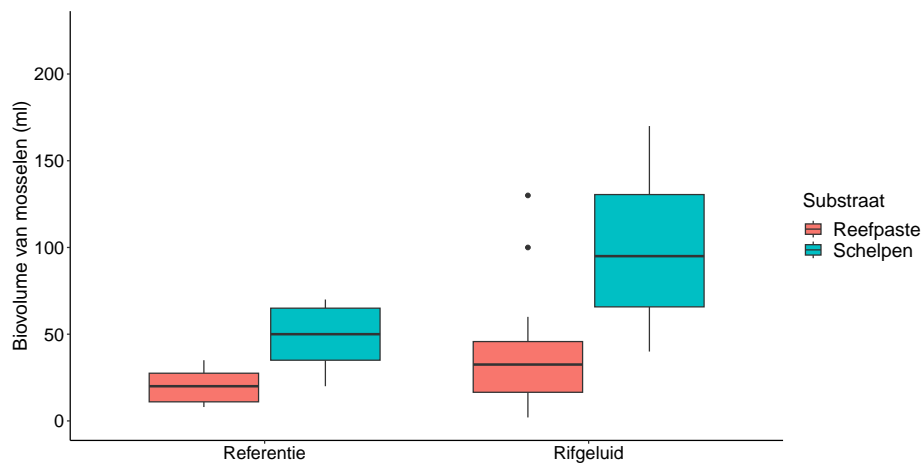
- Christianen, M.J.A., Lengkeek, W., Bergsma, J. H., Coolen, J.W.P., Didderen, K., Dorenbosch, M., Driessen, F.M.F., Kamermans, P., Reuchlin-Hugenholtz, E., Sas, H., Smaal, A., Van Den Wijngaard, K.A., & Van Der Have, T. M. (2018). Return of the native facilitated by the invasive? Population composition, substrate preferences and epibenthic species richness of a recently discovered shellfish reef with native European flat oysters (*Ostrea edulis*) in the North Sea. *Marine Biology Research*, 14(6), 590-597. <https://doi.org/10.1080/17451000.2018.1498520>
- Herman, A. 1937. Reproduction of indigenous oysters in Morbihan and Finistère (Brittany) in 1936. *Revue des Travaux de l'Institut des Pêches Maritimes*, 10, 61-66.
- Olsen, O.T. 1883. The piscatorial atlas of the North Sea, English Channel, and St. George's Channels: Illustrating the fishing ports, boats, gear, species of fish (how, where, and when caught), and other information concerning fish and fisheries. Olsen.
- Lillis A., Bohnenstiehl D.R., Eggleston D.B. 2015. Soundscape manipulation enhances larval recruitment of a reef-building mollusk. *PeerJ* 3:e999 <https://doi.org/10.7717/peerj.999>
- McAfee, D., Williams, B.R., McLeod, L., Reuter, A., Wheaton, Z. and Connell, S.D., 2023. Soundscape enrichment enhances recruitment and habitat building on new oyster reef restorations. *Journal of Applied Ecology*, 60(1), pp.111-120.
- McDonald, J.I., Wilkens, S.L., Stanley, J.A. and Jeffs, A.G., 2014. Vessel generator noise as a settlement cue for marine biofouling species. *Biofouling*, 30(6), pp.741-749.
- Potet, M., Fabien, A., Chaudemanche, S., Sebaibi, N., Guillet, T., Gachelin, S., Cochet, H., Boutouil, M. & Pouvreau, S. 2021. Which concrete substrate suits you? *Ostrea edulis* larval preferences and implications for shellfish restoration in Europe. *Ecological Engineering*, 162, 106159.
- Sas, H., van Duren, L., Herman, P.M., van der Have, T., Kamermans, P., Bos, O.G., Kingma, E., Bouma, T., & Kardinaal, W.E.A. 2023. Reef-building species and biogenic reef enhancement in the Dutch North Sea: Background documents.
- Schmidlin, S., Parcerisas, C., Hubert, J., Watson, M. S., Mees, J., Botteldooren, D., ... & Hablützel, P. I. 2024. Comparison of the effects of reef and anthropogenic soundscapes on oyster larvae settlement. *Scientific Reports*, 14(1), 12580.
- Simpson, S. D., Meekan, M., Montgomery, J., McCauley, R., & Jeffs, A. 2005. Homeward sound. *Science*, 308(5719), 221-221.
- Stanley, J.A., Wilkens, S.L. and Jeffs, A.G., 2014. Fouling in your own nest: vessel noise increases biofouling. *Biofouling*, 30(7), pp.837-844.
- Stocks, J. R., Broad, A., Radford, C., Minchinton, T. E., & Davis, A. R. 2012. Response of marine invertebrate larvae to natural and anthropogenic sound: A pilot study. *Open Mar. Biol. J.*, 6(1), 57-61.

- Vasquez, H.E., Hashimoto, K., Kitamura, H., & Satuito, C.G. 2014. Wheat germ agglutinin-binding glycoprotein extract from shells of conspecifics induces settlement of larvae of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg). *Journal of Shellfish Research*, 33(2), 415-423.
- Wilkens, S.L., Stanley, J.A. and Jeffs, A.G., 2012. Induction of settlement in mussel (*Perna canaliculus*) larvae by vessel noise. *Biofouling*, 28(1), pp.65-72.
- Williams, B.R., McAfee, D. and Connell, S.D., 2022. Oyster larvae swim along gradients of sound. *Journal of Applied Ecology*, 59(7), pp.1815-1824.
- Williams, B.R., McAfee, D. and Connell, S.D., 2023. Combining ecology and technology to kick-start oyster reef restoration. *Restoration Ecology*, 31(8), p.e13975.
- Williams, B.R., McAfee, D. and Connell, S.D., 2021. Repairing recruitment processes with sound technology to accelerate habitat restoration. *Ecological Applications*, 31(6), p.e02386
- Williams, B.R., McAfee, D. and Connell, S.D., 2024. Anthropogenic noise disrupts acoustic cues for recruitment. *Proceedings B*, 291(2027), p.20240741.

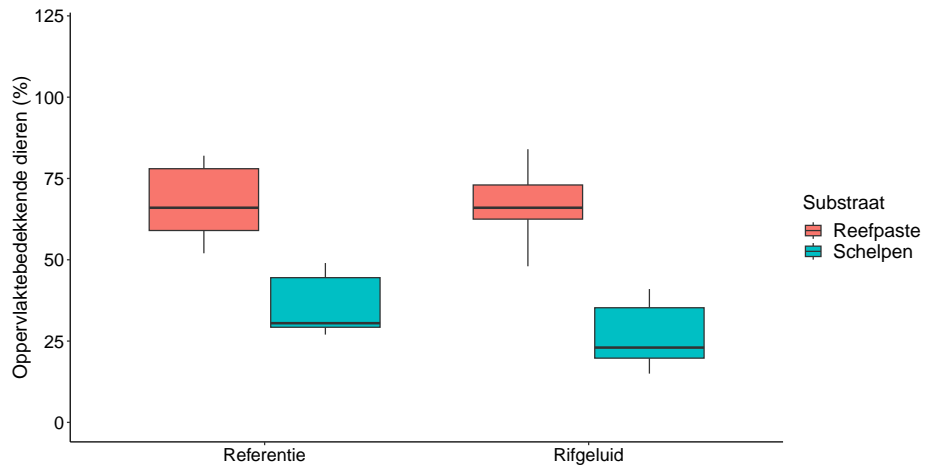
## Bijlage I: Vestiging per substraat type



**Figuur 7.1** Het aantal gevonden oesters per substraattype (Reefpaste of schelpen) op een locatie met rifgeluid en op een referentielocatie.



**Figuur 7.2** Het biovolume van mosselen per substraattype (Reefpaste of schelpen) op een locatie met rifgeluid en op een referentielocatie.



**Figuur 7.3** De bedekking met aangroei-soorten per substraattyp (Reefpaste of schelpen) op een locatie met rifgeluid en op een referentielocatie.



**WAARDEN  
BURG**  
Ecology



**WATER  
PROOF** Marine Consultancy  
& Services BV.



**EcoShape**  
*building with nature*

**Van Oord**   
Marine ingenuity