



Universiteit  
Leiden  
The Netherlands

## **Pelagic fish and harbour porpoise at North Sea wind farms: acoustic investigation and science communication**

Demuynck, J.M.

### **Citation**

Demuynck, J. M. (2026, March 13). *Pelagic fish and harbour porpoise at North Sea wind farms: acoustic investigation and science communication*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/4296692>

Version: Publisher's Version

License: [Licence agreement concerning inclusion of doctoral thesis in the Institutional Repository of the University of Leiden](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/4296692>

**Note:** To cite this publication please use the final published version (if applicable).

## **Nederlandse samenvatting**

De onderwater wereld is van nature lawaaiërig. Met zowel niet-biologische geluidsbronnen (zoals aardbevingen en het weer) als biologische (zoals walvissen en veel verschillende dieren op koraalriffen) is het onderwater geluidlandschap erg divers. Maar sinds de afgelopen tientallen jaren is er ook een niet-natuurlijke bron die aanzienlijk bijdraagt aan het geluidlandschap, niet alleen op land maar ook onder water: menselijke activiteit. Antropogeen geluid is een steeds vaker voorkomende vervuiler geworden in de onderwateromgeving. Daarom wordt er ook steeds meer onderzoek gedaan naar mogelijke effecten van antropogeen geluid op het onderwater leven. In sommige gevallen wordt geluid expres geproduceerd omdat het een functie heeft voor de activiteit. Dankzij sonar kan bijvoorbeeld informatie worden verzameld over de bodem. Maar vaak is het geluid dat een menselijke activiteit produceert eerder een bijproduct, zoals bij scheepsvaart, en windmolenparken.

In de context van de energietransitie en klimaatdoelen worden er op zee steeds meer windmolenparken gebouwd. Bij windmolenparken hangt de intensiteit en duur van het geluid af van het stadium: een hoog intensief geluid met intervallen bij het heien van turbines tijdens constructie, en een bijna constant geluid maar met lagere intensiteit tijdens de operationele fase. Voor dit proefschrift werden de effecten van geluid door windmolenparken met name onderzocht bij pelagische vissen. 'Pelagische' vissen bevinden zich meestal ergens in het midden van de waterkolom (in tegenstelling tot 'demersale' vissen die eerder dicht bij de bodem leven) en vormen een belangrijke link in de voedselketen tussen plankton en grotere predators. Ze zwemmen vaak in scholen en zijn voor ons ook van economisch belang. De studies in dit proefschrift hebben plaatsgevonden in de Noordzee, in windmolenparken op de Belgisch-Nederlandse grens. Typisch voorkomende pelagische vissoorten in de Noordzee zijn bijvoorbeeld haring, sprat, en makreel. Daarnaast is de bruinvis, een kleine walvisachtige, een van de belangrijkste jagers van pelagische vissen in de Noordzee.

Voor dit proefschrift werd onderzoek gedaan naar de effecten van operationele windmolenparken op pelagische vissen en de bruinvis in de Noordzee (hoofdstuk 5). Daarnaast werd ook onderzoek gedaan naar het verbeteren van een mitigatie methode voor geluidsoverlast bij heien (hoofdstukken 2, 3 en 4). Naast het meerjarige project rond windmolenparken, heb ik in het laatste jaar van mijn PhD nog een studie over communicatie uitgevoerd bij bezoekers van een zoo (hoofdstuk 6). Hieronder licht ik de voornaamste bevindingen van elke studie van dit proefschrift toe. Deze studies werden samen met collega's en studenten uitgevoerd (zie Acknowledgements).

Eén manier om schade door geluidsoverlast van heien te vermijden is door op voorhand niet-schadelijk geluid af te spelen, wat de dieren zou moeten afschrikken en wegdrijven die zich te dicht bij de gevarenszone bevinden. Dit principe heet een 'akoestisch afschrikmiddel' en wordt ook toegepast in verschillende andere situaties, zoals een zeehondenverschrikker bij viskwekerijen. Maar welke geluiden geschikt zijn om (pelagische) vissen op zee af te schrikken was nog niet onderzocht. Daarom heb ik als eerste stap een studie gedaan met wild-gevangen haringen door die in een bassin bloot te stellen aan verschillende

geluidsstimuli. Een geluidsstimulus duurde tien seconden en bestond uit meerdere tikken na elkaar, en werd vanuit een speaker hangend in het midden van een cirkelvormig bassin afgespeeld. De stimuli waren ontworpen gebaseerd op het idee dat een geluid die 'dreigend' kan overkomen, bijvoorbeeld door in geluidssterkte toe te nemen en alsmaar sneller te tikken. Zulke geluiden werden al eerder bij verschillende zoogdieren (inclusief de mens) bestudeerd en dreigend bevonden, maar nog niet bij vissen. De geluidsstimuli die ik getest heb waren ofwel constant, stijgend of dalend in geluidssterkte, en ze hadden ofwel een constante, oplopende of aflopende duur tussen de tikken. Dit resulterende in acht verschillende combinaties. De haringen werden telkens in kleine groepjes tien keer na elkaar blootgesteld aan één geluidsstimulus, met korte stilte pauzes ertussen. Bovendien werden op deze manier alle acht geluidsstimuli afgespeeld bij ieder groepje vissen, met daartussen dan telkens langere stilte pauzes en dit verspreid over twee dagen tijd (vier stimuli per dag). Het zwemgedrag van de haringen heb ik met verschillende onderwatercamera's vastgelegd en vergeleken met het gedrag wanneer geen geluid werd afgespeeld.

In hoofdstuk 2 beschreef ik de hoofdzakelijke resultaten van deze studie. We vernamen dat de vissen over het algemeen in cirkels langs de rand van het bassin zwommen. Toen geluid werd afgespeeld, ongeacht welk van de acht stimuli, bleek dat een groter aandeel van de vissen van een groepje enkele keren begonnen heen en weer te draaien vooraleer ze weer in cirkels gingen zwemmen zoals daarvoor. Ook zwommen de vissen tijdens geluidsblootstellingen gemiddeld iets dieper in het bassin vergeleken met tijdens stilte. Ik vond echter geen verschil in reactie tussen de acht verschillende geluidsstimuli. Dus ook al reageerden de vissen op een geluidsblootstelling in het algemeen; de veronderstelde 'dreigende' stimulus (alsmaar toenemend in geluidssterkte en sneller opeenvolgende tikken) bleek geen sterker effect op te wekken dan de andere stimuli.

In hoofdstuk 3 heb ik nog extra analyses van de data van de haringstudie beschreven, en meer technische methodiek uitgelegd. Omdat een groepje haringen telkens tien keer na elkaar aan één geluidsstimulus werd blootgesteld, kon ik nagaan hoe de sterkte van een reactie eventueel zou veranderen tijdens opéénvolgende blootstellingen. Bovendien werd een groepje vissen ook aan alle acht van de geluidsstimuli blootgesteld over twee dagen tijd, telkens dus met tien herhalingen van elk. Hierdoor kon ik zowel op korte (tien herhalingen per één stimulus) en lange termijn (acht stimuli over twee dagen) de volgende vraag beantwoorden: Reageerden de vissen nog steeds even sterk op een geluid als ze er meerdere malen aan werden blootgesteld, of zou er een vermindering in reactiesterkte over tijd optreden? Zoals eerder vermeld, reageerden de vissen op geluid door vaker heen en weer te draaien en iets dieper te zwemmen. Wat bleek is dat er geen verandering was in hoe sterk de vissen reageerden over tijd, zowel op korte als lange termijn. Dit toont aan dat een verzwakking in reactie, bij haringen en met deze geluiden, niet optreedt. Dit suggereert dat dit experiment inderdaad geschikt is om een reactievermogen te vergelijken tussen geluidsstimuli die verschillen in sterkte en duur tussen elke tik, ondanks het feit dat er uiteindelijk geen verschil gevonden was in reactie tussen de acht verschillende geluidsstimuli.

In een bassin hebben we dus vastgesteld dat haringen reageren op de geluiden die we afspeelden en dit ook blijven doen als geluiden meerdere malen werden afgespeeld, maar geen onderscheid maakten tussen de verschillende geluidsstimuli. De vraag bleef toen nog of dit type geluidsstimuli al dan niet op zee een effect bij pelagische vissen zouden uitlokken, met als doel ze weg te kunnen jagen voor het heien van turbines begint. Met andere woorden, zijn dit soort geluiden geschikt om te gebruiken als akoestisch afschrikmiddel voor pelagische vissen? In hoofdstuk 4 beschrijf ik de vervolgstudie die we op zee hebben uitgevoerd om deze vraag te beantwoorden. Hiervoor hebben we binnen een bestaand windmolenpark (C-Power in België) vier frames met sensors op de bodem van de zee geplaatst. Eén van de sensors op elk frame was een echosounder: een sensor die, zoals sonar, hoog frequentie geluid uitstuurt (wat niet hoorbaar is voor vissen) en de weerkaatsingen van onder andere vissen opvangt en registreert. Op die manier krijgen we informatie over hoeveel en waar vissen zich bevinden in de waterkolom. We plaatsten vier zulke sensors op de bodem in een rijtje.

Vanaf een boot lieten we een speaker te water om geluidsstimuli af te spelen, afwisselend aan één of de andere kant van het rijtje sensors. We speelden daarnaast ook stiltes af, om daarna te vergelijken hoe het gedrag van de vissen verschilde tussen het afspelen van geluid of stilte. We gebruikten grotendeels dezelfde geluidsstimuli als voor de bassinstudie, maar omdat een experiment op zee uitdagender is en replicatie lastiger te verkrijgen, hebben we de soorten stimuli teruggebracht naar vier (in plaats van acht voor de bassin studie). Deze keer hebben we geluidsstimuli getest die ofwel een constante duur tussen elke tik hadden, of waarbij de duur tussen de tikken toenam en daarna weer afnam (resultierend in een geluid die snel begint en ‘vertraagt’ om daarna weer te ‘versnellen’). Naast deze variatie in duur tussen tikken, waren de geluidsstimuli ook ofwel gemaakt uit ‘white noise’ (breedbandige willekeurige ruis, zoals gebruikt in de basinstudie) of een ‘sweep’ (een toon oplopend in frequentie, zoals gebruikt in commerciële visverschrikkers). Dit resulteerde in de vier verschillende geluidsstimuli; verschillende combinaties van white noise of sweep en constante of variërende duur tussen tikken.

Nadat we de sensors na het experiment hadden opgehaald, konden we nagaan hoe de vissen zich hadden gedragen toen we geluid afspeelden. Helaas waren er over het algemeen niet erg veel vissen aanwezig gedurende de periode dat we de metingen hebben gedaan. Dat maakte het wat lastiger om de experimentele condities te vergelijken, maar een algemeen beeld werd wel duidelijk. We vonden namelijk dat de hoeveelheid vissen die aanwezig was niet verschilde tussen de periodes met het afspelen van de geluiden of met enkel stilte. We hebben uit de data ook geleerd dat de vissen niet veranderden in zwem- richting en snelheid tijdens of na het afspelen van geluiden. We zagen wel wat veranderingen in hoe diep vissen zwommen, maar we hadden te weinig informatie om te bepalen of dit door het afspelen van het geluid veroorzaakt werd. Omdat we over het algemeen geen duidelijke vluchtreactie konden waarnemen, veronderstellen we dat de geluiden niet geschikt zijn om als akoestisch afschrikmiddel toe te passen. Het is nog niet duidelijk of andere type geluidsstimuli wel zouden werken, maar het kan ook zijn dat pelagische vissen eigenlijk niet echt zulke vluchtreacties vertonen, waarbij ze wegzwemmen. Misschien reageren ze eerder door de

groepsformatie in een school tijdelijk aan te passen. Toekomstig onderzoek zou hier duidelijkheid in moeten brengen.

Naast onderzoek naar verminderen van de negatieve impact van geluid door heien, is het ook belangrijk om te monitoren hoe het zeeleven zich gedraagt in het uitbreidende areaal aan windmolenparken. Daarom deden we een studie naar het effect van windmolenparken die reeds gebouwd waren, in de operationele fase, op het voorkomen van pelagische vissen en bruinvissen (hoofdstuk 5). We hadden opnieuw frames met sensors op de zeebodem geplaatst: echosounder sensors om vissen te tracken, 'C-POD' sensors die de echolocatie van bruinvissen kunnen detecteren, en ook hydrofoons om geluidsniveaus te meten. Van de vier frames met sensors plaatsten we er telkens twee binnen windmolenparken, en tegelijkertijd twee op een locatie buiten windmolenparken als controle. Voor die controlelocaties gebruikten we scheepswrakken, omdat daar minder risico was op beschadiging van de frames door sleepnetten. Op deze manier voerden we zogenaamde 'gepaarde dataverzameling' uit: tegelijkertijd data verzamelen op de twee soorten locaties (binnen en buiten een windmolenpark). De studie werd uitgevoerd van 2021 tot 2023 en resulteerde uiteindelijk in 7 dataparen (dus 14 keer een frame met sensors geplaatst) en data uit 4 verschillende windmolenparken langs de Belgisch-Nederlandse kust.

Dankzij de gepaarde wijze van data verzamelen konden we vergelijken hoe pelagische vissen en bruinvissen zich verhouden tot windmolenparken vergeleken met locaties daarbuiten (bij scheepswrakken). We vonden een tegenovergesteld patroon: binnen windmolenparken was er een lager hoeveelheid pelagische vissen te vinden dan erbuiten, terwijl de aanwezigheid van bruinvissen hoger was binnen windmolenparken dan erbuiten. Een mogelijke verklaring voor het feit dat we minder pelagische vissen geobserveerd hebben binnen windmolenparken, is omdat het mixen van de waterlagen anders kan zijn rond de palen, wat zou kunnen leiden tot een lagere plankton productie. Veel (kleine) pelagische vissoorten voeden zich met plankton. Ook kan het misschien een minder veilige plek zijn als er meer predators, zoals bruinvissen, aanwezig zijn. Voor bruinvissen zou er net meer eten te vinden kunnen zijn in de buurt van de palen binnen een windmolenpark. Bruinvissen zijn opportunistische eters, dus al eten ze pelagische vissen, hun dieet is gevarieerd en bestaat ook uit soorten van andere benthische visgroepen. Structuren zoals turbines trekken namelijk leven aan; eerst vaak mossels en andere filtervoeders die zich aan de palen hechten. Uiteindelijk trekken die soorten dan ook weer kreeften en vissen aan, en uiteindelijk ook grotere predatoren. Deze lokale groei aan leven wordt ook een 'artificieel rif effect' genoemd.

Opvallend genoeg vonden we dat de gemeten geluidsniveaus gemiddeld lager waren binnen windmolenparken dan erbuiten. Actieve turbines van een windmolenpark produceren een laag intensief constant geruis, maar scheepsvaart wordt wel grotendeels beperkt binnen de parken. De controle-locaties (bij de scheepswrakken) van de studie lagen dichterbij de drukke scheepsroutes, wat zou kunnen verklaren waarom die locaties gemiddeld luider waren. Ondanks het feit dat het achtergrondlawaai minder luid was binnen windmolenparken, wilt dat niet zeggen dat geluid geen storende factor meer kan zijn voor

bijvoorbeeld vissen. Soms gaat het niet enkel om de absolute geluidsniveaus, maar ook om de voorspelbaarheid van een geluid. Ook al varen er over het algemeen minder schepen door een windmolenpark, grote lawaaiërigere schepen zijn toch af en toe aanwezig, met name voor onderhoudswerken. Op die manier kan lawaai misschien minder voorspelbaar en meer verstorend zijn.

Nadat het driejarige project rond windmolenparken en pelagische vissen was afgerond, werd een afsluitend event georganiseerd in de Blijdorp Zoo van Rotterdam. Daarin werden naast de stakeholders met hun genodigden, ook middelbare scholieren uitgenodigd om bij te leren over het project. Er werd, na presentaties over de onderzoeksresultaten, ook een tour door het Oceanium van de zoo gegeven waarbij akoestische weetjes werden verteld bij sommige diersoorten. Met de effecten van geluid op vissen in gedachten vroeg ik me toen ook af wat er in dit soort aquaria speelt; waar dagelijks honderden mensen passeren en 'lawaai maken'. Bovendien vroeg ik me af hoe de bezoekers dit lawaai zelf ervaren. Daarom heb ik in het laatste jaar van mijn PhD nog een onderzoeksproject bedacht rond geluidsoverlast bij vissen, maar waarin de focus deze keer meer op de mens zelf lag. Dit onderzoek beschreef ik in hoofdstuk 6 van dit proefschrift.

In de Blijdorp Zoo in Rotterdam hing sinds 2001 al een bordje aan de ingang van de Oceaniumroute, en een herhaling vlak voor de haaiëntunnel (een deel van de route waarbij bezoekers in een tunnel door een aquarium heen kunnen lopen). Op dat bordje werd gevraagd om kinderen niet te laten schreeuwen. Het was echter niet duidelijk wat het effect was van dat bordje. Dit type bordjes komen wel vaker voor in een zoo, maar de vraag blijft vaak onbeantwoord of ze wel werken. Omdat het bordje ook al verouderd was, heb ik in samenwerking met Blijdorp Zoo nieuwe bordjes ontworpen ter vervanging. Gebaseerd op eerdere studies naar het gedrag van de mens en hoe die in publieke ruimtes te beïnvloeden, had ik vier variaties van bordjes gemaakt om die met elkaar te vergelijken. De boodschap op de bordjes was telkens dezelfde – *zachter praten a.u.b.* - maar dit werd op een andere manier geformuleerd of in context geplaatst. Als controle gebruikte ik een bordje in dezelfde stijl waar enkel 'welkom in het Oceanium' op stond. Deze 5 nieuwe bordjes werden over het verloop van het experiment dagelijks afgewisseld, opgehangen zowel aan de ingang van het Oceanium in een groter formaat en nogmaals in een kleiner formaat vlak voor de bezoekerstunnel. In een tweede fase van het onderzoek wilde ik ook testen of een spraakbericht, afgespeeld bij de ingang van het Oceanium, bovenop het gebruik van een bordje, nog beter zou werken om bezoekers stiller te krijgen vergeleken met een bordje alleen. Met verstopte microfoons heb ik continu geluidsniveaus gemeten in die bezoekerstunnel, waar het vaak het meest lawaaiërig is en waarvan medewerkers van de zoo ook al klachten van bezoekers hadden ontvangen. Daarnaast heb ik ook bezoekers enquêtes laten invullen om inzicht te krijgen in hun ervaring met het lawaai en om te checken of ze de borden hadden opgemerkt.

Over het algemeen bleek dat wanneer de borden met een boodschap om stiller te zijn ophingen, het inderdaad wat stiller was in de haaiëntunnel vergeleken met wanneer het controle bordje hing. Bovendien gaven bezoekers ook vaker aan dat ze bewust stiller

probeerden te zijn als de bordjes met de boodschap aanwezig waren. Echter had ik tussen de vier variaties boodschap-bordjes geen verschil gevonden in hoe goed ze werkten, dus de manier waarop de boodschap werd geformuleerd maakte niet zo veel uit. Het gebruik van een bordje blijkt dus wel effectief te zijn als sensibilisatie methode voor zoo bezoekers, maar het effect was eigenlijk ook niet erg groot (gemiddeld net iets meer dan 1 dB verschil). Daarnaast maakte het toevoegen van een spraakbericht geen verschil en zorgde niet voor een sterker effect. Verder onderzoek zou kunnen helpen om nog betere methodes te vinden om bezoekers bewust te maken van de impact van hun geluid op de dieren om hen heen, of op hun medebezoekers. Uit de antwoorden van de enquêtes bleek namelijk dat bezoekers het zeker zelf ook belangrijk vinden dat het in de omgeving niet te luid is.

Tijdens de verschillende onderzoekstudies beschreven in dit proefschrift werd geluid gezien als ofwel een 'betekenisvolle boodschap', of als 'overbodig en mogelijk storend lawaai'. Afsluitend wil ik dat onderscheid nog een keer benadrukken. (1) *Geluid als een boodschap*: Dit betekent dat er informatie zit in een geluid, een signaal dat voor mensen of dieren van belang kan zijn. In hoofdstukken 2, 3 en 4 werd beschreven hoe een geluidssignaal gebruikt en getest kan worden als akoestisch afschrikmiddel. Uit de resultaten bleek dat ook al kunnen vissen deze 'boodschap' horen, ze daarom niet per se reageren met vluchtgedrag zoals gewent. In hoofdstuk 6 bevatte een audiobericht de boodschap om stiller te zijn voor bezoekers van een zoo, maar deze boodschap kwam al voldoende over dankzij een bord alleen. (2) *Geluid als 'lawaai'*: Dit betekent dat een geluid ongewent, onaangenaam of zelfs storend kan zijn. De onderwaterwereld is op zichzelf lawaaierig, en er is ook steeds meer antropogeen geluid aanwezig. Eén van de steeds meer toenemende menselijke activiteiten op zee waarbij geluid komt kijken is de bouw en het in gebruik nemen van windmolenparken. Ik vond dat meer bruinvissen maar minder pelagische vissen waargenomen werden binnen windmolenparken vergeleken met erbuiten. Bovendien was het gemiddeld stiller binnen de parken dan erbuiten, mogelijk door de nabijheid van drukke scheepsroutes. De bezoekers van een zoo kunnen ook gezien worden als een mogelijks storende geluidsbron, voor zowel de dieren als de bezoekers zelf. Ik vond ook dat bezoekers inderdaad een niet te luide omgeving fijner vinden, en dat borden een geschikte manier kunnen zijn om bezoekers wat stiller te krijgen. Kort samengevat zijn zowel dieren als mensen constant blootgesteld aan verschillende soorten geluid, als een boodschap of als storend lawaai, en waar ze wel of niet om kunnen geven. Dit verdient aandacht en bewustzijn in de context van mogelijke welzijnsproblemen.