



Universiteit
Leiden
The Netherlands

Sound investigation: effects of noise on marine animals across trophic levels

Hubert, J.

Citation

Hubert, J. (2021, September 9). *Sound investigation: effects of noise on marine animals across trophic levels*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/3209242>

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/1887/3209242>

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

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <https://hdl.handle.net/1887/3209242> holds various files of this Leiden University dissertation.

Author: Hubert, J.

Title: Sound investigation: effects of noise on marine animals across trophic levels

Issue Date: 2021-09-09

Nederlandse samenvatting

De mariene onderwaterwereld is gevuld met een kakofonie van geluid. Dit geluid wordt geproduceerd door de golven en het kolken van water en door de vele dieren die geluid gebruiken om te communiceren. Over de afgelopen tientallen jaren is er steeds meer menselijke activiteit op zee, waarbij ook veel geluid wordt geproduceerd. In dit proefschrift heb ik effecten van lawaai op verschillende zeedieren onderzocht, waaronder zowel prooien als predatoren. Ik begin hier met een toelichting op de belangrijkste lawaaibronnen, en hoe en waarom dieren horen, voordat ik de resultaten van mijn onderzoek zal bespreken.

In het Nederlandse deel van de Noordzee is scheepvaart de grootste geluidsbron. Andere prominente geluidsbronnen zijn de uitvoering van seismisch onderzoek, heiwerkzaamheden en het opruimen van opgeveste explosieven. Seismisch onderzoek wordt uitgevoerd om structuren in de zeebodem in kaart te brengen, onder andere voor de zoektocht naar olie en gas. Tijdens seismisch onderzoek vaart een schip met lage snelheid en trekt 'airguns' voort die elke 6-15 seconden een harde klap produceren. De weerkaatsing van dit geluid op de verschillende bodemlagen wordt opgenomen door de hydrofoons (onderwatermicrofoons) die aan lange kabels ook door het schip worden voortgetrokken. Heiwerkzaamheden worden onder andere uitgevoerd voor het plaatsen van windmolens, olieplatformen, en het bouwen van havens. Ten slotte liggen er nog vele explosieven uit de Tweede Wereldoorlog op de bodem van de Nederlandse Noordzee. Als er een explosief wordt gevonden kan het noodzakelijk blijken om het gecontroleerd tot ontploffing te laten brengen.

Het geluid van deze verschillende activiteiten is hoorbaar voor de meeste – of misschien wel alle – mariene dieren. Inzicht in wat dieren horen, hoe ze op geluid reageren, en de effecten van menselijk geluid op hun welzijn, kan helpen om mariene ecosystemen te beschermen. Dieren kunnen geluid gebruiken om zich te oriënteren, bijvoorbeeld om geschikt leefgebied te vinden of predatoren op te merken en om te communiceren, bijvoorbeeld om een partner aan te trekken. Van alle vissen wordt verwacht dat ze geluid kunnen horen, en veel soorten maken zelf geluid. Ze horen geluid met behulp van haarcellen rondom gehoorsteentjes (otolieten), vergelijkbaar met ons binnenoor. Vissen hebben ongeveer dezelfde dichtheid als water en bewegen mee met de waterdeeltjes die trillen door de geluidsgolf. Omdat de gehoorsteentjes een hogere dichtheid hebben, bewegen deze pas later mee (uit fase) en zo kan de beweging worden waargenomen door de trilharen van de haarcellen. De zwemblaas van vissen kan ook een rol spelen. Door de drukverschillen van een geluidsgolf fluctueert de zwemblaas in grootte, en deze beweging kan ook doorgegeven worden aan de haarcellen rondom de otolieten. Ten slotte hebben vissen ook haarcellen op of in hun huid, die ook trillingen van het geluid waar kunnen nemen. Veel zijn

geconcentreerd in een zijlijn op beide flanken van de vis en op de kop rondom de bek.

Ook ongewervelden kunnen geluid waarnemen, en de gehoororganen lijken vaak op die van vissen. In plaats van otolieten hebben veel ongewervelden statolieten; dat zijn ook door haarcellen omgeven steentjes die relatief zwaar zijn. Daarnaast hebben verschillende ongewervelden, zoals krabben en garnalen, ook haarcellen op de buitenkant van hun lichaam. Sommige ongewervelden hebben speciale organen om geluid te detecteren, bijvoorbeeld een deel van de tweekleppigen, waar mosselen onder vallen. Een belangrijk verschil met de meeste vissen is dat ongewervelden geen zwemblaas of andere met-gas-gevulde ruimte hebben. Dit houdt in dat ongewervelden alleen de trilling – die veroorzaakt wordt door geluid – kunnen waarnemen, en niet de geluidsdruk, terwijl vissen met een zwemblaas beide componenten kunnen detecteren.

Omdat mariene dieren gebruik maken van geluid voor activiteiten die belangrijk zijn voor hun overleving en voortplanting, is het aannemelijk dat dieren beïnvloed worden door menselijk geluid. Dichtbij een sterke geluidsbron, zoals heien, kunnen vissen zelfs fysiek gewond raken. Onder andere hun zwemblaas en haarvaten kunnen beschadigen door de hoge geluidsdruk. Tot een veel grotere afstand van de geluidsbron kan menselijk geluid ander biologisch relevant geluid maskeren. Dit verkleint de afstand waarop geschikt habitat, partners, predatoren en prooien kunnen worden waargenomen. Daarnaast kan ook het gedrag en de fysiologie van dieren beïnvloed worden. Het is onder andere aangetoond dat vissen hun zwempatronen aanpassen, minder efficiënt zijn bij het pakken van hun voedsel. Geluid kan ook hun stressniveau verhogen.

Deze voorbeelden laten zien dat er een grote variatie in mogelijke effecten van menselijk geluid is. Dit maakt het echter ook moeilijk om in te schatten hoe schadelijk de effecten van geluid op groei, overleving en voortplanting van dieren zijn. Fysieke verwondingen van vissen dichtbij een sterke geluidsbron lijken misschien het meest ernstig, maar dit is slechts van toepassing op relatief kleine aantallen dieren. De schijnbaar mildere effecten vinden echter plaats op veel grotere afstand van de geluidsbron en beïnvloeden veel meer dieren. Daarom hebben dit soort effecten de meeste potentie om tot populatieeffecten te leiden. Daarom is het extra belangrijk om de effecten van geluid op gedrag en fysiologie te onderzoeken.

Voor dit proefschrift heb ik diverse experimenten met geluidsblootstellingen uitgevoerd. Ik heb gedragseffecten die relevant zijn voor groei, overleving en voortplanting gekwantificeerd en een aantal factoren die effecten van

geluid mogelijk beïnvloeden onderzocht. Hiervoor heb ik zowel vissen als ongewervelden onderzocht: kabeljauwen, zeebaarzen, strandkrabben, grijze garnalen en gewone mosselen. Alle experimenten heb ik samen met studenten en collega's uitgevoerd (zie Acknowledgements).

Onderzoek naar de gedragseffecten van geluid op dieren kan helpen om de gevolgen op populatieniveau in te schatten. Een eerder onderzoek naar kabeljauw, met behulp van een computermodel, liet zien dat een toename in energieverbruik en een verminderde voedselinname door geluid meer potentie hebben om de populatiegroei af te remmen dan directe effecten op overleving of reproductie. Dit is te verklaren met indirecte effecten, die optellen over tijd, op overleving en reproductie, via groei, rijping en een goede conditie.

Gedrag dat kan leiden tot een verhoogd energieverbruik is bijvoorbeeld: vaker of sneller zwemmen. Gedrag dat leidt tot een verminderde voedselinname is bijvoorbeeld minder vaak foerageren of minder succesvol foerageergedrag. Voor hoofdstuk 2 en 3 heb ik op verschillende manieren de tijd vastgesteld die kabeljauw aan bepaald gedrag besteedt, met en zonder geluidsblootstelling aan opnames van airguns of seismisch onderzoek.

Voor hoofdstuk 2 heb ik individuele kabeljauwen losgelaten in een groot net in de Oosterschelde. Met behulp van een zender in de kabeljauw en ontvangers buiten het net kon ik nauwkeurig hun positie bepalen. Op basis van de zwempatronen heb ik hun gedrag geclassificeerd, hieruit bleek dat sommigen kabeljauwen tijdens geluid vaker sneller zwemmen en minder tijd niet bewegen en rustig zwemmen (en mogelijk voedsel zoeken). Het bleek echter niet mogelijk om foerageergedrag als aparte categorie te classificeren, daarom heb ik nog een experiment met kabeljauw uitgevoerd.

Voor hoofdstuk 3 heb ik drie paar kabeljauwen in een groot binnenbassin blootgesteld aan geluid. Met behulp van videomateriaal werd bepaald hoeveel tijd de kabeljauwen zwommen, foerageerden of stil zaten. In lijn met hoofdstuk 2 zwommen de kabeljauw vaker, en zaten ze minder vaak stil tijdens dagen met geluidsblootstelling. Er waren geen verschillen in tijdbesteding aan foerageren. Vervolgstudies zijn nodig om dit soort experimenten ook in het wild uit te voeren, en om tijdsbestedingen aan de verschillende gedragingen te vertalen naar energieverbruik en -opname. Uiteindelijk kan dit type data gebruikt worden voor het inschatten van de gevolgen van geluid op kabeljauwpopulaties.

Behalve het bepalen van de gevolgen van geluid voor populaties, is het ook nuttig om te kijken welke factoren het effect van geluid kunnen beïnvloeden.

Het zou bijvoorbeeld kunnen dat het aanpassen van geluidskarakteristieken tot vermindering van effecten leidt. Daarnaast is inzage in de effecten van geluidskarakteristieken ook belangrijk om verschillen in effecten tussen menselijke geluidsbronnen te kunnen verklaren en effecten van nieuwe bronnen te kunnen inschatten.

Voor hoofdstuk 4 heb ik een experiment uitgevoerd om het inzicht in effecten van geluidskarakteristieken te vergroten. Ik heb groepjes van vier zeebaarzen in een net blootgesteld aan geluidspulsen en kunstmatig verhoogd achtergrondgeluid. Ik gebruikte verschillende geluidsniveaus van zowel het achtergrondgeluid als de pulsen, en verschillende tijdsintervallen tussen pulsen, om verschillen in reactie op geluidskarakteristieken aan te kunnen tonen. Wanneer de geluidspulsen startten, doken de zeebaarzen naar beneden. Echter, hoe ver ze naar beneden doken kon niet gelinkt worden aan het geluidspuls-interval, de geluidsterkte van de achtergrond en pulsen, of de verhouding tussen de geluidsterkte van de achtergrond en die van de pulsen (signaal-ruisverhouding). Het zou kunnen dat een groter bereik van deze geluidskarakteristieken wel tot verschillen zullen leiden, maar vervolgonderzoek moet dat uitwijzen.

Naast vissen, heb ik ook onderzoek gedaan naar ongewervelden om te kijken welke mechanismes bepalen of, en hoe sterk, dieren reageren op geluid. Het zou bijvoorbeeld kunnen dat individuen van bepaalde soorten elkaar beïnvloeden. Tot nu toe heeft dit echter weinig aandacht gekregen omdat veel experimenten in afgesloten omgevingen zijn uitgevoerd of omdat maar een enkele soort werd bestudeerd. Dit kan ertoe leiden dat resultaten uit gecontroleerde omgevingen niet overeenkomen met de reactie van dieren in het wild.

Voor hoofdstuk 5 heb ik dit onderzocht door meerdere keren camera's met aas op de bodem van de Oosterschelde te laten zakken. Tijdens een deel van de tests werd geluid afgespeeld. Na het plaatsen van de opstellingen kwamen er steeds meer krabben en garnalen op het voedsel af. Tijdens het afspelen van geluid kwamen er echter minder strandkrabben op het voedsel af en door de lagere hoeveelheid krabben kwamen er meer grijze garnalen op het voedsel af. De garnalen leken dus meer beïnvloed te worden door de krabben dan door het geluid. Er zijn meerdere verklaringen mogelijk waarom er minder krabben op het voedsel afkwamen. Geur is heel belangrijk voor krabben om voedsel te zoeken, en hoewel geluid geur niet beïnvloedt, zou het misschien wel kunnen dat krabben afgeleid raken en de geur daarom minder goed kunnen oppikken.

Voor hoofdstuk 6 heb ik dit getest door middel van een 'T-maze' experiment. Een T-maze is een opstelling in de vorm van de letter T waarbij een dier, in

dit geval een strandkrab, bij de T-splitsing kan kiezen om naar links of naar rechts te gaan. In dit geval bevatte één uiteinde een dode mossel, en het andere uiteinde niets, dit was vanaf de T-splitsing niet te zien voor de krab. Wel was er een continue waterstroom van beide uiteinden naar de beginplek, zodat de krab kon detecteren waar het voedsel lag. Een deel van de krabben werd blootgesteld aan opnames van natuurlijk achtergrondgeluid, en een deel aan bootgeluid. Er was geen negatief effect van het bootgeluid op de succeskans of de efficiëntie van het vinden van het voedsel door de krabben. Dit toont aan dat – in dit geval – geluid krabben niet afleidt bij het oppikken en verwerken van geuren.

Veel van de onderzoeken naar de effecten van geluid, inclusief de meeste onderzoeken in dit proefschrift, duren relatief kort terwijl dieren in het wild waarschijnlijk hun hele leven aan menselijk geluid worden blootgesteld. De reden voor kortdurende experimenten is vaak dat je veel individuen moet testen om betrouwbare conclusies te kunnen trekken. Echter kan het ook zijn dat dieren na herhaaldelijke blootstelling anders reageren op geluid, dus het is belangrijk om ook experimenten met herhaaldelijke blootstellingen uit te voeren. Dit heb ik voor mijn proefschrift gedaan met gewone mosselen.

Voor hoofdstuk 7 werden mosselen uitgerust met sensors zodat gemeten kon worden hoe ver ze hun schelpen openen terwijl ze herhaaldelijk aan geluid werden blootgesteld. De mosselen reageerden meestal op geluid door hun schelpen deels te sluiten, maar tijdens opeenvolgende geluidsblootstellingen werd deze reactie steeds minder sterk. Vervolgens werd er een nieuw geluid afgespeeld en – als dit genoeg verschilde van het voorgaande geluid – reageerden de mosselen weer net zo sterk als op de eerste geluidsblootstelling. Dit laat zien dat de mosselen niet moe of doof worden, maar dat ze aan het geluid wennen. Verder onderzoek moet aantonen of andere gedrags- of fysiologische reacties ook verminderen tijdens herhaalde blootstellingen en of dit betekent dat mosselen echt minder hinder van geluid ondervinden door gewenning.

De resultaten van dit proefschrift laten zien dat een grote variëteit van mariene dieren beïnvloed kan worden door geluidsverstoring. De methodologie en resultaten van dit proefschrift kunnen op termijn hopelijk bijdragen aan het inschatten van populatiegevolgen van geluid op kabeljauw of mariene dieren in het algemeen. Ze vergroten het inzicht in mechanismen die het effect van geluid mede bepalen. Er zijn echter nog veel stappen te nemen om populatiegevolgen vast te kunnen stellen en te weten waarom sommige dieren wel op geluidsverstoring reageren en anderen schijnbaar niet.

Ook is er nog veel onderzoek nodig naar het voorkomen of verminderen van

lawaaioverlast. Er worden wel al pogingen gedaan om geluidsbronnen stiller te maken, maar de hoeveelheid menselijk geluid in de mariene wereld zal voorlopig substantieel blijven. Daarom blijft het noodzakelijk om effecten op dieren en de mogelijke gevolgen voor het mariene ecosysteem in kaart te brengen, te onderzoeken hoe de effecten verminderd kunnen worden en te testen of bestaande maatregelen ook echt werken.

