

Nederlandse samenvatting

Alle vissen kunnen horen. Ook al weten we van maar een paar soorten hoe goed ze kunnen horen. Hoogst waarschijnlijk gebruiken alle vissen het onderwatergeluidlandschap om informatie in te winnen. Geluid gaat met een snelheid van 1500 meter per seconde door zeewater, dat is 5 keer sneller en verder dan door lucht. Dit terwijl licht in water, en dus ook zicht, maar een beperkte reikwijdte heeft. Voor onderwaterdieren is gehoor daarom van groot belang. Via geluidsdetectie krijgt een dier informatie over de geluidsbron: is deze bijvoorbeeld afkomstig van een soortgenoot, roofdier of prooi, én op welke afstand bevindt de bron van het geluid zich? Onderwater is geluid daarom van groot belang voor onder andere oriëntatie en communicatie, maar ook voor overleving en tijdens reproductie. Naast de informatie die vissen via hun gehoororganen binnen krijgen, krijgen ze ook informatie vanuit visuele en chemische prikkels. De interactie tussen de informatie die binnenkomt via verschillende sensoren bepaalt hoe een dier reageert op een geluidsbron, maar gehoor is waarschijnlijk de meest dominante sensor, zeker op langere afstand en in donkere, troebele wateren.

De oceanen zijn niet stil en onder water is veel geluid te horen. Dit wordt veroorzaakt door onder andere het bewegen van de aardkorst, regen en wind en door dieren zoals walvissen en garnalen. De laatste decennia is hier een geluidsbron bij gekomen: menselijk geluid. Dit wordt ook wel antropogeen geluid genoemd. De toename wordt met name veroorzaakt door wereldwijde scheepvaart, seismische exploratie en constructieactiviteiten langs de kust en op zee. Seismische exploraties van de zeebodem worden gedaan om te weten te komen wat er zich onder de bodem bevindt. Dit gebeurt middels het gebruiken van een

seismisch luchtgeweer dat met regelmaat een drukgolf richting de zeebodem afschiet. De weerkaatsing van dit geluid wordt door hydrofoons (onderwatermicrofoons, die achter het schip aan lange kabels worden meegesleept) geregistreerd en geeft informatie over de samenstelling van de bodem. Zit er bijvoorbeeld olie of gas óf is het een geschikte bodem om de fundering van windturbines op te kunnen plaatsen? De meest gebruikte methode om een fundering voor een windturbine op zee te plaatsen is door een metalen paal meer dan 30 meter de bodem in te heien. Als bijproduct wordt er tijdens het heien een geluidsgolf geproduceerd door de waterkolom en de bodem.

Bij zowel seismische exploratie als heien op zee komt dus met regelmatige interval een luid laagfrequent geluid vrij dat kan worden gehoord door mariene fauna. Op korte afstand kunnen luide geluiden ernstig weefselletsel veroorzaken en zelfs leiden tot de dood van vissen. Dit vormt echter alleen een gevaar voor de dieren die zich binnen enkele meters tot een paar honderd meter van de geluidsbron bevinden. Het overgrote deel van de dieren bevindt zich op grotere afstand, waar antropogeen geluid kan leiden tot het maskeren van relevante biotische of abiotische geluiden, weggagen van dieren uit een gebied en het verstoren van gedrag. Omdat geluid in water zich snel verplaatst reikt het ook verder dan in lucht en kunnen deze verreikende geluiden potentieel gevolgen hebben voor een groot deel van het mariene leven.

Hoe groot de impact van antropogeen geluid is op het gedrag van zeedieren is mede afhankelijk van hoe goed een dier kan horen. Vissen kunnen de beweging die geluid in het water teweeg brengt registeren met hun binnenoer en via de laterale lijn. Daarnaast hebben veel vissen ook een interne zwemblaas die resoneert met de geluidsdruggolf die

Nederlandse samenvatting

door het water gaat. Hoeveel de zwemblaas bijdraagt aan de geluidsdetectie hangt af van hoe dicht hij bij het binnenoor ligt en of er een verbinding is tussen beide. Vissen kunnen voornamelijk laagfrequente geluiden goed horen: tussen de 50-500 Hz. Dit overlapt met de piekfrequenties van zowel seismische exploratie als heien.

Om de effecten van geluid op de bewegingen en het gedrag van vrijzwemmende vis te kunnen bestuderen is het belangrijk om ze in hun natuurlijke habitat te observeren. Dit is een uitdaging omdat zicht in zee vaak beperkt is door hoge concentraties deeltjes en het feit dat zonlicht meestal maar tot zo'n 200m diepte reikt. Hierdoor is visuele observatie vaak lastig. Daarnaast is het niet mogelijk om vissen, zoals op land gebruikelijk is, te voorzien van een GPS zender om ze te volgen omdat het GPS signaal niet door water gaat. De afgelopen jaren zijn er echter grote en snelle ontwikkelingen gaande op het gebied van technologie, zo ook op het gebied van elektronische zenders die het mogelijk maken om op afstand vis te kunnen volgen. Één van deze methodes is akoestische telemetrie.

Akoestische telemetrie werkt middels een akoestische zender en ontvanger. De zender wordt ingebracht of vastgemaakt aan de vis en zendt een akoestisch signaal uit op hoge frequentie. Dit signaal bevat een unieke code om de vis te identificeren en eventuele extra informatie, gemeten door o.a. diepte, temperatuur en acceleratie sensors in de zender. Zodra de gezenderde vis in de buurt komt van de ontvanger (binnen een straal van 500-1000 meter afhankelijk van omgevingsvariabelen), wordt het signaal opgevangen en opgeslagen. De ontvanger is losstaand en bevat een hydrofoon, batterij en opslaggeheugen, en wordt op een vaste plek verankerd (op de bodem

of aan het wateroppervlak). Door meerdere ontvangers (minimaal 3) in een netwerk te plaatsen, is het daarnaast mogelijk om, via triangulatie, een 2D positie van de gezenderde vis te berekenen en zo met hoge resolutie zwemtracks te reconstrueren. Middels akoestische telemetrie kunnen vrij-zwemmende vissen zo toch gevolgd worden in hun natuurlijke omgeving.

Een vissoort waar al veel onderzoek naar is gedaan met behulp van akoestische telemetrie is de kabeljauw (*Gadus morhua*). Kabeljauw is een belangrijke vissoort met zowel een economische als culturele waarde. Veel landen hebben een traditioneel kabeljauwgerecht en het is een vis waar van oudsher op gevist wordt. Helaas gaat de totale populatie van kabeljauw hard achteruit door overbevissing en klimaatverandering.

In het zuiden van de Noordzee zijn kabeljauwen het hele jaar door te vinden en met name in de zomermaanden verblijven ze enkele maanden op één locatie. Dit is vaak bij harde structuren, zoals een scheepswrak of de fundering van windturbines, waar ze foerageren en zich kunnen verschuilen. Kabeljauwen zijn gevoelig voor laagfrequente geluiden, ze horen met name goed tot 400 Hz. Deze vissoort kan ook geluid produceren tijdens onder andere territoriaal gedrag en in de paringstijd. Gehoor is daarom van groot belang voor individuen. Verstoring in omgevingsgeluiden kan leiden tot veranderingen in gedrag, individuele fitness en uiteindelijk veranderingen op populatieniveau.

Studies in gevangenschap hebben aangetoond dat laagfrequente pulserende geluiden met een vaste interval, zoals geproduceerd tijdens seismische exploratie en heien, het gedrag van kabeljauw kunnen beïnvloeden. Wat ontbreekt is onderzoek naar vrij-zwemmende vissen. Om meer te weten te komen over het effect van dit type geluid op het

Nederlandse samenvatting

gedrag van vrij-zwemmende kabeljauw, is het project PCAD4Cod opgezet. Dit project bracht een consortium van experts bij elkaar die, sinds 2017, drie PhD studenten en een postdoc hebben geadviseerd. Mijn thesis is onderdeel van het PCAD4Cod project en hierbinnen heb ik akoestische telemetrie gebruikt om het gedrag van vrij-zwemmende kabeljauwen op hoge resolutie rond windturbinefunderingen op zee te volgen, terwijl ze werden blootgesteld aan twee antropogene geluidsbronnen: seismische exploratie en het heien van windturbinefunderingen.

Het hoofddoel van mijn onderzoek was om er achter te komen of kabeljauwen eerder een gebied verlaten en/of ze hun bewegingen aanpassen tijdens blootstelling aan deze twee antropogene geluidsbronnen, en of er veranderingen waren in het gedrag die ook na de blootstelling nog meetbaar waren. Om dit te kunnen onderzoeken heb ik twee veldstudies opgezet, uitgevoerd en geanalyseerd en de data van nog twee andere veldstudies meegenomen in het onderzoek. Tijdens alle studies zijn vrij-zwemmende kabeljauwen in het windpark 'Belwind' in België voorzien van een akoestische zender en voor enkele maanden gevolgd op een netwerk van ontvangststations voor 2D positionering.

Om het netwerk van ontvangers op zee te optimaliseren, en zo nauwkeurig mogelijke 2D posities voor kabeljauw te krijgen, heb ik eerst een pilotstudie gedaan waarin ik twee verschillende netwerk ontwerpen (één cirkelvormig en één vierhoekig) van ontvangststations heb getest (Hoofdstuk 2). Hieruit bleek dat een netwerk waarin de stations 200 m uit elkaar geplaatst waren in een cirkel rond de windturbine een goed resultaat gaf (Hoofdstuk 2). Dit ontwerp heb ik daarna voor mijn

volgende veldstudie gebruikt om het effect van een seismische exploratie op kabeljauwgedrag te onderzoeken (Hoofdstuk 3). In 2016 is al eerder een veldonderzoek gedaan in het zelfde windpark maar dan naar het effect van heigeluid op kabeljauw. De gegevens van dit onderzoek heb ik verder uitgewerkt en geanalyseerd (Hoofdstuk 5). Daarnaast zijn er in 2020 opnieuw een aantal kabeljauwen gezenderd in 'Belwind'. Deze gegevens heb ik gebruikt voor een vergelijkende analyse waarin ik heb gekeken naar het mogelijke effect van watertemperatuur op zwemgedrag (Hoofdstuk 4).

Uit de analyse van de blootstellingsexperimenten bleek dat, zowel tijdens seismische als heiactiviteiten, kabeljauw in het gebied bleven gedurende de blootstellingsperiode (Hoofdstuk 3 en 5). Ná de blootstelling aan seismisch geluid, verlieten de vissen het gebied wel eerder dan verwacht in vergelijking met twee referentiejaren (Hoofdstuk 3). Een soortgelijk effect was niet aanwezig na het heien van funderingen, zowel niet net na iedere heiperiode van enkele uren van één fundering als na de gehele periode van vier maanden (Hoofdstuk 5). Tijdens beide studies was de detectie van de individuele vissen beperkt tot het bereik van de ontvangstations. Hierdoor kon ik alleen vaststellen dat de vissen het gebied verlieten maar niet waar ze vervolgens naartoe zwommen.

Via triangulatie van de detecties van de viszenders, was het mogelijk om op hoge resolutie 2D posities van vissen te berekenen wanneer de gezenderde vissen aanwezig waren in het detectiegebied van de ontvangstations. Op basis hiervan bleek dat beide antropogene geluidsbronnen effect hebben op de beweging van de kabeljauw (Hoofdstuk 3 en 5). Tijdens de 3,5 dagen durende seismische exploratie bewogen de dieren verder weg van de dichtstbijzijnde turbine en waren

ze minder actief. Daarnaast was hun dagelijkse activiteitscyclus beïnvloed (Hoofdstuk 3). Wanneer er geen seismisch geluid was waren de vissen extra actief tijdens schemering, en wanneer er wel seismisch geluid was waren ze juist inactief tijdens deze periodes (Hoofdstuk 3). De kabeljauwen bevonden zich tijdens het heien juist dicht bij de dichtstbijzijnde turbine dan voor het heien begon en ze waren dichterbij de geluidsbron voordat het heien begon dan tijdens of na de blootstelling (Hoofdstuk 5). Beide geluidsbronnen hadden dus effect op de beweging van kabeljauw hoewel de reacties van de vissen anders waren.

Naast geluid zijn er natuurlijk nog andere externe factoren die van invloed kunnen zijn op het gedrag van vissen, zoals temperatuur, het weer, CO₂ niveaus in het water en vervuiling. Het is daarom belangrijk om niet alleen naar het effect van één factor te kijken maar ook naar het gezamenlijk effect en de interactie van verschillende factoren. Het jaar van het seismische exploratie experiment, 2018, was een extreem warm jaar: de watertemperatuur kwam boven de 20°C uit. Om het mogelijke effect hiervan op de aanwezigheid van kabeljauw in het gebied beter te begrijpen, werd een extra analyse uitgevoerd waarin de aanwezigheid van kabeljauw in 2018 is vergeleken met die van 2020, ook een jaar met extreem warme temperaturen (Hoofdstuk 4). Hieruit bleek echter dat temperatuur niet de verklarende factor was voor het moment waarop kabeljauw het gebied verliet. Desalniettemin is het belangrijk rekening te houden met de interactie van verschillende externe factoren, zeker in het Antropoceen, waarin wij als mensheid veel verschilde stressoren hebben toegevoegd aan de omgeving van vis.

Uit de resultaten van de twee geluidsblootstellingstudies blijkt dus dat het gedrag van kabeljauw in een windpark voor de Belgische kust, wordt beïnvloed door zowel seismisch- als heigeluid. Daarnaast bleek ook dat de vissen het gebied eerder verlieten ná een 3.5 dagen durende seismische survey en dat verhoogde watertemperatuur hierop niet van invloed was. De Noordzee is een intensief gebruikt gebied vol menselijke activiteit. Het is niet waarschijnlijk dat deze activiteit de komende jaren zal afnemen, wat betekent dat ook het geluid wat hierbij wordt geproduceerd niet snel zal verminderen. De dieren die in de Noordzee leven zullen dus waarschijnlijk blootgesteld blijven aan een kakafonie aan menselijke geluiden. Daarnaast is hun én onze omgeving, door klimaatverandering, snel aan het veranderen wat ook weer effect kan hebben op hoe geluid wordt ervaren. Technologie ontwikkelt zich op het moment snel en akoestische zenders worden steeds kleiner met langere batterijduur. Dit is daarom hét moment om meer informatie te verzamelen, zoals die in dit proefschrift, over het effect van verschillende antropogene geluiden op verschillende vissoorten. Alleen met een goed onderbouwde wetenschappelijke basis kunnen weloverwogen beslissingen worden genomen voor beheer en behoud van soorten en habitat, zodat we het onderwaterleven ook voor toekomstige (vis)generaties kunnen veiligstellen.