

HOE LAWAAIERIG IS DE OCEAAN?

Onder de zeespiegel is het nooit stil. De mens – wat dacht je – drukt er zijn stempel. Al gaat de natuur niet vrijuit. En het geluid zit werkelijk overal. Zelfs in de Marianentrog, met 11 km het diepste punt van de wereldzeeën, is geluid alomtegenwoordig. Aardbevingen, walvissen, schepen en orkanen creëren er een kakafonie van geluiden. In wat volgt gaan we op zoek naar het voorkomen en de invloed van onderwatergeluiden in de oceaan. We zoeken een antwoord op de vraag: hoe natuurlijk is het geluid in de oceaan, wat betekent dit voor zeedieren en wat kunnen we doen om extra geluidvervuiling te voorkomen of te milderen?

Elisabeth Debusschere¹, Bert De Coense² & Jan Haelters³

NATUURLIJK VERSUS DOOR DE MENS GEPRODUCEERD GELUID

Natuurlijk geluid in de oceaan ontstaat door regen, bliksem, zeestromingen, onderzeese aardbevingen of door het simpele ruisen van de golven. Ook zeedieren leveren een bijdrage. Denk maar aan het gezang van baleinwalvissen, het klikken bij tandwalvissen of de geluiden van sommige vissen. De pistoolgarnaal doet er nog een schepje bij en kan met zijn scharen een dermate harde knal (218 decibel of dB) produceren dat zijn prooi verdoofd wordt of sterft. De meeste natuurlijke omgevingsgeluiden hebben een frequentie van 1 tot 50 kHz.

Onder de noemer 'kunstmatig onderwatergeluid' is het de scheepvaart die de meeste geluidsenergie onder 1 kHz produceert. Hierdoor is het achtergrondgeluid in een groot gebied rond drukbevaren zeeroutes continu verhoogd. Bij sonar- en seismische surveys gaat het dan weer om kortstondige intense geluidspulsen die actief worden uitgestuurd om de zeebodem en de ondergrond te onderzoeken. Scheepswrakken en scholen vis kunnen zo worden opgespoord. Onderzoekers kunnen met seismiek ook bodemlagen in kaart brengen, bijvoorbeeld in een zoektocht naar olie en gas. De energiepiek bij dit onderzoek bevindt zich, afhankelijk van het type onderzoek en de bodemdiepte, in het lage (20 Hz) tot zeer hoge frequentiebereik (500 kHz). Militairen sporen vijandelijke duikboten op met sonartoestellen die geluid maken met een zeer hoge intensiteit bij lage tot middelhoge frequenties. En tijdens het heien van palen bij de constructie van bruggen, offshore olie- en gasplatformen en windturbines op

zee, bevindt de energiepiek zich in de lagere frequenties, tussen 100 Hz en 1 kHz. Door de hoge intensiteit van het geluid zijn de laagste frequenties onder water detecteerbaar tot op 70 km afstand. Onderwaterontploffingen produceren een nog hogere geluidsdruk.

Bij sonar en seismische technieken wordt geluid uitgestuurd om informatie te verkrijgen uit de teruggekaatste geluidsgolven. Maar onderwatergeluid kan ook rechtstreeks informatie opleveren zónder dat er extra geluid moet worden toegevoegd. Zo installeerde het kernstopverdrag CTBT wereldwijd een netwerk van 11 hydro-akoestische stations op de zeebodem. Zes ervan bestaan uit onderwatermicrofoons die zweven boven de oceaanbodem; vijf stations zijn uitgerust met seismometers. Deze registreren het laagfrequent onderwatergeluid (1-100 Hz) in alle wereldzeeën. Dat kan zich ver voortbeweigen via de "deep sound channel". De informatie dient om aardbevingen, explosies of nucleaire testen te detecteren en te lokaliseren.

ONDERWATER GEROEP, GEGIECHEL EN GEFLIRT

Onder water ruiken, zien en voelen is een pak moeilijker dan aan land. Geluid beweegt zich echter sneller en plant zich verder voort in water dan in lucht. Daarom speelt geluid voor veel zeedieren een sleutelrol bij het verkennen van de omgeving en bij het communiceren met soortgenoten.

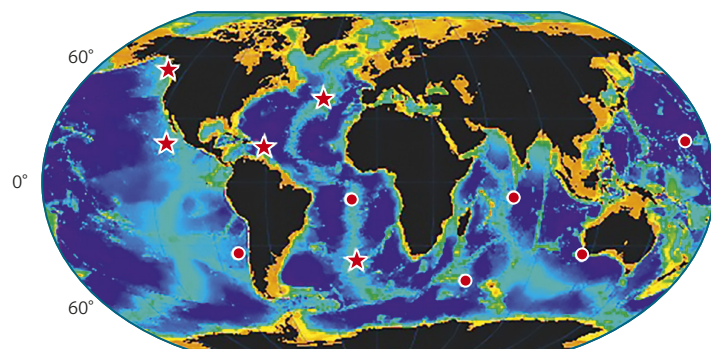
Zeezoogdieren

Vooral bij zeezoogdieren is die sleutelrol aangetoond. Baleinwalvissen produceren laagfrequente geluiden die honderden, tot zelfs duizenden kilometer ver dragen. Tandwalvissen daarentegen produceren hoogfrequente pulsen met een meer beperkt bereik. Deze geluiden helpen de kudde samen te blijven, een partner of prooi te vinden en vijanden te ontwijken.

Vissen

Vissen komen wereldwijd voor en kennen al een lange evolutie. Er is dan ook een grote variatie in de anatomie van het vissenoer

● Hydrophone ★ T-Phase

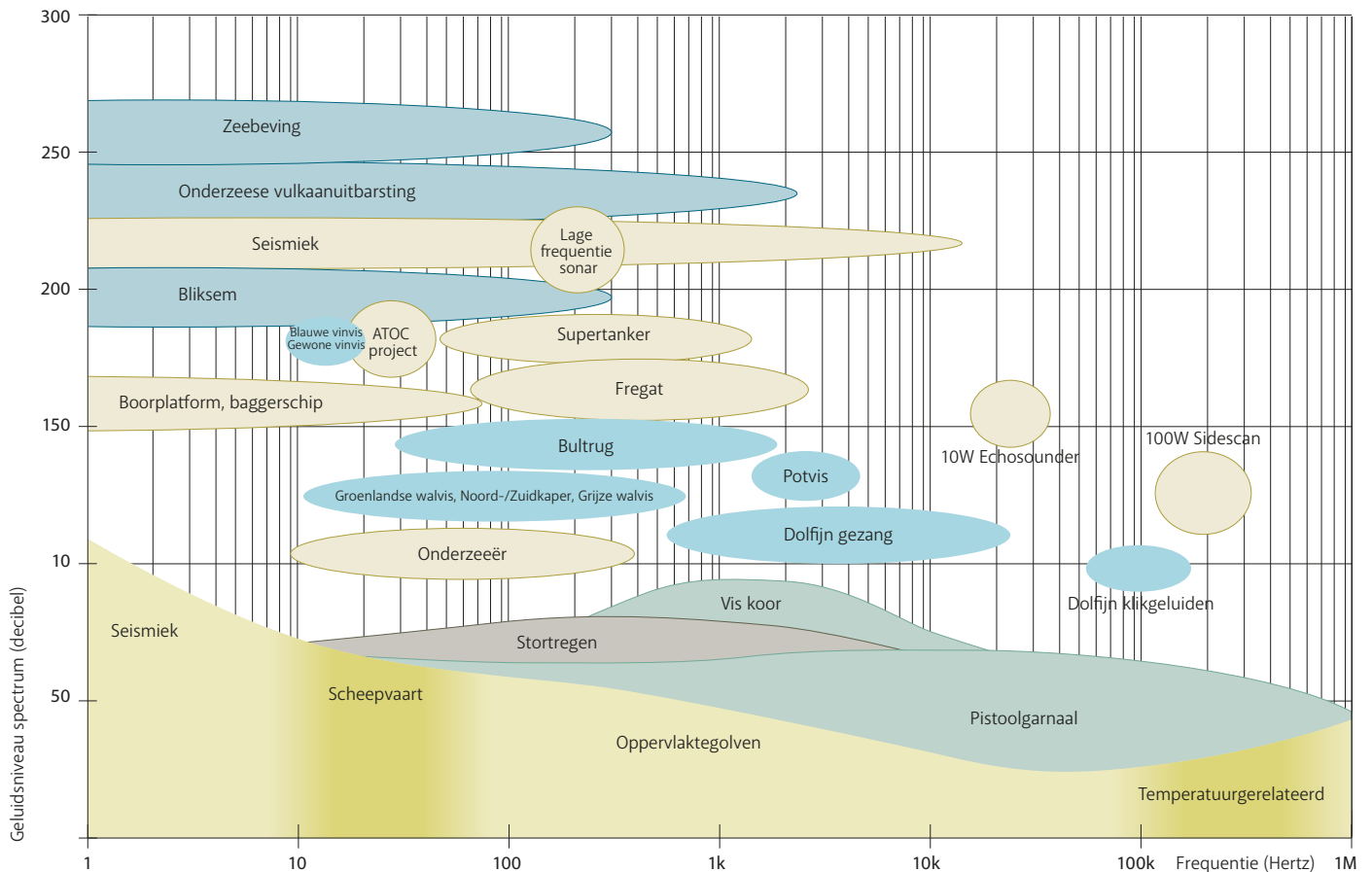


Elf hydro-akoestische stations geplaatst in het kader van het kernstopverdrag CTBT: vijf bestaan uit seismometers (T-Phase) en zes uit onderwatermicrofoons (hydrofoon) (<http://acoustics.org>). Ook op andere plaatsen bevinden zich hydrofoons in zee. Zo kan je bijvoorbeeld in 'real time' luisteren naar schepen, walvissen of dolfijnen op een aantal locaties in de Middellandse Zee (www.listentotheocean.com).

1 Vlaams Instituut voor de Zee (VLIZ); elisabeth.debusschere@vliz.be

2 INTEC-UGent

3 Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen (KBIN)



Elk geluid heeft een frequentie en een sterkte (zie kader 'Onderwatergeluid, een kennismaking'). De mens hoort geluid als het zich bevindt tussen 20 Hz en 20.000 Hz (of 20 kHz). Laagfrequente geluiden zijn diep en laag, hoogfrequente hoog van toon. Hoe sterker het geluid, d.i. hoe hoger het aantal decibels, hoe beter hoorbaar. In zee komen natuurlijke en menselijke geluiden voor. Van deze laatste zijn sommige bewust aangemaakt en kortstondig (bv. seismiek, sonar, ...) terwijl andere bijproduct zijn van allerlei activiteiten en een vrij continu aanwezig laagfrequent achtergrondgeluid geven (bv. scheepvaart). Heel wat van die geluiden zijn ook voor de mens hoorbaar. Tijdens de laatste decennia is het onderzeese geluidsniveau door menselijke activiteiten sterk toegenomen. (© Seiche Ltd. 2006).

ONDERWATERGELUID, EEN (EERSTE) KENNISMAKING

Geluid is iets bizar. Het treedt op wanneer in water, lucht of een ander medium drukverschillen ontstaan die zich vervolgens gaan voortplanten. 'Horen' is het gewaarworden van deze snelle trillingen of drukveranderingen. Dat geschiedt wanneer overdracht van die trillingen (bv. via een trommelvlies en binnenoor) gebeurt naar het zenuwstelsel. Bij onderwatergeluid is dit niet anders. Ook hier bewegen trillingen van het water zich als een drukgolf weg vanuit een geluidsbron. Elke geluidsgolf heeft een frequentie (aantal trillingen per seconde), een sterkte en een golflengte. Frequentie en sterkte bepalen de hoorbaarheid van het geluid. Bij een doorsnee persoon situeert zich dat bij een trillingsnelheid tussen 20 en 20.000 Hz, d.i. 20 tot 20.000 drukwisselingen per seconde. Laagfrequente geluiden zijn diep en laag van toon, hoogfrequente hoog en scherp van toon. Hoe sterker het geluid of dus hoe groter de drukverschillen, hoe beter hoorbaar. De officiële eenheid voor geluidsdruk is de Pascal, waarbij 1 Pa gelijkstaat aan 1 Newton (eenheid van kracht) per m². Geluid wordt echter meestal uitgedrukt in decibels (dB). Die eenheid volgt een logaritmische schaal, wat wil

zeggen dat een verhoging van slechts 6 dB bijvoorbeeld gelijk staat met een verdubbeling van de geluidsdruk in Pascal.

Geluidsniveaus in lucht en in water kan men moeilijk vergelijken. Water heeft immers een veel hogere dichtheid: de watermoleculen bevinden zich veel dichter opeen dan bij de stikstof- en zuurstofmoleculen in lucht het geval is. Hierdoor plant geluid zich in water vier keer sneller voort dan in lucht. Bovendien beïnvloeden de typische eigenschappen van het medium de geluidssnelheid. Zo zullen hoogfrequente geluiden in water sneller gedempt worden dan laagfrequente. Dit verklaart bijvoorbeeld waarom (laagfrequent) walvissegezang op grote afstand nog kan ontwaard worden. Ook leidt de invloed die bepaalde eigenschappen van water heeft op de voortplanting van geluid tot soms unieke fenomenen, zoals de zogenaamde *deep sound channel*. Dit is een waterlaag op 1000 m diepte waar het geluid zich onder een bepaalde combinatie van temperatuur, druk en zoutgehalte nog sneller en verder voortplant.

BELGISCH ONDERZOEK NAAR EFFECTEN VAN HEIEN OP VISLARVEN EN JUVENIELE VIS

Sinds 2008 worden in België windturbines op zee geplaatst. Het uiteindelijke doel is dat offshore windparken bijna de helft (43%) van de hernieuwbare energie produceren (13% van de totale energie). Heien is de meest gebruikte methode om de funderingspalen (50-60 m lang) voor de turbines te installeren. Dit geeft telkens een geweldige klap. In België lag de nadruk aanvankelijk op de impact van dit heien op zeezoogdieren. Maar gezien vissen een vitale component zijn in het mariene voedselweb, en tevens een economische waarde vertegenwoordigen, ging al snel ook aandacht naar deze groep. In 2011 startte een doctoraatsstudie om de geluidseffecten gerelateerd aan het heien op jonge vissen (<2 g) te onderzoeken.

Binnen dit onderzoeksprogramma zorgde een goede samenwerking met de windmolensector voor een uniek veldexperiment aan boord van een heiplatform. Daarbij stelden de onderzoekers jonge zeebaarzen bloot aan een volledige heicyclus (~2 uur) op een afstand van slechts 45m van de hei-activiteit zelf. De blootgestelde vissen vertoonden – verrassend genoeg – geen verhoogde directe sterfte vergeleken met een controlegroep die enkel aan het achtergrondgeluid in de zee werd blootgesteld. Ook na twee weken observatie in het labo was er geen verhoogde sterfte. Tijdens dit veldexperiment ging tevens

aandacht naar acute en chronische stressreacties. En wat blijkt? De visjes reageerden vrijwel onmiddellijk op het heigeluid met een halvering in zuurstofverbruik. Maar dit leidde binnen de observatieperiode van dertig dagen alvast niet tot chronische stress. Gevolgen op nog langere termijn en van herhaaldelijke blootstellingen aan sterk intens impulsief geluid voor vissen in het wild zijn nog niet onderzocht.

Daarna ondergingen jonge zeebaarzen nog bijkomende experimenten in het laboratorium. Uit blootstelling aan verschillende types geluidsbronnen blijkt dat jonge zeebaars weliswaar sterk reageert op plots geluid – zo onderbraken ze direct hun zwemactiviteiten en normaal gedrag naar soortgenoten bij aanvang van het heien – maar dat ze vrij snel ook weer terugvallen in hun normale doen. En hoewel er nog veel te onderzoeken valt (Wat met andere soorten? Zijn er blijvende gevolgen bijvoorbeeld naar de voortplanting toe? Hoe wordt geluidvervuiling verdragen bovenop andere stressfactoren?...) lijkt er alsnog geen reden tot overdreven bezorgdheid.

Er is voorlopig geen onaanvaardbare ecologische impact vastgesteld bij het blootstellen van jonge vissen aan heigeluid. De effecten van heien op vissen zijn minder duidelijk dan gedacht. Daarom



dienen maatregelen voor het beperken van geluid of voor het verminderen van de impact op vissen voorlopig niet te worden overwogen. In afwachting van het vastleggen van geluidsnormen, opgaand voor meerdere vissoorten, geldt het voorzorgsprincipe bij paaigronden. De voortplantingsgebieden voor vis kunnen tot dan maar beter niet als mogelijke inplantingsplaats voor offshore windmolenparken worden beschouwd.

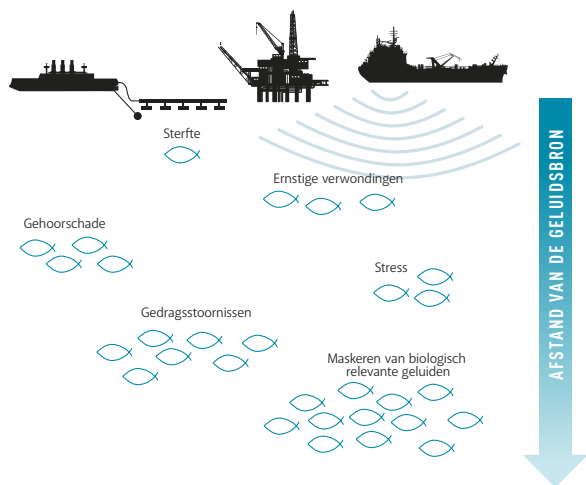
en in hoe het 'horen' verloopt. Er zijn er die met moeite een bewegend iets in het water waarnemen, terwijl andere echte gehoorspecialisten zijn met een breed frequentiebereik en lage gehoordrempels.

**“ ONDER DE NOEMER
'KUNSTMATIG
ONDERWATERGELUID'
IS HET DE SCHEEPVAART
DIE DE MEESTE GELUIDS-
ENERGIE ONDER
1 KHZ PRODUCEERT. ”**

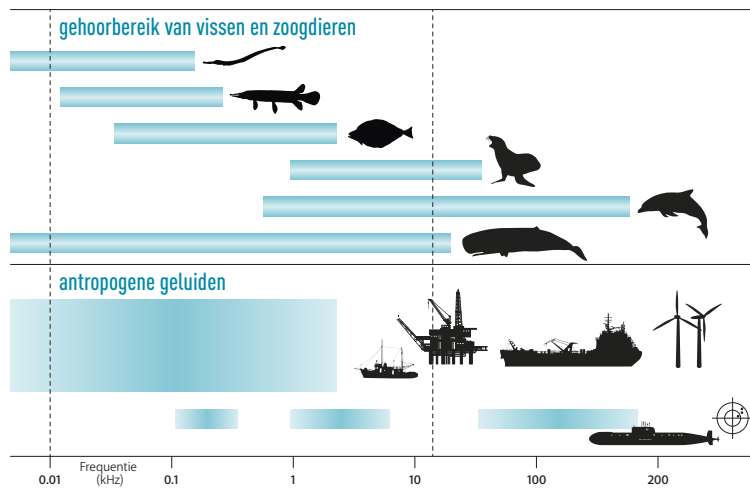
Hoewel vissen geen zichtbare oren hebben, zijn ze allemaal in staat geluid waar te nemen. En dat is ook nodig. Geluid levert immers informatie over het milieu en geeft aanwijzingen voor oriëntatie, navigatie, communicatie en partnerselectie. In tegenstelling tot zeezoogdieren die veelal inzetten op het detecteren van verschillen in geluidsdruk, is visgehoor gericht op het ontdekken van bewegende (water)deeltjes. Die kunnen ze waarnemen via speciale haarcellen in het oor en in de zijlijn op hun lichaam. De extreme variatie in het hoorbare frequentiebereik is ongezien bij andere gewervelde dieren. De meeste vissen hebben een gehoorbereik van 30 Hz tot 1 kHz, maar speciale aanpassingen verhogen bij een aantal soorten de bovengrens naar 5 kHz tot zelfs 180 kHz. Sommige vissen kunnen ook indirect geluid opvangen. Dat doen ze met hun zwemblaas, een

orgaan dat het drijfvermogen van de vis regelt. De zwemblaas is namelijk gevuld met gas en heeft daardoor een andere dichtheid. Bij veranderingen in druk, en dus ook geluidsdruk, wordt de zwemblaas ingedrukt of zet die uit. Deze informatie gaat ook naar het oor. De afstand tussen zwemblaas en oor is daarbij belangrijk, want het signaal wordt snel gedempt. Om die afstand te overbruggen zijn verschillende mechanismen ontwikkeld. Het orgaan van Weber, aanwezig bij onder meer de goudvis, bestaat uit een beentje dat het binnenoor met de zwemblaas verbindt. Deze verbinding stelt de goudvis in staat relatief hoge frequenties en lage geluidsniveaus te onderscheiden.

Meer dan 800 vissoorten zijn ook in staat om zelf geluid te produceren. Meestal zijn dit breedbandige laagfrequente signalen waarbij de meeste energie zich bevindt onder de



Mogelijke effecten van impuls- (links: seismische airgun en heien) en continue (rechts: scheepvaart) door de mens gecreëerde geluiden op vissen. Hoe dichterbij de geluidsbron, hoe groter de schade (Debusschere et al., 2016).



Het gehoorbereik van zeezoogdieren en vissen valt samen met het frequentiebereik waarbinnen de mens allerlei onderwatergeluid voortbrengt. Zeedieren moeten dus steeds de confrontatie met dit geluid aangaan (overgenomen van Slabbekoorn et al. 2010).

500 Hz. Ze produceren deze geluiden om een partner te vinden, om hun territorium te bewaken of als uiting van agressie.

Ongewervelden

Veel minder is gekend over het horen bij ongewervelde dieren in zee. Speciale haarcellen op verschillende plaatsen in het lichaam stellen deze lagere dieren in staat om de beweging van het water te voelen. Dat geldt ook wanneer het water beweegt o.i.v. een nabije geluidsbron. Bij inktvissen en schaaldieren bijvoorbeeld, fungeert het evenwichtsorgaan (statocyst) tevens als voornaamste geluidsdetectieorgaan. Dat doet het door, net als bij vissen, beweging van deeltjes in het water te detecteren. Bij larven van bepaalde kustbewonende krabben kon zelf worden aangetoond dat ze actief het kenmerkende geluid van hun favoriete leefomgeving, het kustrif, opzoeken. Daarnaast kunnen verschillende soorten inktvissen, krabben en kreeften zelf ook geluid voortbrengen.

OORSUIZEN BIJ DOLFIJNEN. OVER IMPACT VAN MENSELIJK GELUID OP ZEE-DIEREN.

Zeezoogdieren

Een rapport uit 1991 legde voor het eerste de link tussen het gebruik van sonar en massale strandingen van spitssnuitdolfijnen. Daarop volgden al snel meer 'atypische' strandingen, alle in verband gebracht met het gebruik van militaire sonar toestellen. Geleidelijk werd duidelijk dat heel wat zeezoogdieren schade kunnen ondervinden van door de

mens gemaakt onderwatergeluid. Ze kunnen fysieke letsels en tijdelijk of permanent gehoorverlies oplopen. Het kan ze ook desoriënteren en hun foeragegedrag of habitatgebruik verstoren. Net vanwege die gevoeligheid voor onderwatergeluid zijn zeezoogdieren vaak het voorwerp van zogenaamd bioakoestisch onderzoek, dit is onderzoek naar de productie, de verspreiding en de ontvangst van geluiden door dieren.

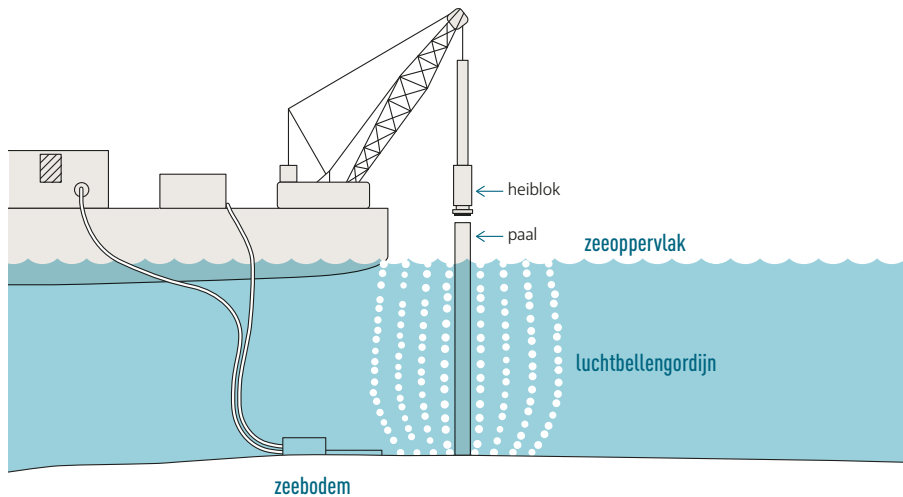
Vissen en ongewervelden

Recent richtte het bioakoestisch onderzoek ook zijn pijlen op vissen en ongewervelden. Verschillende studies hadden immers aangetoond dat scheepvaartgeluid een effect heeft op hoe ongewervelde dieren zich voeden of roofdieren mijden. Maar er is meer. Ook de embryonale ontwikkeling van de zeehaas (een zeenaaktslak) kan schade oplopen, zo blijkt. Het evenwichtsorgaan bij inktvissen bleek aangetast door blootstelling aan laagfrequent geluid. En bij vissen kan de aanwezigheid van menselijk geluid de voor die vissen belangrijke natuurlijke geluidsignalen overstemmen, waardoor ze belangrijke informatie mislopen. Het gedrag geraakt verstoord, er ontstaat stress, tot zelf de voortplanting eronder lijdt. Wanneer het geluid een bepaald geluidsniveau overschrijft, kunnen ook tijdelijke of permanente fysieke letsels optreden aan het binnenoer, scheuren van de zwemblaas en beschadigingen van omliggende organen, vaak met de dood tot gevolg. Omdat heel veel factoren van tel zijn (type geluid, intensiteit, duur, voorspelbaarheid, spectrum van het geluid, vissoort, levensfase) is het moeilijk om eenduidig niveaus te bepalen waarboven schadelijke effecten optreden.

GELUIDSVERVUILING, HOE ZIT DAT NU JURIDISCH?

Juridisch gezien is onderwatergeluid als gevolg van een menselijke activiteit een "grensoverschrijdende verontreiniging". Geluid kan namelijk over de landsgrenzen heen voortbewegen. De opkomst van offshore windmolenparken zorgde voor ongerustheid over de schadelijke impact van het constructiegeluid op zeezoogdieren en in mindere mate op vissen. Dit bespoedigde het aanduiden van onderwatergeluid als 'mariene verontreiniging'. Het hiervoor geschikte juridische instrument was de Europese Kaderrichtlijn Mariene Strategie (KRM, van kracht sinds 2008). Die heeft als doel het bereiken van een goede milieutoestand in de Europese zeeën tegen 2020. Deze goede milieutoestand kent 11 specifieke doelen, 1 van de doelstellingen wil dat "de toevoer van energie, waaronder onderwatergeluid, op een niveau is dat die het mariene milieu geen schade berokkent". Er gelden twee richtgetallen: één voor impulsgeluid en één voor achtergrondgeluid. Het doel is een monitoringprogramma op te stellen om impuls- en achtergrondgeluid te meten, trends te bepalen, de invloed op het ecosysteem vast te stellen en nuttige maatregelen te treffen om waar nodig effecten zoveel mogelijk te beperken.

Als voorbeeld geldt de bouw van windmolenparken op zee. Een reuzenhamer klopt of heit de palen voor de turbines in de zeebodem. Tot voor kort dacht men dat dit gehamer sterfte veroorzaakt bij visetjes en -larven, en dus een voedselafname betekent voor zeevogels en zeezoogdieren. Daarom



Om bij het inheien van palen in de zeebodem de geluidsvervuiling te beperken, wordt soms gebruik gemaakt van een bellengordijn. Deze luchtbelletjes, geproduceerd rond de stalen funderingspaal, dempen tijdens het heien het onderwatergeluid (<http://curtaindesigns.rosariouniversal.org/bubble-curtain-noise-reduction>)

koos Nederland ervoor om het voorzichtigheidsprincipe te hanteren en een heiverbod uit te vaardigen in de lente, wanneer er het meest visseitjes en -larven zijn. Na wetenschappelijk onderzoek in Nederland en België bleek de schade minder groot dan oorspronkelijk gedacht en werd het verbod in mei en juni opgeheven. Op zeezoogdieren heeft het gehamer wél een effect, en zijn er dus ook maatregelen van kracht. Zo is het in België verplicht om in een gebied rond de heilocatie

een half uur voor het heien zeezoogdieren te verdrijven met behulp van aangepast geluid. Daarna begint het heien volgens een 'ramp-up' procedure. De eerste heislagen gebeuren met minimale kracht en geleidelijk bouwt men op tot de maximale kracht is bereikt. De geluidspiek van de heislagen mag op 750 m afstand 185 dB niet overschrijden. Dit betekent in de praktijk dat geluidsmilderende maatregelen noodzakelijk zijn. Daarnaast kan ook een bellengordijn rond de

heipaal zijn nut bewijzen. De bellen absorberen een deel van het geluid. Men experimenteert ook met het inpakken van de heipaal met een mantel van geluidsisolatie, met andere hamertypes (bv. 'blue piling') en met andere types palen.

EÉN DAG STILTE IN DE OCEAAN? HET 'INTERNATIONAL QUIET OCEAN EXPERIMENT'

De toenemende geluidsvervuiling in de oceaan leidt tot steeds meer onderzoek naar de impact van geluid op zeeorganismen. In 2009 lanceerde de Amerikaanse professor Jesse Ausubel de verre droom om minstens één dag zonder menselijk geluid in de wereldzeeën na te streven. Al snel evolueerde dit idee tot een plan. Een plan om voor het eerst op grote schaal onderzoek te doen naar onderwatergeluid en de effecten op het zeeleven. Hiermee was het International Quiet Ocean Experiment (IQOE) geboren. IQOE brengt geluidsexperten samen met biologen. Samen bestuderen ze geluidsniveaus in de oceaan en de impact (ook met 'stille' experimenten) op het mariene leven. Streefdoel is ook om metingen van onderwatergeluid op te nemen in de standaard oceaan monitoring en het publiek beter te informeren over dit thema.



MEER LEZEN OF
LUISTEREN NAAR
ONDERWATERGELUID
VAN ZEEIEREN
EN MENSELIJKE
ACTIVITEITEN?

Check
<http://dosits.org>