

Onderwatergeluid: één van de grootste bedreigingen van zeedieren

Ron Kastelein

Een recente internationale conferentie concludeerde het volgende: "Scientists rate underwater noise pollution as the next global threat after climate change and chemical pollution". Pas na de Tweede Wereldoorlog kan de mens met hydrofoons onderwatergeluid goed hoorbaar maken en is in de decennia erna het besef ontstaan dat de mens door activiteiten op zee een grote bijdrage levert aan het achtergrondgeluidsniveau. Tegelijkertijd hebben biologen steeds meer inzicht gekregen in het belang van onderwatergeluid voor zeedieren. Vorig jaar is onderwatergeluid in de Europese Kaderrichtlijn Mariene Strategie aangewezen als een belangrijke parameter die aandacht vergt (en waar dus normen voor moeten worden opgesteld). Dit artikel bespreekt het belang van onderwatergeluid voor zeedieren, de mogelijke effecten van door mens gemaakt geluid op zeedieren in de Noordzee, de kennis die nog ontbreekt om de effecten betrouwbaar in te schatten en mogelijke mitigerende maatregelen.

Het is je als mens moeilijk voor te stellen hoe belangrijk geluid is voor dieren die onder water leven. Het gehoor is voor zeedieren net zo belangrijk als het gezichtsvermogen voor de mens. Onder water zijn ogen meestal onbruikbaar, omdat het water vaak troebel is en omdat het op grotere diepte altijd donker is, zelfs overdag. Bovendien moeten veel dieren 24 uur per dag fourageren om voldoende eten te krijgen. Kortom, zonder gehoor kunnen de meeste zeedieren niet overleven.

In de natuur is het onder water niet stil. Abiotische factoren, zoals regen, wind (golven), branding, stromingen en aardbevingen, veroorzaken geluid onder water. Ook veel zeedieren produceren geluid bijv. om elkaar te vinden tijdens de paartijd, om territoria te verdedigen, om voedsel te vinden (sonar) of om te navigeren. Dit geldt zowel voor vissen, zeezoogdieren, als voor lagere organismen zoals b.v. garnalen en weekdieren. Zeedieren zijn geëvolueerd in water waar van nature een hoog geluidsniveau kan zijn. In die omstandigheden moeten zeedieren functioneren, en zij kunnen daarom, tot op zekere hoogte, ecologisch relevante geluiden waarnemen in lawaai.

Echter, sinds de mens gemechaniseerde schepen heeft gebouwd is het gemiddelde niveau van achtergrondgeluid onder water verhoogd. De aantallen schepen zijn enorm toegenomen sinds de industriële revolutie, en met elkaar verhogen zij het algemene achtergrondgeluidsniveau in de



Foto 1. De Gewone zeehond (*Phoca vitulina*) is de meest voorkomende zeehond in het Nederlandse deel van de Noordzee. Recent onderzoek in Nederland heeft aangetoond dat deze diersoort bijzonder gevoelig is voor laagfrequent geluid. Veel door de mens gemaakt geluid is laagfrequent (foto: Saskia Roose).

zeeën en oceanen. Andere antropogene onderwatergeluiden met een hoog niveau die op korte afstand gehoorbeschadiging kunnen veroorzaken en tot op grote afstand het gedrag van de zeedieren kunnen beïnvloeden, zijn geluiden van airguns die gebruikt worden bij seismologisch onderzoek, sommige sonarsystemen van de marine, heien langs de kust en op volle zee, en onderwaterontploffingen.

De vraag is wat voor effect deze antropogene geluiden hebben op een individueel onderwaterdier. Die vraag beantwoorden is

geen sinecure. Er is veel informatie nodig over zowel de geluidsbron, de geluidsverspreiding (propagatie) tussen geluidsbron en het dier, het achtergrondgeluidsniveau, de duur van blootstelling aan het geluid, de gehoorparameters van het dier, én de specifieke gedragsgevoeligheid van het dier voor geluid (fig. 1). Veel van die informatie ontbreekt momenteel, waardoor alleen zeer grove inschattingen gemaakt kunnen worden over de afstanden waarop geluidsbronnen hoorbaar zijn en effect op specifieke diersoorten hebben. Als de afstand waarop een geluidsbron door een diersoort gemeden wordt tussen de 2 en 4 km wordt ingeschat, betekent dit dat óf een gebied van 12 km² wordt gemeden óf een gebied van 50 km². Het is dus van groot belang om dergelijke inschattingen nauwkeuriger te kunnen maken.

Nog weinig bekend

De onderwatergeluiden van veel man-made geluidsbronnen op zee zijn vaak niet goed gemeten en omschreven. Dat slechts zeer recent geluid van heien op zee goed is gemeten, laat zien hoe weinig er bekend is. Tot voor kort werd onderwatergeluid niet als een probleem erkend en werd er weinig aandacht aan geschonken, behalve door de marines. Naar het uitgestraalde geluid van geluidsbronnen en de geluidsverspreiding onder water zal de komende jaren veel onderzoek moeten worden gedaan. De geluidsverspreiding is afhankelijk van o.a. de waterdiepte en het sediment. Omdat de Noordzee ondiep is en de diepte nogal varieert, is de geluidsverspreiding per locatie anders.

Er ontbreken nog veel gegevens over het gehoor van de meest voorkomende zeezoogdieren in de Noordzee (Gewone zeehond (*Phoca vitulina*) (foto 1), Grijze zeehond (*Halichoerus grypus*), Bruinvis (*Phocoena phocoena*) en Witsnuitdolfijn (*Lagenorhynchus albirostris*). Daarnaast is er vrijwel niets bekend over het gehoor van de vele honderden vissoorten die er voorkomen. Over de hoorbaarheid en effect van door de mens gemaakt (antropogeen) geluid op lagere organismen is nog minder

Diagram geluidseffecten op zeedieren



- Afleiding (gewenning ?)
- Aange trokken worden (gewenning ?)
- Maskering (verminderde waarneming ecologisch belangrijke geluiden)
- Ontwikingsgedrag (gewenning ?)
- Tijdelijke vermindering gehoorgevoeligheid (TTS)
- Permanente vermindering gehoorgevoeligheid (PTS)
- Andere lichamelijke en fysiologische verwondingen
- Dood



Fig. 1. Diagram van informatie die nodig is om een uitspraak te kunnen doen over de hoorbaarheid van een geluid én of het geluid het gedrag van een dier zal beïnvloeden (© SEAMARCO).

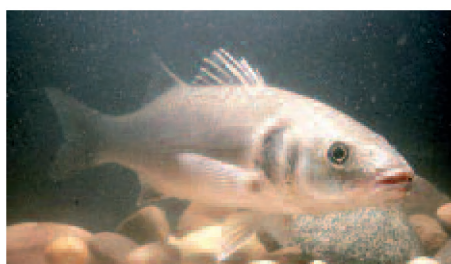
drie bestaansfasen: de constructiefase, de operationele fase en de afbraakfase. Bij elke fase wordt onderwatergeluid geproduceerd. De molens van de twee parken die tot nu voor de Nederlandse kust zijn gebouwd, zijn geplaatst op palen die de zeebodem in zijn geheid. Per paal zijn duizenden heiklappen nodig. Elke klap heeft het geluidsniveau als van een ontploffing van een staaf dynamiet, en is op korte afstand erg schadelijk voor zeedieren. Omdat elk park uit tientallen molens bestaat, betekent dit dat er maanden achter elkaar moet worden geheid op zee. In die periode wordt het bouwgebied gemeden door veel zeedieren. Hoe erg dat is, hangt af van het belang van de locatie in de ecologie van de diersoorten en de beschikbaarheid van alternatieve gelijkwaardige gebieden. Ook is het belangrijk te weten hoeveel energie het een dier kost om naar een volwaardig alternatief gebied te zwemmen. Er zijn namelijk vele gebruikers van de

Noordzee en gebieden rond een windmolenparkbouwplaats kunnen door andere menselijke activiteiten al een lagere ecologische waarde hebben gekregen. Ook tijdens de operationele fase produceren windmolens op zee onderwatergeluid. Het geluid van de versnellingsbak wordt via de stalen paal uitgestraald onder water. Tevens neemt de activiteit in het gebied toe door schepen en helikopters die betrokken zijn bij het onderhoud van de molens. Hoe de windmolens over 20 jaar zullen worden afgebroken is nog niet bekend. Het is vreemd dat daar nog niet over is nagedacht in een periode waarin duurzaamheid een belangrijke parameter is in de besluitvorming van de overheid

bekend. Toch gebruiken ook die dieren geluid om te overleven en zich voort te planten. Gezien hun plek in de voedselpiramide hebben negatieve effecten op deze organismen een relatief grote impact op het ecosysteem.

Het loont om de komende jaren veel onderzoek te doen naar de gevolgen van onderwatergeluid van menselijke geluidsbronnen op zee op de zee fauna. Als we het effect van onderwatergeluid niet goed kunnen inschatten door gebrek aan kennis, dan kunnen we over een aantal jaren met een voldongen feit zitten.

Foto 2. De Zeebaars (*Dicentrarchus labrax*) is een vissoort die reageert op lage geluidsniveaus (foto: Ron Kastelein).



Windmolens in de Noordzee

Sinds een aantal jaren is er op de Noordzee een geluidsbron bij gekomen: windmolens. Om te voldoen aan afspraken over CO₂-reductie heeft de Nederlandse regering besloten windmolenparken aan te laten leggen in het Nederlandse deel van de Noordzee. Een windmolenpark heeft



om een grote industriële activiteit toe te staan. Mogelijk zullen de palen d.m.v. ontploffingen worden afgebroken (hetgeen een gebruikelijke methode is bij boorplatforms), zodat ook in die fase van het bestaan van een windmolenpark, de onderwaterfauna aan hoge geluidsniveaus blootgesteld zal worden.

Recent akoestisch onderzoek in Nederland in relatie tot zeefauna

De afgelopen jaren zijn er in Nederland al een aantal onderzoeken gedaan met betrekking tot onderwatergeluid. De geluiden die veroorzaakt worden tijdens de aanleg van windmolenparken zijn gemeten, en een verspreidingsmodel voor onderwatergeluid in de Noordzee is ontwikkeld (Ainslie et al., 2009).

Ook een aantal onderzoeken naar de relatie tussen geluiden en zeefauna zijn uitgevoerd of worden momenteel uitgevoerd. Over het gehoor van de Bruinvis is relatief het meest bekend. De Bruinvis heeft een zeer goed ontwikkeld gehoor en kan geluiden tussen de 200 Hz en 160.000 Hz horen (als vergelijking: de mens kan geluiden tussen 20 Hz en 20.000 Hz horen; Kastelein et al., 2002). De mate waarin Bruinvissen zuivere tonen kunnen horen onder ruisomstandigheden is ook onderzocht. De Bruinvis blijkt tonen in iets beter te kunnen waarnemen dan andere onderzochte tandwalvissen (Kastelein et al., 2009c). De mogelijke effecten van marine sonarsystemen op het gedrag van Bruinvissen wordt momenteel onderzocht.

De effecten van onderwaterdatacommuni-

catiesystemen en zuivere tonen op het gedrag van Gewone zeehonden zijn ook onderzocht (Kastelein et al., 2005; 2006). Hoe sterk zeehonden een geluidsbron mijden hangt zeker niet alleen af van het brongeluidsniveau, maar ook van het geluidsspectrum (hoe het geluid klinkt). De afgelopen twee jaar is tevens de gehoorgevoeligheid van zeehonden voor zuivere tonen en ruisbandjes onderzocht (Kastelein et al., 2009a & b). Deze diersoort blijkt een bijzonder gevoelig gehoor te hebben voor lage tonen.

De afgelopen jaren zijn de effecten van de geluiden van een aantal pingers (geluidsapparaten aan visnetten om onbedoelde bijvangst van Bruinvissen te reduceren) en tonen op een aantal zeevissoorten onderzocht. Elke vissoort reageerde op andere tonen en geluidsniveaus (Kastelein et al., 2007; 2008). De Zeebaars (*Dicentrarchus labrax*) reageert op veel toonhoogtes en al op relatief lage geluidsniveaus (foto 2). Een recent onderzoek heeft aangetoond dat trillingen in de bodem ervoor zorgen dat Kokkels (*Cardium edule*) hun beide siphonen (buisjes waarmee ze voedsel uit het water filteren) intrekken (foto 3; Kastelein, 2008). Dat betekent dat ze dan niet kunnen eten en dus minder groeien. Kokkels zijn het voedsel van veel zeedieren en vogels, die door een slechte kokkelgroei getroffen zullen worden. Het is dus van belang dat ook onderzoek gedaan wordt naar de effecten van geluid/trillingen op lagere organismen.

In 2009 is de ontbrekende kennis voor goede effect inschattingen van geluid op het gedrag van individuele dieren van de

Noordzee in kaart gebracht. Deze informatie vormt de leidraad voor toekomstig onderzoek in landen rond de Noordzee. Parallel zal een model ontwikkeld moeten worden om de effecten op individuele dieren te vertalen naar mogelijke effecten op populatie- en ecosysteemniveau.

Oplossingen (mitigerende maatregelen)

Zolang we niet voldoende kennis hebben over de effecten van antropogeen onderwatergeluid op de zeefauna is het raadzaam om bij alle menselijke activiteiten op zee aandacht te geven aan het uitgestraald geluid. In veel gevallen zijn er stillere alternatieve methoden of kunnen die ontwikkeld worden. In de scheepvaart bestaan er bijv. al jarenlang technieken om schepen stiller te maken voor militaire doeleinden, i.v.m. ARBO richtlijnen, óf om de cabinecapaciteit van cruiseschepen te vergroten. In de VS is men al een stap verder en wordt er momenteel gewerkt aan regelgeving om over enige jaren alleen schepen in de Amerikaanse havens toe te laten die weinig onderwatergeluid uitstralen.

Ook voor het plaatsen van windmolens op zee bestaan alternatieve stille technieken, zoals het af laten zakken van molens met geïntegreerde betonnen voeten of de palen de grond in te boren i.p.v. te heien. Ook kunnen sommige dieren d.m.v. minder schadelijke geluiden (bijv. met pingers die ontwikkeld zijn om Bruinvissen uit de buurt van visnetten te houden) uit een gebied worden verdreven vóór de schadelijke geluiden (bijv. heien op zee) worden opgestart. Nu de regering haast wil maken

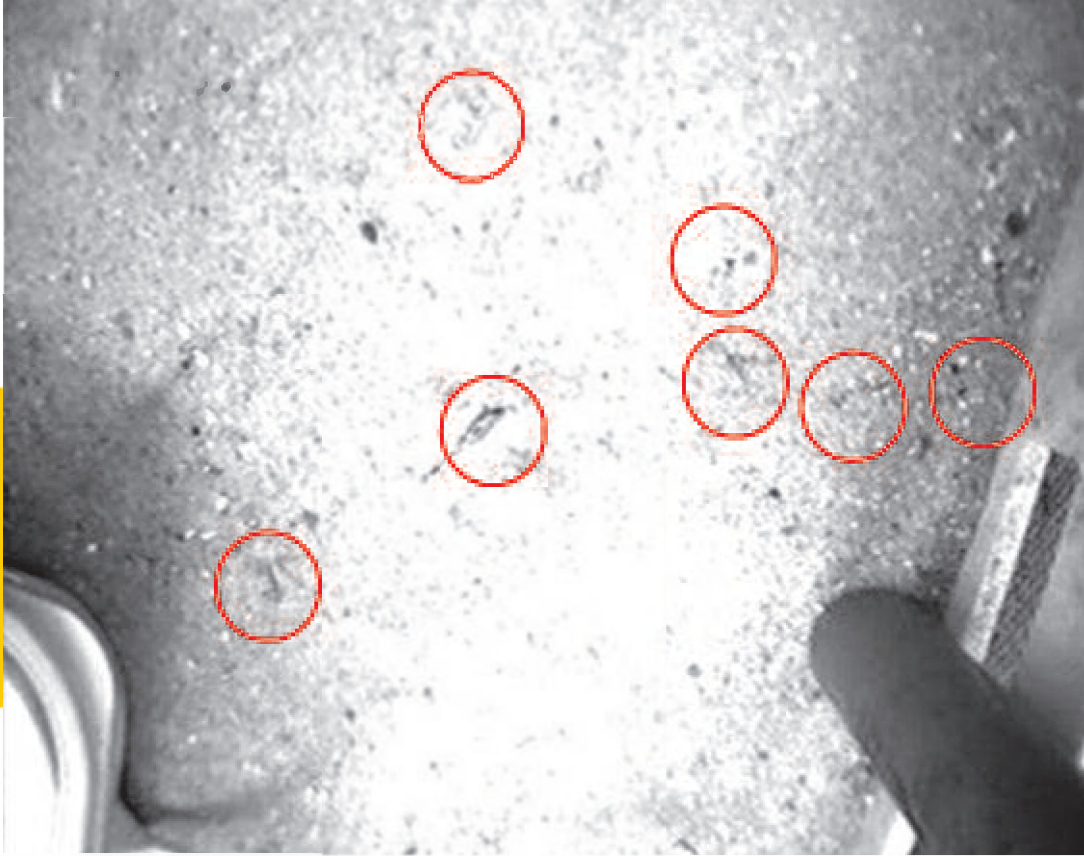


Foto 3. Kokkels (*Cardium edule*) in een zandbodem met hun twee siphonen net boven het zand (a) en dezelfde kokkels 30 seconden later na bloot te zijn gesteld aan trillingen in de bodem: siphonen ingetrokken (b) (foto's: Ron Kastelein).

met het plaatsen van windmolens in zee is meer kennis hierover zeer urgent. Vaak is eerst onderzoek nodig om activiteiten stiller te maken en zijn soms de kosten hoger om activiteiten stiller uit te voeren. Echter, het begrip dat geluid een vorm van vervuiling is en een bedreiging voor het onderwatermilieu kan zijn, begint langzaam tot de maatschappij door te dringen. Net als zware metalen, PCB's, en vlamvertragers, dient onderwatergeluid te worden gereduceerd om de Noordzee tot een gezonde leefomgeving te maken voor zeedieren.

Literatuur

Ainslie, M.A., C.A.F. de Jong, H.S. Dol, G. Blacquire & C. Marasini, 2009. Assessment of natural and anthropogenic sound sources and acoustic propagation in the North Sea. TNO report DV2009-Co85.

Kastelein, R.A., P. Bunskoek, M. Hagedoorn, W.W.L. Au & D. de Haan, 2002. Audiogram of a Harbor porpoise (*Phocoena phocoena*) measured with narrow-band frequency-modulated signals. *Journal of the Acoustical Society of America* 112: 334-344.

Kastelein, R.A., W.C. Verboom, M. Muijsers, N.V. Jennings & S. van der Heul, 2005. The influence of acoustic emissions for underwater data transmission on the behaviour of Harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) in a floating pen. *Marine Environmental Research* 59: 287-307.

Kastelein, R.A., S. van der Heul, W.C. Verboom, R.J.V. Triesscheijn & N.V. Jennings, 2006. The influence of underwater data transmission sounds on the displacement of captive Harbour seals (*Phoca vitulina*). *Marine Environmental Research* 61: 19-39.

Kastelein, R.A., S. van der Heul, J. van der Veen, W.C. Verboom, N. Jennings & P. Reijnders, 2007. Effects of acoustic alarms, designed to reduce small cetacean bycatch, on the behaviour of North Sea fish species in a large tank. *Marine Environmental Research* 64: 160-180.

Kastelein, R.A., 2008. Effect of vibrations on the behavior of cockles (bivalve molluscs), *Bioacoustics* 17: 74-75 (abstract).

Kastelein, R.A., S. van der Heul, W.C. Verboom, N. Jennings, J. van der Veen & D. de Haan, 2008. Startle response of captive North Sea fish species to underwater tones between 0.1 and 64 kHz. *Marine Environmental Research* 65: 369-377.

Kastelein, R.A., P.J. Wensveen, L. Hoek, W.C. Verboom & J.M. Terhune, 2009a. Underwater detection of tonal signals between 0.125 and 100 kHz by harbor seals (*Phoca vitulina*). *Journal of the Acoustical Society of America* 125, 1222-1229.

Kastelein, R.A., P. Wensveen, L. Hoek & J.M. Terhune, 2009b. Underwater hearing sensitivity of harbor seals (*Phoca vitulina*) for narrow noise bands between 0.2 and 80 kHz. *Journal of the Acoustical Society of America*, in druk.

Kastelein, R.A., P. Wensveen, L. Hoek, W.W.L. Au, J.M. Terhune & C.A.F. de Jong, 2009c. Critical ratios in Harbor porpoises (*Phocoena phocoena*) for tonal signals between 0.315 and 150 kHz in random Gaussian white noise. *Journal of the Acoustical Society of America*, in druk.

Summary

Underwater sound: one of the major threats to marine organisms

To estimate the audibility and effect of anthropogenic underwater noise sources on the

behavior of marine fauna, information is needed about the acoustic parameters of the noise sources, the sound propagation between the noise sources and the animals, the ambient noise, the hearing parameters of the animals, and the animals' behavioral reactions to specific man-made sounds. At the moment very little information is available, which makes predictions about the audibility ranges and effect-on-behavior ranges very imprecise. Almost all marine animals use sound to survive and reproduce. Not only marine mammals, but also most fish species and lower organisms. Because of their positioning in the food chain, the effect of anthropogenic underwater sound on lower organisms may have the biggest impact on the marine ecosystem. For instance, wind turbine parks in the North Sea increase the underwater background noise level both during the construction phase (pile driving), the operational phase (gear box noise, and maintenance craft), and probably the demolition phase (explosions). It is vital to consider the importance of sound for marine organisms during human activities at sea. In many cases noise reduction measures can prevent negative impacts of human activities on marine fauna.

Dr.ir. R.A. Kastelein
Directeur & eigenaar
SEAMARCO (Sea Mammal Research Company)
Applied research for marine conservation
Julianalaan 46
3843 CC Harderwijk
e-mail: researchteam@zonnet.nl