



Herrie onder water: vissen en geluidsoverlast

Sinds de komst van de Wet op de Verontreiniging van Oppervlaktewateren is de kwaliteit van het oppervlaktewater in Nederland sterk verbeterd. Via de Kaderrichtlijn Water wordt nu ook op internationaal niveau samengewerkt aan een betere waterkwaliteit. Echter, een belangrijk aspect van water dat tot op heden verwaarloosd is, is het geluidsniveau onder water als gevolg van de sterk toegenomen scheepvaart, recreatie en bouwwerkzaamheden in en rond de Nederlandse oppervlaktewateren. Over de impact hiervan op de habitatkwaliteit onder water is tot dusver vrijwel niets bekend.

Tweederde van alle zoetwatervissoorten behoort tot de 'hoorspecialisten' en is uiterst gevoelig voor geluid. Met name deze groep zal waarschijnlijk aanzienlijke hinder ondervinden van geluidstoename onder water. Mede in het kader van het ontwikkelen van een welzijnsbeleid voor vissen (beleidsbrief Ministerie van LNV 'Welzijn vis', 2002), is het van belang dat er meer inzicht wordt verkregen in het effect dat geluidsbelasting mogelijk heeft op de Nederlandse zoetwatervissen.

Water en geluid

Geluid gedraagt zich in water anders dan in lucht. Door het verschil in dichtheid plant geluid zich in water vijf keer zo snel voort. De draagwijdte van geluid in water is veel groter dan in lucht, waardoor geluid onder water over veel grotere afstanden hoorbaar is dan boven water. Een kenmerkend voorbeeld van de grote draagwijdte van geluid onder water zijn de vocalisaties van de Blaauwe (*Balaenoptera musculus*) en Gewone vinvis (*B. physalus*). De vocalisaties van deze dieren zijn onder water op een afstand van 1600 km van het vocaliserende individu nog waar-

neembaar (Clark, 1994). Door deze goede transmissie-eigenschappen heeft geluid dat geproduceerd wordt door menselijke activiteit in of bij water in veel gevallen invloed op een groot gebied rondom de geluidsbron. Metingen aan geluidsniveaus die zeeschepen onder water produceren laten bijvoorbeeld zien dat deze nog zeer goed hoorbaar zijn op een afstand van tientallen kilometers van het schip (Richardson et al., 1995).

Menselijke geluidsbronnen in en om het water

In Nederland vormen binnenvaartschepen, gemotoriseerde pleziervaartuigen en bouwactiviteit in en aan watergebieden drie bronnen van geluid die in de afgelopen periode in toenemende mate zijn gaan bijdragen aan de geluidsniveaus onder water.

Binnenvaart

Nederland beschikt over de grootste en modernste binnenvaartvloot van Europa. De gemiddelde laadcapaciteit van Nederlandse binnenvaartschepen is de laatste 30 jaar sterk vergroot (fig. 1). Als gevolg van

**Ilse van Opzeeland,
Hans Slabbekoorn,
Tjeerd Andringa
& Carel ten Cate**

deze schaalvergroting is ook het gemiddelde motorvermogen van de Nederlandse binnenvaartschepen de afgelopen jaren sterk toegenomen. Recent buitenlands onderzoek heeft de toename in het aantal zeeschepen met zwaardere scheepsmotoren aangewezen als één van de belangrijkste factoren voor de forse toename van geluid in de oceanen (McDonald et al., 2006). Tot dusver heeft onderzoek naar geluid onder water zich vooral geconcentreerd op mariene omgevingen en bestaan er geen gegevens voor zoetwatermilieus over de geluidsniveaus in vaarwegen geproduceerd door binnenvaartschepen.

Pleziervaart

Recent onderzoek van het Ministerie van LNV stelde dat het aantal gemotoriseerde pleziervaartuigen, die met enige regelmaat worden gebruikt, in de afgelopen 30 jaar bijna is verdrievoudigd in Nederland (van 138.500 in 1976 tot 395.760 in 2005). Figuur 2 laat groei van het aantal ligplaatsen voor pleziervaartuigen zien voor het IJsselmeergebied vanaf 1960 tot 2004. De toename van het aantal gemotoriseerde pleziervaartuigen in Nederland heeft zonder twijfel gevolgen voor de geluidsniveaus onder water in recreatiegebieden en vaarwegen.

Bouwen in en aan het water

Waterbewust bouwen wordt door veel organisaties aangewezen als mogelijke oplossing voor het gebrek aan ruimte en/of het gebrek aan waterberging dat in grote delen van Nederland een rol speelt. Dit resulteert onder meer in een groeiend aantal bouwprojecten in en aan bestaande watergebieden. De nieuwste uitbreiding van Amsterdam, de eilanden in het IJmeer (IJburg), vormen hier een bekend voorbeeld van. Ook groeit het aantal jachthavens, bruggen en aquaducten dat wordt aangelegd, waarbij eveneens bouwactiviteiten in het water plaatsvinden. De bouwactiviteiten (bijv. heiwerkzaamheden, foto 1) tijdens de aanleg van dergelijke projecten hebben aanzienlijke consequenties voor de geluidsniveaus onder water (Hastings & Popper, 2005). Metingen aan geluidsniveaus voor, tijdens en na de aanleg maken deel uit van de Milieu Effect Rapportage, maar beperken zich tot de situatie boven water. Gegevens over het bereik en het effect van geluid onder water als gevolg van bouwactiviteiten zijn schaars en daarnaast sterk afhankelijk van omgevingsfactoren zoals bodemsubstraat, waterdiepte enz.

De functie van geluid voor vissen

Geluid speelt niet alleen boven water een belangrijke rol voor organismen, maar zeker ook onder water. Water is in veel gevallen een beter medium dan lucht als het om geluidstransmissie gaat. Ook hebben geluidssignalen onder water diverse voordelen ten opzichte van bijvoorbeeld chemische of visuele signalen. Naast een grote draagwijdte en voortplantingssnelheid, heeft geluid eveneens als voordeel dat het niet afhankelijk is van de lichtsituatie: ook in troebel water of 's nachts zijn geluidssignalen een prima communicatiemiddel. Geluid onder water wordt gezien als het meest betrouwbare communicatiekanaal voor vissen en speelt dan ook voor veel soorten een sleutelrol in verschillende gedragingen.

Veel vissoorten communiceren door middel van geluid door o.a. het bewegen van vinnen, raspen met tanden of pulseren van de zwemblaas. Tijdens de voortplanting produceert het mannetje van veel vissoorten geluid om vrouwtjes aan te trekken om mee te paren, bij andere soorten synchroniseert het geluid het paringsgedrag van beide seksen. Ook bij territoriaal gedrag, het vormen van scholen en het detecteren van prooi en predatoren, speelt geluid



bij veel vissoorten een belangrijke rol. Vissengeluiden zijn in veel gevallen breedbandige signalen met relatief lage frequenties (met de meeste energie beneden 500 Hz). Variatie in de duur van geluidselementen en de pauzes ertussen spelen vaak een belangrijke rol bij informatieoverdracht en kunnen een rol spelen bij het lokaliseren en herkennen van soortgenoten en individuen. Een belangrijk aspect van het coderen van informatie in de temporele structuur in plaats van in de frequentie, is dat zulke informatie beter behouden blijft als het signaal zich voortplant over lange afstanden (Wysocki & Ladich, 2005). Ook gebruiken vissen het geluid uit de omgeving als bron van informatie over de omgeving. Het geluid van golven en wind speelt voor veel vissoorten een rol in het detecteren van de aanwezigheid en positie van objecten. Zo helpt geluid uit koraalriffen vislarven van koraalvissen om geschikte habitats voor vestiging te vinden (Simpson et al., 2005).

Wat vissen kunnen horen

Bij vissen hebben zich twee sensorische systemen ontwikkeld om zowel op zeer korte als lange afstand geluidsvelden te kunnen waarnemen: het zijlijnorgaan en het oor. Het zijlijnorgaan speelt met name een rol bij het waarnemen van deeltjesbeweging op zeer korte afstand (1 à 2 lichaamsslengten) en reageert op beweging van de vis en beweging van het water. Het gehoororgaan van vissen is gevoelig voor veranderingen in waterdruk en kan signalen over lange afstanden waarnemen (Tavolga, 1971). Op basis van hun gevoeligheid voor geluid kunnen vissen worden ingedeeld in twee groepen: hoorspecialisten en hoorgeneralisten (Popper & Fay, 1993). Bij hoorspecialisten wordt door een mechanische koppeling tussen de zwemblaas of een andere luchtgevulde holte en het binnenoor het geluid versterkt. De met lucht gevulde zwemblaas of holte heeft een lage akoestische weerstand (impedantie) en wordt

Foto 1. Heiwerkzaamheden in en aan bestaande watergebieden creëren een zeer complex geluidsveld onder water met plaatselijk zeer hoog energetische geluidsgolven (foto: van Vliet, Waddinxveen).

gemakkelijk in beweging gebracht door geluid onder water. Door de mechanische koppeling tussen zwemblaas en oorkamers worden de zogenaamde gehoorsteentjes (of otolieten) in de oorkamers sterker in beweging gebracht dan mogelijk zou zijn door de invloed van alleen de directe geluidsgolven.

Bij hoorgeneralisten is er geen koppeling tussen het binnenoor en zwemblaas of luchtgevulde holte, waardoor er geen versterking van het geluid optreedt. Hoorgeneralisten zijn hierdoor over het hele frequentiebereik minder gevoelig voor geluid dan hoorspecialisten. Tweederde van alle zoetwatervissoorten behoort tot de hoorspecialisten (Nelson, 2006) en is dus erg gevoelig voor geluid. Zoetwater is over het algemeen van nature relatief rustig vergeleken met mariene habitats, waar golven en wind sterk bijdragen aan de hoeveelheid achtergrondgeluid. De akoestische omstandigheden in zoetwater hebben er dan ook toe bijgedragen dat met name het gehoor van veel zoetwatervissoorten zich heeft gespecialiseerd (Amoser & Ladich, 2005). De aanpassingen in het gehoor stelden deze visgroep in staat om beter gebruik te maken van akoestische informatie uit hun omgeving, met betrekking tot de aanwezigheid en intentie van soortgenoten, prooidieren en predatoren.

Effecten van lawaai op vissen

Impulsgeluiden

Impulsgeluiden (geluiden van zeer korte duur met een hoge geluidintensiteit) ontstaan als gevolg van explosies, sonar, impactcontact (zoals heiwerkzaamheden) of seismisch onderzoek en kunnen ernstige fysiologische schade veroorzaken bij vissen. Heiwerkzaamheden in of nabij water bijvoorbeeld, produceren relatief laagfrequente impulsgeluiden met zeer hoge geluidsniveaus. Onderzoek aan vissen in gevangenschap die werden blootgesteld aan representatieve opnamen van deze signalen heeft uitgewezen dat de hoge geluidsniveaus bij lage frequenties gasontwikkeling in de ogen en bloedvaten van vissen veroorzaken, hetgeen leidde tot embolie en het barsten van de bloedvaten met inwendige bloedingen als gevolg

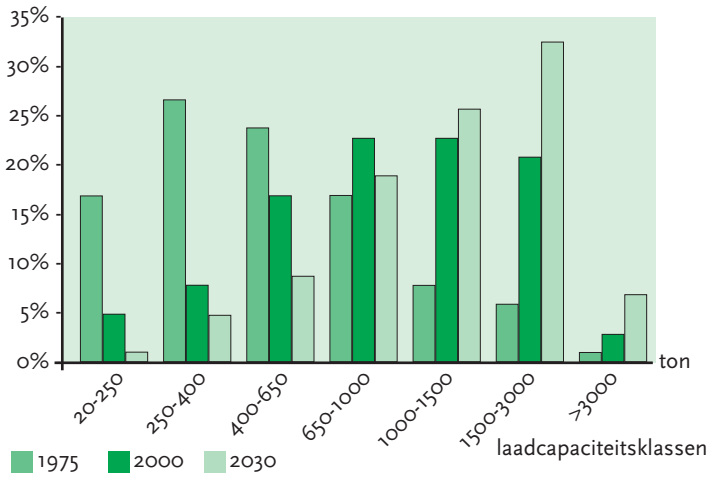


Fig. 1. De samenstelling van de Nederlandse vloot is de afgelopen 30 jaar drastisch veranderd en zal dat de komende jaren ook nog blijven doen. De nadruk ligt hierbij duidelijk op schaalvergroting (bron: Bureau Voorlichting Binnenvaart).

(Hastings & Popper, 2005). Op korte afstand van de heipaal, binnen een straal van 50 m, werd in een aantal gevallen vissterfte geconstateerd. Op grotere afstanden van de heipaal hadden vissen veelal scheuren in de zwemblaas. Gedetailleerdere gegevens met betrekking tot de afstand waarover het geluid van heiverkzaamheden vissen kan beschadigen of beïnvloeden ontbreken echter tot dusver. Ook de gehoororganen van vissen die werden blootgesteld aan impulsgeluid met

realistische geluidsniveaus raakten zwaar beschadigd waardoor de vissen na blootstelling permanent minder gevoelig waren voor geluid (McCauley et al., 2003). Een permanent verminderde gevoeligheid voor geluid kan overlevingskansen beïnvloeden als vissen niet in staat zijn de akoestische signalen van prooi, predatoren en soortgenoten waar te nemen. Gehoorbeschadigingen blijken over het algemeen sneller op te treden bij hoorspecialisten dan bij hoorgeneralisten (Amoser & Ladich, 2003).

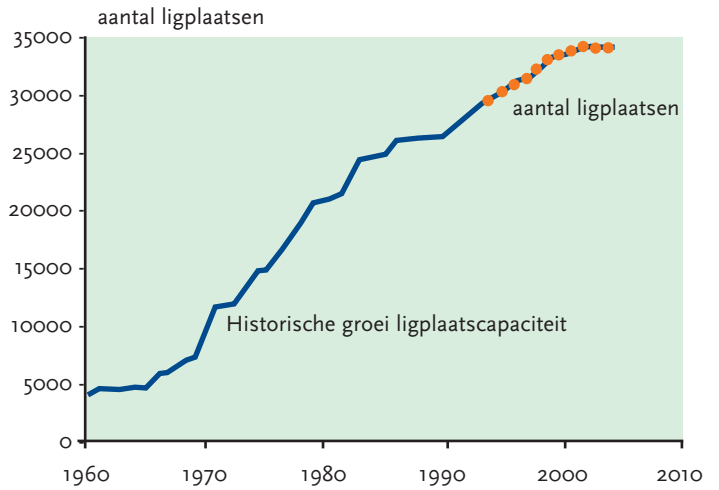


Fig. 2. Ontwikkeling van de watersport in het IJsselmeergebied in de periode 1960 tot 2004. (Gemiddelde bezettingsgraad 1995-2004: 92,2%) (bron: Waterrecreatie Advies Lelystad, 2005).

Continue geluiden

Een belangrijke bron van continu geluid met een matige intensiteit zijn motoren van binnenvaartschepen en gemotoriseerde pleziervaartuigen. Ook dit heeft een grote impact op vissen. Zo blijkt het geluid van snelvarende speedboten te leiden tot het afbreken van het kuitschieten bij Blankvoorn (*Rutilus rutilus*) en Ruisvoorn (*Scardinius erythrophthalmus*), terwijl het geluid van een naderende snelvarende speedboot bij beide vissoorten vluchtreacties oproept



Foto 2. Baars (*Perca fluviatilis*) is een voorbeeld van een typische hoorgeneralist; hier in een aquarium (foto: Joep de Leeuw).

Tabel 1. De Rode Lijst van Nederlandse zoetwater-vissoorten en indeling naar gehoorgevoeligheid (Staatscourant, 2004).

	Soortnaam	Gehoorgevoeligheid	Mate van bedreiging
	Beekforel (<i>Salmo trutta</i>)	generalist	Verdwenen uit Nederland
	Fint (<i>Alosa fallax</i>)	specialist	Verdwenen uit Nederland
	Steur (<i>Acipenser sturio</i>)	generalist	Verdwenen uit Nederland
	Vlagzalm (<i>Thymallus thymallus</i>)	generalist	Verdwenen uit Nederland
	Barbeel (<i>Barbus barbus</i>)	specialist	Zeer sterk afgenomen, bedreigd in Nederland
	Beekprik (<i>Lampetra planeri</i>)	generalist	Sterk afgenomen, bedreigd in Nederland
	Elrits (<i>Phoxinus phoxinus</i>)	specialist	Zeer sterk afgenomen, bedreigd in Nederland
	Kwabaal (<i>Lota lota</i>)	generalist	Zeer sterk afgenomen, bedreigd in Nederland
	Sneep (<i>Chondrostoma nasus</i>)	specialist	Zeer sterk afgenomen, bedreigd in Nederland
	Bittervoorn (<i>Rhodeus sericeus</i>)	specialist	Matig afgenomen, kwetsbaar in Nederland
	Grote modderkruiper (<i>Misgurnus fossilis</i>)	specialist	Sterk afgenomen, kwetsbaar in Nederland
	Kopvoorn (<i>Leuciscus cephalus</i>)	specialist	Zeer sterk afgenomen, kwetsbaar in Nederland
	Kroeskarper (<i>Carassius carassius</i>)	specialist	Matig afgenomen, kwetsbaar in Nederland
	Serpeling (<i>Leuciscus leuciscus</i>)	specialist	Sterk afgenomen, kwetsbaar in Nederland
	Vetje (<i>Leucaspius delineatus</i>)	specialist	Sterk afgenomen, kwetsbaar in Nederland
	Gestippelde alver (<i>Alburnoides bipunctatus</i>)	specialist	Niet afgenomen, maar zeer zeldzaam. Gevoelig
	Winde (<i>Leuciscus idus</i>)	specialist	Sterk afgenomen. Gevoelig (foto 3)

(Boussard, 1981). Ander onderzoek toonde aan dat blootstelling aan het geluid dat een kleine motorboot onder water produceert, tijdelijk verminderde gehoorgevoeligheid kan veroorzaken bij hoorspecialisten (Scholik & Yan, 2002). De continue aanwezigheid van achtergrondgeluid van matige intensiteit kan bovendien geluiden die van belang zijn voor vissen overstemmen. Met name de temporele structuur van signalen, die voor vissen de meeste informatie bevat, blijkt in aanwezigheid van continu achtergrondgeluid al gauw niet meer te kunnen worden waargenomen door vissen. Omdat het waarnemen van temporele structuur ook een belangrijke rol speelt bij oriëntatie in de omgeving, beperken verhoogde geluidsniveaus in de leefomgeving van vissen mogelijk niet alleen de communicatie maar ook het oriëntatievermogen van vissen.

Langdurig of continu aanwezig achtergrondgeluid kan ook leiden tot hormonale stressreacties bij vissen. Karpers (*Cyprinus carpio*), Riviergrondels (*Gobio gobio*) en Baarzen (*Perca fluviatilis*; foto 2) werden blootgesteld aan geluidsonamen van scheepsmotoren (Wysocki et al., 2006). Het onderzoek toonde aan dat vissen het stresshormoon cortisol afscheiden kort na blootstelling aan de geluiden van de scheepsmotoren. Gegeven de relatief korte duur van de blootstelling aan het geluid tijdens het experiment en het gerapporteerde effect ervan, achten de auteurs het waarschijnlijk dat geluidsvervuiling door schepen een zeer belangrijke stressfactor is voor veel zoetwatervissen. Van stress bij vissen is bekend dat dit kan resulteren in verminderde groei en weerstand tegen ziekten, het reproductiesucces negatief kan beïnvloeden en kan leiden tot een verhoogde mortaliteit (Donaldson, 1990).

Gehoorgevoeligheden van Rode Lijst-soorten

Op de Nederlandse Rode Lijst voor vissen, staan op dit moment 35 soorten (Staatscourant, 2004). Zeventien van deze soorten zijn zoetwatervissoorten (tabel 1; foto 3). Voor de zoetwatervissoorten op de Rode Lijst worden met name factoren zoals waterpeilverlagingen, verstuwung, kanalisatie en vermessing van het water, genoemd als belangrijkste bedreigingen voor populaties. Twaalf van de 17 zoetwatervissoorten op de Rode Lijst behoren echter tot de hoorspecialisten en zijn dus zeer gevoelig voor geluid. Hoge geluidsniveaus onder water zouden ertoe kunnen bijdragen dat vissen die afhankelijk zijn van geluid om prooi en predatoren te detecteren, in verslechterde conditie raken door stress en verminderde voedselopname of een grotere kans hebben om gepredeerd te worden. In situaties waar migratie mogelijk is, zouden vissen weg kunnen trekken uit gebieden met toegenomen geluidsniveaus.

Waarschuwing

Het is duidelijk dat toenemende menselijke activiteit op, in en bij het water tot een toenemende geluidbelasting onder water leidt. De boven besproken gegevens maken het waarschijnlijk dat deze toename een fors effect op vissen heeft en mogelijk zelfs een belangrijke factor is voor de teruggang van een aantal vissoorten. Er is echter een groot gebrek aan kennis over de aard, omvang en structuur van onderwatergeluid als gevolg van de verschillende activiteiten in en bij water. Tot dusver vormen veranderingen in geluidsniveaus onder water geen onderdeel van de lijst van factoren waarvan de invloed op habitat en vispopulaties door middel van onderzoek en monitoring wordt beoordeeld.

Bovendien bestaat er maar zeer beperkt inzicht in de effecten van toegenomen omgevingsgeluid op vissen. Onbekend is ook het belang van geluidsstress ten opzichte van andere stressoren zoals waterverontreiniging. Het gebrek aan onderzoek naar de geluidssamenstelling van de Nederlandse binnenwateren en het effect daarvan op zoetwatervissen vormt een groot contrast met het omvangrijke onderzoek naar de fysische waterkwaliteit, zoals het effect van watertemperatuur en de aanwezigheid van nutriënten en zware metalen op vispopulaties. Door dit gebrek aan kennis over de relatie tussen menselijke activiteit, geluidbelasting, visgedrag en visstand is het helaas niet mogelijk op dit moment meer te doen dan het probleem te signaleren. Alleen gericht onderzoek zal kunnen leiden tot maatregelen om problemen te verminderen of te voorkomen.

Literatuur

- Amoser, S. & F. Ladich, 2003.** Diversity in noise-induced temporary hearing loss in Otophysine fishes. *Journal of the Acoustical Society of America* 113: 2170 - 2178.
- Amoser, S. & F. Ladich, 2005.** Are hearing sensitivities of freshwater fish adapted to the ambient noise in their habitats? *Journal of Experimental Biology* 208: 3533 - 3542.
- Boussard, A., 1981.** The reactions of roach (*Rutilus rutilus*) and rudd (*Scardinius erythrophthalmus*) to noises produced by high speed boating. *Proceedings of the second British Freshwater Fisheries Conference*: 188 - 200.
- Clark, C.W., 1994.** Application of U.S. Navy underwater hydrophone arrays for scientific research on whales. Report to the International Whaling Commission 44: 1 - 12.
- Donaldson, E.M., 1990.** Reproductive indices as measures of the effect of environmental



Foto 3. Winde (*Leuciscus idus*) is één van de hoorspecialisten op de Nederlandse Rode Lijst van zoetwater-vissen; aquarium-opname (foto: Joep de Leeuw).

stressors in fish. American Fisheries Society Symposium 8: 109 - 122.

Hastings, M.C. & A.N. Popper, 2005. Effects of sound on fish. California Department of Transportation Contract 43A0139 Task Order 1: 1 - 82.

McCauley, R.D., J. Fewtrell & A.N. Popper, 2003. High intensity anthropogenic sound damages fish ears. Journal of the Acoustical Society of America 113: 638 - 642.

McDonald, M.A., J.A. Hildebrand & S.M. Wiggins, 2006. Increases in deep ocean ambient noise in the Northeast Pacific west of San Nicolas Island, California. Journal of the Acoustical Society of America 120: 711 - 718.

Nelson, J.S., 2006. Fishes of the World 4e editie. John Wiley and Sons Hoboken, New Jersey.

Popper, A.N. & R.R. Fay, 1993. Sound detection and processing by fish: critical review and major research questions. Brain, Behavior and Evolution 41: 14 - 38.

Richardson, J.W., C.R. Greene Jr, C.I. Malme & D.H. Thomson, 1995. Marine Mammals and Noise. Academic Press San Diego, California.

Scholik, A.R. & H.Y. Yan, 2002. The effects of noise on the auditory sensitivity of the bluegill sunfish, *Lepomis macrochirus*. Comparative Biochemistry and Physiology Part A 113: 43 - 52.

Simpson, S.D., M.G. Meekan, J. Montgomery,

R.D. McCauley & A. Jeffs, 2005. Homeward sound. Science 308: 221.

Staatscourant 11 november 2004, nr. 218. Besluit Rode Lijsten flora en fauna.

Tavolga, W.N., 1971. Sound production and detection. In: W.S. Hoar & D.J. Randall (ed.). Fish physiology: 135 - 192. New York: Academic Press.

Wysocki, L.E. & F. Ladich, 2005. Hearing in fishes under noise conditions. Journal of the Association for Research in Otolaryngology 6: 28 - 36.

Wysocki, L.E., J.P. Dittami & F. Ladich, 2006. Ship noise and cortisol secretion in European freshwater fishes. Biological Conservation 128: 501 - 508.

Summary

Underwater racket: fish and noise pollution

Anthropogenic activities such as commercial shipping, recreation and construction activities (i.e. piling and drilling) have made underwater noise pollution an increasing factor in the aquatic environment. Two-thirds of all freshwater fish species are so called hearing specialists and very sensitive to sound. It is to be expected that these hearing specialist species are affected

negatively by the increased underwater sound levels. Depending on the noise source, this may affect overall health, acoustic communication, reproduction, distribution patterns, migration and possibly the survival of populations. This paper reveals an important gap in what is known about the acoustic characteristics of various underwater noise sources and the effects of underwater sound on freshwater fish.

Drs. I.C. van Opzeeland & Dr. T.C. Andringa
Auditory Cognition Group
Kunstmatige Intelligentie
Rijksuniversiteit Groningen
Grote Kruisstraat 2/1
9712 TS Groningen
e-mail: i.van.opzeeland@ai.rug.nl
t.andringa@ai.rug.nl

Dr. H. Slabbekoorn & Prof.dr. C.J. ten Cate
Gedragbiologie
Instituut voor Biologie
Universiteit Leiden
Postbus 9516
2300 RA Leiden
e-mail: h.w.slabbekoorn@biology.leidenuniv.nl
c.j.ten.cate@biology.leidenuniv.nl