



vissen geluids overlast

**effect van geluidsbelasting onder water
op zoetwatervissen**

ilse van opzeeland, hans slabbekoorn, tjeerd andringa, carel ten cate
rijksuniversiteit groningen & universiteit leiden



Vissen en geluidsoverlast

Effect van geluidsbelasting onder water op zoetwatervissen

Februari 2007

Auteurs:

Ilse van Opzeeland*

Hans Slabbekoorn⁺

Tjeerd Andringa*

Carel ten Cate⁺

* Auditory Cognition Group, Kunstmatige Intelligentie, Rijksuniversiteit Groningen

⁺ Gedragsbiologie, Instituut voor Biologie, Universiteit Leiden

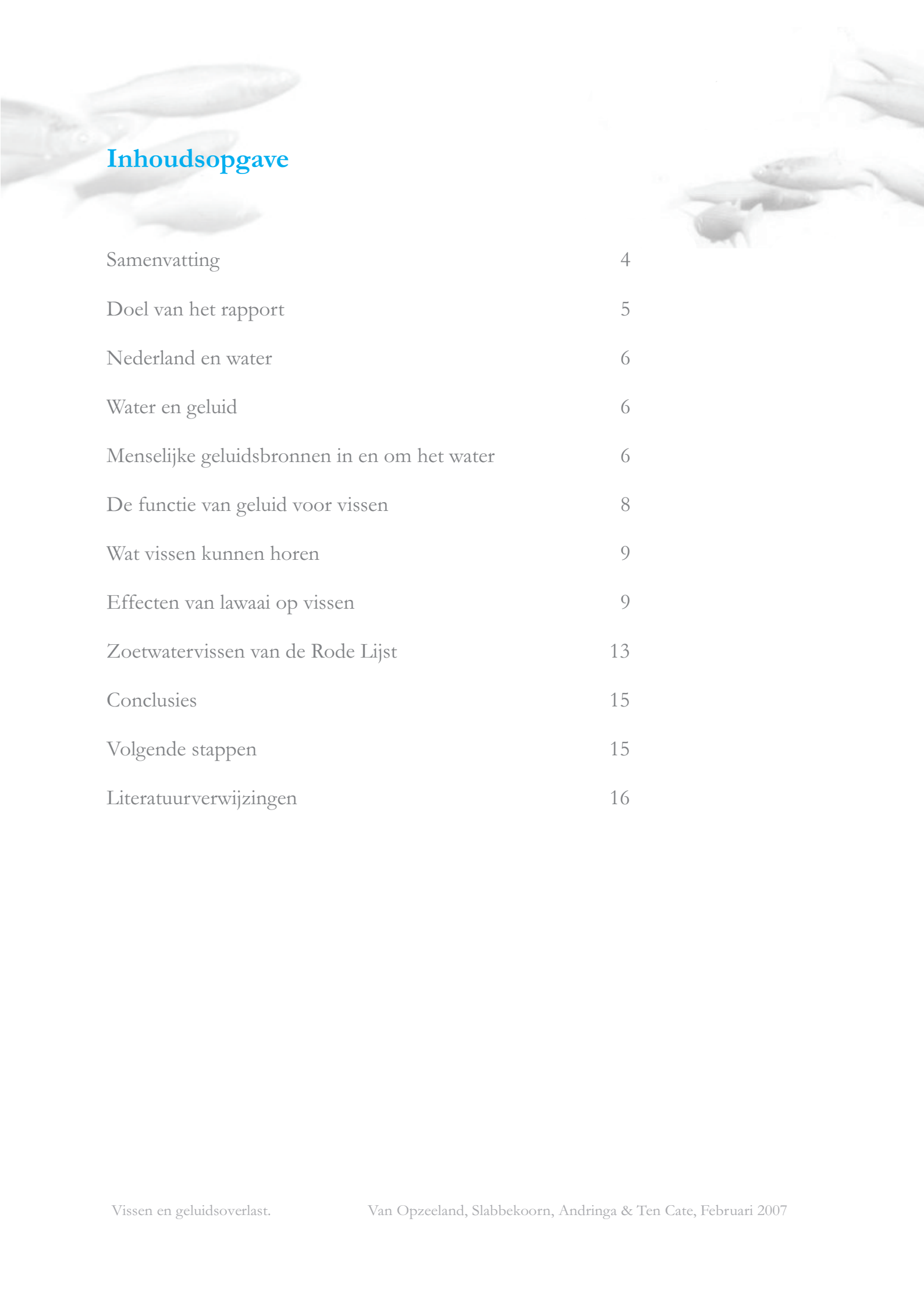


Universiteit Leiden
The Netherlands



RuG





Inhoudsopgave

Samenvatting	4
Doel van het rapport	5
Nederland en water	6
Water en geluid	6
Menselijke geluidsbronnen in en om het water	6
De functie van geluid voor vissen	8
Wat vissen kunnen horen	9
Effecten van lawaai op vissen	9
Zoetwatervissen van de Rode Lijst	13
Conclusies	15
Volgende stappen	15
Literatuurverwijzingen	16

Samenvatting

De menselijke activiteit op en rond de oppervlaktewateren van Nederland neemt sterk toe. Als gevolg hiervan is er zeer waarschijnlijk sprake van een drastische toename van de geluidsbelasting onder water. Tweederde van alle zoetwatervissoorten behoort tot de 'hoorspecialisten' en is uitzonderlijk gevoelig voor geluid. Met name deze groep zal vermoedelijk aanzienlijke hinder ondervinden van geluidstoename onder water. Afhankelijk van de mate waarin vissen worden verstoord, kan dit consequenties hebben voor o.a. akoestische communicatie, voortplanting, gezondheid, verspreiding, migratie en daarmee mogelijk het voortbestaan van een populatie. We constateren echter een schrijnend gebrek aan kennis over de geluidsbelasting die menselijke activiteit onder water veroorzaakt en aan inzicht in de effecten die deze geluidsbelasting heeft op de Nederlandse zoetwatervissen.

Doel van dit rapport

Met dit rapport willen wij een tot nu toe nauwelijks onderkende, maar snel verslechterende milieufactor onder de aandacht brengen: geluidsoverlast onder water. Verschillende bronnen wijzen erop dat deze verslechtering belangrijke gevolgen kan hebben voor diverse vissoorten. Mede in het kader van het ontwikkelen van een welzijnsbeleid voor vissen (beleidsbrief Ministerie 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. Wij pleiten hierbij voor een gerichte studie naar de aard en omvang van geluidsoverlast in Nederlandse binnenwateren en naar de impact daarvan op zoetwatervissen. Een dergelijke studie is essentieel om te komen tot maatregelen die schadelijke gevolgen van onderwatergeluid inperken of voorkomen.

Nederland en water

Nederland is rijk aan oppervlaktewater: in sloten, kanalen, in grote waterlopen zoals de Rijn en Maas, en in de vorm van meren en plassen. De omvang van het oppervlaktewater in Nederland heeft er mede toe bijgedragen dat de Nederlandse binnenvaartvloot zich heeft ontwikkeld tot de grootste en modernste van Europa. Daarnaast zijn de binnenwateren in Nederland ook van grote betekenis voor recreatie, de binnen- en sportvisserij en het toerisme.

Vanwege milieutechnische en klimatologische veranderingen wordt er veel aandacht besteed aan waterbeheer en het monitoren van de waterkwaliteit. 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 toenemende geluidsniveau onder water als gevolg van 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.

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 blauwe (*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

waarneembaar^{1,2}. Door de goede transmissie-eigenschappen van water heeft geluid dat geproduceerd wordt door menselijke activiteit in of bij water in veel gevallen invloed op een groot gebied rondom de geluidsbron. Het geluid van luchtkanonnen die worden gebruikt voor seismisch onderzoek aan de zeebodem is hoorbaar op een afstand van 100 km van de geluidsbron³. Metingen aan geluidsniveaus die zeeschepen onder water produceren laten zien dat de scheepsmotoren nog zeer goed hoorbaar zijn op een afstand van tientallen kilometers van het schip^{3,4}. Ook van geluiden geproduceerd door activiteiten aan wal is bekend dat deze kunnen worden overgedragen aan water.

Menselijke geluidsbronnen in en om het water

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

Binnenscheepvaart

Nederland beschikt over de grootste en modernste binnenvaartvloot van Europa^{5,6}. De gemiddelde laadcapaciteit van Nederlandse binnenvaartschepen is de laatste 30 jaar sterk vergroot (Figuur 1). Het gemiddelde motorvermogen van de Nederlandse binnenvaartschepen is als gevolg van deze capaciteitsverandering eveneens toegenomen⁵. Recent buitenlands onderzoek heeft de toename in het aantal zeeschepen met zwaardere scheepsmotoren aangewezen als een van de belangrijkste factoren voor de forse toename van geluid in de oceanen^{4,7}. Tot dusver heeft onderzoek naar geluid onder water zich vooral geconcentreerd op mariene omgevingen en bestaan er geen gegevens voor zoetwatermilieus over de geluidsniveaus die binnenvaartschepen in vaarwegen produceren.

Pleziervaart

Recent onderzoek van het Ministerie van LNV stelde dat het aantal gemotoriseerde pleziervaartuigen, zoals motorboten, zeilboten, kajuitboten en jetski's, dat met enige regelmaat wordt gebruikt, in de afgelopen 30 jaar bijna is verdrievoudigd in Nederland (van 138.500 in 1976 tot 395.760 in 2005)⁸. Figuur 2 laat de groei zien van het aantal ligplaatsen voor pleziervaartuigen voor het IJsselmeergebied vanaf 1960

tot 2004. De toename van het aantal gemotoriseerde vaartuigen in de afgelopen 30 jaar heeft zonder twijfel gevolgen gehad voor de geluidsniveaus onder water in recreatiegebieden en vaarwegen. Gegevens met betrekking tot de geluidsniveaus die gemotoriseerde vaartuigen produceren ontbreken echter tot dusver geheel, zowel voor de binnenlandse als de buitenlandse situatie

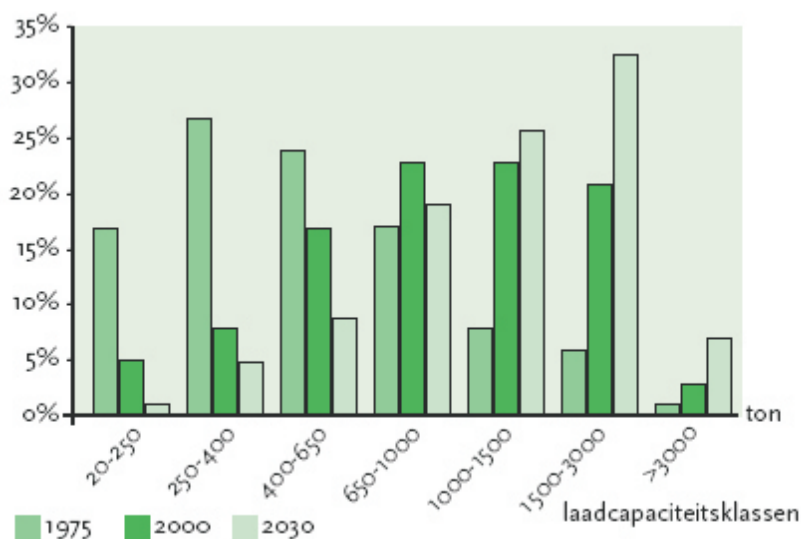


Fig. 1. De samenstelling van de Nederlandse vloot is de afgelopen 30 jaar drastisch veranderd en zal dat de komende jaren ook nog blijven doen. De nadruk ligt hierbij duidelijk op schaalvergroting (Bron: Bureau Voorlichting Binnenvaart).

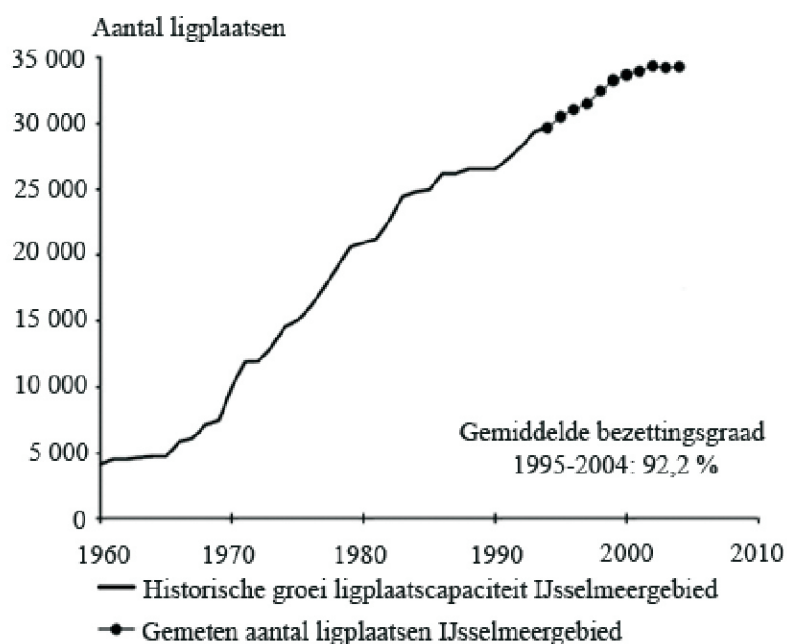


Fig. 2. Ontwikkeling van de watersport in het IJsselmeergebied in de periode 1960 tot 2004 (Bron: Waterrecreatie Advies Lelystad, 2005).

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) is hier een bekend voorbeeld van. Ook groeit het aantal jachthavens en worden er meer bruggen en aquaducten aangelegd. De bouwactiviteiten (bijvoorbeeld heiwerkzaamheden) tijdens de aanleg van dergelijke projecten hebben aanzienlijke consequenties voor de geluidsniveaus onder water⁹. Metingen aan geluidsniveaus voor, tijdens en na de aanleg maken deel uit van de milieu effect rapportage, maar beperken zich tot de situatie boven water¹⁰⁻¹⁴.

Heiwerkzaamheden nabij watergebieden (Foto 1) creëren een complex geluidsveld onder water met plaatselijk zeer hoog energetische geluidsgolven⁹. Gegevens over het bereik van deze geluidsgolven onder water zijn schaars en sterk afhankelijk van omgevingsfactoren zoals bodemsubstraat, waterdiepte etc^{9,15}.



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).

De functie van geluid voor vissen

Geluid speelt niet alleen boven water een belangrijke rol voor veel organismen, maar zeker ook onder water. Water is in veel gevallen een beter medium dan lucht als het om geluidstransmissie gaat, en ook hebben geluidssignalen onder water diverse voordelen ten opzichte van bijvoorbeeld chemische of visuele signalen. Naast een grote draagwijdte en voortplantings-snelheid, heeft geluid ook als voordeel dat het niet afhankelijk is van de lichtsituatie: ook in troebel water of 's nachts zijn geluidssignalen een prima communicatiemiddel. Ook is geluid zeer geschikt om richting en afstand te bepalen. Geluid onder water wordt daarom gezien als

het meest betrouwbare communicatiekanaal voor vissen^{16,17,18}. Hoewel er grote verschillen zijn in de gevoeligheid voor geluid tussen vissen, wordt aangenomen dat alle vissen geluid waarnemen^{16,19}.

Vissen gebruiken 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 vinden²⁰.

Veel vissoorten gebruiken geluid ook voor communicatie, zowel binnen als tussen soorten^{16,17,18}. De geluiden die vissen produceren

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 informatie-overdracht, bij oriëntatie en bij het herkennen van soortgenoten en individu-en^{21,22,23}. 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 afstanden²⁴. Vissen kunnen geluid produceren door middel van o.a. het bewegen van vinnen, raspen met tanden of pulseren van de zwemblaas^{16,25}. Tijdens de voortplanting produceert het mannetje van veel vissoorten geluid om vrouwtjes aan te trekken om mee te paren^{26,27,28}. Bij andere soorten synchroniseert het geluid dat vissen produceren tijdens de voortplanting het paringsgedrag van beide seksen^{29,30}. Ook bij territoriaal gedrag³¹, het vormen van scholen³² en het detecteren van prooi en predatoren^{33,34} speelt geluid bij veel vissoorten een belangrijke rol.

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 lichaamslengten) 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.

Op basis van hun gevoeligheid voor geluid kunnen vissen worden ingedeeld in twee groepen: hoorspecialisten en hoorgeneralisten³⁵. 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 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. Hoewel er aanzienlijke variatie in gevoeligheden bestaat tussen soorten, geldt over het algemeen dat hoorspecialisten gevoelig zijn voor geluiden tussen de 50 en 2000 Hz. Hoorgeneralisten zijn gevoelig voor geluiden met een frequentie tussen de 50 en 500 Hz¹⁹. De hoorspecialisten zijn over het hele frequentiebereik gevoeliger voor geluid dan hoorgeneralisten, behalve voor signalen onder de 200 Hz. Daarnaast is er nog een aantal vissoorten dat ultrageluid kan waarnemen; haring-achtigen zoals fint (*Alosa fallax*) en elft (*A. alosa*) nemen geluiden tot 180 kHz waar³⁶.

Tweede van alle zoetwatervissoorten behoort tot de hoorspecialisten³⁷ en is dus erg gevoelig voor geluid. Zoetwater is, althans historisch gezien over het algemeen relatief rustig vergeleken met mariene habitats. De akoestische omstandigheden in zoetwater hebben er toe bijgedragen dat het gehoor van met name veel zoetwatervissoorten zich heeft gespecialiseerd³⁸. 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^{39,40}.

Effect van lawaai op vissen

De literatuur beschrijft een aantal verschillende effecten die geluid op vissen kan hebben. Een belangrijk onderscheid in de typen geluiden die van invloed kunnen zijn, moet

worden gemaakt tussen impulsgeluiden van zeer korte duur met een hoge geluidsintensiteit en langdurige of continue geluiden met een matige geluidsintensiteit.

Impulsgeluiden

Impulsgeluiden ontstaan als gevolg van explosies, sonar, impactcontact (zoals heiwerkzaamheden) of seismisch onderzoek en kunnen ernstige fysiologische schade veroorzaken bij vissen. Een intern rapport van Caltrans⁴¹ beschrijft de effecten van heiwerkzaamheden op gekooide vissen, geplaatst op verschillende afstanden van de heipaal. Binnen een straal van 50 m rondom de paal werd korte tijd na de heiwerkzaamheden vissterfte geconstateerd. Vissen vertoonden inwendige bloedingen, verkleuring van de lever en beschadigingen aan de zwemblaas⁴¹. Caltrans onderzocht voor dit rapport alleen het aantal dode vissen en vermeldt niets over het aantal vissen dat bleef leven met in- of uitwendige

beschadigingen. In verschillende andere rapporten achten de auteurs het echter waarschijnlijk dat de zone waarin verwondingen, tijdelijke of permanente gehoorbeschadigingen kunnen optreden bij vissen, zich uitstrekt tot 1000m van de heipaal^{9,15,42}.

Heiwerkzaamheden en explosies onder water produceren relatief laagfrequente impulsgeluiden met zeer hoge geluidsniveaus. Onderzoek aan vissen die experimenteel werden blootgesteld aan dergelijke signalen heeft uitgewezen dat de hoge geluidsniveaus bij lage frequenties leiden tot beschadigingen van nieren, lever en zwemblaas en gasontwikkeling in de ogen en bloedvaten van vissen veroorzaken, hetgeen kan leiden tot embolie en het barsten van de bloedvaten⁴³⁻⁴⁹. Vissen met een zwemblaas of luchtgevulde holte blijken door de drukgolven van dit type geluidsbronnen eerder beschadigd te raken dan vissen zonder zwemblaas of luchtgevulde holte⁵⁰. Gedetailleerde gegevens met betrekking tot



Foto 2. Baars (*Perca fluviatilis*) is een typische hoorgeneralist (Foto: Ron Offermans).

de afstand waarover het geluid van heilwerkzaamheden vissen kan beschadigen of beïnvloeden ontbreken echter tot dusver.

Ook bij andere diersoorten is bekend dat impulsgeluiden ernstige fysiologische schade kunnen veroorzaken. Een berucht voorbeeld hiervan zijn de massa-strandingen van tandwalvissen met inwendige bloedingen korte tijd na sonar oefeningen en seismisch onderzoek in de oceaan⁵¹⁻⁵⁴.

McCauley et al.⁵⁵ onderzocht de gehoororganen van gekooide vissen na blootstelling aan het geluid van luchtkanonschoten die worden gebruikt bij onderzoek naar de zeebodem. De haarcellen in de gehoororganen van de vissen vertoonden zware permanente beschadigingen waardoor de vissen permanent minder gevoelig waren voor geluid^{55,56}. 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.

Gehoorschadigingen blijken over het algemeen sneller op te treden bij hoorspecialisten dan bij hoorgeneralisten⁵⁷.

Impulsgeluiden kunnen ook hormonale stressreacties veroorzaken bij vissen. Vissen die werden blootgesteld aan het geluid van explosies en luchtkanonschoten, vertoonden kort erna een toename in afscheiding van het stresshormoon cortisol^{44,58}. Stress bij vissen kan resulteren in verminderde groei en weerstand tegen ziekten¹⁹. Daarnaast kan stress het reproductieproces negatief beïnvloeden^{19,59} en leiden tot een verhoogde mortaliteit⁶⁰.

Uit onderzoek blijkt dat visbewegingen in sommige gevallen mogelijk samenhangen met het actief vermijden van geluidsbronnen⁶¹⁻⁶⁴. Verschillende pelagische vissoorten blijken zich naar diepere waterlagen te verplaatsen als er met luchtkanonnen wordt geschoten in het gebied⁶⁴. Ook werd er tijdens deze studie een toename in het aantal individuen in gebieden

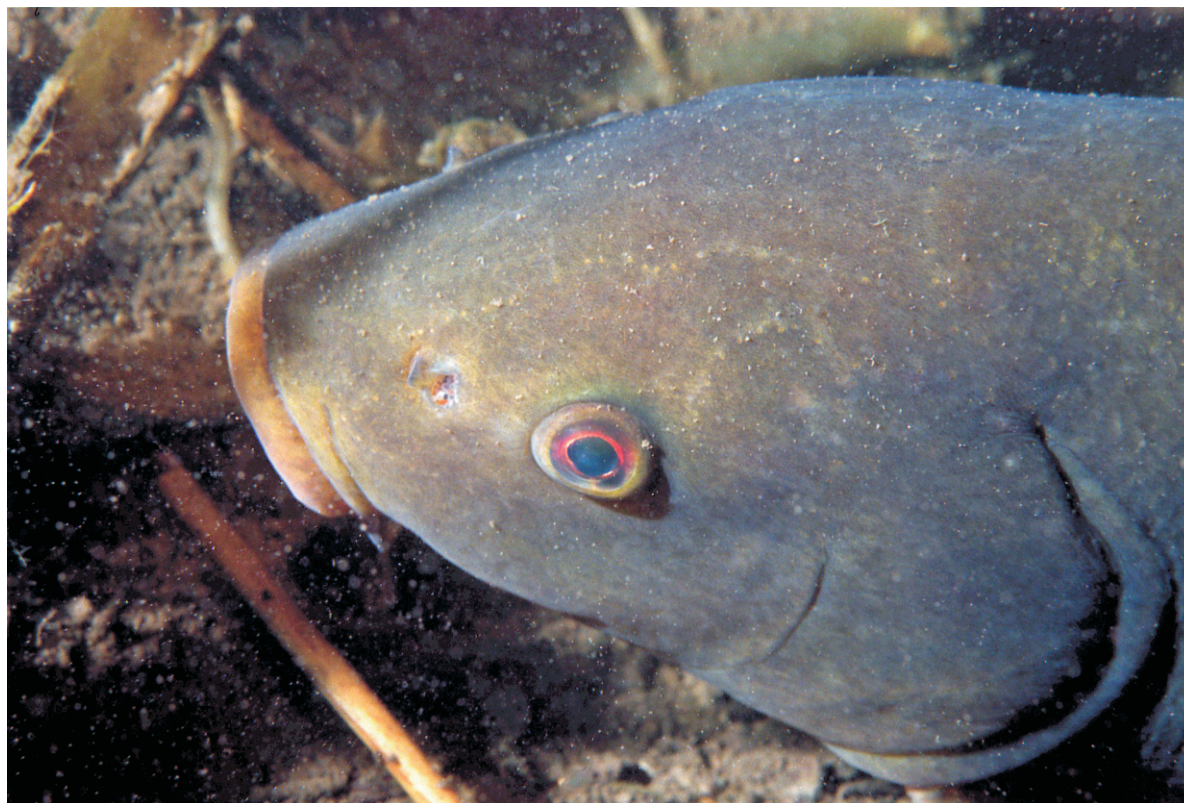


Foto 3. Zeelt (*Tinca tinca*), een voorbeeld van een hoorspecialist (Foto: Ron Offermans).

30-50 km verwijderd van het gebied waar werd geschoten waargenomen. Uit onderzoek aan gezenderde vissen is gebleken dat sommige hoorgeneralisten scheeps-motoren op een afstand van 1.5 km kunnen detecteren en hierop reageren door weg te zwemmen van de geluidsbron⁶¹. Verder blijkt uit verschillende studies dat vissen in veel gevallen een 'startle response' vertonen als zij worden blootgesteld aan kort durende luide geluiden^{65,66,67}. De startle response is een karakteristieke schrikreactie met kortdurende veranderingen in zwemactiviteit, bloeddruk, spierspanning en ademhalingsfrequentie tot gevolg.

Continue geluiden

Een belangrijke bron van continu geluid met een matige intensiteit zijn motoren van binnenvaartschepen en gemotoriseerde pleziervaartuigen. Scholik en Yan⁶⁸ toonden aan dat blootstelling aan het geluid dat een kleine motorboot onder water produceert tijdelijk een verminderde gehoorgevoeligheid kan veroorzaken bij hoorspecialisten. De continue aanwezigheid van achtergrondgeluid van matige intensiteit kan bovendien geluiden die van belang zijn voor vissen overstemmen⁶⁹. Met name de temporele structuur van signalen, die voor vissen de meeste informatie bevat, blijkt in de aanwezigheid van continu achtergrondgeluid al gauw niet meer te kunnen worden waargenomen door vissen, zoals experimenteel werd aangetoond door Wysocki en Ladich²⁴. Omdat het waarnemen van temporele structuur ook een belangrijke rol speelt bij oriëntatie in de omgeving, concluderen de auteurs dat verhoogde geluidsniveaus in de leefomgeving van vissen niet alleen de communicatie maar mogelijk ook het oriëntatievermogen van vissen kan beperken²⁴. Bij larven van koraalvissen die de geluiden uit het koraal gebruiken om over grote afstanden een goede vestigingsplaats te vinden, zou het overstemmen van deze geluiden mogelijk gevolgen kunnen hebben voor de aanwas van populaties²⁰.

Langdurig of continu aanwezig achtergrondgeluid kan ook leiden tot hormonale stressreacties bij vissen. Karpers (*Cyprinus carpio*), riviergrondels (*Gobio gobio*), en baarzen (*Perca fluviatilis*) werden blootgesteld aan geluidsopnamen van scheepsmotoren⁷⁰. Het onderzoek toonde aan dat vissen (zowel hoorspecialisten, als hoorgeneralisten) 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 stressor is voor veel zoetwatervissen.

Uit onderzoek blijkt dat het geluid van snelvarende speedboten leidt 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 oproept⁷¹. Ook uit ander onderzoek blijkt dat vissen reageren op voorbijvarende schepen met horizontale en verticale zwembewegingen weg van het schip^{63,72,73,74}. Bij een aantal koelwater-aanzuiginstallaties en waterkrachtcentrales wordt gebruik gemaakt van het afschrikkende effect van geluid als middel om vis te verjagen. Continue laagfrequente geluiden blijken voor sommige soorten hiervoor een zeer effectief verjaagmiddel^{75,76,77}.

Bij landdieren is er meer bekend over de effecten van continue of langdurige aanwezige geluiden. Verschillende studies beschrijven de effecten van continu lawaai op fysiologie, gedrag, akoestische communicatie en voortplantingssucces⁷⁸⁻⁸³. Uit onderzoek naar de invloed van continu geluid op mensen, is gebleken dat blootstelling aan langdurig aanwezige geluiden van matige intensiteit, zoals vlieg- en wegverkeer, een verhoging van de kans op hart- en vaatziekten tot gevolg kan hebben^{84,85}. Bij kinderen werd continue

blootstelling aan verkeersgeluid in verband gebracht met een achterstand in leesprestatie en ontwikkeling van het lange termijn geheugen⁸⁶.

Zoetwatervissen van de Rode Lijst

Op de Nederlandse Rode Lijst voor zoetwatervissen⁸⁷ staan op dit moment 17 soorten (zie Tabel 1). Twaalf van deze 17 zoetwatervissoorten op de Rode Lijst behoren tot de hoorspecialisten. Er is voor de meeste van deze soorten niets bekend over het gebruik van geluid en het belang ervan voor voortplanting en het detecteren van prooi en predatoren. De hoorspecialisten van de Rode Lijst leven in Nederland in rivieren en meren die onderhevig zijn aan de recente toename van lawaaiige menselijke activiteit. In sommige gebieden zouden hoge geluidsniveaus onder water ertoe kunnen bijdragen dat vissen die afhankelijk zijn van geluid 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.

In de grote Europese rivieren is de chemische waterkwaliteit de afgelopen decennia aanzienlijk verbeterd⁸⁸. Toch herstelt de visstand zich in veel gebieden niet of slechts langzaam^{88,89}. De invoering van de Europese Kaderrichtlijn Water stimuleert waterbeheerders actie te ondernemen op het gebied van visstandbeheer in de Nederlandse binnenwateren. In dit kader worden nu ook andere menselijke invloeden zoals oeverbeheer en de invloed van golfslag ten gevolge van scheepvaart beoordeeld met betrekking tot het effect ervan op viswaterkwaliteit, habitattypen en visstand⁹⁰. Veranderingen in geluidsniveaus onder water vormen tot dusver geen onderdeel van de lijst van factoren die worden beoordeeld. Om inzicht te krijgen in het mogelijke effect van toegenomen geluidsniveaus onder water,

moeten gegevens over populatie ontwikkeling kunnen worden gekoppeld aan meetgegevens van de lokale geluidsniveaus onder water. Tot dusver ontbreekt voor de Nederlandse binnenwateren alle documentatie met betrekking tot geluidsniveaus onder water.



Foto 4. Winde (*Lenciscus idus*), hoorspecialist op de Nederlandse Rode Lijst van zoetwatervissoorten. (Foto: Joep de Leeuw)



Foto 5. Bittervoorn (*Rhodens sericens*), hoorspecialist van de Rode Lijst (Foto: Oleg Artaev)



Foto 6. Kroeskarper (*Carassius carassius*), hoorspecialist van de Rode Lijst (Foto: Frederik van Beveren)

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

Soortnaam	Gehoorgevoeligheid	Mate van bedreiging
Beekforel (<i>Salmo trutta</i>)	generalist	Maximaal afgenomen, verdwenen uit Nederland
Fint (<i>Alosa fallax</i>)	specialist	Maximaal afgenomen, verdwenen uit Nederland
Steur (<i>Acipenser sturio</i>)	generalist	Maximaal afgenomen, verdwenen uit Nederland
Vlagzalm (<i>Thymallus thymallus</i>)	generalist	Maximaal afgenomen, 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>Leucaspisus 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

Conclusies

Het is duidelijk dat toenemende menselijke activiteit op, in en bij het water tot een toenemende geluidsbelasting onder water leidt. De boven besproken gegevens maken het uitermate 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. Bovendien bestaat er maar zeer beperkt inzicht in de effecten van toegenomen omgevingsgeluid op vissen. Dit is ten dele te wijten aan het feit dat veruit het grootste deel van het onderzoek naar het effect van geluid op vis is gedaan aan een beperkt aantal vissoorten in gevangenschap. Het type geluiden waaraan vissen tijdens experimenten aan blootgesteld werd is, evenals de omgeving van vissen in gevangenschap weinig of niet representatief voor de natuurlijke situatie.

Het gebrek aan onderzoek naar de geluidssamenstelling van de Nederlandse binnenwateren en het effect daarvan op zoetwater-vissen vormt een groot contrast met het omvangrijke onderzoek naar de fysische en chemische waterkwaliteit, zoals het effect van watertemperatuur en de aanwezigheid van nutriënten, en zware metalen op vispopulaties. Kennis over onderwatergeluid en de effecten daarvan is nodig om aan te kunnen geven welke typen geluiden bij welke belasting tot problemen kunnen leiden bij bepaalde zoetwater-vissoorten. Onbekend is ook het belang van geluidsstress ten opzichte van andere stressoren zoals waterverontreiniging en wat het effect en eventuele interacties zijn van combinaties van stressoren. Om de relatie tussen menselijke activiteit, geluidsbelasting, visgedrag en visstand te ontrafelen en een goede inschatting te geven van het effect van geluidsbelasting onder natuurlijke omstandigheden is veldonderzoek noodzakelijk. Alleen dan kan advies gegeven worden over

maatregelen om problemen te verminderen of te voorkomen.

Volgende stappen

Als volgende stap stellen wij voor om een gedetailleerd onderzoeksplan te ontwikkelen waarin onder veldomstandigheden naar geluidsinvloeden onder water en de effecten daarvan op vissen wordt gekeken. Deze notitie zal hiervoor dienen als uitgangspunt, en zal verder worden uitgewerkt naar een aantal concrete onderzoekselementen. ■

Literatuurverwijzingen

1. **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.
2. **Clark, C.W.** Acoustic behaviors of blue and fin whales. 24th International Ethology Conference, Honolulu, HI. 1995.
3. **Richardson J.W., Greene Jr, C.R., Malme, C.I. and Thomson, D.H.** 1995. Marine Mammals and Noise. San Diego, California: Academic Press.
4. **McDonald, M.A., Hildebrand, J.A. and Wiggins, S.M.** 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.
5. **Inspectie Verkeer en Waterstaat.** Jaarbericht Inspectie Verkeer en Waterstaat. 2005.
6. **Centrale Commissie voor de Rijnvaart.** Marktobservatie voor de Europese Binnenvaart 2005-I. 2005.
7. **Andrew, R.K., Howe, B.M., Mercer, J.A. and Dzieciuch, M.A.** 2002. Ocean ambient sound: comparing the 1960s with the 1990s for a receiver off the California coast. Acoustic Research Letters Online, 3, 65-70.
8. **Waterrecreatie Advies.** Onderzoek aantal recreatievaartuigen in Nederland. 2005.
9. **Hastings, M.C. and Popper, A.N.** Effects of sound on fish. California Dep. of Transportation Contract 43A0139 Task Order, 1. 1-82. 2005.
10. **Commissie voor de milieu effect rapportage.** Woningbouwlocatie Amsterdam, IJburg 2e fase. 1627-38, 1-15. 2005.
11. **Commissie voor de milieu effect rapportage.** Tweede stadsbrug over de Waal bij Nijmegen. 1-32. 2006.
12. **Commissie voor de milieu effect rapportage.** Voltooing randweg Geldermalsen, Lingebrug 7e fase. 1-24. 2005.
13. **Commissie voor de milieu effect rapportage.** Realisatie Jachthaven de Schelphoek te Hoorn. 1489-42, 1-32. 2005.
14. **Commissie voor de milieu effect rapportage.** Uitbreiding Jachthavens Herkingen, gemeente Dirksland. 1733-40, 1-24. 2006.
15. **Thomsen, F., Ludemann, K., Kafemann, R. and Piper, W.** Effects of offshore windfarm noise on marine mammals and fish. Biola, Hamburg, Germany on behalf of COWRIE Ltd., 1-62. 2006.
16. **Tavolga, W.N.** 1971. Sound production and detection. In: Fish Physiology (Ed. by W.S. Hoar & D.J. Randall), pp. 135-192. New York: Academic Press.
17. **Bass, A.H. and McKibben J.R.** 2003. Neural mechanisms and behaviors for acoustic communication in teleost fish. Progress in neurobiology, 69, 1.
18. **Ocean studies board** 2003. Marine ecosystem impacts of noise. In: Ocean Noise and Marine Mammals, pp. 106-108. Washington: National Academies Press.
19. **Popper, A.N. and Carlson, T.J.** 1998. Application of sound and other stimuli to control fish behavior. Transactions of the American Fisheries Society, 127, 673-707.
20. **Simpson, S.D., Meekan, M.G., Montgomery, J., McCauley, R.D. & Jeffs, A.** 2005. Homeward sound. Science, 308, 221.

21. **Hawkins, A.D. and Rasmussen, K.J.** 1978. The calls of Gadoid fish. *Journal of the Marine Biological Association UK*, 58, 891-911.
22. **Ladich, F., Bisschof, C., C.Schleinzer, G. and Fuchs, A.** 1992. Intra- and interspecific differences in agonistic vocalization in croaking gouramis (genus: *Trichopsis*, anabantoidei, Teleostei). *Bioacoustics*, 4, 131-141.
23. **Marvit, P. and Crawford, J.D.** 2000. Auditory discrimination in a sound-producing electric fish (*Pollimyrus*): tone frequency and click-rate difference detection. *Journal of the Acoustical Society of America*, 108, 1819-1825.
24. **Wysocki, L.E. and Ladich, F.** 2005. Hearing in fishes under noise conditions. *Journal of the Association for Research in Otolaryngology*, 6, 28-36.
25. **Fine, M.L.** 1997. Endocrinology of sound production in fishes. *Marine and Freshwater Physiology*, 29, 23-45.
26. **Crawford, J.D. and Huang, X.** 1999. Communication signals and sound production mechanisms of mormyrid electric fish. *The Journal of Experimental Biology*, 202, 1417-1426.
27. **Amorin, M.C.P., McCracken, M.L. & Fine, M.L.** 2002. Metabolic costs of sound production in the oyster toadfish, *Opsanus tau*. *Canadian Journal of Zoology*, 80, 830-839.
28. **De Jong, K., Bouton, N. & Slabbekoorn, H.** 2007. Azorean rock-pool blennies produce size-dependent calls in a courtship context. *Animal Behaviour* in press.
29. **Lobel, P.S.** 1992. Sounds produced by spawning fishes. *Environmental biology of fishes*, 33, 351.
30. **Hawkins, A.D. and Amorim, M.C.** 2000. Spawning sounds of the male haddock, *Melanogrammus aeglefinus*. *Environmental Biology of Fishes*, 59, 29-41.
31. **Brawn, V.M.** 1961. Sound production by the cod (*Gadus callarias*). *Behaviour*, 18, 239-255.
32. **Tavolga, W.N.** 1960. Sound production and underwater communication in fishes. In: *Animal Sounds and Communication* (Ed. by W.E. Lanyon and W.N. Tavolga), pp. 93-136. Washington D.C.
33. **Banner, A.** 1968. Attraction of young lemon sharks, *Negaprion brevirostris*, by sound. *Copeia*, 872.
34. **Richard, J.D.** 1968. Fish attraction with pulsed low-frequency sound. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 25, 1441-1452.
35. **Popper, A.N. and Fay, R.R.** 1993. Sound detection and processing by fish: critical review and major research questions. *Brain, Behavior and Evolution*, 41, 14.
36. **Mann, D.A., Lu, Z. and Popper, A.N.** 1997. A clupeid fish can detect ultrasound. *Nature*, 389, 341.
37. **Nelson, J.S.** 2006. *Fishes of the World*. 4 edn. Hoboken, New Jersey: John Wiley and Sons.
38. **Amoser, S. and Ladich, F.** 2005. Are hearing sensitivities of freshwater fish adapted to the ambient noise in their habitats? *Journal of Experimental Biology*, 208, 3533-3542.
39. **Canfield, J.G. & Eaton, R.C.** 1990. Swimbladder acoustic pressure transduction initiates Mauthner-mediated escape. *Nature*, 347, 760-762.
40. **Eaton, R.C., Canfield, J.G. & Guzik, A.L.** 1995. Left-right discrimination of sound onset by the Mauthner system. *Brain, Behavior*

and Evolution, 146, 165-179.

41. **Caltrans.** Pile Installation Demonstration Project, Fisheries Impact Assessment. PIDP EA 012081 Caltrans Con-tract 04A0-148. San Francisco, Oakland Bay Bridge East Span Seismic Safety Project. 2001.

42. **Bijnsdorp, R.** Mensen berokkenen waterdieren gehoorschade, interview W. Verboom. De Water 108, 7-8. 2005.

43. **Sakaguchi, S; Fukuhara, O; Umezawa, S; Fujiya, M; Ogawa, T.** 1976. The influence of underwater explosion on fishes. Bull. Nansei Reg. Fish. Res. Laboratory, 9, 33-65.

44. **Sverdrup, A., Kruger, P.G. and Helle, K.B.** 1994. Role of endothelium in regulation of vacular functions in two teleosts. Acta Physiologica Scandinavica, 152, 219-233.

45. **Turnpenny, A.W.H., Thatcher, K.P. and Nedwell, J.R.** The effects of fish and other marine animals of high-level underwater sound. FRR 127/94, Fawley Aquatic Research Laboratories, Ltd. 1994. Southampton, UK.

46. **Turnpenny, A.W.H. and Nedwell, J.R.** The effects on marine fish, diving mammals and birds of underwater sound generated by seismic surveys. Consultancy Report FCR 089/94, Fawley Aquatic Research Laboratories Ltd. 1994.

47. **Crum, L.A. and Mao, Y.** 2006. Acoustically enhanced bubble growth at low frequencies and its implications for human diver and marine mammal safety. Journal of the Acoustical Society of America, 99, 2898-2907.

48. **Gisiner, R.C.** Proceedings - workshop on the effects of anthropogenic noise in the marine environment. Marine Mammal Science Program, Office of Naval Research. 1998.

49. **Hirst, A.G. and Rodhouse, P.G.** 2000. Impacts of geophysical seismic surveying on

fishing success. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 10, 113.

50. **Ermine C.A.** 1973. The Effects of Underwater Explosions on Swimbladder Fish. Defense Technical Information Center, Accession Number: AD0767019

51. **Frantzis, A.** 1998. Does acoustic testing strand whales? Nature, 329, 29.

52. **Frantzis, A.** The first mass-stranding that was associated with the use of active sonar, Kyparissiakos Gulf, Greece. Eds. Evans, P.G.H. and Miller, L.A.. Proceedings of the workshop on active sonar and cetaceans, 14-20. 2004.

53. **Balcomb III, K.C. and Claridge, D.E.** 2001. A mass stranding of cetaceans caused by naval sonar in the Bahamas. Bahamas Journal of Science, 5, 1-12.

54. **Jepson, P.D., Arbelo, M., Deaville, R., Patterson, I.A.P., Castro, P., Baker, J.R., Degollada, E., Ross, H.M., Herraiez, P., Pocknell, A.M., Rodriguez, F., Howie, F.E., Espinosa, A., Reid, R.J., Jaber, J.R., Martin, V., Cunningham, A.A. and Fernandez, A.** 2003. Gas-bubble lesions in stranded cetaceans. Nature, 425, 575-576.

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

56. **Hastings, M.C., Popper, A.N. Finneran, J.J. and Lanford, P.J.** 1996. Effect of low frequency underwater sound on hair cells of the inner ear and lateral line of the teleost fish *Astronotus ocellatus*. Journal of the Acoustical Society of America, 99, 1759-1766.

57. **Amoser, S. and Ladich, F.** 2003. Diversity in noise-induced temporary hearing loss in Otophysine fishes. Journal of the Acoustical Society of America, 113, 2170-2178.

58. Santulli, A., Modica, A., Messina, C., Ceffa, L., Curatolo, A., Rivas, G., Fabi, G. and D'Amelio, V. 1999. biochemical responses of European Sea Bass (*Dicentrarchus labrax* L.) to the Stress Induced by Off Shore Experimental Seismic Prospecting. Marine Pollution Bulletin, 38, 1105-1114.
59. Donaldson, E.M. 1990. Reproductive indices as measures of the effect of environmental stressors in fish. American Fisheries Society Symposium, 8, 109-122.
60. Rice, J.A. 1990. Bioenergetics modelling approaches to evaluation of stress in fishes. American Fisheries Society Symposium, 8, 80-92.
61. Engås, A., Løkkeborg, S., Ona, E. & Soldal, A.V. 1996. Effects of seismic shooting on local abundance and catch rates of cod (*Gadus morhua*) and haddock (*Melanogrammus aeglefinus*). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 53, 2238-2249.
62. Engås, A. and Løkkeborg, S. 2002. Effects of seismic shooting and vessel-generated noise on fish behaviour and catch rates. Bioacoustics, 12, 313-315.
63. Handegard, N.O., Michalsen, K. and Tjøstheim, D. 2003. Avoidance behavior in cod, *Gadus morhua*, to a bottom-trawling vessel. Aquatic Living Resources, 16, 265-270.
64. Slotte, A., Kansen, K., Dalen, J. and Ona, E. 2004. Acoustic mapping of pelagic fish distribution and abundance in relation to a seismic shooting area off the Norwegian west coast. Fisheries Research, 67, 143-150.
65. Schwarz, A.L. and Greer, G.L. 1984. Responses of pacific herring, *Clupea harengus pallasi*, to some underwater sounds. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 41, 1183-1192.
66. Pearson, W.H., Skalski, J.R. and Malme, C.I. 1992. Effects of sounds from a geophysical survey device on behavior of captive rockfish (*Sebastes* spp). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 49, 1343-1356.
67. Smith, M.E. Kane, A.S. and Popper, A.N. 2004. Acoustical stress and hearing sensitivity in fishes: does the linear threshold shift hypothesis hold water? Journal of Experimental Biology, 207, 3591-3602.
68. Scholik, A.R. and Yan, H.Y. 2002. The effects of noise on the auditory sensitivity of the bluegill sunfish, *Lepomis macrochirus*. Comparative Biochemistry and Physiology Part A, 113, 43-52.
69. Brumm, H. & Slabbekoorn, H. 2005. Acoustic communication in noise. Advances in the Study of Behavior 35: 151-209.
70. Wysocki, L.E., Dittami, J.P. and Ladich, F. 2006. Ship noise and cortisol secretion in european freshwater fishes. Biological Conservation, 128, 501-508.
71. Boussard, A. The reactions of roach (*Rutilus rutilus*) and rudd (*Scardinius erythrophthalmus*) to noises produced by high speed boating. 1999. Proceedings of the second British Freshwater Fisheries Conference, 188-200. 1981.
72. Swierzowski, A. The effect of underwater noise on fish behaviour. Proceedings of the second EAA International symposium of Hydroacoustics. Gdansk-Jurata, Poland. 1999.
73. Vabø, R., Olsen, K. and Huse, J. 2002. The effect of vessel avoidance of wintering norwegian spring-spawning herring. Fisheries Research, 58, 59-77.
74. Mitson, R.B. and Knudsen, H.P. 2003. Causes and effects of underwater noise on fish abundance estimation. Aquatic Living Resources, 16, 255-263.

75. **Enger, P.S. and Sand, O.** 1997. Infrasound produces flight and avoidance responses in Pacific juvenile salmonids. *Journal of Fish Biology*, 51, 824-829.
76. **Karlsen, H.E., Piddington, R.W., Enger, P.S. and Sand, O.** 2004. Infrasound initiates directional fast-start escape responses in juvenile roach, *Rutilus rutilus*. *The Journal of Experimental Biology*, 207, 4185-4193.
77. **Sonny, D., Knudsen, F.R., Enger, P.S., Kvernstuen, T. and Sand, O.** 2006. Reactions of cyprinids to infrasound in a lake and at the cooling water inlet of a nuclear power plant. *Journal of Fish Biology*, 69, 735-748.
78. **Chesser, R.K., Caldwell, R.S. and Harvey, M.J.** 1976. Effects of noise on feral populations of *mus musculus*. *Physiological Zoology*, 48, 325.
79. **Reijnen, R., Foppen, R. and Meeuwsen, H.** 1996. The effects of traffic on the density of breeding birds in Dutch agricultural grasslands. *Biological Conservation*, 75, 255-260.
80. **Creel, S., Fox, J.E., Hardy, A., Sands, J., Garrott, B. and Peterson, R.O.** 2002. Snowmobile activity and glucocorticoid stress responses in wolves and elk. *Conservation Biology*, 16, 809-814.
81. **Gibeau, M.M., Clevenger, A.P., Herrero, S. and Wierzchowski, J.** 2002. Grizzly bear response to human development and activities in the Bow River Watershed, Alberta, Canada. *Biological Conservation*, 103, 227-236.
82. **Slabbekoorn, H.W. and Peet, M.** 2003. Birds sing at a higher pitch in urban noise. *Nature*, 424, 267.
83. **Sun, J.W.C. and Narins, P.M.** 2005. Anthropogenic sounds differentially affect amphibian call rate. *Biological Conservation*, 121, 419-427.
84. **Babisch, W., Beule, B., Schust, M., Kersten, N. and Ising, H.** 2005. Traffic noise and risk of myocardial infarction. *Epidemiology*, 16, 33-40.
85. **Knol, A. and Staatsen, B.A.M.** 2005. Trends in the Environmental Burden of Disease in the Netherlands 1980-2020.
86. **Stansfeld, S.A., Berglund, B., Clark, C., Lopez-Barrio, I., Fischer, P., Öhrström, E., Haines, M.M., Head, J., Hygge, S. and van Kamp, I.** 2005. Aircraft and road traffic noise and children's cognition and health: a cross-national study. *The Lancet*, 365, 1942-1949.
87. **Staatscourant 11 november 2004**, nr. 218. Besluit Rode lijsten flora en fauna.
88. **Aarts, B.G.W., Van den Brink, F.W.B. and Nienhuis, P.H.** 2004. Habitat loss as the main cause of the slow recovery of fish faunas of regulated large rivers in Europe: the transversal floodplain gradient. *River Research and Applications*, 20, 3-23.
89. **de Nie, H.W.** 1997. Atlas van de Nederlandse Zoetwatervissen. 2nd edition. Doetinchem: Media Serv'.
90. **STOWA** (Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer). Achtergronddocument: Referenties en maatlatten voor zoete M-typen. Projectnummer: Sto114.1, 1-41. 2004.

