



Zalmachtigen en prikken van de Roer in beeld

CAMERAONDERZOEK NAAR MIGRATIEPATRONEN EN -KNELPUNTEN

FIGUUR 1

De Stedelijke Roer stroomt onder de oude fabriek van de Electro Chemische Industrie (ECI) door met op de voorgrond het turbinehuis van de waterkrachtcentrale (WKC) en links daarvoor de vispassage. De kijkrichting is van noord naar zuid (foto: D. Dörenberg).

P. Lemmers, Bureau Natuurbalans - Limes Divergens BV, Toernooiveld 1, 6525 ED Nijmegen, e-mail: lemmers@natuurbalans.nl

M.H.A.M. Belgers, Stichting Visserijbeheercommissie Roerdal

B. Aarts, V. van 't Westende, K. Ramos, Q.J. Wiegerinck & B.H.J.M. Crombaghs, Bureau Natuurbalans - Limes Divergens BV, Toernooiveld 1, 6525 ED Nijmegen

De Roer is een van de belangrijkste rivieren voor de Atlantische zalm (*Salmo salar*) in Nederland. Jaarlijks worden in de vispassage van de Electro Chemische Industrie (ECI) in Roermond adulte Atlantische zalmen en Zeeforellen (*Salmo trutta trutta*) waargenomen die van zee komen en de Roer opzwemmen om te paaien. Er werd verondersteld dat de vispassage hiervoor uitstekend functioneerde, totdat onderwatercamera's het tegendeel lieten zien (18 van 22 optrekpogingen bleken niet succesvol). Het vermoeden bestond dat het harde onderwatergeluid, veroorzaakt door de waterkrachtcentrale (WKC) [figuur 1], het gedrag van de zalmachtigen beïnvloedde. Om meer zekerheid te krijgen over migratieknelpunten is een onderzoek uitgevoerd met onderwatercamera's en zijn er metingen van het onderwatergeluid uitgevoerd. Naast zalmachtigen waren

ook Rivierprik (*Lampetra fluviatilis*) en Zeeprik (*Petromyzon marinus*) doelsoorten van het onderzoek.

AANLEIDING

In het verleden was de Roer een van de belangrijkste Nederlandse paairivieren van de Atlantische zalm (BELGERS & GUBBELS, 2013). Het Nederlandse deel van de Roer, dat slechts circa 22 km van de totale 165 km beslaat, wordt gekenmerkt door een natuurlijk meanderende loop [figuur 2]. De waterkwaliteit is na een dieptepunt in de jaren zeventig weer sterk verbeterd en tegenwoordig verkeert de Roer weer in een goede ecologische toestand (BELGERS *et al.*, 2011). Er komt een groot aantal bijzondere anadrome vissoorten voor (deze trekken vanuit zee naar zoetwater om te paaien en keren daarna terug of sterven) zoals Rivierprik, Zeeforel en Zeeprik, maar ook riviertrekvissen zoals Barbeel (*Barbus barbus*), Kopvoorn (*Squalius cephalus*) en Sneep (*Chondrostoma nasus*) (BELGERS *et al.*, 2011). Al in 1918 werd in Roermond in de benedenloop van de Roer een WKC gebouwd. Deze WKC, behorend bij de ECI, maakte migratie van trekvis tussen de Maas en de Roer nagenoeg onmogelijk. In 1996 werd de WKC aangekocht door het toenmalige Waterschap Roer en Overmaas en in

2000, na 26 jaar stilstand, opnieuw in bedrijf genomen. Van de twee oorspronkelijke turbines is er thans weer één in gebruik.

Eind jaren negentig van de vorige eeuw werd in het Duitse deel van de Roer nabij Düren een herintroductieproject met Atlantische zalm gestart. Tijdens incidentele proefbevissingen tussen 2003 en 2005 benedenstrooms van de ECI werden er jaarlijks paarijpe Atlantische zalm en Zeeforellen gevangen die de ECI tevergeefs probeerden te passeren (BELGERS & GUBBELS, 2013). Deze dieren hadden ernstige verwondingen waarvan verondersteld werd dat ze die hadden opgelopen bij hun pogingen de WKC in stroomopwaartse richting te passeren.

Op grond daarvan realiseerde het Waterschap Roer en Overmaas (tegenwoordig Waterschap Limburg) in 2007 een vispassage bij de ECI [figuur 1] waarbij zowel voor stroomafwaarts als stroomopwaarts migrerende vissen voorzieningen werden getroffen. Hiermee werd het Nederlandse deel van de Roer na een blokkade van ongeveer een eeuw weer een vrij toegankelijk systeem voor migrerende vissen. In de vismigratievoorzieningen bij de ECI zijn op drie locaties vangconstructies aangelegd waaronder een vangkooi aan het stroomopwaartse eind van de vispassage [zie kader]. Hiermee kunnen stroomopwaarts migrerende vissen worden gevangen. Zes jaar monitoring hiervan leverde zeer veel informatie op over de samenstelling van de visstand, (soortspecifieke) migratiekarakteristieken en migratiepatronen in de benedenloop van de Roer (GUBBELS *et al.*, 2016). Op grond van vangsten van maar liefst 47 vissoorten die één of meerdere keren in de vangconstructie werden aangetroffen, werd aangenomen dat de vispassage voor nagenoeg alle soorten naar behoren functioneerde.

NIEUWE PROBLEMEN MET MIGRATIES

Voorafgaand aan voorliggend onderzoek is door Kroes Brugman Technical Solutions (KBTS) een onderwatercamera-onderzoek naar het al dan niet functioneren van de ECI-vangkooi uitgevoerd (KROES, 2017). Hieruit bleek dat zalmachtigen zonder aarzeling de vangkooi inzwommen en deze niet verlieten. Later is door Natuurbalans, in samenwerking met Stichting de Laatvlieger, eveneens onderzoek met onderwatercamera's naar de optrek van de Atlantische zalm in de vispassage gedaan. Uit dit pilotonderzoek kwam naar voren dat omgerekend meer dan 80% van de door de ECI-vispassage stroomopwaarts migrerende Atlantische zalm de bovenstroomse delen van de Roer niet wist te bereiken en daarmee dus



niet aan de paai kon deelnemen. De pilot liet zien dat veel zalmachtigen, alsook diverse karperachtigen, de vispassage inzwommen en de 'vertical slots' (compartimenten van de vispassage) wisten te passeren. In het volgende traject van de vispassage [zie kader] leken echter één of meer knelpunten te bestaan, waardoor een aanzienlijk deel van de opzwevende vissen terugkeerde naar de Maas. Die vissen wisten de bovenstrooms gelegen vangkooi dus helemaal niet te bereiken. Hieruit zijn drie mogelijke oorzaken afgeleid die aan dit onderzoek ten grondslag liggen:

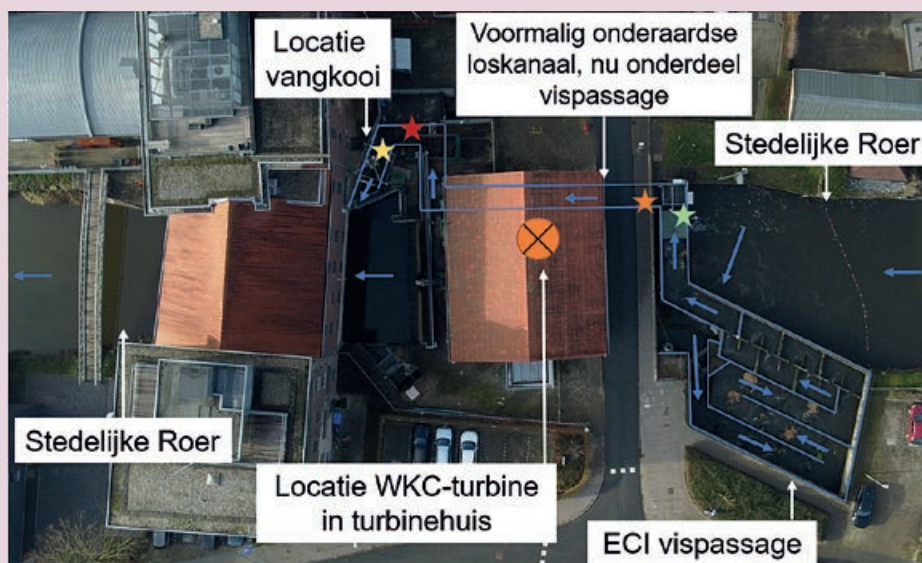
- 1 Het karakter van de onderaardse gang van het oude loskanaal van de WKC die tegenwoordig onderdeel uitmaakt van de vispassage. Deze onderdoorgang is onverlicht en bestaat nagenoeg volledig uit een strakke betonnen vloer en wanden. Mogelijk ontbreekt het hier aan voor optrekkende vissen noodzakelijke oriëntatiepunten.
- 2 Laag- en hoogfrequente geluidshinder door de turbine van de WKC. Aangenomen wordt dat alle vissoorten geluid kunnen waarnemen (LADICH & FAY, 2013), hoewel er grote verschillen zijn tussen soorten in de gevoeligheid voor geluid. Het is mogelijk dat het onderwatergeluid veroorzaakt door de WKC-turbine het gedrag van migrerende vissen beïnvloedt (SLABBEKOORN, 2016).
- 3 De uitvoering van de vangkooi aan het (stroomopwaartse) einde van de vispassage. Deze bestaat uit een constructie van roestvrij stalen spijlen met een inzwemopening. Het is mogelijk dat deze vangkooi de vissen afschrikt.

TOEGESNEDEN ONDERZOEKSMETHODEN

Hieronder is de methodiek per onderdeel beknopt uiteengezet. De aanpak is uitgebreid beschreven in de rapportage van dit onderzoek (LEMMERS *et al.*, 2023). Van 1 september 2020 tot 1 december 2022 zijn data

FIGUUR 2

De meanderende Roer nabij Vlodrop (foto: T. Belgers).



KADER

Dronefoto van de ECI-centrale met daarin met blauwe pijlen de zwemrichting van stroomopwaarts migrerende vissen aangegeven. Blauw omkaderd is de vispassage, zowel bovengronds als ondergronds. Te zien is hoe vissen slechts enkele meters langs de turbine van de waterkrachtcentrale zwemmen wanneer ze door het voormalige loskanaal zwemmen. Het voormalige loskanaal bestaat uit een geheel donkere onderaardse gang van circa 20 m lang met daarin twee hoeken van 90°. Aan het stroomopwaartse einde van de vispassage is de vangkooi gepositioneerd die gebruikt wordt voor monitoring van stroomopwaarts trekkende vissen (zie ook LEMMERS *et al.*, 2023 voor een meer gedetailleerde beschrijving). De vier onderwatercamera's zijn aangegeven met een ster, achtereenvolgend: groen = camera 1, oranje = VAKI fish counter, rood = camera 2, en geel = camera in de vangkooi. De stroomrichting van de Roer is van links (zuid) naar rechts (noord) (Foto: D. Dörenberg).

van migrerende vissen in de vispassage verzameld. Vanwege technische omstandigheden, maar soms ook omstandigheden van andere aard (zoals troebel water door regenval), zijn er maanden bij dat er geen beelden konden worden bekeken. Dit betrof de maanden januari tot en met augustus 2020, januari, februari, april, augustus, september, oktober, november 2021 en januari, februari en december 2022. Uiteindelijk werden duizenden uren aan beeldmateriaal geanalyseerd door stagiairs, vrijwilligers en onderzoekers.

Cameraonderzoek

Om migratiepatronen van vissen in de ECI-vispassage beter inzichtelijk te maken is gebruik gemaakt van vier onderwatercamera's [zie kader]: camera 1 en camera 2 zijn consequent gebruikt voor de dataverzameling, de andere twee camera's (VAKI en camera vangkooi) voor anekdotische waarnemingen. Camera 1 was bovenin de vertical slot-passage gepositioneerd en vóór de turbine. Deze camera liet zien welke vissen de vertical slots wisten te passeren en ook of ze daarna verder zwommen of meteen omkeerden. Camera 2 werd gebruikt om te bestuderen welke vissen het eind van de onderaardse gang bereikten, of ze de turbine passeerden en of ze daarna doorzwommen richting vangkooi. Tevens kon hiermee worden

bestudeerd hoeveel vissen ook weer omkeerden en dus blijkt niet de vangkooi binnenzwommen. De dagelijkse monitoring van de vangkooi vormde hier nog een extra controle op (GUBBELS *et al.*, 2016).

Onderwatergeluid

Onderwatergeluid is een zeer complex (en moeilijk te meten) fenomeen, zeker in stromend water. Geluidsopnames werden uitgevoerd met een hydrofoon. Om te voorkomen dat de hydrofoon (vooral) het geluid van het kolkende water van de Roer zou meten, werden geluidsopnames gemaakt terwijl de hydrofoon met de stroming mee dreef.

Experiment vismigratie en turbinegeluid

Om meer te weten te komen of de werking van de turbine invloed heeft op het passeergedrag van vissen in de ECI-vispassage is van 21 mei 2022 tot en met 24 juni 2022 een experiment uitgevoerd. Hiervoor is gedurende 35 dagen iedere dag om 08:00 uur een van de twee scenario's gehanteerd: 1) de WKC-turbine draaide

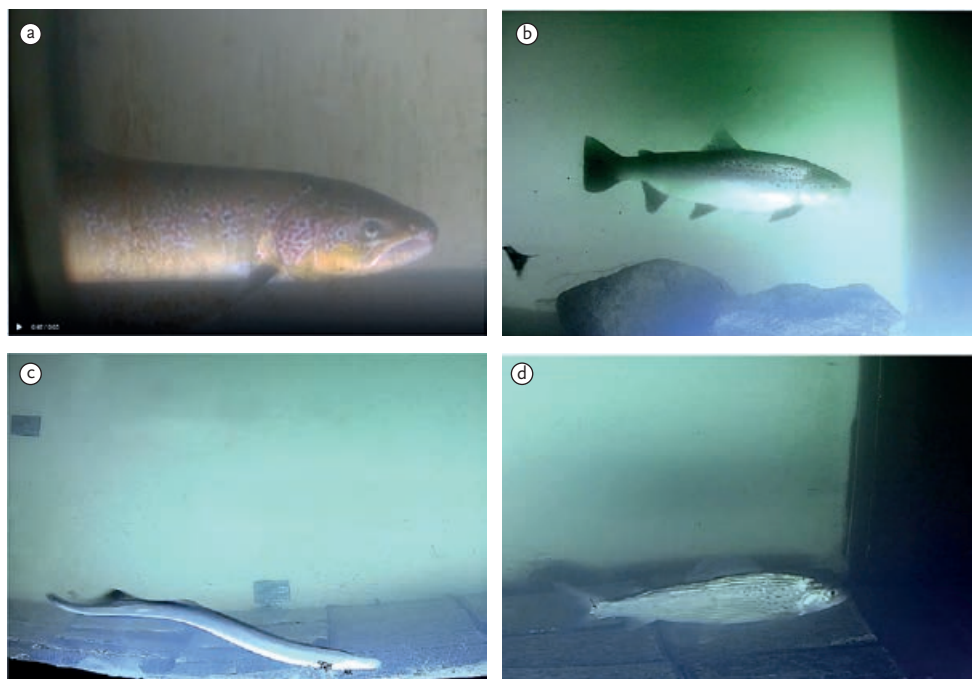
wel en er werd stroom gegenereerd (turbine aan) en 2) de WCK-turbine draaide niet doordat de inlaat werd afgesloten; er werd geen stroom gegenereerd (turbine dicht). Een uitgebreide beschrijving van deze methodiek en het gehanteerde tijdschema zijn terug te vinden in de onderzoeksrapportage. Aangezien tijdens het experiment de turbine meer dagen aan heeft gestaan dan uit, is hiervoor vóór de statistische analyse gecorrigeerd. Ook zijn enkel de waarnemingen van camera 2 gebruikt. De reden hiervoor is dat vissen die door camera 2 werden waargenomen de turbine gepasseerd waren [kader]. Vervolgens zijn de waargenomen vissoorten geaggregeerd tot op familieniveau en is voor iedere meetdag het aantal waarnemingen (inclusief nulwaarnemingen) per taxonomische familie bepaald. Om vast te stellen of er een statistisch verschil bestond in het aantal waargenomen vissen tussen de twee scenario's per taxonomische familie is een regressieanalyse uitgevoerd met het meetdagnummer als covariabele.

SOORTEN EN GELUID

Cameraonderzoek

Van 1 september 2020 tot 1 december 2022 hebben de camera's 7.185 bruikbare beelden verzameld van

12.841 vissen verdeeld over 31 vissoorten. De aan de camera voorbij zwemmende vissen vertoonden hun natuurlijke gedrag. Barbeel (*Barbus barbus*) was de meest waargenomen soort. Opvallend is dat minder vissoorten op camera 1 zijn waargenomen dan op camera 2; zeer waarschijnlijk had dit te maken met hoe de camera's waren gepositioneerd. Voor een uitvoerige verklaring wordt verwezen naar het onderzoeksrapport. In zowel 2020, 2021 als 2022 zijn exemplaren van Atlantische zalm [figuur 3a] en Zeeforel [figuur 3b] waargenomen. Enkele exemplaren van Rivierprik [figuur 3c] en één Zeeprik zijn slechts in 2021 waargenomen. Een andere bijzondere zalmachtige werd op 30 maart 2021 geregistreerd, namelijk een adulte Vlagzalm (*Thymallus thymallus*) [figuur 3d].



FIGUUR 3
 Schermafdrucken van video-opnamen van de drie doelsoorten: a) Atlantische zalm (*Salmo salar*) op de VAKI, b) Zeeforel (*Salmo trutta trutta*) op camera 2, c) Rivierprik (*Lampetra fluviatilis*) op camera 2 en d) een andere zeldzame zalmachtige in de Roer op camera 2: de Vlagzalm (*Thymallus thymallus*). De enige beeldopname van Zeeprik (*Petromyzon marinus*) is helaas niet bewaard gebleven (foto's: Natuurbalans).

Atlantische zalm

Tijdens de onderzoeksperiode zijn 506 waarnemingen van Atlantische zalm in verschillende levensfasen (parr, smolt en adult) gedaan. Dit betrof 21 waarnemingen in 2020, 149 waarnemingen in 2021 en 336 waarnemingen in 2022. Omdat er een kans bestond dat hetzelfde individu door twijfelgedrag meerdere optrekpogingen per dag deed, is hiervoor gecorrigeerd door het totaal aantal waarnemingen terug te brengen naar het aantal dagen dat een individu is waargenomen. Er lijken twee pieken te bestaan in de dagen dat adulte Atlantische zalmen worden geregistreerd, namelijk in het late voorjaar/begin zomer en in de herfst [figuur 4a]. Activiteit van de adulte dieren bleek het hoogst als het licht was en met name in de middaguren [figuur 5a]. De laagste activiteit is waargenomen tussen 20:00 uur en middernacht. Tijdens de onderzoeksperiode zijn in totaal elf adulte Atlantische zalmen gevangen in de vangkooi [tabel 1]. In 2020 zijn er zes exemplaren gevangen, in 2021 twee en in 2022 drie.

Zeeforel

Optrekkende (adulte) Zeeforellen zijn minder vaak waargenomen dan Atlantische zalmen. Tijdens de onderzoeksperiode zijn 61 waarnemingen van Zeeforel gedaan [figuur 4b]. Dit betrof twaalf waarnemingen in 2020, negen in 2021 en 40 in 2022. Omdat de kans bestond dat hetzelfde individu door twijfelgedrag meerdere optrekpogingen per dag deed, is hiervoor gecorrigeerd door het totaal aantal waarnemingen terug te brengen naar het aantal dagen dat een Zeeforel is waargenomen. Tijdens de

onderzoeksperiode waren adulte Zeeforellen het meest actief tussen 08:00 en 12:00 uur [figuur 5b]. Tijdens deze uren zijn 14 waarnemingen gedaan. Adulte Zeeforellen waren niet actief tussen 04:00 en 08:00 uur.

Tijdens de onderzoeksperiode zijn in totaal zes Zeeforellen gevangen in de vangkooi [tabel 1]. In 2020 betrof dit één individu. In 2021 was dat ook het geval, maar opvallend was dat dit exemplaar niet op de camera's werd waargenomen. In 2022 zijn vier adulte Zeeforellen gevangen die allemaal op camera zijn vastgelegd.

Rivierprik en Zeeprik

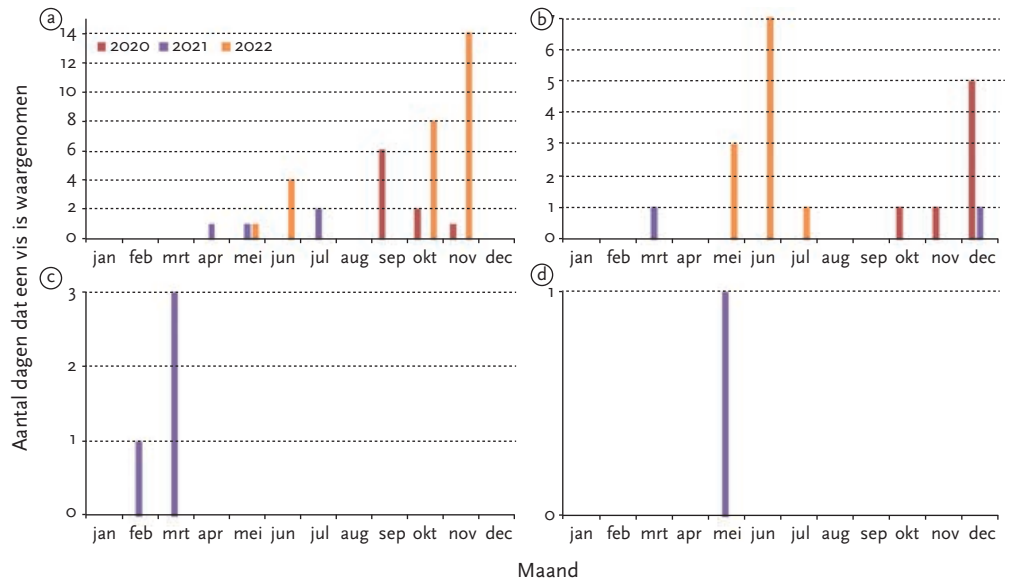
Rivierprik is tijdens de onderzoeksperiode vier keer waargenomen en Zeeprik één keer. Alle waarnemingen van beide soorten zijn gedaan in het voorjaar van 2021 [figuur 4c, figuur 4d]. De eerste waarneming van Rivierprik was in februari 2021, de andere drie waren in maart 2021. Deze soort is driemaal geregistreerd tussen 0:00 en 8:00 uur en eenmaal tussen 16:00 en 20:00 uur. De enige waarneming van Zeeprik was op 16 mei 2021 om 22:53 uur en betrof een adult exemplaar zwemmend in stroomopwaartse richting. Geen van de prikken is in de vangkooi aangetroffen. Dat is volgens verwachting omdat ze tussen de spijlen van de vangkooi door kunnen zwemmen.

Geluidsmetingen

De geluidsdruk is gemeten tijdens drie scenario's (turbine aan, uit en dicht) in het voormalige loskanaal van de vispassage [zie kader]. Figuren van deze metingen en uitgebreide beschrijvingen zijn terug te vinden in het opgeleverde rapport. Het belangrijkste resultaat van de onderwatergeluidsmetingen was dat er bij lagere frequenties (tot maximaal

FIGUUR 4

Weergave van het aantal geregistreerde dagen per maand en per onderzoeksjaar met adulte exemplaren van doelsoorten op de camera met de meeste waarnemingen: a) Atlantische zalm (*Salmo salar*), b) Zeeforel (*Salmo trutta trutta*), c) Rivierprik (*Lampetra fluviatilis*) en d) Zeeprik (*Petromyzon marinus*). Van de maanden januari tot en met augustus 2020; januari, februari, april, augustus, september, oktober, november 2021 en januari, februari en december 2022 zijn geen camerabeelden beschikbaar.



FIGUUR 5

Histogrammen van de tijden waarop in de onderzoeksperiode adulte a) Atlantische zalm (*Salmo salar*) en b) Zeeforellen (*Salmo trutta trutta*) werden waargenomen. Gezien het beperkte aantal waarnemingen van de twee soorten prikken zijn deze niet in dit histogram opgenomen.

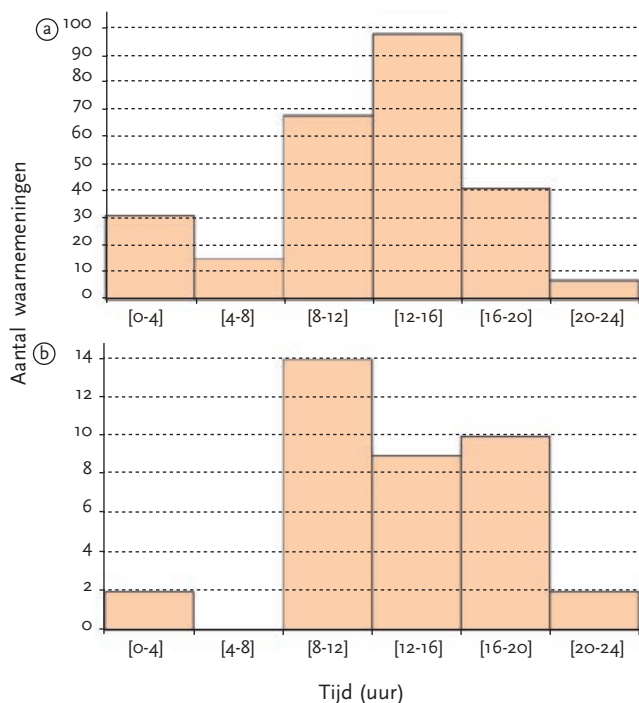
circa 1200 Hz) weinig verschil waarneembaar is in amplitudes (geluidsdruk) tussen ‘turbine aan’ en ‘turbine uit’. Bij diverse hogere frequenties werd wel een hogere geluidsdruk gemeten wanneer de turbine aan stond.

Experiment turbinegeluiden

Nadat er aan de hand van de geluidsmetingen inzicht was verkregen in de geluidsdruk in de vispassage is er een experiment uitgevoerd om te onderzoeken of het gedrag van vissen ook beïnvloed wordt door het geluid. In totaal zijn 661 vissen waargenomen [tabel 2]. Het betrof 22 soorten, verdeeld over zeven taxonomische families. Kopvoorn (*Squalius cephalus*), Brasem (*Abramis brama*) en Blankvoorn (*Rutilus rutilus*) waren met respectievelijk 143,

102 en 84 waarnemingen de meest geregistreerde soorten. Het totaal aantal waargenomen zalmachtigen betrof 18, waaronder drie adulte Atlantische zalmen, drie adulte Zeeforellen, twee adulte Atlantische zalmen of Zeeforellen, vier adulte Atlantische forellen en zes juveniele zalmachtigen.

Opvallend is dat er meer vissen zijn waargenomen op momenten dat de turbine aan stond (n=380) dan wanneer deze uit stond (n=281). Van vijf taxonomische families zijn meer vissen waargenomen wanneer de turbine aan stond dan uit; enkel van grondels (Gobiidae) zijn evenveel exemplaren waargenomen in beide situaties en van meervallen (Siluridae) zijn minder exemplaren waargenomen wanneer de turbine aan stond [figuur 6]. Het laatste is ook bij twee van de tien waargenomen karperachtigen (Cyprinidae) geconstateerd, namelijk bij Barbeel en Blankvoorn [tabel 2]. Uit de statistische analyses bleek dat de turbine geen aantoonbaar effect had op het aantal waargenomen vissen van iedere taxonomische familie. Wel bleek het meetdagnummer een positief significant effect te hebben op het waargenomen aantal donderpadden (Cottidae) (z-waarde=2,44; p<0,05) en baarsachtigen (Percidae) (z-waarde=4,32; p<0,001). Met andere woorden, naarmate de dagen later in het jaar lagen werden er meer exemplaren waargenomen. Dit zou een seizoenseffect kunnen zijn.



WERKING VAN DE VISPASSAGE

Tijdens het onderzoek zijn met behulp van vier onderwatercamera's die waren opgesteld in de vispassage van de ECI onderwatervideo-beelden geregistreerd en deze zijn achteraf geanalyseerd. Hierbij is duidelijk geworden dat jaarlijks duizenden vissen gebruikmaken van de vispassage. Vergelijken met meer conventionele methodieken voor visonderzoek (elektrovisserij, telemetrie of fuikenonderzoek) is de

mate van verstoring van het natuurlijke gedrag van vissen door onderwatercamera's hoogstwaarschijnlijk verwaarloosbaar. Maar onderwatercameraonderzoek heeft ook nadelen. In een watergang als de Roer dienen de cameravensters regelmatig te worden schoongemaakt (bij hoge waterafvoer tot twee keer per week). Gedurende de trek van bepaalde vissoorten (bijvoorbeeld van Brasem, wanneer er dagelijks honderden vissen de camera's passeren), maar ook in de herfst (hoog aantal voorbij drijvende bladeren), is het bekijken van de honderden camerabeelden een zeer tijdrovende zaak, zeker vergeleken met de conventionele methodieken.

Atlantische zalm

De Atlantische zalm migreert door de Nederlandse rivieren vanaf het late voorjaar tot aan december, met een piek in de zomermaanden (Kranenbarg *et al.*, 2022). Dat is tijdens dit cameraonderzoek eveneens geconstateerd, waarbij de eerste Atlantische zalm in maart werd waargenomen en de laatste in december. Waargenomen adulte dieren bleken vaak verwondingen op de kop te hebben.

Op camera 1 zijn adulte dieren waargenomen die in stroomopwaartse richting zwommen, hiervan leek een enkel dier twijfelgedrag te vertonen. Dit was anders bij camera 2, waar een groter deel twijfelgedrag vertoonde. De twijfelende Atlantische zalm die is waargenomen tussen 17 oktober en 18 november 2022, terwijl de turbine was uitgeschakeld, is hier een mooi voorbeeld van. Het twijfelgedrag, dat ook bij andere exemplaren werd waargenomen, indicerde dat Atlantische zalmen aarzelen om het donkere voormalige loskanaal in te zwemmen. Uiteindelijk zwom het betreffende dier door en werd het in de vangkooi gezien. Later bleek echter dat het dier de kooi had verlaten en uiteindelijk ook de vispassage. Het dier is niet meer teruggezien en bleek zijn pogingen om de ECI te passeren na een maand te hebben gestaakt.

Verreweg het grootste deel van de in de ECI-vispassage optrekkende Atlantische zalmen keerde al snel om bij het bereiken van de onderaardse donkere gang. En zij passeerden ook camera 2 niet. Het ontbreken van verlichting, en de sterke overgang van licht naar donker, heeft dan ook mogelijk invloed op het trekgedrag van de overdag trekkende Atlantische zalmen.

Uit de vangkooidata is af te leiden dat adulte Atlantische zalmen aanzienlijk minder vaak werden gevangen ($n=8$) dan dat er waarnemingen van werden gedaan ($n=101$) [tabel 1]. Gezien het aantal adulte Atlantische zalmen dat bij camera 2 is waargenomen maar niet is gevangen, lijkt het erop dat de dieren ook worden afgeschrikt door de aanwezigheid van de vangkooi. Aan de hand van eerder cameraonderzoek, uitgevoerd van september tot en met november 2017 en waarbij door KBTS een camera in de vangkooi is bevestigd, werd geconcludeerd dat

Jaar	Wel in vangkooi	Niet in vangkooi*	Totaal
Atlantische zalm			
2020	6	12	18
2021	2	28	30
2022	3	61	64
Totaal	11	101	112
Zeeforel			
2020	1	9	10
2021	1	5	6
2022	4	11	15
Totaal	6	25	31

zalmachtigen zonder aarzeling de kooi inzwemmen (Kroes, 2017). Dat is niet in overeenstemming met onze bevindingen. Mogelijk aarzelen de vissen al enkele meters stroomafwaarts van de vangkooi en draaien dan om. Deze vissen worden niet door de camera in de vangkooi geregistreerd. Dat is pas het geval wanneer ze pal voor de ingang van de vangkooi verschijnen.

Zeeforel

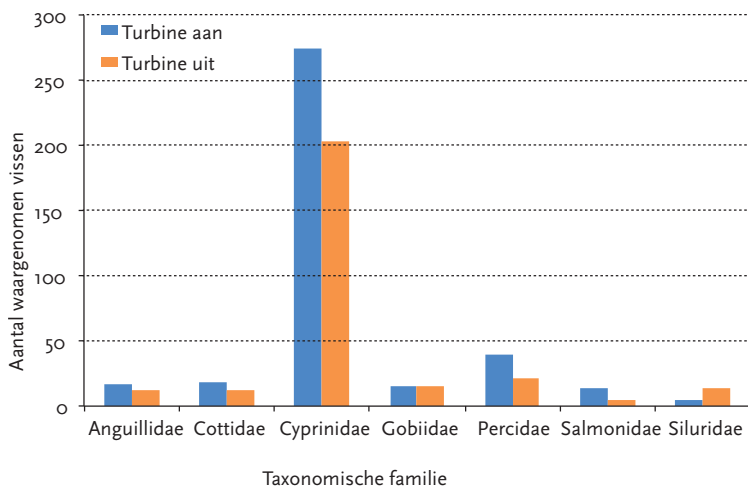
Zeeforel is in alle drie de onderzoeksjaren waargenomen, vooral tussen mei en juli en tussen oktober en december. Dit komt overeen met de bekende migratieperiode van mei tot december (Kranenbarg *et al.*, 2022). De meeste Zeeforellen werden waargenomen tussen 08:00 en 20:00 uur, waarbij een piek rond de middaguren is vastgesteld. De lamp bij camera 2 voorzag Zeeforellen van licht en er zijn ook jagende individuen gezien. Dit verklaart waarom Zeeforellen ook in de avond en nacht zijn geregistreerd. Eén Zeeforel is twijfelend waargenomen bij camera 1. Van Zeeforellen die duidelijk twijfelgedrag vertoonden bij camera 2 zijn twee waarnemingen gedaan. In totaal zijn er zes exemplaren gevangen in de vangkooi, terwijl er 25 exemplaren zijn geregistreerd. De ratio gevangen:niet-gevangen van Zeeforel is met grofweg 1:4 aanzienlijk hoger dan de 1:9 van Atlantische zalm. Het is dus mogelijk dat Zeeforel minder twijfelgedrag vertoont dan Atlantische zalm en minder aarzelt om de vangkooi in te zwemmen. Op grond van de waarnemingen lijkt het erop dat het voormalige loskanaal en de vangkooi van de vispassage het migratiegedrag van optrekkende Zeeforel beïnvloeden, zij het in mindere mate dan bij Atlantische zalm.

Prikken

Tijdens de onderzoeksperiode zijn vijf waarnemingen gedaan van prikken. Met uitzondering van één Zee-prik betrof het Rivierprikken. Of de Rivierprik en Zee-prik weinig zijn waargenomen vanwege de ingestelde gevoeligheid van de camera's of dat de soorten tijdens de onderzoeksperiode weinig in de vispassage

TABEL 1

Waarnemingen van adulte Atlantische zalmen (*Salmo salar*) en Zeeforellen (*Salmo trutta trutta*) per onderzoeksjaar met behulp van een camera. Tevens is aangegeven of de dieren wel of niet gevangen zijn in de vangkooi. Rivierprik (*Lampetra fluviatilis*) en Zee-prik (*Petromyzon marinus*) zijn niet in de vangkooi aangetroffen. *: Er kunnen enkele dubbelstellingen zijn van op camera waargenomen vissen die niet in de vangkooi zijn aangetroffen.



FIGUUR 6
Het aantal waargenomen vissen per taxonomische familie in de periode 21 mei tot 24 juni 2022 op 15 willekeurig gekozen dagen dat de WKC-turbine aanstond en op 15 willekeurig gekozen dagen dat deze uitstond.

aanwezig zijn geweest is onduidelijk. De migratieperiode voor volwassen Rivierprikken in Nederland ligt tussen november en maart (KRANENBARG *et al.*, 2022), overeenkomstig de gegevens uit dit onderzoek. De Rivierprikken werden alleen waargenomen in 2021. Ook tijdens eerder onderzoek in de periode 2009–2014 is de Rivierprik niet in ieder onderzoeksjaar vastgesteld (GUBBELS *et al.*, 2016).

De waarneming van drie van de vier geregistreerde Rivierprikken betrof telkens een dier dat in enkele seconden in stroomopwaartse richting voorbij zwom. Een vierde exemplaar is enkele minuten geobserveerd door camera 2, waar het zich voor korte tijd tussen de stenen op de bodem ingroef. Deze waarnemingen geven geen reden om aan te nemen dat de turbine, het voormalige loskanaal of de vangkooi in de vispassage een belemmering vormt voor de Rivierprik. Tijdens het onderzoek is in mei 2021 één adulte Zeeprik waargenomen, zwemmend in stroomopwaartse richting. Het dier zwom in enkele seconden aan camera 2 voorbij. Zeeprikken migreren van februari tot en met juni; in mei/juni vindt de paai plaats (KRANENBARG *et al.*, 2022). GUBBELS *et al.* (2016) troffen tijdens de onderzoeksperiode tussen 2009 en 2014 ook niet in ieder onderzoeksjaar Zeeprik aan. Tijdens de jaren dat de soort wel werd aangetroffen, varieerde hun aantal van één tot twaalf stroomopwaarts zwemmende exemplaren. Vergelijken hiermee zijn de resultaten uit het voorliggende onderzoek laag te noemen. Op basis van de resultaten kunnen geen uitspraken worden gedaan of de vispassage een belemmering voor Zeeprik vormt.

Onderwatergeluid

Vissen gebruiken onderwatergeluid om te communiceren, maar ook voor het detecteren van de aanwezigheid en de positie van objecten (VAN OPZEELAND *et al.*, 2007). Geluid dat zich voortzet in water gedraagt zich als bewegende deeltjes en bestaat uit twee meetbare componenten: geluidsdruk en het bewegen van deeltjes (particle motion). Vissen detecteren met name de zogenaamde particle motion, maar er zijn ook soorten die geluidsdruk

kunnen registreren (POPPER & HAWKINS, 2019). De meeste vissoorten kunnen onderwatergeluiden van <50 Hz tot circa 300–500 Hz waarnemen (SAND & KARLSEN, 2000). Slechts een klein aantal soorten kan frequenties tussen 3000 en 4000 Hz detecteren (LANDRO & AMUNDSEN, 2011; LADICH & FAY, 2013; POPPER & HAWKINS, 2019).

De Atlantische zalm (en waarschijnlijk ook de nauw-verwante Zeeforel) kan onderwatergeluid waarnemen met frequenties tot 380 Hz (HAWKINS & JOHNSTONE, 1978) en de Zeeprik frequenties tussen 50 en 300 Hz (MICKLE *et al.*, 2019). Van Rivierprik is het voor die soort hoorbare bereik nog niet goed onderzocht. Voorliggende studie laat zien dat bij lage frequenties tot circa 1200 Hz in het voormalige loskanaal van de vispassage weinig verschil waarneembaar is in de geluidsintensiteit bij turbine aan en uit. Gezien de waarneembare frequenties van de meeste vissoorten (HAWKINS & JOHNSTONE, 1978; SAND & KARLSEN, 2000; MICKLE *et al.*, 2019; POPPER & HAWKINS, 2019) maakt het vermoedelijk nauwelijks verschil of de turbine van de ECI wel of niet aanstaat. De gemeten pieken bij 1300 Hz, 1500 Hz en 2100 Hz bij ‘turbine aan’ worden door de zalmachtigen en prikken waarschijnlijk vrijwel niet of helemaal niet waargenomen (LEMMERS *et al.*, 2023). Karperachtigen (Cyprinidae) hebben een groter hoorbereik en zouden deze frequenties mogelijk wel kunnen waarnemen (MAIDITSCH & LADICH, 2014). Bijvoorbeeld de Karper (*Cyprinus carpio*) kan geluidsdruk waarnemen tussen 100 en 4000 Hz. De gevoeligheid van het gehoor van de Karper is echter het hoogst tussen 300 en 1000 Hz.

In het scenario ‘turbine dicht’, stroomde er geen water meer door de turbine en draaide deze dus ook niet meer. De geluidsintensiteit van dit scenario bleek wel degelijk lager dan wanneer de turbine aan stond en draaide of uit stond, maar toch draaide. Voor zover bekend uit de literatuur zijn er geen onderzoeken die aantonen dat de stroomopwaartse paaimigratie van adulte Atlantische zalm gehinderd wordt door de mens veroorzaakt geluid zoals door een WKC. Wel is vastgesteld dat turbines de dieren rusteloos kunnen maken waardoor er een zogeheten ‘jojo-migratie’ plaatsvindt, maar dit heeft vermoedelijk te maken met hoge waterafvoer uit de turbines die ten onrechte als lokstroom fungeert (LUNDQVIST *et al.*, 2008). GILLSON *et al.* (2022) classificeerden de Atlantische zalm als een ‘geluidsgeneralist’, vanwege de afwezigheid van specialistische organen om onderwatergeluid waar te nemen. Daarmee is het de vraag of de soort ook maar enige hinder van het geluid van de ECI-turbine ondervindt.

Geluidsexperiment

Voor geen van de zeven taxonomische families is een statistisch significant verschil geconstateerd tussen het aantal waargenomen exemplaren wanneer de turbine aan of uit stond. Hierdoor kan, met enige voorzich-

tigheid, worden gesteld dat de WKC-turbine het gedrag van de stroomopwaarts migrerende vissen in de Roer niet wezenlijk beïnvloedt. Dit wil niet zeggen dat vissen in zijn algemeenheid geen last zullen of kunnen hebben van WKC-turbinegeluiden. De WKC-turbine in de Roer betreft een oude turbine van beperkte omvang en vermogen. Om hier meer inzicht in te krijgen is meer (turbine-specifiek) onderzoek in diverse perioden van het jaar en onder verschillende vismigratie-omstandigheden noodzakelijk. Daarnaast kan het effect van de verandering in (lok)stroming door het dichtzetten van de turbine niet als factor worden uitgesloten. Meer onderzoek, zowel experimenteel als in het veld, is nodig.

WEGNEMEN VAN TWIJFELS

Dit onderzoek toont aan dat jaarlijks duizenden vissen gebruikmaken van de ECI-vispassage. De doelsoorten van het onderzoek zijn in voldoende mate waargenomen om uitspraken te kunnen doen over mogelijke oorzaken voor de vismigratieproblematiek. Er zijn geen duidelijke aanwijzingen gevonden dat het geluid van de WKC-turbine van de ECI het gedrag van migrerende zalmachtigen en prikken wezenlijk beïnvloedt. Toch is twijfelgedrag waargenomen bij een aantal vissoorten, waaronder Atlantische zalm en Zeeforel. Door camera 1 is geregistreerd dat adulte Atlantische zalmen sterk twijfelden om het voormalige loskanaal in te zwemmen. Vermoedelijk wekt de sterke overgang van licht naar donker twijfelgedrag op bij optrekkende vissen van deze soort die normaal hoofdzakelijk bij daglicht migreert. Voor dagactieve vissen kan de aanwezigheid van een beetje licht belangrijk zijn voor hun navigatie in een normaal donkere omgeving (KEEP *et al.*, 2021). Waarschijnlijk ontstaat er bij het inzwemmen van donkere tunnels voor de Atlantische zalmen een conflict tussen het willen zien van licht om te kunnen navigeren en de migratiedrang om verder stroomopwaarts te komen (THORSTAD *et al.*, 2008). In het geval van de vispassage in de Roer lijkt de migratiedrang van de Atlantische zalm het helaas niet altijd te winnen van de duisternis in de tunnel. Ook werden de zalmachtigen aarzeland waargenomen door camera 2, enkele meters voor

Taxonomische familie	Nederlandse naam	Wetenschappelijke naam	Turbine aan	Turbine uit	Totaal
Anguillidae (echte palingen)					
	Europese aal	<i>Anguilla anguilla</i>	17	12	29
Cottidae (donderpadden)					
	Rivierdonderpad	<i>Cottus perifretum</i>	18	12	30
Cyprinidae (echte karpers)					
	Alver	<i>Alburnus alburnus</i>	12	2	14
	Barbeel	<i>Barbus barbus</i>	18	42	60
	Blankvoorn	<i>Rutilus rutilus</i>	1	83	84
	Brasem	<i>Abramis brama</i>	82	20	102
	Karper	<i>Cyprinus carpio</i>	4	0	4
	Karperachtige onbekend	<i>Cyprinidae spec.</i>	7	6	13
	Kolblei	<i>Blicca bjoerkna</i>	11	11	22
	Kopvoorn	<i>Squalius cephalus</i>	110	33	143
	Roofblei	<i>Aspius aspius</i>	1	0	1
	Sneep	<i>Chondrostoma nasus</i>	28	6	34
Totaal Cyprinidae			274	203	477
Gobiidae (grondels)					
	Zwartbekgrondel	<i>Neogobius melanostomus</i>	15	15	30
Percidae (echte baarzen)					
	Baars	<i>Perca fluviatilis</i>	39	21	60
Salmonidae (zalmachtigen)					
	Atlantische forel	<i>Salmo trutta</i>	2	2	4
	Atlantische zalm/Zeeforel	<i>Salmo spec.</i>	2	0	2
	Atlantische zalm	<i>Salmo salar</i>	2	1	3
	Atlantische zalm (smolt)	<i>Salmo salar</i>	0	1	1
	Salmonidae (parr)	<i>Salmonidae spec.</i>	4	0	4
	Salmonidae (smolt)	<i>Salmonidae spec.</i>	1	0	1
	Zeeforel	<i>Salmo trutta trutta</i>	2	1	3
Totaal Salmonidae			13	5	18
Siluridae					
	Europese meerval	<i>Silurus glanis</i>	4	13	17
Totaal			380	281	661

de vangkooi. Mogelijk veroorzaakt de vangkooi dit gedrag en belemmert die de verdere stroomopwaartse vismigratie. Soms zwemmen de zalmachtigen de vangkooi in, maar ze verlaten die soms ook snel weer om terug te keren naar de Roer. Dit in ogenschouwen genomen is het onder de huidige omstandigheden discutabel of de ECI-vispassage voor alle soorten wel echt goed functioneert.

Waterschap Limburg dient af te wegen of het gebruik van de vangkooi tijdens de vismigratie opweegt tegen de daardoor veroorzaakte twijfel om verder te zwemmen bij verschillende optrekkende vissoorten. Een deel van de vissen besluit hier zelfs de migratiepoging te staken. Het aanbrenge van kunstlicht dat daglicht nabootst in het voormalige loskanaal kan het twijfelgedrag bij stroomopwaarts trekkende Atlantische zalmen waarschijnlijk wegnemen en hun doen besluiten de migratie naar de paargronden door te zetten.

DANKWOORD

Dit onderzoek kon niet tot stand zijn gekomen zonder de grote inzet en hulp van vele enthousiaste vrijwilligers, medewerkers van Waterschap Limburg en stagiairs. In het

TABEL 2

Resultaten van het aantal waargenomen vissen per taxonomische familie en soort op 15 willekeurige dagen dat de WKC-turbine aanstond en op 15 willekeurige dagen dat deze uitstond, tussen 21 mei en 24 juni 2022.

bijzonder danken we Jan Jeuken van Stichting de Laativlieger, Hans Slabbekoorn en Kees te Velde danken wij hartelijk voor hun hulp bij het opzetten van de experimenten omtrent onderwatergeluid en de analyse van de resultaten. Dit project is financieel mogelijk gemaakt door een subsidie van

de Provincie Limburg, Sportvisserij Limburg en Sportvisserij Nederland, ondersteund door bijdragen van Stichting de Laativlieger, Waterschap Limburg, Stichting Visserijbeheercommissie (VBC) Roerdal en Natuurbalans – Limes Divergens BV.

Summary

SALMONIDS AND LAMPREYS OF THE RIVER ROER IN FOCUS A camera study of migration patterns and bottlenecks

The river Roer is one of the most important spawning rivers for Atlantic salmon (*Salmo salar*) in the Netherlands. The effectiveness of a fish passage in the town of Roermond was called into question when underwater cameras revealed that many attempts at upstream migration by Atlantic salmon were unsuccessful. It was hypothesised that the underwater noise generated by an old water power plant affected fish behaviour. To investigate this and other potential factors involved, a study was conducted using underwater cameras and hydrophones in the power plant's fish passage facility. The study focused on Atlantic salmon, Sea trout (*Salmo trutta trutta*), River lamprey (*Lampetra fluviatilis*), and Sea lamprey (*Petromyzon marinus*). There are no indications that noise from the turbine affects the behaviour of migrating fish. Nevertheless, hesitant behaviour of several fish species,

including Atlantic salmon and Sea trout, was observed in the fish passage facility. The abrupt transition from daylight to the dark underground channel in the fish passage may cause hesitation in migrating Atlantic salmon, which predominantly migrate in daylight. In addition, a monitoring cage in the upstream part of the fish passage is also likely to induce hesitation and to hamper fish in their further migration upstream. It should be considered whether the usefulness of this cage during fish migration outweighs the fact that it makes several fishes hesitate, with some of them perhaps even deciding to abort their migration attempt. The use of artificial light that mimics daylight in the underground channel may resolve this bottleneck for Atlantic salmon migrating upstream, and encourage them to continue their migration to the spawning grounds.

Literatuur

- BELGERS, T. & R.E.M.B. GUBBELS, 2013. Herintroductie van de Atlantische zalm in het Roersysteem. Overzicht van de resultaten van een meerjarig kweek- en uitzetprogramma. *Natuurhistorisch Maandblad* 102(7): 141-144.
- BELGERS, M.H.A.M., R.E.M.B. GUBBELS, V.A. VAN SCHAIK & H.-J. JOCHIMS, 2011. De visstand in de benedenloop van de Roer. *Natuurhistorisch Maandblad* 100(10): 226-230.
- GILLSON, J.P., T. BAŠIĆ, P.I. DAVISON, W.D. RILEY, L. TALKS, A.M. WALKER & I.C. RUSSELL, 2022. A review of marine stressors impacting Atlantic salmon *Salmo salar*, with an assessment of the major threats to English stocks. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 32: 879-919.
- GUBBELS, R.E.M.B., M.H.A.M. BELGERS & H.-J. JOCHIMS, 2016. Vismigratie in de benedenloop van de Roer in de periode 2009-2014: soortspecifieke migratiekarakteristieken en -patronen. Resultaten van zes jaar monitoring bij de ECI waterkrachtcentrale te Roermond. Waterschap Roer en Overmaas, Sittard.
- HAWKINS, A.D. & A.D.F. JOHNSTONE, 1978. The hearing of the Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Journal of Fish Biology* 13(6): 655-673.
- KEEP, J.K., J.R. WATSON, R.L. CRAMP, M.J. JONES, M.A. GORDOS, P.J. WARD & C.E. FRANKLIN, 2021. Low light intensities increase avoidance behaviour of diurnal fish species: implications for use of road culverts by fish. *Journal of Fish Biology* 98: 634-642.
- KRANENBARG, J., J.E. HERDER, W.A.M. VAN EMMERIK & M. GROEN, 2022. Visatlas van Nederland. Stichting RAVON, Sportvisserij Nederland en Noodboek, Gorredijk.
- KROES, M.J., 2017. Monitoring salmoniden met HD onderwater camera in de aangepaste vangkooi van vistrap ECI centrale. Kroes Consultancy, Amsterdam.
- LADICH, F. & R.R. FAY, 2013. Auditory evoked potential audiometry in fish. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 23(3): 317-364.
- LANDRØ, M. & L. AMUNDSEN, 2011. Marine seismic sources: Part VIII: fish hear a great deal. <https://www.geoexpro.com/articles/2011/03/marine-seismic-sources-part-viii-fish-hear-a-great-deal>. Geraadpleegd op 9 november 2022.
- LEMMERS, P., M.H.A.M. BELGERS, B. AARTS, V. VAN 'T WESTENDE, K. RAMOS, Q.J. WIEGERINCK & B.H.J.M. CROMBAGHS, 2023. Herstel natuurlijke vislevensgemeenschap in de Roer. Knelpuntenonderzoek voor vismigratie met onderwatercamera's en hydrofoons, met bijzondere aandacht voor zalmachtigen. Rapport 20-125. Stichting Visserijbeheercommissie Roerdal, Vlodrop / Natuurbalans - Limes Divergens BV, Nijmegen.
- LUNDQVIST, H., P. RIVINOJA, K. LEONARDSSON & S. MCKINNELL, 2008. Upstream passage problems for wild Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in a regulated river and its effect on the population. *Fish and Fisheries* 9: 111-127.
- MAIDITSCH, I.P. & F. LADICH, 2014. Effects of temperature on auditory sensitivity in eurythermal fishes: common carp *Cyprinus carpio* (Family Cyprinidae) versus Wels catfish *Silurus glanis* (family Siluridae). *PLoS One* 9(9): e108583.
- MICKLE, M.F., S.M. MIEHLS, N.S. JOHNSON & D.M. HIGGS, 2019. Hearing capabilities and behavioural response of sea lamprey (*Petromyzon marinus*) to low-frequency sounds. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 76(9): 1541-1548.
- POPPER, A.N. & A.D. HAWKINS, 2019. An overview of fish bioacoustics and the impacts of anthropogenic sounds on fishes. *Journal of Fish Biology* 94(5): 692-713.
- SAND, O. & H.E. KARLSEN, 2000. Detection of infrasound and linear acceleration in fishes. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* 355(1401): 1295-1298.
- SLABBEKOORN, H., 2016. Aiming for progress in understanding underwater noise impact on fish: complementary need for indoor and outdoor studies. In: A. Popper & A. Hawkins (red.), *The effects of noise on aquatic life II*. Springer, New York: 1057-1065.
- THORSTAD, E.B., F. ØKLAND, K. AARESTRUP & T.G. HEGGERGET, 2008. Factors affecting the within-river spawning migration of Atlantic salmon, with emphasis on human impacts. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 18: 345-371.
- VAN OPZEELAND, I., H. SLABBEKOORN, T. ANDRINGA, & C. TEN CATE, 2007. Vissen en geluidsoverlast: Effect van geluidsbelasting onder water op zoetwater-vissen. Rijksuniversiteit Groningen & Universiteit Leiden, Groningen/Leiden.