

Vismigratie en lozingspluimen: Samenvattend rapport

E.M. Foekema[#], H.V. Winter[#], F. Kleissen^{*}, O.A. van Keeken[#],
A.D. Rippen[#] en D.M.E. Slijkerman[#]

Rapport C077/11



[#]: IMARES

^{*}: Deltares

IMARES Wageningen UR

Institute for Marine Resources & Ecosystem Studies

Opdrachtgever:

Innovatieprogramma Kaderrichtlijn Water
van het ministerie van Infrastructuur en Milieu
p.a. Agentschap NL,
Postbus 93144,
2509 AC Den Haag

Publicatiedatum:

29 september 2011

IMARES is:

- een onafhankelijk, objectief en gezaghebbend instituut dat kennis levert die noodzakelijk is voor integrale duurzame bescherming, exploitatie en ruimtelijk gebruik van de zee en kustzones;
- een instituut dat de benodigde kennis levert voor een geïntegreerde duurzame bescherming, exploitatie en ruimtelijk gebruik van zee en kustzones;
- een belangrijke, proactieve speler in nationale en internationale mariene onderzoeksnetwerken (zoals ICES en EFARO).

©Voorbladfoto's: IMARES

P.O. Box 68 1970 AB IJmuiden Phone: +31 (0)317 48 09 00 Fax: +31 (0)317 48 73 26 E-Mail: imares@wur.nl www.imares.wur.nl	P.O. Box 77 4400 AB Yerseke Phone: +31 (0)317 48 09 00 Fax: +31 (0)317 48 73 59 E-Mail: imares@wur.nl www.imares.wur.nl	P.O. Box 57 1780 AB Den Helder Phone: +31 (0)317 48 09 00 Fax: +31 (0)223 63 06 87 E-Mail: imares@wur.nl www.imares.wur.nl	P.O. Box 167 1790 AD Den Burg Texel Phone: +31 (0)317 48 09 00 Fax: +31 (0)317 48 73 62 E-Mail: imares@wur.nl www.imares.wur.nl
---	--	---	--

© 2011 IMARES Wageningen UR

IMARES is onderdeel van Stichting DLO
KvK nr. 09098104,
IMARES BTW nr. NL 8113.83.696.B16

De Directie van IMARES is niet aansprakelijk voor gevolgschade, noch voor schade welke voortvloeit uit toepassingen van de resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van IMARES; opdrachtgever vrijwaart IMARES van aanspraken van derden in verband met deze toepassing.

Dit rapport is vervaardigd op verzoek van de opdrachtgever hierboven aangegeven en is zijn eigendom. Niets uit dit rapport mag weergegeven en/of gepubliceerd worden, gefotokopieerd of op enige andere manier gebruikt worden zonder schriftelijke toestemming van de opdrachtgever.

A_4_3_1-V12

Samenvatting

Zeewaarts migrerende schieralen laten een gedragsverandering zien wanneer zij geconfronteerd worden met een lozingspluim van rwzi-effluent. Ruim de helft van de vissen verandert van zwemrichting en tracht langs de rand van de pluim te passeren. Het risico dat een permanente migratie-barrière ontstaat is bij de meeste rwzi's niet groot door het dynamische karakter van de lozingspluim. Bij rwzi's die lozen op wateren met een beperkt afvoerdebiet kunnen wel migratie-barrières ontstaan, maar met relatief eenvoudige aanpassingen kan de kans daarop worden verkleind. De onderzoeksresultaten geven aan dat rwzi-effluentpluimen potentie hebben om te worden ingezet voor de geleiding van stroomafwaarts migrerende vissen naar een veilige route langs gevaarlijke situaties zoals koelwaterinlaten, gemalen en waterkrachtcentrales.

In april 2009 is met het project 'een pluim voor vismigratie' gestart, gesubsidieerd vanuit de Innovatieregeling Kaderrichtlijn Water 2008 van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu. In dit project werken IMARES en Deltares samen met input van verschillende waterschappen met als doel te onderzoeken in welke mate (migrerende) vis reageert op pluimen van waterlozingen. Met deze kennis kunnen maatregelen worden opgesteld om eventuele barrièrevormende lozingspluimen op te heffen en lozingspluimen eventueel in te zetten om migrerende vis te leiden naar de gewenste passage route. Voorliggend rapport C077/11: 'Vismigratie en lozingspluimen' is geschreven voor de waterbeheerder en bevat een samenvatting van het project en de onderzoeksresultaten. Er worden aanbevelingen gedaan om de onderzoeksresultaten in de praktijk in te zetten.

De achtergrondinformatie waar dit rapport op gebaseerd is, is samengevoegd in het rapport 'Vismigratie en lozingspluimen: Deelonderzoeken' dat bestaat uit de volgende onderdelen:

C078/11: 'Inventarisatie van lozingspluimen als potentiële migratie-barrière'

C079/11: 'DIDSON observaties van gedrag van vis rond lozingspluimen'

C080/11: 'Modellering van lozingspluimen'

C081/11: 'Telemetrisch onderzoek naar gedrag van migrerende vis rond RWZI-lozingspluimen'

Een lozingspluim kan in potentie een barrière voor vismigratie vormen als aan de volgende voorwaarden wordt voldaan:

- De lozingspluim moet gedurende een langere periode de volledige breedte van een watergang overbruggen.
- Migrerende vis moet de waterkarakteristieken in deze pluim vermijden.

Het onderzoek heeft zich daarom gericht op de mogelijkheid dat lozingspluimen in Nederland aan deze twee criteria voldoen. Daartoe is eerst een inventarisatie gemaakt van de kans dat lozingspluimen een watergang gedurende lagere tijd volledig overbruggen (rapport C078/11). Gekeken is naar de lozing van polderwater (zout kwelwater), koelwater en effluent uit rioolwaterzuiveringsinstallaties (rwzi's). Het gedrag van vis in en rond lozingspluimen is onderzocht met behulp van akoestische (rapport C079/11) en telemetrische technieken (rapport C081/11). Om het waargenomen gedrag van de vissen door middel van het telemetrisch onderzoek te kunnen koppelen aan de pluimcondities, zijn twee rwzi-lozingspluimen gemodelleerd (rapport C080/11).

Het is zeer onwaarschijnlijk dat lozingen van zilt polderwater een pluim kunnen veroorzaken die de watergang waarop geloosd wordt gedurende lange tijd kan overbruggen. De geloosde debieten zijn relatief gering en altijd beperkt in tijd. Mede hierdoor was het moeilijk om een geschikte locatie te vinden voor praktijkonderzoek naar de invloed van een 'zoutpluim' op het gedrag van (migrerende) vis. Echter

ook zonder de reactie van de vis te kennen, kan de kans dat een dergelijke lozingspluim een migratiebarrière zal vormen verwaarloosd worden, omdat het hier lozingen betreft van geringe omvang met een tijdelijk karakter.

Het is echter niet uit te sluiten dat de saliniteitsgradiënt vanuit een aan zoute kwel onderhevige polder de intrek van uit zee afkomstige glasaal en of stekelbaars negatief kan beïnvloeden, wanneer de lokstroom naar de vispassage een hogere saliniteit heeft dan het water waar de vis zich in bevindt. Dit viel echter buiten het kader van deze studie.

Koelwaterlozingen lijken wel de potentie tot barrière-vorming te hebben. Zeker wanneer wordt aangenomen dat een opwarming van meer dan 3°C tot vermijdingsgedrag van vis kan leiden, wat op basis van bestaande literatuur aannemelijk is. Deze veronderstelling is gebaseerd op een worst-case berekening waardoor de werkelijke impact van de lozing zeer waarschijnlijk wordt overschat. Het warmere koelwater zal vanwege dichtheidsverschillen de neiging hebben aan het oppervlak te blijven, waardoor het mogelijk is dat onder de lozingspluim migratie routes blijven bestaan. Omdat in het beginstadium van dit onderzoek de potentie van koelwaterlozingen tot het vormen van een migratiebarrière was onderschat en het niet eenvoudig was om een geschikte meetlocatie te vinden, is aan dit type lozing binnen dit project geen praktijk onderzoek uitgevoerd.

Lozingen uit rwzi's kunnen in Nederland in een beperkt aantal gevallen een lozingspluim creëren die de volledige breedte van de watergang overbrugt, vooral op wateren met een geringe afvoer. Tijdens praktijkonderzoek bleek dat de lokale vispopulatie een rwzi-lozingspunt zeker niet vermijdt en deze mogelijk zelfs opzoekt om te foerageren. Echter, meer dan de helft van de migrerende schieralen waarvan het zwemgedrag langs het lozingspunt telemetrisch werd gevolgd, bleek bij contact met de lozingspluim een duidelijk vermijdingsgedrag te vertonen. Doordat de alen stroomafwaarts migreren worden zij bij passage van het lozingspunt geconfronteerd met de scherpe grens van de lozingspluim. Enkele rivierprikken die dezelfde lozingspluim vanuit stroomopwaartse richting tegemoet zwommen en daardoor geleidelijk met een toenemende effluentconcentratie werden geconfronteerd, vertoonden geen enkele reactie.

Effluentpluimen blijken zeer dynamisch in de tijd te zijn, door variatie in afvoer in de watergangen en in het lozingsdebiet (dag/nacht ritmiek) van de rwzi. Hierdoor blijven er in de tijd migratievensters beschikbaar. Uiteindelijk bleek dan ook 90% van de alen het lozingspunt toch te passeren, al dan niet met enige vertraging. Het is daardoor waarschijnlijk dat de meeste rwzi's geen continue belemmering voor vismigratie veroorzaken. In specifieke gevallen waar sprake is van een onevenredig lozingsdebiet ten opzichte van het afvoerdebiet van het ontvangende oppervlaktewater, zoals mogelijk in de Vecht het geval is, kan de lozing van rwzi-effluent de watergang wel gedurende lange tijd overbruggen. In een dergelijk geval kan overwogen worden de lozingspluim langs de oever af te buigen of over te gaan tot discontinu lozen.

Rwzi-effluentpluimen hebben de potentie om ingezet te worden voor de geleiding van stroomafwaarts migrerende vissen, zoals schieraal, naar bijvoorbeeld goede passeermogelijkheden langs gevaarlijke situaties zoals koelwaterinlaten, gemalen en waterkrachtcentrales. Onze resultaten suggereren dat met normale rwzi-lozingspluimen tot ruim 50% efficiëntie in geleiding behaald zou kunnen worden. Mogelijk kan met speciaal hierop ingerichte lozingspluimen een hogere efficiëntie bereikt worden.

Inhoudsopgave

Samenvatting	3
1 Inleiding	6
1.1 Het project 'Een pluim voor Vismigratie'	6
1.2 Leeswijzer	6
2 Lozingspluimen als potentiële barrière voor vismigratie	8
2.1 Saliniteitslozingen	8
2.2 Koelwaterlozingen	8
2.3 Rwzi- lozingen	10
2.4 Locatiekeuzes voor praktijkonderzoek	11
3 Visgedrag rond rwzi-lozingspunten	13
3.1 Onderzoekstechnieken	13
3.2 Lokale vissen	14
3.3 Migrerende vissen	16
4 Praktijk toepassingen	20
4.1 Lozingspluimen als barrière	20
4.2 Lozingspluimen als visgeleider	20
5 Conclusies	22
6 Dankwoord	23
7 Kwaliteitsborging	23
8 Referenties	24
Verantwoording	25

1 Inleiding

1.1 Het project 'Een pluim voor Vismigratie'

Binnen de Kaderrichtlijn Water (KRW) nemen visgemeenschappen een belangrijke plaats in. Zo mogen er geen substantiële belemmeringen bestaan in migratiemogelijkheden voor trekvissen. In Nederland zijn maatregelen gericht op de verbetering van een natuurlijke leefomgeving en het aanbrengen van vispassages zodat er een natuurlijke corridor ontstaat tussen de Noordzee, de bovenrivieren en binnenwateren (Rijkswaterstaat, 2008). De belemmering van vismigratie door tal van fysieke barrières is wereldwijd onderkend en veelvuldig onderzocht (Kemp & O'Hanley 2010) en tal van technische oplossingen zijn geïmplementeerd om vis in stroomopwaartse richting passagemogelijkheden langs deze obstakels te geven, bijvoorbeeld via vistrappen. De effectiviteit van deze passages wordt sterk beïnvloed door de mate waarin vissen de passage kunnen vinden. Hierbij is geleiding van vis naar de ingang van de passage van groot belang. Dit speelt nog sterker in stroomafwaartse richting, waar fysieke barrières, zoals waterkrachtcentrales, inzuigpunten van koelwater en gemalen, hoge sterfte kunnen veroorzaken onder de vissen. Effectieve visgeleiding is zeker stroomafwaarts niet eenvoudig. De huidige beschikbare geleidingssystemen kennen ofwel hoge operationele kosten of zijn weinig effectief.

Dat niet-fysieke barrières als lozingspluimen van andere waterkarakteristieken, zoals bijvoorbeeld effluent van rioolzuiveringsinstallaties (rwzi's), koelwater of kwelwater met een afwijkend zoutgehalte, obstakels vormen voor migrerende vis wordt regelmatig genoemd, maar concreet is hierover nog weinig bekend. De confrontatie met dergelijke lozingspluimen zal aanleiding kunnen geven tot een aarzeling, zoekgedrag langs gradiënten of zelfs tot de keuze kunnen leiden om niet door de pluim heen te zwemmen. Afhankelijk van de reactie van de vis en de lokale situatie zal een lozingspluim dan een belemmering of zelfs een barrière voor migrerende vis kunnen vormen. Met inzicht in de wijze waarop migrerende vissen reageren op lozingspluimen kunnen lozingspluimen wellicht zo worden ingericht dat belemmering van de vismigratie tot een minimum wordt beperkt. Bij een sterke reactie van vis op een lozingspluim wordt het bovendien in principe mogelijk om de pluim voor visgeleiding in te zetten. Zo zou een ongunstige route afgeschermd kunnen worden door een lozingspluim, waardoor passagemogelijkheden als vistrappen beter worden gevonden.

In april 2009 is met het project 'een pluim voor vismigratie' gestart, gesubsidieerd vanuit de Innovatieregeling Kaderrichtlijn Water 2008 van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu. In dit project werken IMARES en Deltares samen met input van verschillende waterschappen. Het doel van het project is te onderzoeken in welke mate (migrerende) vis reageert op lozingspluimen, zodat maatregelen kunnen worden opgesteld om deze barrières op te heffen en lozingspluimen eventueel kunnen worden ingezet om migrerende vis te leiden naar de gewenste passage route.

1.2 Leeswijzer

Voorliggend rapport is het samenvattend rapport van het project "Een pluim voor vismigratie". Dit rapport, dat is geschreven voor de waterbeheerder, bevat een samenvattende beschrijving van de onderzoeksresultaten en doet aanbevelingen om de onderzoeksresultaten in de praktijk in te zetten.

Meer gedetailleerde achtergrond informatie is samengebracht in het rapport 'Vismigratie en lozingspluimen: Deelonderzoeken' dat de volgende onderdelen bevat:

C078/11: 'Inventarisatie van lozingspluimen als potentiële migratie-barrière' beschrijft de inventarisatie in welke mate verschillende lozingspluimen in Nederland de potentie hebben om migratie-barrières voor

vis te vormen. Er is gekeken naar lozingen van koelwater, zout kwelwater en effluent uit rioolwaterzuiverings installaties.

C079/11: 'DIDSON observaties van gedrag van vis rond lozingspluimen' beschrijft de resultaten van het onderzoek naar visgedrag rond lozingspluimen dat werd uitgevoerd met behulp van een akoestische camera.

C080/11: 'Modellering van lozingspluimen' behandelt hoe de verspreiding van de dynamische lozingspluimen op onderzoekslocaties in de tijd is gemodelleerd. De resultaten van deze modelberekeningen zijn gebruikt bij de interpretatie van de resultaten van het veldonderzoek.

C081/11: 'Telemetrisch onderzoek naar gedrag van migrerende vis rond RWZI-lozingspluimen' beschrijft het veldonderzoek waarbij met zenders uitgeruste vissen zijn gebruikt.

2 Lozingspluimen als potentiële barrière voor vismigratie

Dat niet-fysieke barrières, zoals een plaatselijke verandering in waterkwaliteit of lozingen van verontreinigende stoffen, een potentiële belemmering voor trekkende vis kan vormen wordt vaak geopperd, maar hier zijn echter zeer weinig studies naar uitgevoerd (James & Joy, 2008, Thorstad et al. 2008). De meeste studies hebben betrekking op zuurstofarme zones in stroomgebieden (e.g. Maes et al. 2008) of pluimen uit waterkrachtcentrales met oververzadiging aan zuurstof (e.g. Johnson et al. 2007). In veel laboratoriumexperimenten is vastgesteld dat vis vele chemische en fysieke componenten kunnen waarnemen en hierop reageren (Gray 1983, Atchison et al. 1987, Atland 1998), maar dergelijk ontwijkgedrag is in de vrije natuur slechts zeer zelden bestudeerd (Thorstad et al. 2008, Thorstad et al. 2005). In hoeverre lozingspluimen vismigratie belemmeren door ontwijkgedrag is nog weinig onderzocht.

Het is echter aannemelijk dat (migrerende) vissen in het veld zullen reageren op de lozing van water dat qua karakteristiek afwijkt van de omgeving. De confrontatie met dergelijke lozingspluimen zal dan aanleiding kunnen geven tot een aarzeling, zoekgedrag langs gradiënten, of zelfs tot de keuze kunnen leiden om niet door de pluim heen te zwemmen. Afhankelijk van de reactie van de vis en de lokale situatie zal een lozingspluim dan een belemmering of zelfs een barrière voor migrerende vis kunnen vormen. Dit zal vooral het geval zijn wanneer de lozingspluim gedurende een lange periode de totale breedte van de waterweg overbrugd. De waarschijnlijkheid dat dit in de Nederlandse situatie gebeurt is onderzocht voor drie typen lozingen te weten: lozing van zout (kwel)water, lozing van koelwater, lozing van effluent uit een rioolwaterzuiveringsinstallatie (rwzi).

2.1 Saliniteitslozingen

Het is onwaarschijnlijk dat de lozing van zout kwelwater uit een polder tot een vismigratie belemmerende lozingspluim zal leiden. Doordat de verzilting actief en effectief door de waterbeheerder wordt tegengegaan door middel van doorspoeling met zoetwater blijven de verschillen in zoutgehalte tussen polder en ontvangend water beperkt. Bovendien vindt lozing via poldergemalen niet continu plaats en zijn de lozingsdebiëten beperkt, waardoor zich geen lozingspluim zal vormen die gedurende langere periode in stand blijft.

Het is echter niet uit te sluiten dat de saliniteitsgradiënt vanuit een aan zoute kwel onderhevige polder de intrek van uit zee afkomstige glasaal en of stekelbaars negatief kan beïnvloeden, wanneer de lokstroom naar de vispassage een hogere saliniteit heeft dan het water waar de vis zich in bevindt, maar dit valt buiten het kader van deze studie.

2.2 Koelwaterlozingen

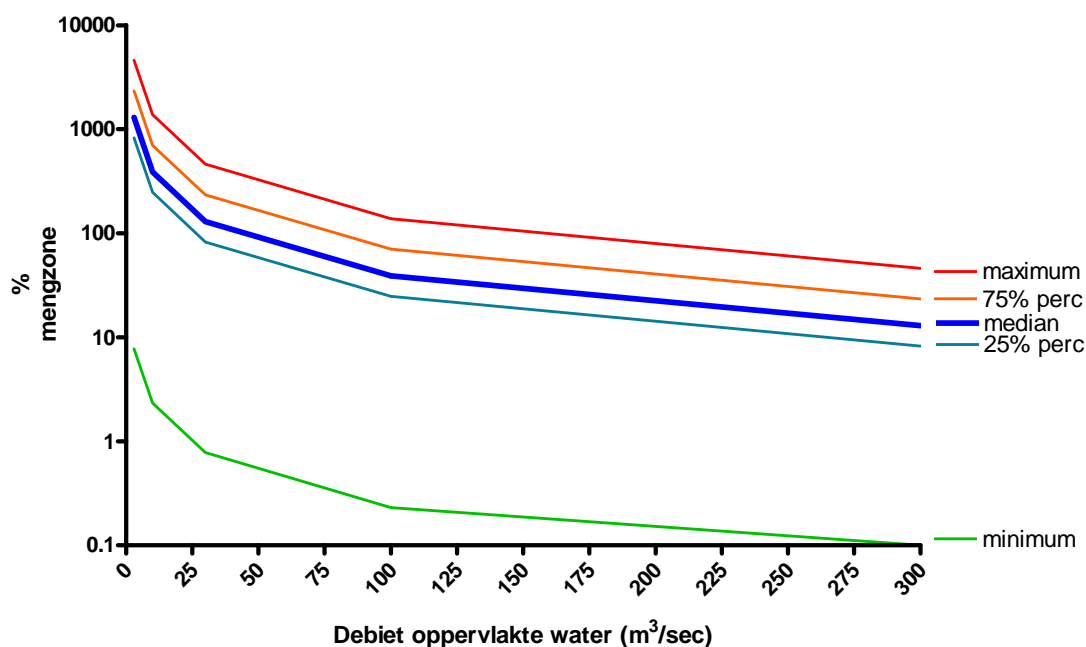
Bij aanvang van het project bleek het niet eenvoudig om voor het onderzoek geschikte locaties voor koelwaterlozingen te vinden. De lozingen op Rijkswateren waren vaak zo grootschalig en turbulent dat deze locaties voor het onderzoek naar visgedrag ongeschikt waren. Van kleinere lozingen waren via de waterschappen moeilijk eenduidige gegevens te krijgen. Bovendien bleek in de richtlijnen voor koelwaterlozing reeds rekening te worden gehouden met migrerende vissen. Zo is vastgelegd in de beoordelingssystematiek warmtelozingen (Rijkswaterstaat, 2004) dat door een koelwaterlozing de watertemperatuur maximaal 3°C mag stijgen en dat maximaal 25% van de natte doorsnede van het ontvangende water mag worden opgewarmd boven 30°C. Bij de berekeningen van deze randvoorwaarden voor koelwaterlozingen wordt uitgegaan van volledige menging, dus van een worst case situatie. In de praktijk mag verwacht worden dat er zo voldoende (koelere) ruimte overblijft

waarlangs vis kan migreren. Om deze redenen zijn koelwaterlozingen binnen dit project in de praktijk niet onderzocht.

Na overleg met de opdrachtgever in 2010 over de afronding van het project is besloten om deze keuze verder te onderbouwen. Hiertoe is met behulp van een eenvoudige rekenformule voor 16 Nederlandse bedrijven (gegevens uit: Rijkswaterstaat, 2004) een inschatting gemaakt van de impact van de koelwaterlozing op het ontvangende water.

Bij de berekeningen is geschat wat de omvang van de mengzone is waarbinnen de watertemperatuur met meer dan 3°C wordt verhoogd ten opzichte van de achtergrond en daardoor vismigratie zou kunnen belemmeren. Deze grens van >3°C wordt gehanteerd voor water voor karperachtigen, een functie die geldt voor het overgrote deel van de Nederlandse zoete wateren. Uit laboratoriumexperimenten is gebleken dat zalmachtigen al vermijdingsgedrag vertonen bij een lokale temperatuurstijging van 1-4°C (Kerkum et al, 2004). Voor aal, een belangrijke migrerende vissoort in Nederland, ontbreken soortgelijke gegevens.

Bij de berekeningen werd uitgegaan van de zomersituatie, dus zomergemiddelde afvoerdebieten en een koelwatertemperatuur die maximaal 7°C hoger is dan het oppervlaktewater. Bij de helft van de aldus doorgekende bedrijven werd een mengzone >3°C berekend die groter was dan 100%. Dit geeft aan dat in potentie de ontvangende waterweg over de gehele breedte wordt beïnvloed. Voor de lozingsdebieten van de doorgekende bedrijven geldt dat bij 75% van de lozingen (Figuur 1: 25% percentiel grens) de berekende mengzone >3°C groter is dan 100% wanneer het afvoerdebiet van het oppervlaktewater minder is dan 30. Voor de 25% grootste lozingen (Figuur 1: 75% percentiel grens) is een afvoer debiet van meer dan 80 m³/sec nodig om te voorkomen dat de mengzone >3°C de 100% grens overschrijdt (Figuur 1).



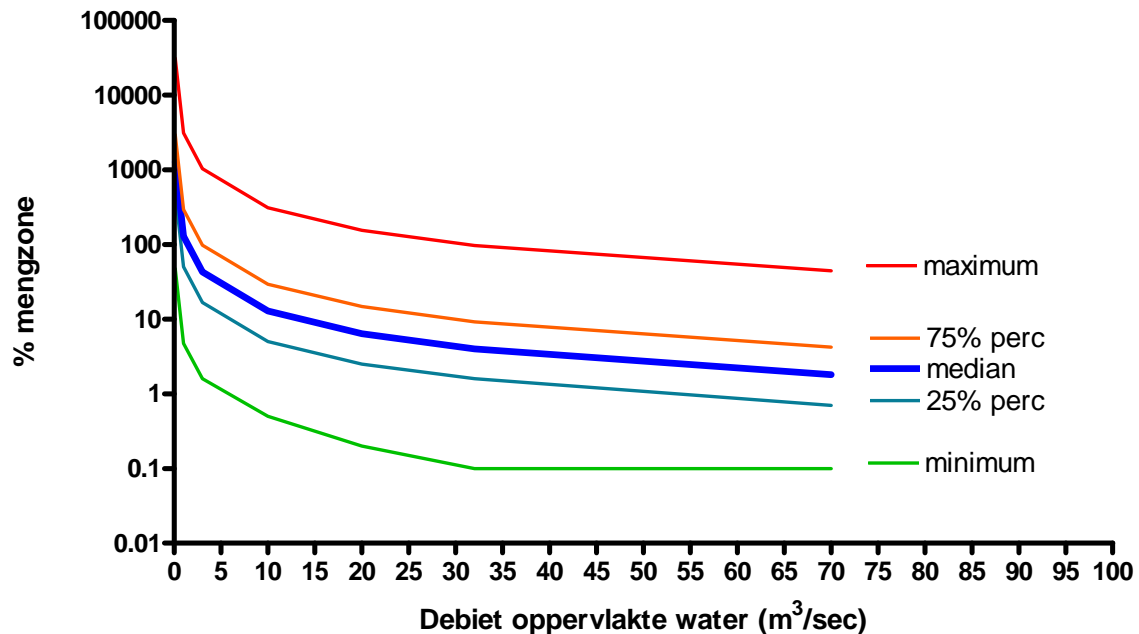
Figuur 1 Berekening van de omvang van de mengzone waarin de watertemperatuur met >3°C wordt verhoogd als gevolg van een lozing van koelwater met de maximale zomer temperatuur ($\Delta T=7^{\circ}C$). Gegeven zijn de mengzones van kengetallen van de koelwaterlozingen van 16 Nederlandse bedrijven, bij toenemend afvoerdebiet.

Bij deze en de eerdere berekeningen moet wel worden opgemerkt dat gebruik is gemaakt van een zeer eenvoudige rekenformule die uitgaat van volledige menging zonder rekening te houden met de vele factoren die in de praktijk de verspreiding en verdunning van een lozingspluim zullen beïnvloeden. De twee belangrijkste factoren met betrekking tot het gedrag van koelwaterpluimen zijn waarschijnlijk de stroomsnelheid van het ontvangend watersysteem en temperatuur gerelateerde dichtheidsverschillen. Onder invloed van stroming wordt een lozingspluim afgebogen en kan passage ruimte ontstaan aan de overzijde van het watersysteem. Dit zal zeker een rol spelen wanneer geloosd wordt op een brede rivier met enige stroming. Door de hogere temperatuur zal het koelwater bovendien de neiging hebben op het ontvangende water te 'drijven'. Hierdoor zal de temperatuurstijging langs de bodem waarschijnlijk lager zijn dan berekend met de eenvoudige formule, waarbij van volledige menging wordt uitgegaan. De resultaten van bovenstaande berekeningen moeten dus met terughoudendheid geïnterpreteerd worden. Zij voorspellen echter in een aantal gevallen een dermate grote impact dat het aannemelijk dat koelwaterlozing op dergelijke locaties de migratie van vis kunnen belemmeren.

2.3 Rwzi- lozingen

Nederland kent ruim 350 rioolwaterzuiveringsinstallaties (rwzi's) die allen hun afvalwater lozen op oppervlaktewater. De samenstelling van het effluent dient aan een aantal grenswaarden te voldoen waarbij met name nutriëntgehalten en zuurstofverbruik een belangrijke rol spelen (Staatsblad, 2009). Er zijn als zodanig geen beperkingen vastgelegd aan het debiet van de lozing ten opzichte van de afvoercapaciteit van het ontvangende water. Tijdens een inventariserend onderzoek naar de verspreiding van rwzi-effluent rond het lozingspunt, dat in 2007 werd uitgevoerd in opdracht van Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier, bleek dat lozingspluimen uit rwzi's in bepaalde situaties de totale breedte van de ontvangende watergang kunnen overbruggen. Zelfs bij een optimaal functionerende zuivering heeft het effluent een andere samenstelling dan het oppervlaktewater waarop geloosd wordt. De lozingspluim zal daardoor afwijken van de omgeving door karakteristieken als het geleidend vermogen, zuurgraad, het gehalte aan (opgelost) organisch materiaal, kleur, geur en gedurende de wintermaanden temperatuur. Dit zijn karakteristieken waarvan bekend is, of verwacht mag worden dat zij door vissen kunnen worden waargenomen.

In Figuur 2 is de omvang berekend van de mengzone voor lozingsdebieten (Droogweerafvoer- DWA, gebaseerd op data uit www.sewagenetwerk.nl) die kenmerkend zijn voor Nederlandse rwzi's in relatie tot het afvoer debiet van het ontvangend oppervlaktewater. Hierbij is gebruik gemaakt van dezelfde formule die werd toegepast voor de berekening van de impact van een koelwaterlozing (dus uitgaande van volledig menging) en is de mengzone gekarakteriseerd als het gebied waarbinnen de effluentconcentratie >10% bedraagt. Een mengzone van meer dan 100% geeft aan dat de lozing de potentie heeft de volledige breedte van het ontvangende water te overbruggen. Bij de helft van de rwzi's zal dit risico niet aanwezig zijn zolang het afvoerdebiet van het ontvangend water ten minste 5 m³/s bedraagt. Dezelfde rekenformule is toegepast voor rwzi's langs voor vismigratie belangrijke Nederlandse waterwegen: de Waal, de IJssel, de Lek, Overijsselse Vecht, Amsterdam-Rijnkanaal en de Vecht. Hierbij bleek alleen voor de Vecht, met een lage zomergemiddelde afvoer van ca. 4 m³/sec, een potentieel gevaar dat lozingspluimen de volledige waterweg zullen overbruggen. Risico's dat rwzi-effluent pluimen vismigratie belemmeren zullen dan ook vooral bestaan in kleinere lokale wateren.



Figuur 2 Berekende %mengzone met grenswaarde 10% effluent bij toenemend debiet van ontvangend oppervlaktewater bij verschillende lozingsdebieten (DWA) kenmerkend voor Nederlandse rwzi's. Een mengzone >100% is een indicatie dat de lozingspluim zich kan uitstrekken over de gehele breedte van het ontvangende oppervlaktewater.

2.4 Locatiekeuzes voor praktijkonderzoek

Het wordt onwaarschijnlijk geacht dat de lozing van zout kwelwater tot een lozingspluim zal leiden die gedurende langere tijd de totale breedte van de waterweg zal overbruggen. Lozing van rwzi-effluent kan op kleinere watersystemen wel leiden tot een lozingspluim over de gehele breedte van de waterweg, waardoor vismigratie belemmerd zou kunnen worden.

Ook koelwater lozings hebben in veel gevallen deze potentie door het vaak hoge lozingsdebiet ten opzichte van het debiet van het ontvangend oppervlaktewater, waardoor over de gehele breedte van de waterweg een stijging van de watertemperatuur veroorzaakt kan worden.

Voor praktijkonderzoek naar het gedrag van vis rond lozingspluimen zouden dus lozings van koelwater en rwzi-effluent relevant zijn. Voor de volledigheid is beperkt onderzoek gedaan op een locatie waar 'zout' polderwater geloosd werd, maar hier bleek weinig vis aanwezig en geen sprake van een 'zoute' lozingspluim.

Bij de eerste inventarisatie van koelwaterlozings in het kader van dit project is er van uitgegaan dat de geldende richtlijnen voor koelwaterlozings voldoende garanties bieden voor ongehinderde passage van migrerende vis, omdat dit in de koelwaterrichtlijnen specifiek genoemd wordt. Bovendien bleek het niet eenvoudig om een geschikte veldlocatie te vinden voor onderzoek naar visgedrag rond een koelwaterlozingspluim. Om deze redenen werd afgezien van dergelijk praktijkonderzoek. Uit de in later stadium uitgevoerde worst-case berekeningen blijkt echter dat het achteraf bezien wellicht toch zinvol was geweest om ook koelwaterlozings in het praktijkonderzoek te betrekken.

Uitgebreid praktijkonderzoek is uiteindelijk uitgevoerd rond rwzi-lozingspluimen. Na veldbezoeken werden uiteindelijk vier locaties geselecteerd waar rwzi-lozings duidelijke lozingspluimen veroorzaakten en die geschikt waren voor het onderzoek (Tabel 1).

Het betrof twee relatief kleine zuiveringen (rwzi-Ursem en rwzi-Beemster) beiden lozend op een polder ringvaart met gering afvoerdebiet. De twee andere rwzi's behoren tot de grotere van Nederland. Rwzi-Garmerwolde loost het afvalwater op het Eemskanaal en rwzi-Amsterdam West loost via een zijkanaaltje op de Australië haven aan het Noordzeekanaal. Op grond van berekeningen mag van deze locaties verwacht worden dat de lozingspluimen de gehele breedte van de waterweg kunnen overbruggen. Op de twee kleinere locaties zijn opnames gemaakt van het visgedrag met behulp van een akoestische camera. Bij de twee grootste rwzi's werd gewerkt met van zenders voorziene vissen (telemetrie), bij rwzi Amsterdam-West in combinatie met het gebruik van de akoestische camera.

Tabel 1 Locaties waar het veldonderzoek naar visgedrag werd uitgevoerd. (RWA=Regenweerafvoer)

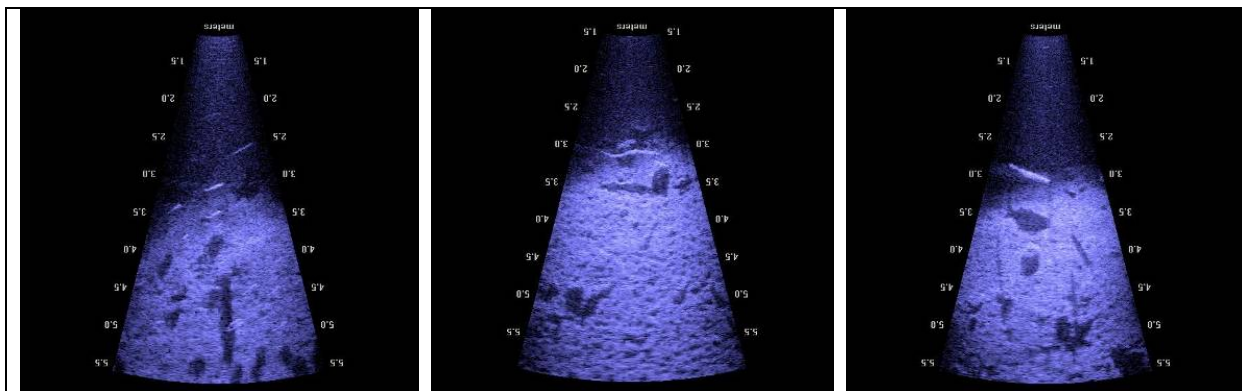
Locatie	RWA-Capaciteit	Ontvangend water	Type onderzoek
Rwzi Ursem	1915 m ³ /uur	Ringvaart	Akoestisch
Rwzi Beemster	3600 m ³ /uur	Ringvaart	Akoestisch
Rwzi Garmerwolde	13500 m ³ /uur	Eemskanaal	Telemetrisch
Rwzi Amsterdam West	30000 m ³ /uur	Noordzeekanaal (via kanaal)	Akoestisch & Telemetrisch

3 Visgedrag rond rwzi-lozingspunten

3.1 Onderzoekstechnieken

Zoals hierboven aangegeven zijn twee onderzoekstechnieken ingezet het gedrag van vissen rond de lozingspluim in beeld te brengen.

De akoestische camera die gebruikt werd om onderwater opnames te maken van het visgedrag is bekend onder de naam DIDSON (Dual frequency IDentification SONar). Het is een hoge resolutie sonar die akoestiek (geluid) gebruikt beelden om te genereren. Deze beelden bevatten voldoende detail om individuele vissen te volgen, de lengte te bepalen en, mits groot genoeg, op soort te brengen (Figuur 3). Omdat de DIDSON geen gebruik maakt van licht, is de apparatuur ook in te zetten in troebel water of in het donker. Met de DIDSON werden per locatie telkens gedurende 30 minuten opnames gemaakt, afwisselend binnen en buiten de invloedssfeer van de lozingspluim. Per locatie werden op twee dagen opnames gemaakt vanaf ca. 15:00 uur tot ca. 22:00 uur, zodat steeds een licht en donker periode in de analyses werd meegenomen. De beelden werden digitaal opgeslagen en later geanalyseerd. Hierbij werd per opnameperiode het aantal waargenomen vissen geteld, gemeten en zoveel mogelijk op soort gebracht. Verder werd de zwemrichting en eventuele verandering van zwemrichting binnen het beeldveld geregistreerd. Hoewel de metingen werden uitgevoerd in het najaar, de periode waarin de volgroeide (schier)aal migreert, werden met de DIDSON nauwelijks alen waargenomen. Het overgrote deel van de waargenomen vissen betrof karperachtigen als brasem en voorn die als lokaal voor het onderzoeksgebied beschouwd mogen worden.



Figuur 3 Voorbeelden van DIDSON opnames (stills) bij de rwzi's. Van links naar rechts : veel kleine vis in de pluim van rwzi Ursem; een aal in de pluim van rwzi Amsterdam west; een brasem in de pluim van rwzi Beemster.

Om meer specifiek het gedrag van migrerende vis te bestuderen is gebruik gemaakt van telemetrische technieken. Hiertoe werden in het najaar van 2009 en 2010 lokale schieralen en in 2009 rivierprikken gevangen en onder narcose van een onderhuidse zender voorzien. Nadat de narcose was uitgewerkt zijn de vissen teruggeplaatst in het water. De alen, die stroomafwaarts naar zee migreren, werden stroomafwaarts van de rwzi geplaatst, de rivierprikken die vanuit zee landinwaarts migreren werden stroomopwaarts van de rwzi uitgezet. Bij het vervolgen van de migratie zouden de vissen dus de rwzi passeren. Door middel van een achttal op strategische plaatsen onder water geplaatste ontvangers kon de verplaatsing van de vissen in een ruim gebied rond de rwzi worden gevolgd.

Uit het onderzoek kwam naar voren dat lokale vissen op een heel andere wijze reageren op een lozingspluim dan migrerende vissen.

3.2 Lokale vissen

Per waarnemingsperiode van 30 minuten werden tussen de 14 en 224 vissen waargenomen (Tabel 2). Er werden (vrijwel) uitsluitend lokale cypriniden (karperachtigen) gezien.

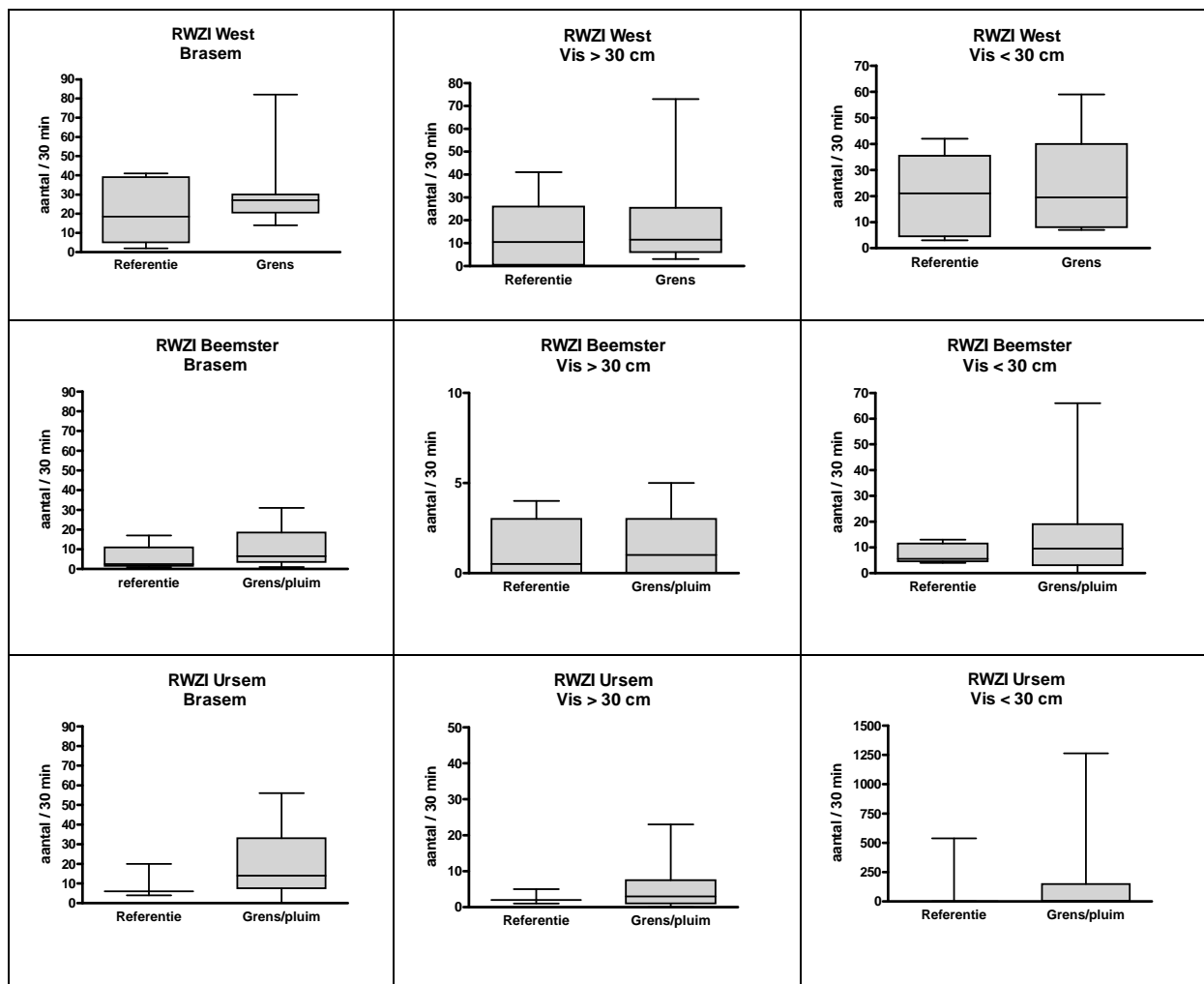
Gemiddeld werden op posities onder invloed van de lozingspluim meer vissen waargenomen. Dit gemiddelde werd vooral beïnvloed door hoge uitschieters in de aantallen vissen die in de pluim werden waargenomen. Op alle posities waren echter waarnemings perioden waarin relatief weinig vis werd gezien. Door deze grote spreiding in de aantallen per waarneming is geen sprake van een significant verschil tussen het totaal aantal waargenomen vissen in de pluim en daarbuiten. Dit is ook het beeld wanneer in meer detail naar de gegevens wordt gekeken. Zowel voor brasem, kleine vis en grote vis worden de hoogste aantalspieken gezien in de pluim. Echter, over alle waarnemings perioden beschouwd zijn de aantallen in de pluim niet significant anders dan erbuiten (Figuur 4).

Ook de samenstelling van de vispopulatie is niet verschillend binnen of buiten de invloed van de pluim (Tabel 2). Vissen kleiner dan 30 cm vormen overal de grootste groep, gevolgd door Brasems. Aal vormde slechts maximaal 2% van de waarnemingen. Bij rwzi-Amsterdam West werden op verschillende momenten nog wel enkele snoekbaarsen waargenomen, waarvan het merendeel zich binnen de invloedssfeer van de lozingspluim bevond. Hieruit kan in elk geval geconcludeerd worden dat ook deze vissen het gebied niet vermijden.

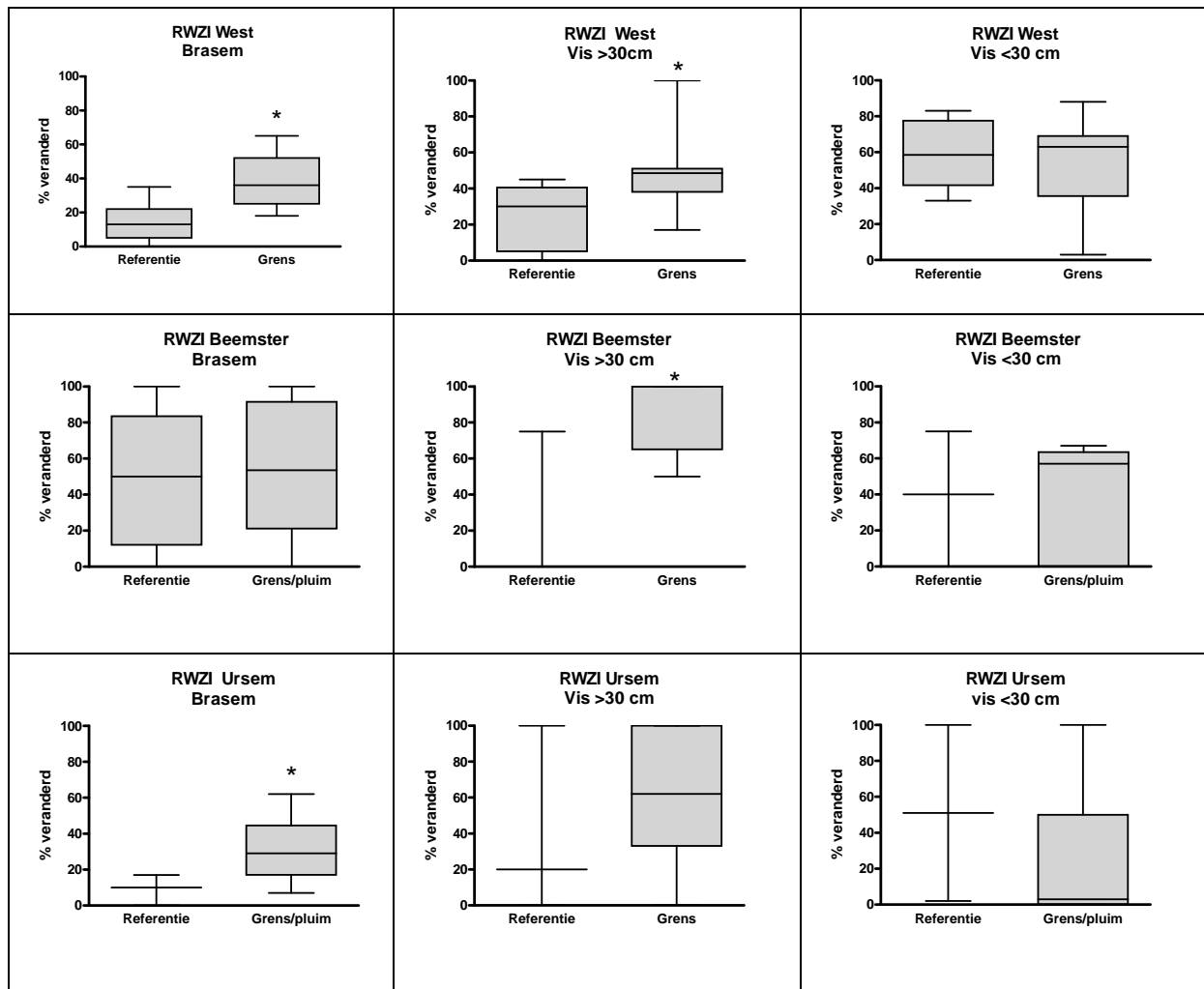
Tabel 2 Aandeel van de verschillende visgroepen in het totaal aantal waargenomen vissen bij de drie rwzi's op posities onder invloed van de lozingspluim (pluim) en daarbuiten (referentie). In de laatste rij is het gemiddelde aantal waargenomen vissen per 30 minuten weergegeven

	rwzi-West		rwzi-Beemster		rwzi-Ursem	
	referentie	pluim	referentie	pluim	referentie	pluim
Brasem	38%	38%	35%	40%	5%	6%
Groter dan 30 cm	23%	24%	8%	5%	1%	3%
Kleiner dan 30 cm	37%	30%	51%	52%	93%	91%
Snoekbaars	0.5%	7%	5%	2%	0%	0%
Aal	2%	1%	1%	2%	0.0%	0.1%
Aantal per 30 min.	54.6	82.9	14.2	30.7	192.7	224.2

Het percentage van de waargenomen vissen dat binnen het gezichtsveld van de DIDSON van zwemrichting veranderde toont geen eenduidig beeld (Figuur 5). De waargenomen brasems en vissen groter dan 30 cm in de pluim van rwzi-Amsterdam West en de brasems bij rwzi-Ursem veranderden significant ($p < 0.05$) vaker van zwemrichting dan dezelfde visgroep in hetzelfde gebied buiten de invloedssfeer van de pluim. Voor de overige groepen waren verschillen in zwemgedrag niet aantoonbaar. De interpretatie van deze gegevens is lastig. De ligging van de 'pluimgrens' varieert sterk in de tijd onder invloed van het lozingsdebiet en de waterbeweging van het ontvangend water. Een verandering van zwemrichting hoeft dan ook niet per definitie te betekenen dat de vis de lozingspluim tracht te ontwijken. Als dit het geval zou zijn zou dit ook tot uiting moeten komen in lagere aantallen viswaarnemingen in de pluim, hetgeen zeker niet het geval is. Het is niet uit te sluiten dat deze vissen de invloedssfeer van de lozing juist opzoeken, mogelijk vanwege het lokaal verhoogde voedselaanbod als gevolg van het nutriëntenrijke afvalwater. Om in het lozingsgebied te blijven zullen deze vissen binnen een beperkt gebied heen en weer moeten zwemmen. Dit zal dan leiden tot meer verandering van zwemrichting in het beeldveld van de DIDSON en mogelijk zelfs tot meer waarnemingen in het algemeen, doordat dezelfde vis het beeldveld verlaat en er vervolgens weer in terugkeert. Dit zou (een deel van de) hoge aantallen viswaarnemingen in de invloedssfeer van de lozingspluimen kunnen verklaren.



Figuur 4 'Box & whiskers plots' van aantallen in het beeldveld van de DIDSON waargenomen vissen per 30 minuten bij de verschillende rwzi's op posities buiten invloed van de lozingspluim (Referentie) en onder invloed van de lozingspluim (Grens/pluim). De B&W plots zijn samengesteld uit het geometrisch gemiddelde (horizontale lijn), 25 en 75 percentiel (de box), range van de waarnemingen (verticale lijn). Significante afwijkingen ($p < 0.005$) van de referentie deden zich niet voor.



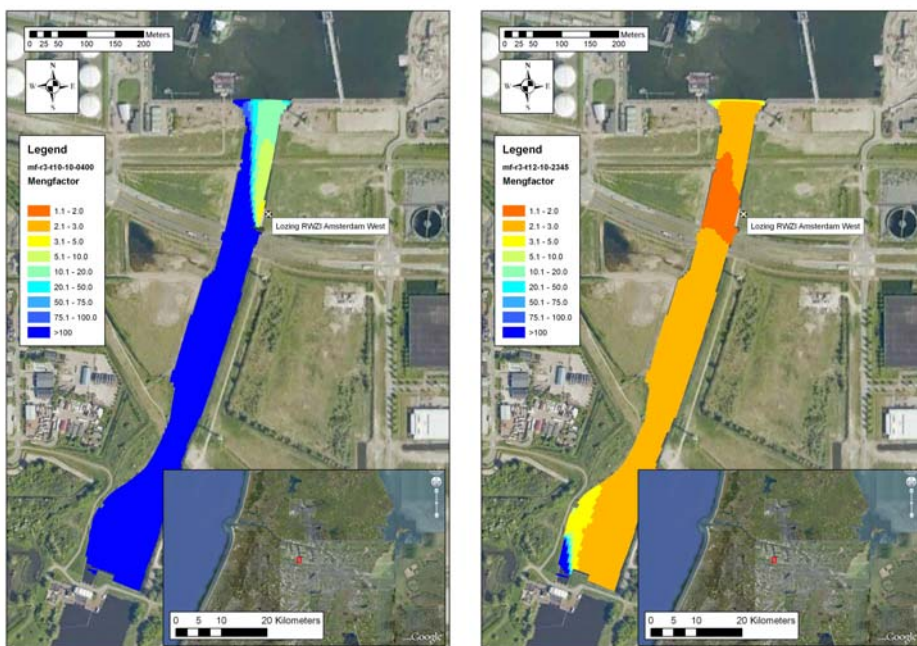
Figuur 5 'Box & whiskers plots' van het percentage van de per 30 minuten per rwzi waargenomen vissen dat in het beeldveld van de DIDSON van zweemrichting veranderde op posities buiten invloed van de lozingspluim (Referentie) en onder invloed van de lozingspluim (Grens/pluim). De B&W plots zijn samengesteld uit het geometrisch gemiddelde (horizontale lijn), 25 en 75 percentiel (de box), range van de waarnemingen (verticale lijn). Significante afwijkingen ($p < 0.005$) van de referentie zijn aangegeven met '*'.

3.3 Migrerende vissen

Voor het onderzoek naar migrerende vissen is in het najaar van 2009 en 2010 onderzoek uitgevoerd bij rwzi Garmerwolde in het Eemskanaal en in het najaar van 2010 bij rwzi Amsterdam West bij Halfweg. Beide rwzi's hebben de potentie om een lozingspluim te vormen die de gehele waterbreedte overbrugt. Telkens werden 20 lokaal gevangen schieralen voorzien van een zender en stroomopwaarts van het rwzi lozingspunt weer uitgezet. In 2009 werden bovendien 14 rivierprikken van zenders voorzien en stroomafwaarts van de rwzi uitgezet.

In 2009 werden in het Eemskanaal van de 20 gezenderde schieralen 18 exemplaren op hun tocht langs de rwzi gedetecteerd. In 2010 was dit het geval voor alle 20 exemplaren. Van de gezenderde rivierprikken werden slechts 3 exemplaren teruggezien. In het water rond rwzi Amsterdam West werden ook alle van zenders voorziene schieralen gedetecteerd.

De gedragingen van de schieralen konden direct gelinkt worden aan de gemodelleerde dynamiek van de lozingspluim op hetzelfde moment. De zwempatronen van de gezenderde schieralen lieten een grote variatie in individuele gedragspatronen zien. Deels zal dit zijn oorzaak vinden in verschil in motivatie van de schieralen. In andere studies is gebleken dat 10-20% van de schieraal in de grote rivieren, na van een zender te zijn voorzien, pas een jaar later vertrekt (Winter et al. 2006, Winter et al. 2007). Vooral op de locatie bij rwzi-Amsterdam West leken de alen weinig gemotiveerd om het afvoerkanaal te verlaten en de Afrikahaven binnen te zwemmen op weg naar het Noordzee kanaal. Hoewel het onmiskenbaar schieralen betrof. Mogelijk werden zij verstoord door de vele activiteiten die in de haven plaatsvonden. Omdat de alen in het afvoerkanaal bleven rondzwemmen en de lozingspluim uit de rwzi soms het gehele kanaal beïnvloedde (Figuur 6) was de reactie op de lozingspluim hier onduidelijk.



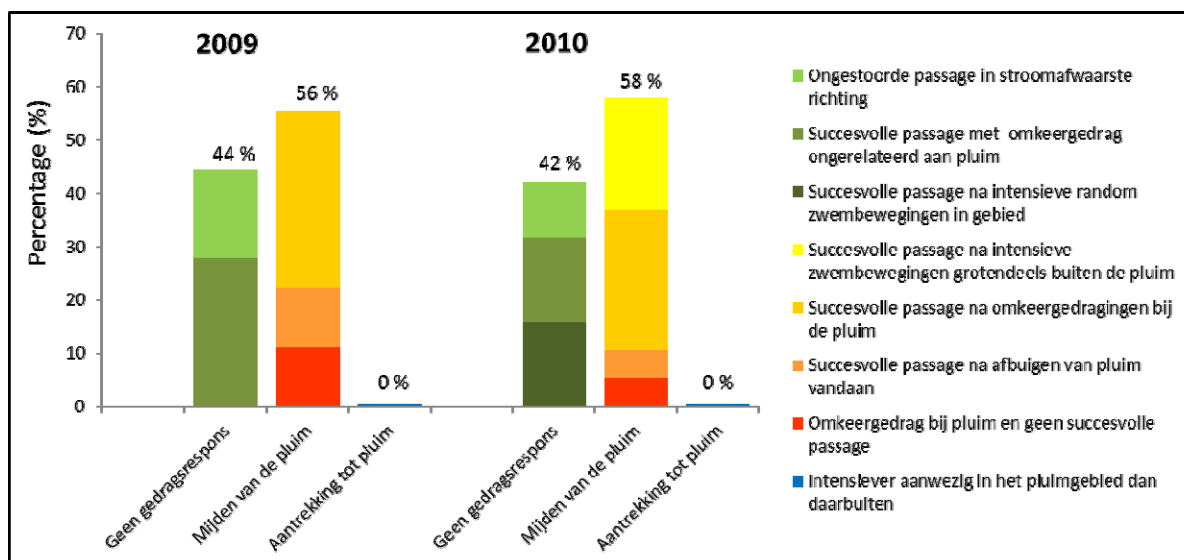
Figuur 6 Pluimverspreidingsberekening van rwzi-Amsterdam-West in een doodlopende kanaaltak van het Noordzeekanaal (10 okt. 04:00-links., 11 okt. 23:45-rechts). Verklaring 'mengfactor': 1=onverdund effluent, 10=10xverdund effluent.

Ook de onder het gedrag van de alen in het Eemskanaal bestonden individuele verschillen. Mogelijk als gevolg van verschillen tussen individuele vissen in de gevoeligheid voor de prikkels die door de lozingspluim worden veroorzaakt. Recent onderzoek aan gedrag van schieralen bij nadering van een gemaal met krooshek bij IJmuiden laat ook een dergelijke variatie in respons op verschillende opeenvolgende prikkels zien (van Keeken et al. 2011).

Globaal komt het gedrag van de schieralen bij passage van de rwzi Garmerwolde in de jaren 2009 en 2010 sterk overeen (Figuur 7). In beide jaren vertoonde een kleine 60% een gedragsrespons bij de eerste ontmoeting met de effluentpluim. Deze gedragsrespons kan worden onderscheiden in de volgende categorieën:

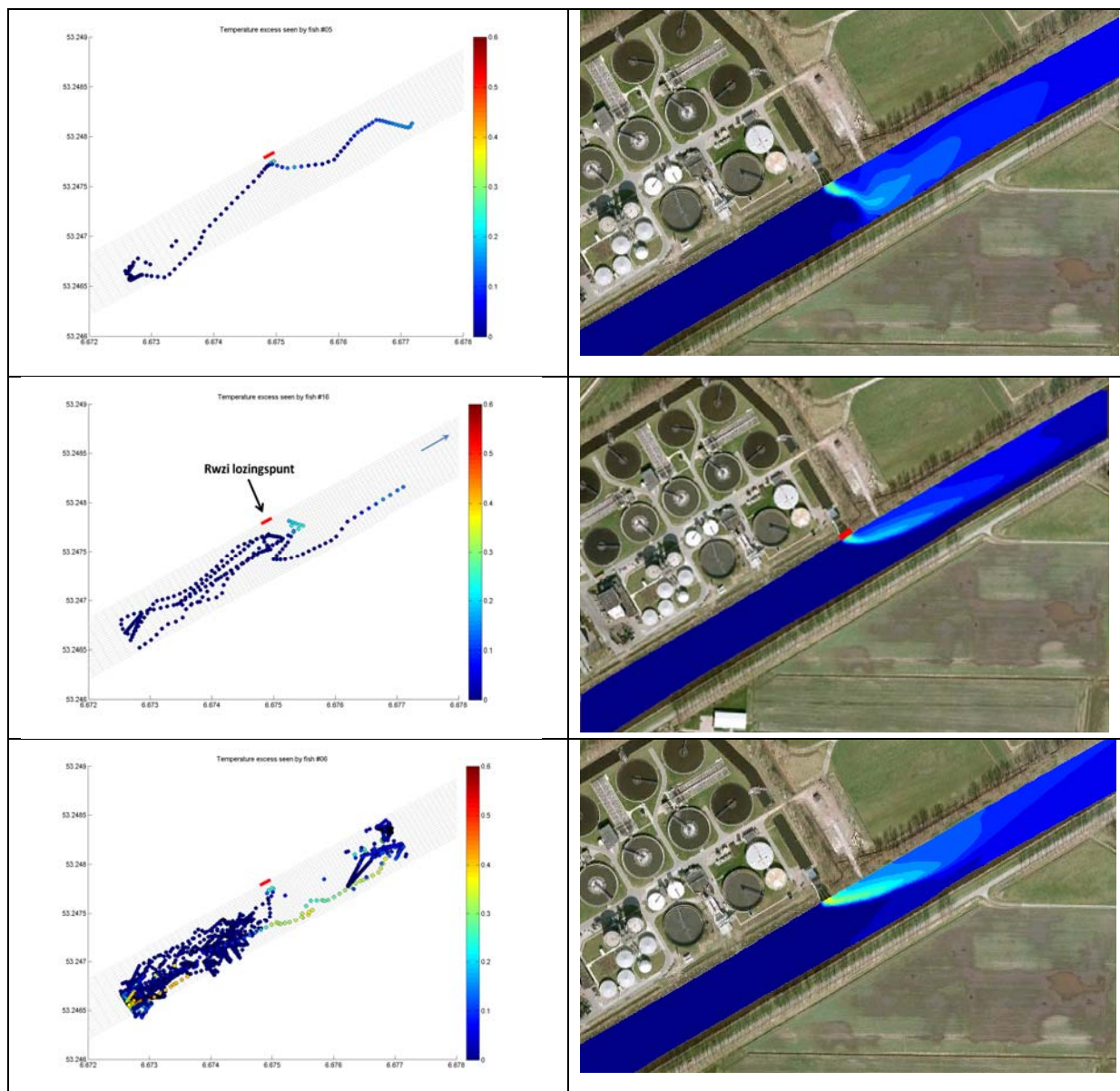
- in één stroomafwaartse beweging het gebied passeren maar afbuigen bij het (schuinlopende) pluimfront (Figuur 8 boven);
- terugkeergedrag na confrontatie met het pluimfront waarbij de meeste vissen uiteindelijk stroomafwaarts passeerden (**Error! Reference source not found.** midden), maar een klein deel (5-10 % van alle gezenderde schieralen) niet verder stroomafwaarts trok;
- extensieve benutting van het telemetriegebied maar met een duidelijke voorkeur voor het gebied buiten de invloedsfeer van de lozingspluim (Figuur 8 onder).

Iets minder dan de helft (44% in 2009 en 42% in 2010) van de schieralen vertoonde geen gedragsrespons ten opzichte van de pluim.



Figuur 7 Gedragsreacties van de gezenderde schieralen tijdens het passeren van rwzi Garmerwolde in het Eemskanaal in het najaar van respectievelijk 2009 en 2010. Per periode werden 20 gezenderde schieralen uitgezet.

Opvallend was dat de in 2009 met zenders uitgeruste rivierprikken geen enkele reactie op de lozingspluim in het Eemskanaal lieten zien. Mogelijk omdat deze vissen stroomopwaarts migreren en dus de lozingspluim van de zijde benaderen waar geen sprake is van een scherpe overgang.



Figuur 8 Voorbeelden van zwemgedrag van schieralen bij benadering van de lozingspluim uit rwzi Garmerwolde in het Eemskanaal. In de linkerkolom is de positie van de vis in het kanaal weergegeven (blauwe stippen) ten opzichte van het lozingspunt (rode streepje) en watertemperatuur (als maat voor de effluentconcentratie) waarin het dier zich bevond zoals uitgerekend op basis van het gemodelleerde gedrag van de pluim. In de rechterkolom is de gemodelleerde invloedsfeer van de lozingspluim weergegeven op het moment dat de vis de rwzi passeert.

4 Praktijk toepassingen

4.1 Lozingspluimen als barrière

Uit het onderzoek in het Eemskanaal blijkt zowel in 2009 als in 2010 dat ruim de helft van de migrerende schieraal een respons vertoont bij de passage van het rwzi-lozingspunt. Uiteindelijk blijkt 90% van de alen het punt toch te passeren, al dan niet met enige vertraging. De effluentpluimen blijken zeer dynamisch in de tijd te zijn, met name door variatie in afvoer in de watergangen en door variatie (dag nacht ritmiek) in het lozingsdebiet van de rwzi. Hierdoor zullen er in de tijd veelal migratievensters beschikbaar blijven voor trekkende vis omdat de pluim de watergang periodiek onvolledig afdekt en zodoende passeermogelijkheden geeft.

Het grootste deel van de Nederlandse rwzi's lijkt bovendien niet de potentie te hebben om gedurende lange tijd de gehele doorsnede van een watergang te overbruggen. Het is daardoor waarschijnlijk dat de meeste rwzi's geen continue belemmering voor vismigratie veroorzaken. In specifieke gevallen waar sprake is van een onevenredig lozingsdebiet ten opzichte van het afvoer debiet van het ontvangende oppervlaktewater, zoals mogelijk in de Vecht het geval is, kan overwogen worden de lozingspluim langs de oever af te buigen of over te gaan tot discontinu lozen.

Hoewel de beleidsrichtlijnen vismigratie als factor meewegen, is toch niet uit te sluiten dat een aantal koelwaterlozingen in Nederland de potentie heeft om een migratie-barrière voor vis te vormen. Deze aanname is gebaseerd op worst-case berekeningen die vrijwel zeker een overschatting van de werkelijke situatie laten zien. De impact van koelwaterlozingen in de praktijk is niet in het kader van dit project onderzocht, om eerder genoemde redenen.

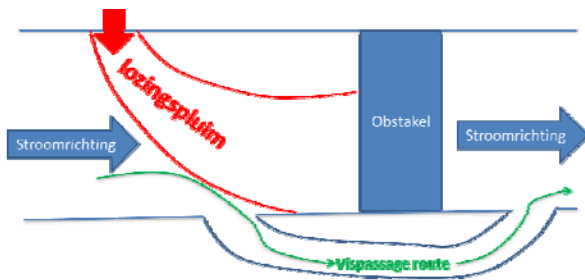
De lozingen van zilt water vanuit poldergemalen zal naar verwachting nergens aanleiding geven tot een omvangrijke stabiele lozingspluim die vismigratie kan belemmeren.

4.2 Lozingspluimen als visgeleider

Hoewel het aantal waarnemingen zeer gering is, bleken de stroomopwaarts migrerende rivierprikken zich niets van dezelfde lozingspluim aan te trekken. Mogelijk is een lozingspluim alleen geschikt voor geleiding van stroomafwaarts migrerende vissen omdat deze met de scherpe overgang in de veranderde water karakteristieken worden geconfronteerd. Vissen die een lozingspluim stroomopwaarts naderen zullen een geleidelijke verandering van de waterkarakteristieken ervaren.

Stroomafwaarts migrerende vissen zoals schieraal worden wel met een scherpe overgang geconfronteerd. Meer dan de helft van de schieralen vertoonde dan ook vermijdingsgedrag bij contact met de rwzi-lozingpluim. Hierdoor kunnen effluentpluimen potentieel ingezet worden voor de geleiding van stroomafwaarts migrerende vissen. Bijvoorbeeld om de vissen te sturen naar vispassages langs gevaarlijke situaties die sterfte of schade kunnen veroorzaken, zoals koelwaterinlaten, gemalen en waterkrachtcentrales (Figuur 9).

Onze resultaten suggereren dat daarbij tot ruim 50% efficiëntie in geleiding behaald zou kunnen worden. Het is niet uitgesloten dat dit percentage hoger kan liggen als de pluim speciaal voor visgeleiding wordt ontworpen en daardoor mogelijk stabiel is dan de reguliere lozingspluimen uit rioolwaterzuiveringsinstallaties.



Figuur 9 Voorbeeld hoe een lozingspluim zou kunnen worden ingezet om stroomafwaarts migrerende schieraal langs een waterkrachtcentrale of ander obstakel te leiden.

5 Conclusies

Uit het onderzoek komt naar voren dat lozingen van koelwater en in mindere mate lozingen van rwzi-effluent de potentie hebben om pluimen te vormen die de gehele watergang voor langere tijd kunnen overbruggen. Hierbij is echter uitgegaan van eenvoudige berekeningen die een totale menging veronderstellen. Omdat het warmere koelwater vanwege dichtheidsverschillen de neiging zal hebben aan het oppervlak te blijven is het mogelijk dat onder de lozingspluim migratie routes blijven bestaan. Omdat geen geschikte locatie kon worden gevonden is geen veldonderzoek uitgevoerd rond een koelwaterlozing.

Lozingen uit rwzi's zijn wel in het veld onderzocht. Hierbij bleek dat de lokale vispopulatie een rwzi-lozingspunt zeker niet vermijdt en deze mogelijk zelfs opzoekt om te foerageren. Echter, meer dan de helft van de migrerende schieralen waarvan het zwemgedrag langs het lozingspunt telemetrisch werd gevolgd, bleek bij contact met de lozingspluim een duidelijk vermijdingsgedrag te vertonen. Doordat de alen stroomafwaarts migreren worden zij bij passage van het lozingspunt geconfronteerd met de scherpe grens van de lozingspluim. Enkele rivierprikken die dezelfde lozingspluim vanuit stroomopwaartse richting tegemoet zwommen en daardoor geleidelijk met een toenemende effluentconcentratie werden geconfronteerd, vertoonden geen enkele reactie.

De onderzochte effluentpluimen bleken zeer dynamisch in de tijd te zijn, door variatie in afvoer in de watergangen en in het lozingsdebiet (dag/nacht ritmiek) van de rwzi. Hierdoor blijven er in de tijd migratievensters beschikbaar en bleek 90% van de alen het lozingspunt uiteindelijk toch (met vertraging) te passeren. Het is daardoor waarschijnlijk dat de meeste rwzi's geen continue belemmering voor vismigratie veroorzaken. In specifieke gevallen waar sprake is van een onevenredig lozingsdebiet ten opzichte van het afvoerdebiet van het ontvangende oppervlaktewater kan worden overwogen de lozingspluim langs de oever af te buigen of over te gaan tot discontinu lozen, om het ontstaan van migratievensters te stimuleren.

Rwzi-effluentpluimen hebben de potentie om ingezet te worden voor de geleiding van stroomafwaarts migrerende vissen, zoals schieraal. Bijvoorbeeld naar veilige passeermogelijkheden langs gevaarlijke situaties zoals koelwaterinlaten, gemalen en waterkrachtcentrales. Onze resultaten suggereren dat met normale rwzi-lozingspluimen tot ruim 50 % efficiëntie in geleiding behaald zou kunnen worden. Mogelijk kan met speciaal hierop ingerichte lozingspluimen een hogere efficiëntie bereikt worden.

6 Dankwoord

Wij zijn onderstaande personen en instanties dankbaar voor hun bijdrage aan het project:

Arjen Kikkert (Rijkswaterstaat Noord-Holland),
Lucienne Vuister en Brous Ernst (Hoogheemraadschap van Rijnland),
Robin Bos en Gert van Ee (Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier)
Peter Paul Schollema (Hoogheemraadschap Hunze en Aa's),
Eelke de Jong (Waterschap Noorderzijlvest),
Peter Piekema en Synco Tee (Waternet),
Peter van Dijk (Haven Amsterdam)
Dju Bijstra en Frans Kerkum (Rijkswaterstaat Waterdienst)

7 Kwaliteitsborging

IMARES beschikt over een ISO 9001:2008 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem (certificaatnummer: 57846-2009-AQ-NLD-RvA). Dit certificaat is geldig tot 15 december 2012. De organisatie is gecertificeerd sinds 27 februari 2001. De certificering is uitgevoerd door DNV Certification B.V. Daarnaast beschikt het chemisch laboratorium van de afdeling Milieu over een NEN-EN-ISO/IEC 17025:2005 accreditatie voor testlaboratoria met nummer L097. Deze accreditatie is geldig tot 27 maart 2013 en is voor het eerst verleend op 27 maart 1997; deze accreditatie is verleend door de Raad voor Accreditatie.

8 Referenties

- Atchison GJ, Henry MG, Sandheinrich MB (1987) Effects of metals on fish behaviour: a review. *Env Biol Fish* 18: 11–25
- Atland A (1998) Behavioural responses of brown trout, *Salmo trutta*, juveniles in concentration gradients of pH and Al: a laboratory study. *Env Biol Fish* 53: 331–345.
- Gray RH (1983) Behavioural response of fish to altered water quality: a review of selected examples with emphasis on salmonids. *Environ Impact Assess Rev* 4: 84–96.
- James, A. & Joy, M., 2008. A preliminary assessment of potential barriers to fish migration in the Manawatu River catchment, North Island, New Zealand. Massey University report 437-HZLC45.
- Johnson EL, Clabough TS, Peery CA, Bennett DH, Bjornn TC, Caudill CC, Richmond MC, 2007. Estimating adult Chinook salmon exposure to dissolved gas supersaturation downstream of hydroelectric dams using telemetry and hydrodynamic models. *RIVER RESEARCH AND APPLICATIONS* 23 (9): 963-978.
- Keeken O.A. van, D. Burggraaf en H.V. Winter (2011): Gedrag van schieraal rond een viswering met stroboscooplampen bij gemaal IJmuiden. DIDSON metingen. Rapport C072.11
- Kemp, P.S., O'Hanley, J.R., 2010. Procedures for evaluating and prioritising the removal of fish passage barriers: a synthesis. *Fisheries Management and Ecology* 17, 297–322.
- Kerkum, L.C.M., A. bij de Vaate, D. Bijstra, S.P. de Jong en H.A. Jenner (2004). Effecten van koelwater op het zoete aquatische milieu. RIZA rapport 2004.033
- Maes J, Stevens M, Breine J, 2008. Poor water quality constrains the distribution and movements of twaite shad *Alosa fallax fallax* (Lacepede, 1803) in the watershed of river Scheldt. *HYDROBIOLOGIA* 602: 129-143
- Rijkswaterstaat (2004). CIW beoordelingssystematiek warmtelozingen. Ministerie van Verkeer en Waterstaat
- Rijkswaterstaat (2008). Ruim baan voor trekvis. Ecologisch herstel Nieuwe Waterweg en Nieuwe Maas. Rijkswaterstaat Dienst Zuid-Holland
- Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden (2009): 548, Besluit van 30 november 2009 houdende regels met betrekking tot het beheer en gebruik van watersystemen (Waterbesluit)
- Thorstad, E.B., Okland F., Aarestrup K., Heggberget T.G., 2008. Factors affecting the within-river spawning migration of Atlantic salmon, with emphasis on human impacts. *Rev. Fish Biol. Fisheries* 18: 345-371.
- Thorstad, E.B., Torbjorn, F., Aasestad I., Okland F., Johnsen B.O., 2005. In situ avoidance response of adult Atlantic salmon to waste from wood pulp industry. *Water, Air and Soil Pollution* 165: 187-194.
- Winter, H.V., Jansen, H.M. & Bruijs, M.C.M., 2006. Assessing the impact of hydropower and fisheries on downstream migrating silver eel, *Anguilla anguilla*, by telemetry in the River Meuse. *Ecology of Freshwater Fish* 15: 221-228.
- Winter, H.V., H.M. Jansen & A.W. Breukelaar, 2007. Silver eel mortality during downstream migration in the River Meuse, a population perspective. *ICES Journal of marine Science* 64: 1444-1449.

Verantwoording

Rapport C077/11

Projectnummer: 4305103601

Dit rapport is met grote zorgvuldigheid tot stand gekomen. De wetenschappelijke kwaliteit is intern getoetst door een collega-onderzoeker en het betreffende afdelingshoofd van IMARES.

Akkoord: Drs. J.E. Tamis
Onderzoeker

Handtekening:



Datum: 29 september

Akkoord: Drs. J.H.M. Schobben
Afdelingshoofd

Handtekening:



Datum: 29 september 2011