

# Inventarisatie van lozingspluimen als potentiële migratie-barrière

E.M. Foekema, A.D. Rippen, D.M.E. Slijkerman

Rapport C078/11



## 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

# Inhoudsopgave

1	Lozingspluimen als potentiële barrière voor vismigratie .....	4
2	Koelwaterlozingen .....	5
2.1	Achtergrond .....	5
2.1.1	Wet en regelgeving .....	5
2.1.2	Visgedrag en temperatuur .....	6
2.2	Methoden .....	7
2.3	Resultaten .....	8
2.4	Conclusies koelwaterlozingen .....	14
3	Saliniteitspluimen .....	15
3.1	Achtergrond .....	15
3.2	Inventarisatie .....	16
3.3	Conclusie saliniteitspluimen .....	17
4	Rwzi-lozingen .....	18
4.1	Achtergrond .....	18
4.2	Inventarisatie .....	19
4.2.1	Berekeningsmethode .....	19
4.2.2	Gegevens rwzi's en oppervlaktewateren .....	19
4.3	Resultaten .....	21
4.4	Conclusies rwzi-lozingen .....	24
5	Conclusies .....	25
6	Referenties .....	26
	Kwaliteitsborging .....	27
	Verantwoording .....	28

# 1 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. 2007). 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 fysische componenten kunnen waarnemen en hierop reageren (Gray 1983, Atchison 1987, Atland 1998), maar dergelijk ontwijkgedrag is in de vrije natuur slechts zeer zelden bestudeerd (Thorstad et al. 2007, Thorstad et al. 2005). In hoeverre lozingspluimen vismigratie belemmeren door ontwijkgedrag is momenteel derhalve nog vrijwel onbekend.

Het is echter aannemelijk dat (migrerende) vissen in het veld ook 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 koelwater, lozing van zout (kwel)water, lozing van effluent uit een rioolwaterzuiveringsinstallatie (rwzi).

## 2 Koelwaterlozingen

### 2.1 Achtergrond

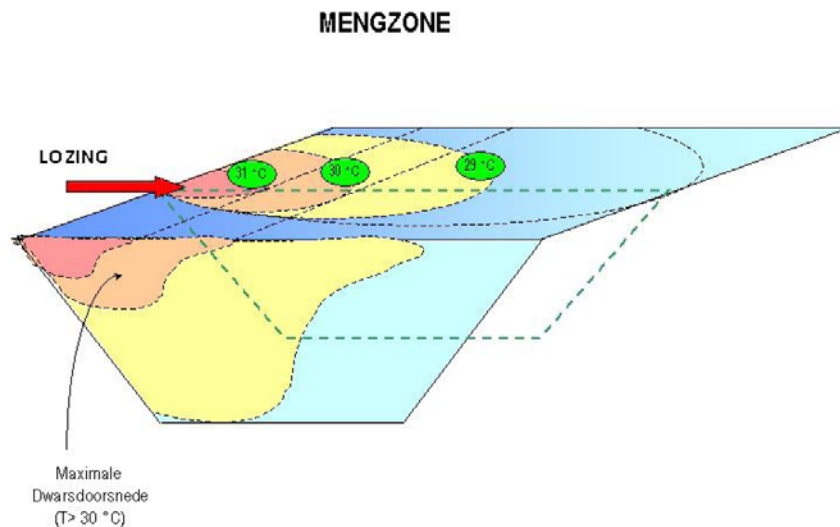
Menselijke activiteiten zoals onttrekking van water, gebruik van oppervlaktewater voor koelwater en lozingen van warm afvalwater hebben invloed op de temperatuur van een watersysteem (van der Grinten et al., 2007). Het is bekend dat grootschalige onttrekking van oppervlaktewater voor koeling kan leiden tot sterfte onder waterorganismen inclusief vissen (FWVO, 1996). Het project een Pluim voor Vismigratie richt zich echter op de effecten van de lozing van het opgewarmde koelwater op het watersysteem. De nadruk ligt daarbij op vermijddgedrag dat migrerende vissen zouden kunnen vertonen als zij met een warmwaterpluim geconfronteerd worden.

#### 2.1.1 Wet en regelgeving

Vanaf 1975 zijn normen en richtlijnen van toepassing op het lozen van koelwater. Het beleid met betrekking tot het lozen van warmte op oppervlaktewateren voor Rijkswateren wordt geregeld via de ABK-richtlijnen (Algemene Beraadsgroep Koelwater; Kerkum et al., 2004). Voor het ontvangende zoete oppervlaktewater geldt dat het verschil tussen de in- en uitlaat ( $\Delta T$ : de temperatuursprong in het koelsysteem) in de zomermaanden de waarde van 7°C niet mag overschrijden. De temperatuur van het koelwater in het koelsysteem mag maximaal 30°C zijn, wat tevens het ER-niveau (Ernstig Risico) is. Wanneer de inlaattemperatuur hoger is dan 23°C moet de temperatuursprong uiteraard kleiner zijn dan 7°C. In de winter mag het temperatuurverschil maximaal 15°C bedragen (bij een inlaattemperatuur van 0°C). Tussen zomer- en wintersituatie is een geleidelijke overgang mogelijk (Rijkswaterstaat, 2004). De omvang van de warmtelozing is gerelateerd aan de spreiding in en de omvang van het ontvangende water, waarbij koeltechnische eigenschappen van het ontvangende water de belastbaarheid met warmte bepalen. Voor rivieren geldt dat de temperatuurverhoging over het dwarsprofiel niet meer mag bedragen dan 3 °C ten opzichte van de achtergrondtemperatuur na volledige menging. Bij een pluim is er dus altijd sprake van een hogere  $\Delta T$ . De 3°C-grens is van toepassing op water voor karperachtigen (de functie van het overgrote deel van de Nederlandse zoete wateren; Kerkum et al., 2004). In water voor schelpdieren geldt 2°C als maximale temperatuurverhoging en in water voor zalmachtigen is dit 1,5°C. Daarbij zijn de maximumtemperaturen gesteld op respectievelijk 28°C, 23°C en 21,5°C. De effecten van een koelwaterlozing op het ontvangende water zijn te illustreren aan de hand van een formule. Deze toetst de omvang van de mengzone, dat deel rond het lozingspunt waar het geloosde koelwater zich mengt met oppervlaktewater (zie Figuur 1). De mengzone mag in een waterloop niet zodanig groot zijn dat deze niet meer passeerbaar is. Daarom is vastgesteld dat de mengzone maximaal 25% van de natte dwarsdoorsnede van de waterloop mag omvatten (Rijkswaterstaat, 2004):

$$\text{Mengzone} = Q_{\text{koelwater}} / Q_{\text{afvoer}} * (1 + (T_{\text{lozing}} - \text{ER}) / (\text{ER} - T_{\text{achtergrond}}))$$

De formule is gebaseerd op de menging van het geloosde koelwater ( $Q_{\text{koelwater}}$  in m<sup>3</sup>/s) met het ontvangende oppervlaktewater ( $Q_{\text{afvoer}}$  in m<sup>3</sup>/s) tot een temperatuur die gelijk is aan het ER. Er wordt uitgegaan van een volledige menging, waarbij er geen verschil is tussen stromende en stagnante wateren (Rijkswaterstaat 2004). Warme zomerperiodes en zeer lage waterafvoeren kunnen de koelcapaciteit van het oppervlaktewater verlagen, waardoor er eventueel een tijdelijke verhoging van de lozingstemperatuur is toegestaan (Saft, 1996). Overschrijding van het ER-niveau (30 °C) mag onder bepaalde voorwaarden alleen plaatsvinden in de maanden juli en augustus. Op deze manier zou voldoende ruimte overblijven voor migrerende vissen die zich doorgaans in voor en najaar over de rivier verplaatsen (Rijkswaterstaat, 2004).



Figuur 1 Impressie van een koelwaterpluim (Rijkswaterstaat, 2004).

### 2.1.2 Visgedrag en temperatuur

Het effect van een koelwaterlozing op het ontvangende water komt tot uiting in de mengzone (de koelwaterpluim. Deze pluim, die een hogere temperatuur heeft dan het ontvangend oppervlaktewater, kan verschillende vormen aannemen en zodoende diverse gevolgen hebben voor het aquatisch ecosysteem, inclusief de vis. Een verticale pluim -die tot op de bodem reikt- kan een belemmering zijn voor vissen in de gehele waterkolom, wanneer ze vanwege het opgewarmde water voor lagere temperaturen naar een andere diepte willen uitwijken. Een horizontale pluim -die zich over de gehele breedte van het wateroppervlak uitstrekt- kan de corridor sluiten die vissen nodig hebben tijdens migratie. Wanneer het koelwater echter als een dunne laag op het water ligt kan de vis eventueel uitwijken naar lagere temperaturen op grotere diepte (Holthaus et al., 2003). Om deze reden zijn in de huidige richtlijnen bepalingen opgenomen om te voorkomen dat de gehele breedte van waterweg teveel wordt opgewarmd (zie boven).

De literatuur beschrijft veel over sterfte van organismen als gevolg van de opwarming van oppervlaktewater (i.e. de letale temperatuur). Ook is het gedrag onderzocht van standvissen rond lozingspunten. De uitlaat blijkt vaak een aantrekkende werking te hebben door lokale hogere temperaturen, een hoger voedselaanbod en stroming. Uit onderzoek bij de Flevocentrale aan het IJsselmeer blijkt dat lokale vissen inderdaad door de warme lozingspluim worden aangetrokken. De visdichtheid was 200x hoger bij lozingspunten in vergelijking met andere meetpunten in het meer. De conditie van de vissen ging echter achteruit naarmate de temperatuur hoger werd, wat zich uitte in meer bacteriële infecties aan de vinnen en de huid (Kerkum et al., 2003).

Wat betreft het effect van koelwaterpluimen op migrerende vissen is er aanzienlijk minder onderzoek gepubliceerd. Toch zijn er enkele onderzoeksresultaten waaruit mogelijke effecten van de warmtepluim op visgedrag kan worden afgeleid. Zo is het voor zalmachtigen van belang dat de watertemperatuur in het voorjaar niet hoger is dan 21,5°C. In april/mei vindt namelijk de stroomafwaartse trek plaats van smolts -jonge vissen die de rivier verlaten om naar zee te trekken- vanuit bovenstroomse locaties in het stroomgebied van de Rijn en de Maas (Kerkum et al., 2003). In deze periode is de natuurlijke watertemperatuur nog laag (10-15°C) en gunstig voor de jonge vissen. Uit laboratoriumexperimenten, met een gesimuleerde koelwaterpluim van  $\Delta T < 7\text{ °C}$  en een achtergrondtemperatuur van 14-15°C, blijkt dat de afkeerreactie van zalmsmolts voor het warme water toenam tussen een  $\Delta T$  van 4 en 7°C. Jonge beekforel vertoonde al een afkeerreactie voor het warme water vanaf een  $\Delta T$  van 1°C. Uiteindelijk bleek

dat jonge salmoniden een koelwaterpluim kunnen detecteren en vermijden (Kerkum et al., 2004, naar Haddingh, 1994: KEMA rapport 63887-KES/WBR 94-3114). Wat het werkelijke gedrag van de vissen in de rivier is, zal afhangen van aanvullende factoren zoals de eigenschappen van de pluim (omvang, vorm, gradiënt), eigenschappen van het ontvangende water (stromend of stilstaand) en of deze ruimte overlaten voor eventueel ontwijkgedrag.

Voor volwassen salmoniden is het bij stroomopwaartse migratie van belang dat het verschil in watertemperatuur tussen het zeewater en het rivierwater niet te groot is. Door thermische lozingen zou het uitstromende rivierwater met een verhoogde temperatuur en mogelijk verlaagde zuurstofgehalte de lokstroom voor migratie kunnen beïnvloeden, omdat voor sommige soorten de watertemperatuur de intrek initieert. Verhoogde temperaturen kunnen leiden tot vervroegde intrek of het missen van het intrekmoment (Holthaus et al., 2003). Vanuit Britse estuaria blijken salmoniden echter bij temperatuurverschillen van 3°C tot 9°C zonder belemmering de warmere rivier op te zwemmen (Kerkum et al., 2004).

Over een van de belangrijkste migrerende vissen in de Nederlandse zoete wateren, de aal of paling, is te weinig literatuur gevonden om er hier in de context van gedrag en watertemperatuur uitspraken te kunnen doen.

## 2.2 Methoden

Voor onder andere de zalm (*Salmo salar*), de zeeforel (*Salmo trutta*) en de aal (*Anguilla Anguilla*) vormen de Nederlandse rivieren (Maas, Schelde, Overijsselse Vecht en Rijn) een verbinding tussen de zee en de rivieren in Duitsland, België en Frankrijk. Voor deze vissoorten, met een nadrukkelijke migratiebehoefte, is het van groot belang dat ze hun passageroutes kunnen nemen om hun levenscyclus te volbrengen (Kroes et al., 2008).

Door nu de eerder gepresenteerde mengzone-formule:

$$(\text{Mengzone} = Q_{\text{koelwater}} / Q_{\text{afvoer}} * (1 + (T_{\text{lozing}} - ER)/(ER - T_{\text{achtergrond}})))$$

toe te passen op bestaande lozingsgegevens van bedrijven, kan een scenario-schets aantonen of er passagemogelijkheden zijn voor vissen (Rijkswaterstaat, 2004). Omdat het overgrote deel van Nederlandse zoete wateren de functie heeft 'water voor karperachtigen', is er gekeken of er bij 3°C opwarming überhaupt nog ruimte overblijft voor passage (of dat de gehele dwarsdoorsnede zodanig wordt opgewarmd dat er geen uitweg meer is). Daarnaast is er kritischer gekeken naar de opwarming in verband met 'water voor zalmachtigen', wat volgens de huidige wet- en regelgeving dus een maximale opwarming van het watersysteem betreft van 1,5°C.

Met gegevens uit het rapport 'CIW beoordelingssystematiek warmtelozingen' (Rijkswaterstaat, 2004) van 16 bedrijven in Nederland is gekeken naar bestaande lozingsdebieten en debieten van het ontvangende water bij een 95-percentiel afvoer (zie Tabel 1). Als maximale temperatuurverschil tussen de lozing en het ontvangende oppervlaktewater is gekozen voor 7°C tijdens de zomermaanden en 15°C voor de wintermaanden cf de geldende richtlijnen. Vismigratie vindt voornamelijk plaats in het voor- en najaar, dus tussen de grenzen van zomer en winter in. Het grenswaarde niveau in de mengzone-formule is (in plaats de ER=30°C-grens) gebruikt voor de waarden van de maximale temperatuuroename van het watersysteem; een  $\Delta T$  van respectievelijk 1,5°C en 3°C. Op deze manier wordt de omvang van de mengzone berekend die belemmerend zou kunnen zijn voor zalmachtigen ( $\Delta T=1,5^\circ\text{C}$ ) en karperachtigen ( $\Delta T=3^\circ\text{C}$ ). Het meest kritische scenario is dus een wintersituatie met als grenswaarde  $\Delta T=1,5^\circ\text{C}$ .

## 2.3 Resultaten

Bij doorberekening van de zomersituatie, dus met een  $\Delta T$  van minder dan  $7^{\circ}\text{C}$ , blijkt in 9 van de 16 situaties minder dan de helft van de natte doorsnede met meer dan  $3^{\circ}\text{C}$  te worden opgewarmd. Hierdoor blijft voldoende ruimte voor passage over voor de minder gevoelig geachte vissoorten (karperachtigen). Het gebied waarbinnen de temperatuur met meer dan  $1,5^{\circ}\text{C}$  in plaats van  $3^{\circ}\text{C}$  wordt verhoogd, en daardoor mogelijk door salmoniden vermeden zal worden is twee maal zo groot. In de meeste van bovengenoemde situaties levert dit geen problemen op. Echter, in het geval van de Willem Alexander Centrale die loost in de Maas, wordt 88% van de natte doorsnede met meer dan  $1,5^{\circ}\text{C}$  verwarmd, wat voor deze vissen problemen kan opleveren.

Bij de overige zeven situaties geven de berekeningen aan dat meer dan 100% van de natte dwarsdoorsnede van het waterlichaam met meer dan  $3^{\circ}\text{C}$  zal worden verwarmd. Dit zou betekenen dat er in deze gevallen geen ruimte overblijft voor passerende vissen.

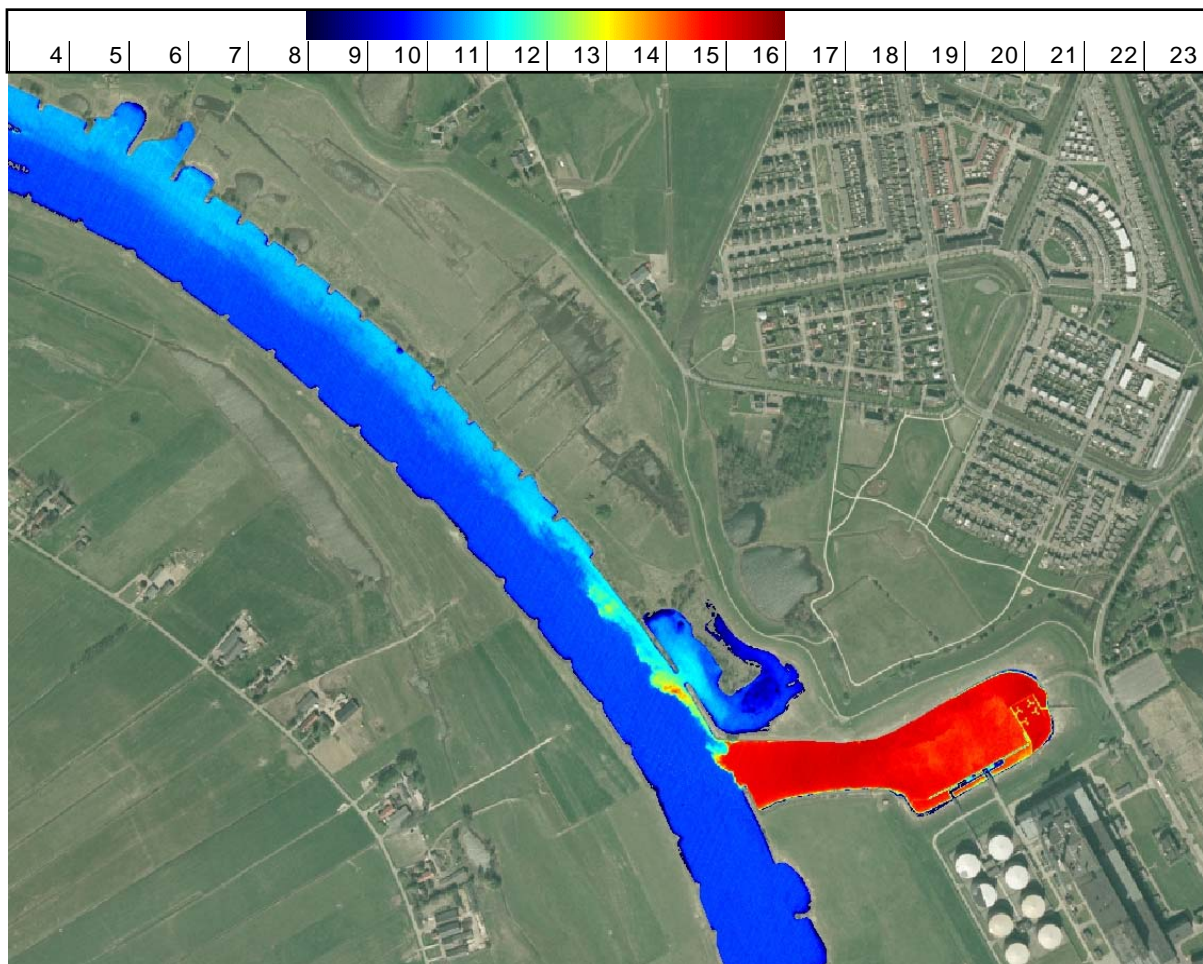
In de wintersituatie, wanneer een  $\Delta T$  van maximaal  $15^{\circ}\text{C}$  in principe is toegestaan, blijkt nog steeds bij 8 van de 16 situaties 50% of minder van de natte doorsnede met meer dan  $3^{\circ}\text{C}$  te worden opgewarmd. In 7 van deze situaties blijft ook minder dan 50% beïnvloed als de grenswaarde van  $1,5^{\circ}\text{C}$  wordt gehanteerd, waarmee in theorie de passage van salmoniden niet wordt belemmerd. In het resterende geval (Shell Moerdijk aan het Hollands Diep) wordt de gehele natte doorsnede meer dan  $1,5^{\circ}\text{C}$  opgewarmd, waardoor de passagemogelijkheid voor salmoniden zou verdwijnen. In de overige situaties wordt de watertemperatuur over de gehele doorsnede met (ruim) meer dan  $3^{\circ}\text{C}$  verhoogd.



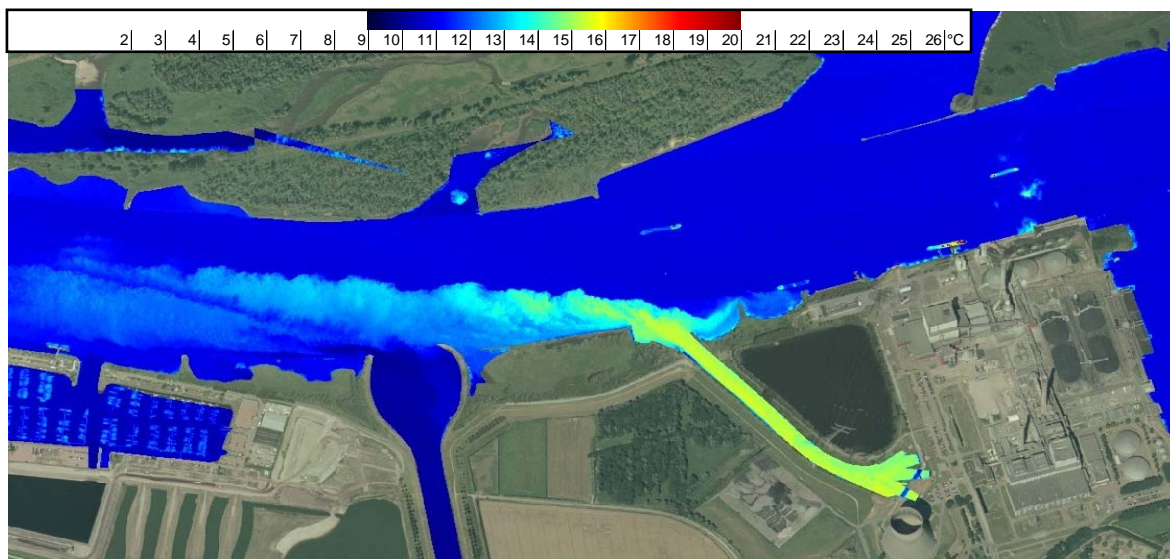
Tabel 1 Berekende omvang van de mengzone van koelwater voor 16 Nederlandse bedrijven (gegevens uit Rijkswaterstaat (2004)) voor de zomer ( $\Delta T = 7^\circ\text{C}$ ) en winter situatie ( $\Delta T = 15^\circ\text{C}$ ) en met een maximaal toegestane opwarming van het oppervlaktewater (grenswaarde) van respectievelijk 1,5 en  $3^\circ\text{C}$

Bedrijf (debiet lozing)	Ontvangend water (debiet)	Grenswaarde ( $^\circ\text{C}$ )	mengzone $\Delta T 7^\circ\text{C}$	mengzone $\Delta T 15^\circ\text{C}$
Borssele (29,1 m <sup>3</sup> /s)	Westerschelde (20000 m <sup>3</sup> /s)	1,5 3	1% 0%	1% 1%
Roca (0,1 m <sup>3</sup> /s)	Hollandse IJssel (11 m <sup>3</sup> /s)	1,5 3	4% 2%	9% 5%
Nijmegen (27 m <sup>3</sup> /s)	Waal (1300 m <sup>3</sup> /s)	1,5 3	10% 5%	21% 10%
Galileistraat (5,3 m <sup>3</sup> /s)	Nieuwe Maas (250 m <sup>3</sup> /s)	1,5 3	10% 5%	21% 11%
Harculo (10,2 m <sup>3</sup> /s)	IJssel (320 m <sup>3</sup> /s)	1,5 3	15% 7%	32% 16%
Moerdijk (11 m <sup>3</sup> /s)	Hollandsch Diep (300 m <sup>3</sup> /s)	1,5 3	17% 9%	37% 18%
Flevo (15,6 m <sup>3</sup> /s)	IJsselmeer (320 m <sup>3</sup> /s)	1,5 3	23% 11%	49% 24%
Shell Moerdijk (31 m <sup>3</sup> /s)	Hollandsch Diep (300 m <sup>3</sup> /s)	1,5 3	48% 24%	103% 52%
Willem-Alexander (9,4 m <sup>3</sup> /s)	Maas (50 m <sup>3</sup> /s)	1,5 3	88% 44%	188% 94%
Claus (23,8 m <sup>3</sup> /s)	Maas (50 m <sup>3</sup> /s)	1,5 3	222% 111%	476% 238%
Hemweg (31,9 m <sup>3</sup> /s)	NZK (45 m <sup>3</sup> /s)	1,5 3	331% 165%	709% 354%
Merwedehaven (12,1 m <sup>3</sup> /s)	Amsterdam Rijnkanaal (15 m <sup>3</sup> /s)	1,5 3	376% 188%	807% 403%
Velsen (37 m <sup>3</sup> /s)	Noordzee kanaal (45 m <sup>3</sup> /s)	1,5 3	384% 192%	822% 411%
Lage weide (17,7 m <sup>3</sup> /s)	Amsterdam Rijnkanaal (15 m <sup>3</sup> /s)	1,5 3	551% 275%	1180% 590%
Amer (59,2 m <sup>3</sup> /s)	Amer (50 m <sup>3</sup> /s)	1,5 3	553% 276%	1184% 592%
Bergum (14 m <sup>3</sup> /s)	Bergumermeer (3 m <sup>3</sup> /s)	1,5 3	2178% 1089%	4667% 2333%

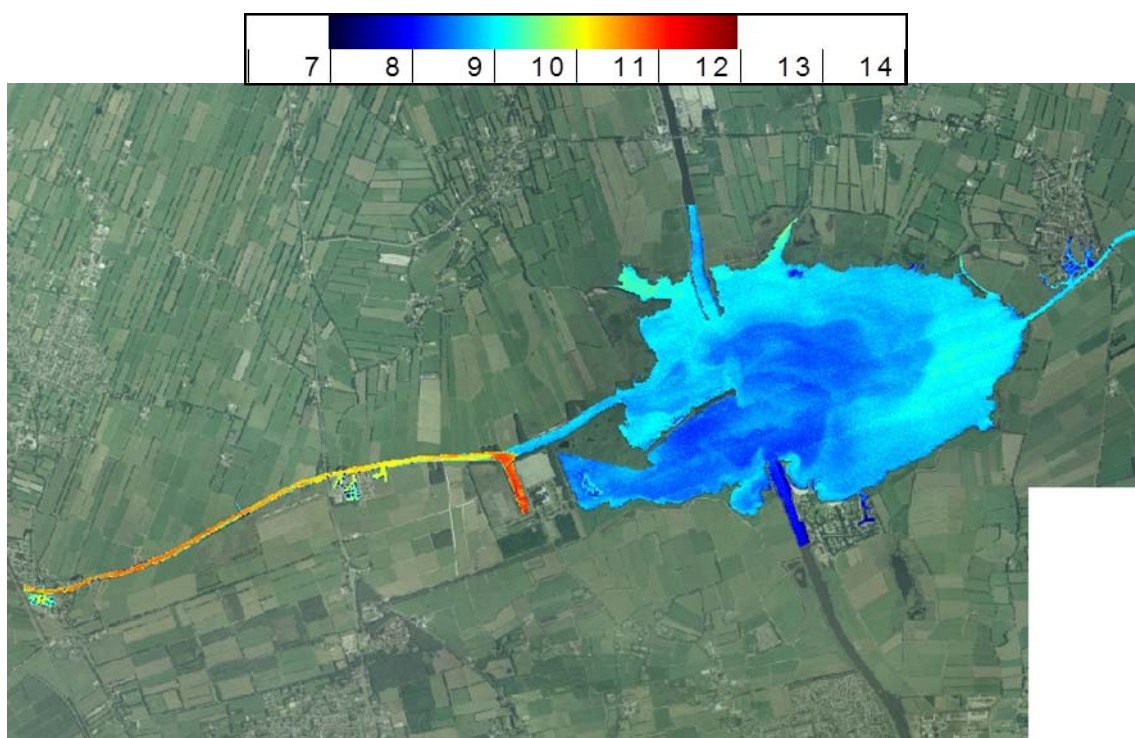
Zoals eerder gemeld wordt bij deze berekeningen uitgegaan van worst-case situaties omdat van volledige menging wordt uitgegaan. Via RWS-Waterdienst (Bijstra en Kerkum, 2007) zijn infrarood opnames verkregen waarop de verspreiding van een aantal koelwaterlozingen zichtbaar is. Hoewel dit momentopnamen betreffen geven ze een indicatie van de betrouwbaarheid van onze berekeningen. Voor centrale Harculo werd door ons een geringe omvang van de mengzone berekend (15% bij  $\Delta T=1,5^{\circ}\text{C}$ ), waardoor voldoende migratieruimte zou overblijven. Dit beeld wordt door de infrarood opname bevestigd (Figuur 2). Bij de Amer centrale zou dezelfde mengzone omvang 553% beslaan, waarmee de migratie ruimte zou worden afgesloten. De infrarood opnames laten echter zien hoe de lozingspluim zich, waarschijnlijk onder invloed van de stroming, voornamelijk langs één helft van de watergang verplaatst, waardoor toch ruimte voor migratie overblijft (Figuur 3). Voor centrale Bergum werd een mengzone berekend van 2178% waardoor de totale breedte van de watergang dus ruimschoots overbrugd zou moeten worden. De infrarood opnames bevestigen dit beeld (Figuur 4).



*Figuur 2 Infrarood weergave van de temperatuurverschillen in het oppervlaktewater als gevolg van de koelwaterlozing van centrale Harculo. In de kleurenschaal is de watertemperatuur in  $^{\circ}\text{C}$  weergegeven (uit Bijstra & Kerkum 2007).*



*Figuur 3 Infrarood weergave van de temperatuurverschillen in het oppervlaktewater als gevolg van de koelwaterlozing van de Amer centrale. In de kleurschaal is de watertemperatuur in °C weergegeven (uit Bijstra & Kerkum 2007).*



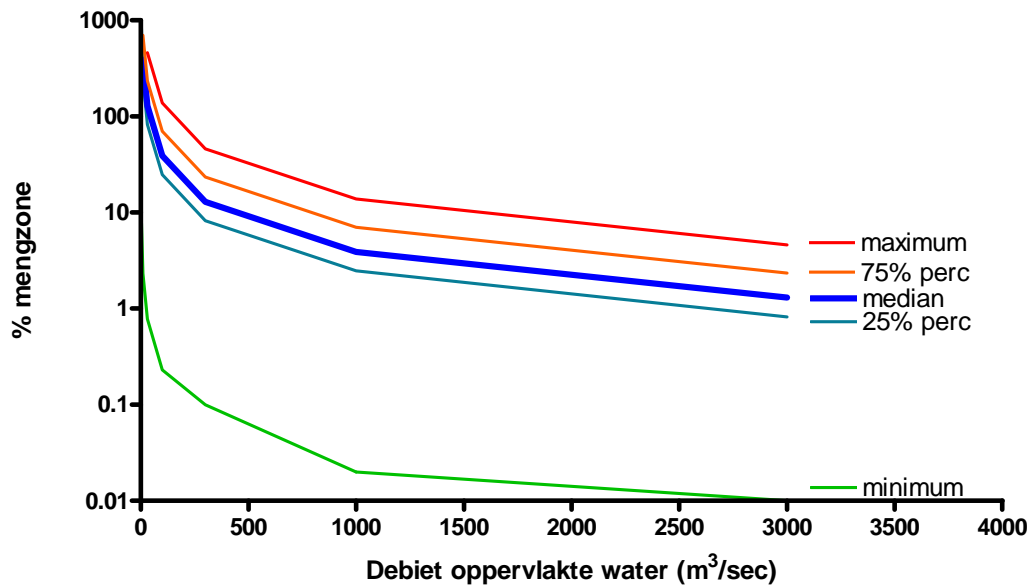
*Figuur 4 Infrarood weergave van de temperatuurverschillen in het oppervlaktewater als gevolg van de koelwaterlozing van Centrale Bergum. In de kleurschaal is de watertemperatuur in °C weergegeven (uit Bijstra & Kerkum 2007).*

In een poging bovenstaande gegevens te veralgemeniseren zijn van de 16 bedrijven uit Tabel 1 kengetallen (minimum, maximum, mediaan en 25/75 percentiel) berekend. Het is niet duidelijk of de koelwater lozingsdebieten van deze 16 bedrijven een evenredige afspiegeling vormen van de Nederlandse situatie.

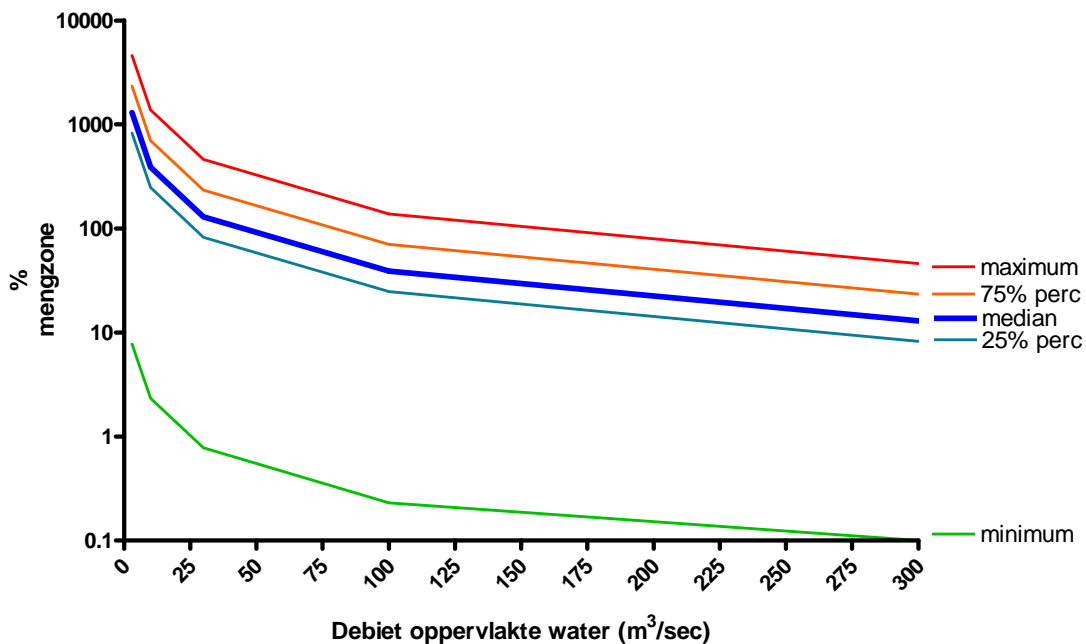
De kengetallen zijn vervolgens gebruikt om de omvang van de mengzone te berekenen waarbinnen het water met meer dan 3°C wordt opgewarmd bij toenemend afvoer debiet van het oppervlaktewater

waarop geloosd wordt. Uit deze berekeningen blijkt direct hoe kritisch koelwaterlozingen zijn (Figuur 5 en Figuur 6). Bij 75% van de lozingen is berekende mengzone groter dan 100% wanneer het afvoer debiet van het oppervlaktewater minder is dan  $30 \text{ m}^3$  per seconde. Voor de 25% grootste lozingen is een afvoer debiet van meer dan  $80 \text{ m}^3/\text{sec}$  nodig om te voorkomen dat de mengzone de 100% grens overschrijdt.

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. Om de effecten van koelwaterlozingen te beperken wordt daarom wel geadviseerd om gestratificeerd, aan het wateroppervlak, te lozen. Hierdoor ontstaat een thermocline, waarbij een duidelijke temperatuurovergang aanwezig is. Het opgewarmde water drijft dan als een relatief dunne laag op het oppervlaktewater, blijft over grote afstand intact en zorgt voor versnelde verkoeling (Hunik en Koopmans, 2003), terwijl opwarming van de diepere lagen wordt beperkt.



Figuur 5 Berekening van de omvang van de mengzone waarin de watertemperatuur met >3°C wordt verhoogd als gevolg van een lozing van koelwater. Gegeven zijn de mengzones van kengetallen van de koelwaterlozingen van 16 Nederlandse bedrijven, bij toenemend afvoerdebiet.



Figuur 6 Detail van Figuur 5.

## 2.4 Conclusies koelwaterlozingen

De huidige richtlijnen voor lozing van koelwater zijn er vooral op gericht dat koelwaterpluimen zo snel en efficiënt mogelijk mengen met het ontvangende water om de effecten voor het aquatisch ecosysteem zo klein mogelijk te maken. Volgens de geldende richtlijn mag, uitgaande van volledige menging, het oppervlaktewater met niet meer dan 3°C worden verwarmd, waardoor passage mogelijkheden voor migrerende vis aanwezig zouden moeten blijven. Uit onze scenarioberekeningen blijkt dat de helft van de getoetste bedrijven boven deze opwarmingsnorm kan zitten. Deze schattingen zijn gebaseerd op berekeningen met een zeer eenvoudige rekenformule en uitgaande van het maximale temperatuurverschil tussen koelwater en het oppervlaktewater, waardoor de impact van de lozing waarschijnlijk wordt overschat. 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.

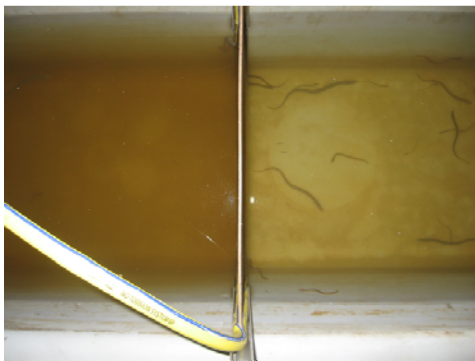
Zalmachtigen vertonen echter mogelijk al vermijddgedrag bij een temperatuurstijging van 1°C., waardoor een temperatuursverhoging van 3°C over de gehele natte doorsnede de migratie van deze vissoorten kan belemmeren. De resultaten van de worst-case berekeningen voorspellen op meerdere locaties een dermate grote impact dat het aannemelijk is dat deze koelwaterlozingen de migratie van vis kunnen belemmeren.

## 3 Saliniteitspluimen

### 3.1 Achtergrond

In 2007 werd bij IMARES afdeling Milieu een verkennende preferentietest uitgevoerd om het vermoeden van een beroepsvisser te onderzoeken dat jonge (glas)aal Polder Delftland mijdt vanwege ongunstige karakteristieken van het water.

Hiertoe werden rechthoekige testbakken elk met een volume van ca. 700 liter ingericht. Elke bak was in twee helften verdeeld door een schot dat omhoog geschoven kon worden zodat aan de onderzijde een opening van ca. 2 cm ontstond (Figuur 7). Voor aanvang van de test werden de schotten in de testbakken dichtgezet en werden de beide helften van de bakken simultaan gevuld met aan de ene zijde Rijnland water en aan de andere zijde Delftland water. Als referentie werd een bak gevuld met twee zijden Markermeerwater. Na het vullen werden voorzichtig de schotten in de bakken omhoog geplaatst zodat er aan de onderzijde een opening van ca. 2 cm ontstond. Vervolgens werden in elke helft van de bak 24 jonge alen geplaatst. In de bak met Markermeer water werd een groep van 24 aaltjes alleen aan de noordzijde ingezet. Dit als toets of het schot dat de bak in twee helften verdeelde een belemmering voor de palingen zou vormen om zich gelijkmatig te verdelen.



*Figuur 7 Foto van één van de proefbakken voordat het tussenschot omhoog werd geschoven. De jonge aaltjes zijn aan de rechterzijde van het schot in het systeem gebracht.*

De aaltjes verdeelden zich gelijkmatig over de beide helften van de bak met Markermeerwater. In de andere bakken vertoonden zij echter een duidelijke voorkeur voor het Delftland water. Naarmate beide watertypen meer gemengd raken verdeelden ook de aaltjes zich meer gelijk over beide bakhelften. Deze observatie staat dus haaks op het vermoeden van de beroepsvisser. Het belangrijkste gemeten verschil met het Rijnland water was het lagere geleidend vermogen van het Delftland water (resp. ca 1900 en 700  $\mu\text{s}/\text{cm}$ ), dat overeenkwam met het Markermeer water waarin de palingen voor de test werden geacclimatiserd. Als mogelijke verklaring voor deze voorkeur zou kunnen gelden dat de aaltjes die uit zee de binnenwateren intrekken niet geneigd zijn om in een richting te zwemmen waarbij het geleidend vermogen (zoutgehalte) van het water toeneemt. Dit zou immers een route terug richting zee kunnen betekenen. Ervan uitgaande dat de observatie van de beroepsvisser correct was, dan zou dit kunnen zijn veroorzaakt doordat de 'lokstroom' van water uit polder Delftland een hoger geleidend vermogen had dan het lokale water waar de vis zich op dat moment in bevond. Uit deze observatie ontstond het idee dat een niet natuurlijke zoet/zout gradiënt de migratie van vis kan beïnvloeden. Dit zou het geval kunnen zijn bij polders waar sprake is van zoute kwel.

## 3.2 Inventarisatie

Voor het onderzoek is naar veldlocaties gezocht op basis van gesprekken met medewerkers en gegevens van Hoogheemraadschap van Rijnland en het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK). Voor het beheersgebied van HHNK konden op basis van beschikbare gegevens geen locaties worden gevonden waar een substantiële 'zoute lozingspluim' kon worden verwacht.

In het beheersgebied van Hoogheemraadschap van Rijnland konden drie poldergemalen worden aangewezen waar een zoute pluim verwacht kon worden omdat het water in de polder doorgaans een hoger geleidend vermogen heeft dan het water waarop geloosd wordt Tabel 2.

Tijdens veldbezoek bleek gemaal Leegwater niet in werking en werden bij gemaal Dr.JP Heye grootschalige constructie werkzaamheden uitgevoerd. Gemaal Gogerpolder werkte wel, maar bij meting bleek het uitgemaalde water een gelijk of zelfs lager geleidend vermogen te hebben dan het water in de Ringvaart van de Haarlemmermeer waarop geloosd werd.

Op basis van gegevens van Hoogheemraadschap Rijnland over het gehele jaar 2010 werd de totale draaitijd van de bezochte gemalen berekend. Gemaal Leegwater was in 2010 6% van de tijd in werking, gemaal Gogerpolder 11% en gemaal Dr.JP Heye 24%. Doorgaans waren de gemalen een aantal uren per etmaal in werking. Onder bijzondere omstandigheden, zoals eind augustus 2010 tijdens een periode met zware regenval, waren de gemalen meerdere (5-10) dagen achtereen in werking.

In het voorjaar van 2010 zijn in de kop van Noord Holland en de Wieringermeer metingen verricht van het geleidend vermogen in polderwater en naastgelegen kanaalwater. Deze gebieden staan bekend om het hoge zoutgehalte in het grondwater (STOWA, 2009) waardoor als gevolg van interne verzilting (kwel) in het polderwater een verhoogd geleidend vermogen verwacht kan worden. De metingen bevestigden dit vermoeden niet. Het gemiddelde geleidend vermogen op alle locaties was 1057  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , wat overeenkomt met ongeveer 215 mg Cl/L. Op alle locaties bleek het verschil tussen ontvangend water en polderwater gering (Tabel 3). Op de locaties waar de grootste verschillen werden gemeten bleek het geleidend vermogen van het polderwater lager te zijn dan van het ontvangende water. Overigens was ook hier het verschil minder dan 20%.

Tabel 2 *Poldergemalen in het beheersgebied van Hoogheemraadschap van Rijnland waar een zoute lozingspluim werd verwacht*

<b>Gemaal</b>	<b>Maximale capaciteit (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Ontvangend oppervlaktewater</b>	<b>Diepte (m)</b>	<b>Breedte (m)</b>
Gemaal Leegwater	9,83	Ringvaart Haarlemmermeerpolder	3,5	51
Gemaal Dr. J.P. Heye	1,48	Lissertocht	1,1	15
Gemaal Goger polder	0,08	Ringvaart Haarlemmermeerpolder	3	73



Tabel 3 Geleidend vermogen (in  $\mu\text{s}/\text{cm}$ ) van oppervlaktewater op een aantal locaties binnen het beheersgebied van HHNK gemeten in april 2010. Gemeten werd op halve waterdiepte in het ontvangend water en een afvoersloot van de lokale polder. In de laatste kolom is de percentuele verhoging in het polderwater ten opzichte van het geleidend vermogen van het ontvangend water

Omschrijving	Ontvangend	Polder afvoer	Vershil
Den Helder	1029	1016	-1,3%
Blauwe keet	1038	1033	-0,5%
Julianadorp	1024	1024	0,0%
'grote keeten'	1027	1038	1,1%
Zijperkeersluis	1030	1062	3,1%
Mennonietenbuurt-1	1030	1058	2,7%
Mennonietenbuurt-2	1030	1032	0,2%
Burgervlotbrug	1033	-	-
Jac. Claasessluis	1237	1071	-13,4%
Haukessluis	1242	1038	-16,4%
Hoornse brug Westfriese vaart	-	1076	-

### 3.3 Conclusie saliniteitspluimen

Tijdens onze metingen werden weinig verschillen in geleidend vermogen gevonden tussen polderwater en nabijgelegen kanaalwater. Hoewel in het gemeten gebied invloed van zoute kwel verwacht mag worden, wordt de verzilting actief en effectief door de waterbeheerder tegengegaan door middel van doorspoeling met zoetwater. Hierdoor worden grote verschillen tussen polder en ontvangend water voorkomen. Scherpe saliniteitspluimen zullen dan ook waarschijnlijk niet veel voorkomen.

In de uitzonderingsgevallen waar deze wel zouden kunnen ontstaan is het waarschijnlijk dat migrerende vissen hierop zullen reageren. Wanneer de zoutpluim dan ook nog de totale breedte van de watergang overbrugt, zou sprake kunnen zijn van een migratiebarrière. In dit geval moet wel sprake zijn van lozing van een substantieel volume met een sterk afwijkend geleidend vermogen ten opzichte van het ontvangend oppervlaktewater. Zelfs als bovenstaand scenario zich zal voordoen, dan nog zal de ontstane barrière van tijdelijke aard zijn omdat een poldergemaal doorgaans slechts gedurende een beperkt deel van de dag in werking is. Onder invloed van zware regenval kan een langduriger afvoer van polderwater nodig zijn, echter in dat geval zal door verdunning met regenwater het zoutgehalte van het uitgeslagen water verlaagd zijn.

Het is 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. Echter, de kans dat een lozingspluim van zilt polderwater een migratiebarrière voor vis zal vormen in de waterweg waarop wordt geloosd is verwaarloosbaar.

## 4 Rwzi-lozingen

### 4.1 Achtergrond

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 vooral nutriëntgehalten en zuurstofverbruik een belangrijke rol spelen (Staatsblad, 2009). Via een emissie/immissietoets wordt de impact van de lozing op de kwaliteit van het ontvangende oppervlaktewater geschat, waarbij lozingsdebieten en bovengenoemde effluentkarakteristieken worden afgewogen tegen de lokale omstandigheden, inclusief het afvoerdebiet van het ontvangende oppervlaktewater (CIW, 2000). Indien de effluentkwaliteit voldoet aan de gestelde eisen en er op basis van de toetsing geen negatieve effecten op het ontvangend systeem verwacht worden, zijn er geen belemmeringen om lozing toe te staan. 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 (Figuur 8).

Zelfs bij een optimaal functionerende zuivering heeft het effluent een andere samenstelling dan het oppervlaktewater waarop geloosd wordt. Er zal zich dan ook een lozingspluim vormen die afwijkt 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. Temperatuurverschillen van meer dan 1 graad Celsius kunnen bijvoorbeeld bij forellen al tot een gedragsreactie leiden (Hadderingh 1994 in Kerkum et al., 2004). Voor salmoniden die terugkeren naar hun geboortegronden om te paaien speelt de geur van het water een belangrijke rol bij de oriëntatie (Bij de Vaate & Breukelaar, 2001), en hoewel voor de aal de rol van geur bij de migratie niet duidelijk is, is ook deze vis uitgerust met een extreem goed ontwikkeld reukvermogen (Klein Breteler, 2005). Het is daarom niet uit te sluiten dat migrerende vis een rwzi-lozingspluim die de gehele waterbreedte van een watergang overbrugt, als een migratie barrière zullen ervaren.



*Figuur 8 De verspreiding van een, met kleurstof zichtbaar gemaakte, lozingspluim van een rioolwaterzuiveringsinstallatie. Foto met toestemming van opdrachtgever overgenomen uit het rapport "Visualisatie van effluentpluimen" (sept, 2007) geproduceerd door ECO-flight BV in opdracht van Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier.*

## 4.2 Inventarisatie

De omvang en vorm van een lozingspluim is sterk afhankelijk van karakteristieken van de lozing, zoals het debiet, lozingsnelheid, het geloosd volume en de positie en de vorm van de lozingsopening. Daarnaast spelen karakteristieken van het ontvangend oppervlaktewater een grote rol, zoals stroomsnelheid, totaal volume, breedte en diepte. Voor het betrouwbaar in kaart brengen van de verspreiding van geloosd effluent zijn daarom geavanceerde rekenmodellen nodig die gevoed worden met locatie specifieke informatie. Een dergelijk model is toegepast in deelrapport C080/11: 'Modellering van lozingspluimen' van deze serie.

### 4.2.1 Berekeningsmethode

Om een meer globale indruk te krijgen van de mate waarin rwzi-lozingen op Nederlands oppervlaktewater een barrière-vormende lozingspluim zouden kunnen veroorzaken, zijn berekeningen uitgevoerd waarbij is uitgegaan van het eenvoudige rekenmodel zoals dat gebruikt wordt bij de beoordeling van de impact van koelwaterlozingen (Rijkswaterstaat, 2004; zie ook hoofdstuk 2 van dit rapport). Met deze formule wordt berekend hoeveel volume er nodig is om de lozing te verdunnen tot een bepaalde grenswaarde en wordt dit volume als percentage van het afvoerdebiet van het ontvangend oppervlaktewater uitgedrukt.

$$\text{Mengzone} = Q_{\text{rwzi}} / Q_{\text{opp}} * (1 + (100 - \text{GW})/\text{GW})$$

Waarin:

Mengzone = mengzone als % van de natte dwarsdoorsnede

$Q_{\text{rwzi}}$  = lozingsdebiet RWZI ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$Q_{\text{opp}}$  = aanvoer debiet ontvangend oppervlaktewater ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

GW = grenswaarde: %-effluent dat wordt beschouwd als de rand van de pluim

Een mengzone  $\geq 100\%$  suggereert dat de lozingspluim de volledige breedte van het waterlichaam waarop geloosd wordt zal overbruggen. Deze berekening gaat uit van volledige mening en dus van een worst-case situatie. Zo zal bij toepassing van deze berekeningsmethode voor stagnant water altijd een mengzone  $> 100\%$  worden berekend.

### 4.2.2 Gegevens rwzi's en oppervlaktewateren

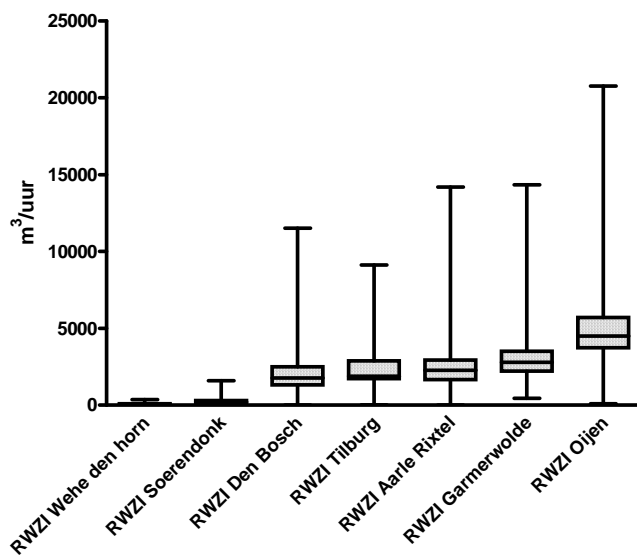
De capaciteit van rwzi's wordt uitgedrukt als DWA (Droogweerafvoer) en RWA (Regenwaterafvoer), waarmee respectievelijk de emissie zonder en met hemelwater wordt aangeduid. Op de website [www.sewagenetwork.nl](http://www.sewagenetwork.nl) zijn gegevens verzameld van alle 352 rwzi's van Nederland. Voor 197 rwzi's is hier de RWA gegeven en voor 133 rwzi's wordt tevens de DWA vermeld.

Voor de rwzi's waarvan zowel RWA als DWA zijn gegeven blijkt het RWA debiet gemiddeld 3,2 maal hoger te zijn dan het DWA-debiet. Deze factor is toegepast om de DWA capaciteiten van alle 197 rwzi's te schatten waarvan RWA capaciteiten zijn gegeven, omdat de DWA een betere maat is voor het reguliere lozingsdebiet van een RWZI dan de RWA.

Om te onderzoeken hoe deze gegevens zich verhouden tot werkelijke lozingsdebieten zijn deze gegevens vergeleken met gedetailleerde lozingsgegevens over periodes van 6 tot 24 maanden van een aantal rwzi's, die via verschillende waterschappen zijn verkregen (Figuur 9, Tabel 4). Deze gegevens laten de grote spreiding zien in de lozingsdebieten, met hoge uitschieters die gecorreleerd zijn aan perioden met veel regenval en maximum waarden die over het algemeen goed overeenkomen met de opgegeven RWA. Uitzonderingen hierop zijn rwzi-Tilburg waar de RWA twee maal hoger is dan het maximaal bereikte lozingsdebiet en rwzi-Oijen waar het maximale lozingsdebiet sterk lager is dan de RWA.

De op [sewagenetwerk.nl](http://sewagenetwerk.nl) opgegeven DWA is bij drie rwzi's lager dan het 75% percentiel van de werkelijke lozingsdebieten en bij vier rwzi's hoger. De DWA als percentage van de 75% percentiel varieerde tussen 48% (rwzi-Oijen) en 239% (rwzi-Aarle Rixtel). Wanneer de door ons op basis van de RWA geschatte DWA waarden worden gehanteerd is bij zes van de zeven rwzi's de RWA hoger dan de 75% percentiel van de werkelijke lozingsdebieten. De percentages van de afwijkingen varieerden nu tussen 67(rwzi-Oijen) en 203% (rwzi-Tilburg).

Voor de verdere berekeningen is gebruik gemaakt van de geschatte DWA, omdat deze voor alle rwzi's te berekenen was. Bovenstaande vergelijking met de werkelijke lozingsdebieten suggereren dat in de meeste gevallen het geschatte lozingsdebiet waarschijnlijk een overschatting van de werkelijkheid is.



Figuur 9 Lozingsdebieten van 7 Nederlandse rwzi's. De horizontale lijn geeft de mediaan weer, de box de 25 en 75-percentiel waarden van de waarnemingen en de staven de minimum en maximum waarden.

Tabel 4 Kenmerken van de variatie in de uurdebieten van zeven rwzi's zoals berekend uit gegevens over de opgegeven perioden. In het onderste kader zijn de regenwaterafvoer (RWA) en de droogweerafvoer (DWA) capaciteiten gegeven zoals te vinden op [www.sewagenetwerk.nl](http://www.sewagenetwerk.nl) en de geschatte DWA capaciteit (voor uitleg zie tekst)

RWZI	Wehe den horn	Soerendonk	Den Bosch	Tilburg	Aarle Rixtel	Garmerwolde	Oijen
start	Mei'10	Mar'10	Feb'09	Dec'08	Feb'09	Jan'10	Feb'09
eind	Dec'10	Dec'10	Dec'10	Dec'10	Dec'10	Dec'10	Sep'10
25% Perc.	38	130	1309	1715	1663	2209	3725
Median	57	201	1770	1889	2276	2792	4490
75% Perc.	93	297	2496	2882	2931	3512	5701
Maximum	364	1596	11516	9119	14197	14342	20762
RWA*	350	1500	13400	18720	14000	13500	12250
DWA*	70	375	3800	1945	7000	4106	2750
DWA geschat	109	469	4188	5850	4375	4219	3828

Tabel 5 Kenmerken van de geschatte DWA debieten van 197 Nederlandse rwzi's

Aantal RWZI's 197	m <sup>3</sup> /uur	m <sup>3</sup> sec
Minimum	25,00	0,0100
25% Perc.	179,0	0,0500
Median	469,0	0,1300
75% Perc.	1025	0,2850
Maximum	11188	3,110
Gemiddelde	1049	0,2918

Voor de berekeningen werden 32 rwzi's geselecteerd die gelegen zijn aan watergangen die een belangrijke functie hebben voor migrerende vissen in Nederland, zoals de IJssel, de Overijsselse Vecht, de Waal, de Lek, de Vecht en het Amsterdam-Rijnkanaal. Via RWS-databases (Waterbase en de helpdesk water) en via Waternet werden van deze watergangen de zomergemiddelde afvoerdebieten verzameld die varieerden tussen 4 m<sup>3</sup>/sec voor de Vecht en 1300 m<sup>3</sup>/sec voor de IJssel. Samen met de debietgegevens van de op deze wateren lozende rwzi's werd de dataset verkregen waarmee de schatting van de mengzone werd uitgevoerd (Tabel 6). De berekening is uitgevoerd voor twee grenswaarden van een effluentconcentratie van respectievelijk 1% en 10%. Uit telemetrie-onderzoek dat is uitgevoerd binnen ditzelfde project (zie C080/11: 'Modellering van lozingspluimen') zijn aanwijzingen verkregen dat een effluentconcentratie van ca. 10% ontwijkgedrag van migrerende paling kan veroorzaken. Bij een grenswaarde van 1% is ontwijkgedrag niet aannemelijk.

### 4.3 Resultaten

Zoals te verwachten worden de resultaten van de berekeningen sterk beïnvloed door het afvoerdebiet van het ontvangend oppervlaktewater. De rwzi-lozingen op de Waal leiden daardoor maximaal tot een mengzone van 10% wanneer wordt uitgegaan van een grenswaarde van 1%-effluent. Bij een grenswaarde van 10%-effluent ontstaat in de Waal maximaal een mengzone van 1% van de natte dwarsdoorsnede. Dit betreft de lozingspluim van rwzi-Nijmegen die met een DWA van 1,4 m<sup>3</sup>/seconde een van de grotere rwzi's van Nederland is.

Ook op de IJssel is bij een grenswaarde van 10%-effluent geen sprake van een substantiële beïnvloeding van de natte dwarsdoorsnede. De lozing van de grootste rwzi's op deze rivier, rwzi-Nieuwgraaf en rwzi-Apeldoorn, leiden tot een mengzone van 3-4%, die oploopt tot maximaal 43% wanneer een grenswaarde

van 1%-effluent wordt gehanteerd. Het is dan ook niet te verwachten dat rwzi-lozingen op deze beide rivieren een belemmering voor vismigratie zullen veroorzaken.

Voor de kleinere waterwegen zoals de Lek, de Overijsselse Vecht en het Amsterdam-Rijnkanaal wordt het lozingsdebiet van de rwzi kritischer. Op de Lek en de Overijsselse Vecht wordt slechts geloosd door rwzi's met relatief gering debiet van maximaal 0,191 m<sup>3</sup>/sec. Op deze waterwegen met een zomergemiddelde afvoer van ca. 30 m<sup>3</sup>/sec leidt dit tot een 10%-effluent mengzone van maximaal 6% en net iets meer dan 60% wanneer wordt uitgegaan van een grenswaarde van 1%-effluent. In het Amsterdam Rijnkanaal met een zomergemiddelde-afvoer van ca. 15 m<sup>3</sup>/sec leidt de lozing van RWZI Tiel, met een lozingsdebiet dat rond het gemiddelde voor Nederlandse rwzi's ligt, tot een mengzone van 10%-effluent van 23%, waardoor op zich nog voldoende ruimte voor migrerende vis over blijft. Wanneer echter de grenswaarde op 1%-effluent wordt gesteld dan wordt de mengzone meer dan 100% (239%), wat erop duidt dat deze lozing de potentie heeft de totale kanaalbreedte te overbruggen. Dit is ook het geval voor twee andere rwzi's die op hetzelfde kanaal lozen, rwzi-Leidse Rijn en rwzi-Houten.

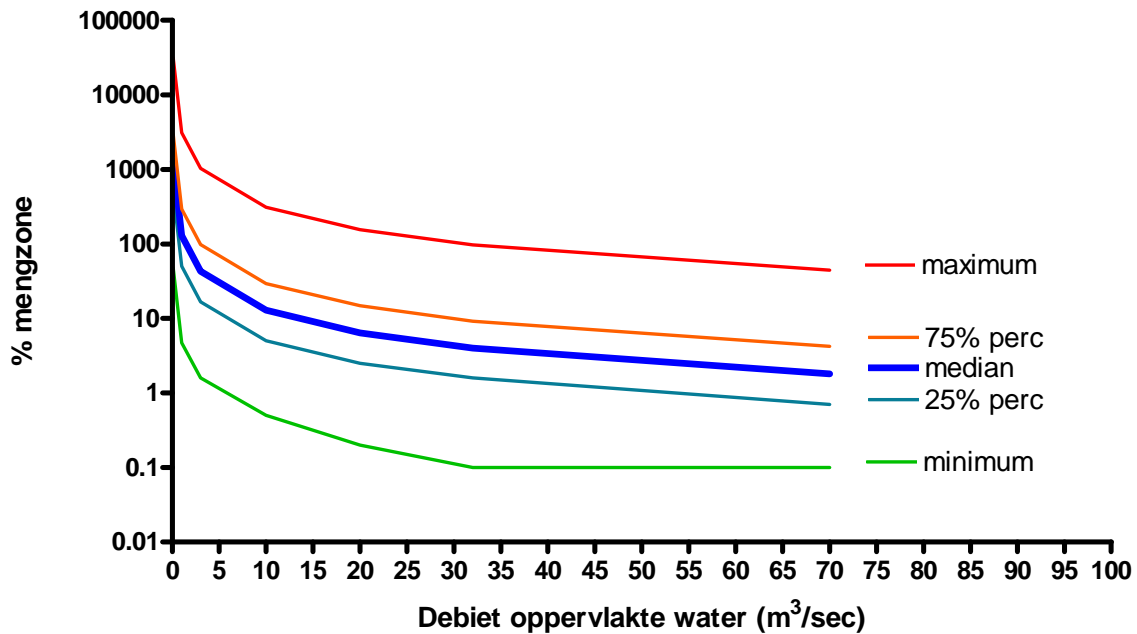
De watergang met het geringste afvoerdebiet dat in onze berekeningen is meegenomen, is de rivier de Vecht. Voor de berekeningen is een afvoerdebiet van 4 m<sup>3</sup>/sec gehanteerd wat volgens de beheerder (Waternet) tijdens een droge zomer nog een voorzichtige schatting betreft. Op de Vecht wordt het afvalwater van drie rwzi's geloosd, variërend van de kleine RWZI Maarsen die qua debiet net niet tot de 25% kleinste rwzi's van Nederland behoort tot RWZI Utrecht die ruim binnen de 25% grootste rwzi's van Nederland valt. Bij een grenswaarde van 10%-effluent, heeft RWZI Maarsen al de potentie om de gehele breedte van de watergang te overbruggen met een mengzone van 165%. Bij de andere twee rwzi's is deze potentie logischerwijs nog sterker aanwezig, met mengzones van respectievelijk meer dan 1000 en 3000%.

Tabel 6 *Berekende mengzone voor rwzi's die lozen op een aantal geselecteerde waterwegen. Gegeven zijn de mengzones (als percentage van de natte dwarsdoorsnede van het ontvangend oppervlaktewater) met een minimale effluent concentratie van respectievelijk 1 en 10%*

<b>Ontvangend opp. water (zomers afvoer debiet)</b>	<b>RWA debiet (m<sup>3</sup>/sec)</b>	<b>Grenswaarde mengzone 1%-effluent</b>	<b>Grenswaarde mengzone 10%-effluent</b>
<b>Vecht (4 m<sup>3</sup>/sec)</b>			
RWZI - Maarssen	0,065	1650%	165%
RWZI - Horstermeer	0,434	10850%	1085%
RWZI - Utrecht	1,302	32550%	3255%
<b>Amsterdam-Rijnkanaal (15 m<sup>3</sup>/sec)</b>			
RWZI - Loenen	0,032	21%	2,1%
RWZI - Maarssenbroek	0,069	46%	4,6%
RWZI - Breukelen	0,077	51%	5,1%
RWZI - Weesp	0,113	75%	7,5%
RWZI - Wijk bij Duurstede	0,118	79%	7,9%
RWZI - Leidsche Rijn	0,182	122%	12%
RWZI - Houten	0,247	165%	16%
RWZI - Tiel	0,359	239%	24%

<b>Ontvangend opp. water (zomers afvoer debiet)</b>	<b>RWA debiet (m<sup>3</sup>/sec)</b>	<b>Grenswaarde mengzone 1%-effluent</b>	<b>Grenswaarde mengzone 10%-effluent</b>
<b>Overijsselse Vecht (30 m<sup>3</sup>/sec)</b>			
RWZI - Hessenpoort	0,087	29%	2,9%
RWZI - Dalfsen	0,106	35%	3,5%
RWZI - Hardenberg	0,149	50%	5,0%
<b>De Lek (31 m<sup>3</sup>/sec)</b>			
RWZI - Nieuw-Lekkerland	0,040	13%	1,3%
RWZI - Gelkenes	0,122	39%	3,9%
RWZI - Vianen	0,139	45%	4,5%
RWZI - Culemborg	0,191	62%	6,2%
<b>De IJssel (320 m<sup>3</sup>/sec)</b>			
RWZI - Olst	0,095	3,0%	0,3%
RWZI - Hattem	0,130	4,1%	0,4%
RWZI - Brummen	0,139	4,3%	0,4%
RWZI - Terwolde	0,156	4,9%	0,5%
RWZI - Kampen	0,208	6,5%	0,7%
RWZI - Olburgen	0,443	13%	1,4%
RWZI - Zutphen	0,456	14%	1,4%
RWZI - Zwolle	0,477	15%	1,5%
RWZI - Deventer	0,573	18%	1,8%
RWZI - Apeldoorn	1,042	33%	3,3%
RWZI - Nieuwgraaf	1,345	42%	4,2%
<b>Waal (1300 m<sup>3</sup>/sec)</b>			
RWZI - Aalst	0,034	0,3%	0,0%
RWZI - Haften	0,049	0,4%	0,0%
RWZI - Gendt	0,130	1,0%	0,1%
RWZI - Druten	0,148	1,1%	0,1%
RWZI - Bommelerwaard-Oost	0,260	2,0%	0,2%
RWZI - Nijmegen	1,389	10,7%	1,1%

In Figuur 10 zijn mengzone berekeningen weergegeven voor een aantal kenmerkende lozingsdebielen (DWA) voor Nederlandse rwzi's, waarmee het hierboven geschetste beeld wordt bevestigd. Vooral bij lozing op wateren met een gering afvoerdebiet moet gevreesd worden dat de lozingspluim de volledige watergang overbrugt. Bij 75% rwzi's zal dit risico niet aanwezig zijn zolang het afvoerdebiet van het ontvangend water meer dan 5 m<sup>3</sup>/s bedraagt.



*Figuur 10* 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.

#### 4.4 Conclusies rwzi-lozingen

Effluentlozingen uit rwzi's kunnen een lozingspluim vormen die de totale breedte van de waterweg waarop geloosd wordt overbrugd. Indien vissen deze pluim mijden, wordt in deze gevallen een barrière voor migrerende vis gecreëerd. Deze situaties zullen zich vooral voordoen in wateren met een gering afvoerdebiet. Indien geloosd op oppervlaktewater met een afvoerdebiet van meer dan 10 m<sup>3</sup>/sec zal bij 75% van alle Nederlandse rwzi's geen lozingspluim ontstaan die de volledige breedte van de waterweg overbrugd. Bovenstaande uitspraak is gebaseerd op een eenvoudige worst-case berekening en bedoeld om een globaal beeld te vormen van de Nederlandse situatie. Voor beoordeling van specifieke locaties zijn meer uitgebreide gegevens en berekeningen noodzakelijk.



## 5 Conclusies

De uitgevoerde inventarisatie geeft het volgende aan:

- Het is niet waarschijnlijk dat de lozing van zout kwelwater tot een duidelijke lozingspluim zal leiden. Mocht deze eventueel toch ontstaan dan zal dit van tijdelijke aard zijn en zal het geen langdurige barrière voor vismigratie opleveren.
- Lozingen van rwzi effluent met name op kleinere watersystemen kunnen leiden tot een lozingspluim over de gehele breedte van de waterweg, waardoor vismigratie belemmerd zou kunnen worden.
- Door het hoge lozingsdebiet ten opzichte van het debiet van het ontvangend oppervlaktewater hebben koelwaterlozingen in veel gevallen in Nederland de potentie om over de gehele breedte van de waterweg een voor vismigratie kritische, stijging van de watertemperatuur te veroorzaken.

Bovenstaande uitspraken zijn gebaseerd op eenvoudige berekeningen. Voor het inschatten van specifieke situaties zijn meer uitgebreide datasets en berekeningen noodzakelijk.

## 6 Referenties

- 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.
- Bijstra, D. & F.C.M. Kerkum (2007): NBM-Beoordelingssystematiek voor warmtelozingen. Presentatie tijdens SIKW-congres, 21 maart 2007.
- Bij de Vaate, A. & A.W. Breukelaar (2001). De migratie van zeeforel in Nederland. Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer & Afvalwaterbehandeling. Rapport nr. 2001.046
- CIW (2000). Emissie-immissie. Prioritering van bronnen en de immissietoets. Commissie Integraal Waterbeheer, rapport 22383
- FWVO (1996): Visintrek door grootschalige koelwaterinname. Problematiek en aanbevelingen. Fwvo nota nr.:96.01 FWVO-werkgroep Koelwaterinname
- 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.
- Grinten, E. van der, F.C.J. van Herpen, H.J. van Wijnen, C.H.M. Evers, S. Wuijts en W. Verweij (2007). Afleiding maximumtemperatuurnorm goede ecologische toestand (GET) voor Nederlandse grote rivieren. RIVM Rapport 607800003/2007
- Holthaus, K.I.E., A. Weber en N.H.B.M. Kaag (2003). Ecosysteemeffecten koelwatergebruik Noordzeekanaal. TNO-rapport R 2002/631. Nota ANW 02.09
- Hunik, R. & G. Koopmans (2003). Studie naar parameters voor verspreidingsmodellen van koelwater. KEMA Power Generation & Sustainables. 50331003.CL.3 03P3.11.2
- 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.
- 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, F.C.M., A. bij de Vaate, K. Vendrig en D. Bijstra (2003). Effecten van thermische verontreiniging op aquatische flora en fauna. RIZA rapport 2003.082X
- 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
- Klein Breteler, J.G.P. (2005). Kennisdocument Europese aal of paling, *Anguilla anguilla* (Linnaeus, 1758). Kennisdocument 11. OVB/Sportvisserij Nederland, Bilthoven
- Kroes, M.J., N. Brevé, F.T. Vriese, H. Wannings en A.D. Buijse (2008). Nederland leeft met ...vismigratie. Naar een gestroomlijnde aanpak van de vismigratieproblematiek in Nederland. VisAdvies BV, Utrecht. Projectnummer VA2007\_33
- 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
- Saft, R.J. (1996). Warmte-emissies in Wvo-vergunningen: een handreiking voor vergunningverleners. RIZA Nota nr.: 96.027
- 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)
- STOWA: Ter Voorde, M. & J. Velstra (2009). Leven met zout water. Overzicht huidige kennis omtrent interne verzilting. *Acacia Water, Leven met Water & STOWA*. 2009-45
- 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.

## 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.

## Verantwoording

Rapport C078/11  
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 2011

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

Handtekening:



Datum: 29 september 2011