

# Effecten van Gemaal IJmuiden op de uittrek van schieraal: integratie van de onderzoeken tijdens de periode 2007-2011

Dr. ir. H.V. Winter

Rapport C153/11



# IMARES Wageningen UR

(IMARES - Institute for Marine Resources & Ecosystem Studies)

Opdrachtgever:

Rijkswaterstaat Noord-Holland, Afdeling Advies (WSA)  
Postbus 3119  
2001 DC Haarlem

Publicatiedatum:

30 November 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).

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

© 2011IMARES Wageningen UR

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

A\_4\_3\_1-V11.2

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.

## Inhoudsopgave

Inhoudsopgave.....	3
Samenvatting.....	4
1. Inleiding.....	6
2. Kennisvraag.....	6
3. Gebiedsbeschrijving Noorzeekanaal en sluzencomplex IJmuiden.....	7
4. Overzicht van uitgevoerde onderzoeken gedurende 2007-2011.....	11
5. Gedrag en verdeling van uittrekkende schieraal bij IJmuiden.....	13
5.1. Onderzoek naar gedrag van schieraal bij gemaal en spuisluizen .....	13
5.2. Gedrag van schieraal bij de ingang van het gemaal .....	13
5.3. Gedrag van schieraal bij de ingang van de spuikokers.....	15
5.4. Verhouding tussen uittrek van schieraal via het gemaal en spuisluizen .....	16
5.5. Viswerende en afleidende werking bij gemaal voor schieraal in huidige situatie..	17
5.6. Verdeling van schieraal over het gehele sluzencomplex bij IJmuiden .....	19
6. Schade van uittrekkende schieraal in relatie tot populatieomvang .....	24
7. Evaluatie van geteste schadebeperkende maatregelen .....	28
7.1 Viswering bij gemaal met stroboscoopverlichting.....	28
7.2 Pompen op halve kracht .....	30
8. Potentiële maatregelen ter vermindering van de schade.....	31
8.1 Maximaliseren van uittrek via de schutsluizen.....	31
8.2 Maximaliseren van uittrek via de spuisluizen.....	32
8.3 Viswering bij gemaal (minimaliseren uittrek via gemaal) .....	32
8.4 Visvriendelijk malen (minimaliseren schade in gemaal) .....	32
9. Conclusies en aanbevelingen.....	34
9.1 Conclusies .....	34
9.2 Aanbevelingen .....	35
Kwaliteitsborging .....	37
Referenties .....	38

## Samenvatting

Via het Noordzeekanaal watert een groot achterland uit op zee. Dit is een belangrijke uittrekroute voor schieraal. Om succesvol de zee te bereiken moet het schutsluizen-, spuisluis- en maalcomplex bij IJmuiden worden gepasseerd. Schieraal die via het gemaal (met 260 m<sup>3</sup>/s het grootste van Europa) migreert loopt kans op dodelijke schade. Om een inschatting te maken van het schadelijke effect van het gemaal op de uittrek van schieraal en op welke wijze deze verminderd zou kunnen worden, is gedurende 2007-2011 multidisciplinair onderzoek uitgevoerd door verschillende onderzoeksinstituten. In deze rapportage wordt een integratie en evaluatie van deze onderzoeken uitgevoerd, waarbij de nadruk ligt op beperking van de schade aan schieraal door het gemaal en het identificeren van ontbrekende kennis.

Het sluizencomplex bij IJmuiden bestaat uit vier schutsluizen (waarvan de Noordersluis de grootste is), een spuisluis met 7 spuikokers en een gemaal met 6 bulbpompen. Om het Noordzeekanaal op peil te houden wordt er zoveel mogelijk gebruik gemaakt van de spuisluisen, maar als dit onvoldoende is wordt daarnaast ook het gemaal ingezet. Schieraal kan in principe uittrekken via het gemaal, de spuisluisen of schutsluizen, maar al deze potentiële uittrekroutes zijn niet continu, maar slechts periodiek in de tijd beschikbaar. Daarnaast kent het Noordzeekanaal een sterke gelaagdheid van relatief zoet water in de bovenste waterlaag van 6 m tot relatief zout water aan de bodem op 16 m diepte. Schieraal oriënteert zich bij de uittrek op stroming en zoet-zout gradiënten en wordt bij uittrek via IJmuiden geconfronteerd met een complexe en dynamische, zowel in tijd als ruimte, uittreklocatie.

Wanneer schieraal in het gemaal terecht komt is vastgesteld dat de directe sterfte van deze schieraal ca. 43% bedraagt, en inclusief vertraagde sterfte door inwendige verwondingen waarschijnlijk veel hoger. Om de uiteindelijke schade te kunnen bepalen is het noodzakelijk om in te schatten welk deel van alle schieraal die via het complex uittrekt in het gemaal terechtkomt. Diverse onderzoeken naar gedrag van schieraal liet zien dat er veel terugkeergedrag plaatsvindt op verschillende afstanden bij de ingang van het gemaal, waarschijnlijk door een serie opeenvolgende prikkels zoals geluid, stromingsveranderingen of spijlen van het krooshek. Dit leidt ertoe dat in de huidige situatie de 'viswerende' werking van het gemaal naar schatting al minstens 90% bedraagt. Tenminste een deel van deze geweerde schieralen maakt na terugkeergedrag gebruik van de spuisluisen, waar schieraal onbelemmerd doorheen kan trekken tijdens het spuien.

Het aanbod van schieraal verdeelt zich over het gehele sluizencomplex. In hoeverre er uittrek van schieraal via de schutsluizen plaatsvindt is niet gemeten, maar het is waarschijnlijk dat deze substantieel is. De omstandigheden, veel schuttingen (ook 's nachts) en grote debieten door volledige uitwisseling van volume, lijken relatief gunstig ten opzichte van veel andere schutsluizen in Nederland. Een groot deel van de schieraal (minimaal 50%) blijft echter achter op het Noordzeekanaal en trekt niet direct naar zee. Het is onbekend of dit het geval is, maar mogelijke verklaringen zijn: een deel van de schieraal is geblokkeerd in hun uittrek naar zee (wellicht door de onnatuurlijke zoet-zout gelaagdheid en het stagnante karakter van het kanaal), of doordat een groter deel (vergeleken met andere watersystemen) niet gemotiveerd is om uit te trekken.

De jaarlijks via IJmuiden migrerende schieraal populatie wordt geschat op 70.000-100.000 voornamelijk vrouwelijke schieralen (60-85 ton), waarvan naar schatting 1.500-2.000 schieralen (1.3-1.7 ton) omkomen door het gemaal. Om de ernst van deze schade in perspectief te zetten: landelijk sterft er 30 ton in gemalen, waarvan IJmuiden dan 4-6% voor zijn rekening neemt, en 280 ton in de beroepsvisserij, voordat deze (deels) gesloten werd in 2009. Er wordt geschat dat vanuit Nederland in totaal 400 ton schieraal er in slaagt om de zee te bereiken.

Om de schade bij IJmuiden te verminderen zijn twee maatregelen getest. Extra viswering bij het gemaal met stroboscoopverlichting gaf wel een significant effect op het gedrag van schieraal te zien, maar desondanks vond er nog wel uittrek van schieraal via het gemaal plaats. In hoeverre de viswerende werking groter is geworden kon niet worden bepaald. Het pompen op halve kracht in plaats van volle kracht leidde tot een significante vermindering van de directe sterfte. Bovendien leverde dit een energiebesparing op. Een pompschema met zoveel mogelijk op halve kracht malen levert naar schatting een vermindering van de schade op van 15-20%.

Om de schade van het gemaal aan schieraal te verminderen is de meest voor de hand liggende maatregel het zoveel mogelijk met halve pompcapaciteit malen, door het debiet te spreiden over meerdere pompen. Deze maatregel is bewezen effectief en levert energiebesparing op. Daarnaast kunnen maatregelen worden getroffen om de migratiemogelijkheden bij de schutsluizen te vergroten zoals het 's nachts alternerend openzetten van de rinketten aan kanaal- en zeezijde van de Kleine Sluis, en het zoveel mogelijk openhouden van de oostelijke sluisdeur van de Noordersluis. Of dit ook leidt tot grotere uittrek van schieraal kan met de huidige gegevens niet worden bepaald.

Het spuicomplex blijkt in de huidige situatie van belang te zijn voor de afleiding van schieraal weg van het gemaal, zelfs als er niet wordt gespuid. Dit wordt vermoedelijk veroorzaakt door de lekstromen bij hoog water onderlangs de spuischuiten waar de schieraal door aangetrokken wordt. Het is van belang dat deze situatie zoveel mogelijk blijft behouden, omdat anders het risico bestaat dat meer schieraal het gemaal zal gaan passeren, met een toenemende sterfte tot gevolg.

De grootste kennisleemten zijn het ontbreken van gegevens over de uittrek van schieraal via de schutsluizen en of er mogelijk een belemmerend effect is door de omstandigheden in het Noordzeekanaal waardoor een deel van de schieraal achterblijft op het kanaal. Het verdient aanbeveling om hier gerichte metingen aan uit te voeren.

## 1. Inleiding

Het Noordzeekanaal ontsluit een groot achterland en vormt dan ook in potentie een belangrijke migratieroute voor diadrome vis (trekvissen). Zo dient zich in het najaar/winter bij IJmuiden veel schieraal aan voor hun tocht naar zee. Bij de passage van het sluiscomplex vormt het gemaal echter een potentieel gevaar voor de dieren.

De palingstand neemt al decennia lang af in geheel Europa. Om deze neergang om te buigen zullen tal van lokale maatregelen genomen moeten worden. Hiertoe is een EU-verordening ingesteld en naar aanleiding daarvan nationale Aalbeheersplannen voor elk van de lidstaten. Het verbeteren van de uittrek en vermindering van sterfte tijdens het schieraalstadium is een belangrijk onderdeel van het nationale Aalbeheersplan.

Ook de EU-Kaderrichtlijn Water is een belangrijk instrument om de migratie van diadrome vis te verbeteren. Deze richtlijn verplicht de Europese deelstaten onder meer tot het realiseren van vrije vismigratie binnen stroomgebieden.

In het Noordzeekanaal is gedurende de periode 2007-2011 multidisciplinair onderzoek door diverse onderzoeksinstituten en –bureaus uitgevoerd naar de uittrek van schieraal, m.n. gericht op het in kaart brengen van de ernst van de schade die het gemaal aan schieraal toebrengt en op het zoeken naar maatregelen om de uittrek van schieraal bij IJmuiden te verbeteren.

Doel van deze rapportage is het integreren van de drie deelstudies die de afgelopen winter zijn verricht (Van Keeken 2011, Kruitwagen 2011, Vriese 2011), met medeneming van relevante rapportages die eerder zijn verschenen, zoals de Didson-studie van eind 2009 (Van Keeken 2010) en de integrale tussenrapportage 2007-2009 van ATKB (Vriese 2010). Daarnaast is in het kader van deze opdracht een workshop begeleid, waarin de conclusies van de onderzoeken zijn besproken en getoetst aan de mening van mede-onderzoekers en experts.

## 2. Kennisvraag

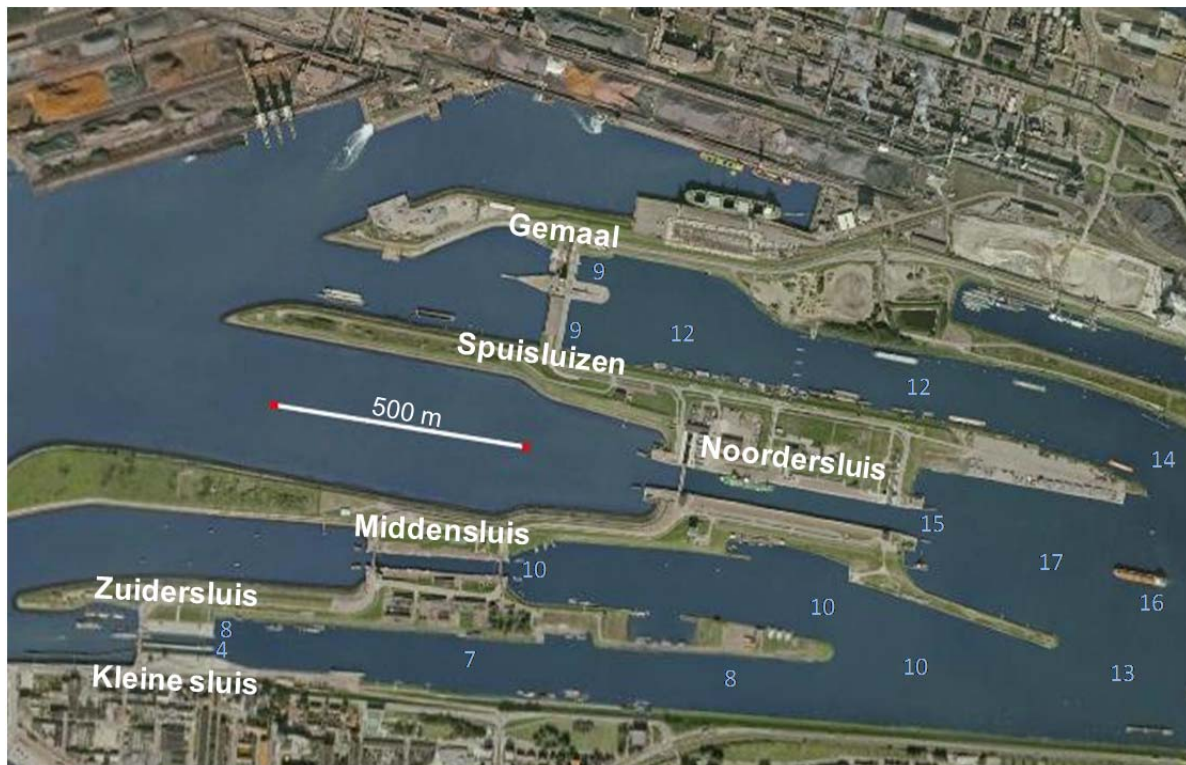
In deze rapportage komen de volgende hoofdvragen met betrekking tot beperking van de schade aan schieraal door het gemaal aan bod:

- Wat is het te verwachten positief effect van de afzonderlijke optionele maatregelen bij de schutsluizen/spui/gemaal en hoe zeker kan men zijn van dit effect?
- Voor een goede kosten/baten-afweging van de opdrachtgever: wat is het belang van dit positieve effect?
- Welke belangrijke vragen zijn ondanks de inzet van de afgelopen jaren toch nog in onvoldoende mate beantwoord?

### 3. Gebiedsbeschrijving Noorzeekanaal en sluisencomplex IJmuiden

Het sluisencomplex van IJmuiden in het Noorzeekanaal (Figuur 1) bestaat uit, van noord naar zuid (diepte telkens t.o.v. NAP):

- Een gemaal met 6 bulbpompen, waarvan 4 oudere die op een vast toerental draaien met een debiet van ca.  $40 \text{ m}^3/\text{s}$ , waarvan er twee ook op halve kracht kunnen draaien en 2 nieuwe, met een max. debiet van ca.  $50 \text{ m}^3/\text{s}$  die traploos kunnen worden ingesteld. De totale capaciteit is  $260 \text{ m}^3/\text{s}$  (en daarmee het grootste gemaal van Europa);
- Spuisluizen met 7 spuiokers, in het midden elk 4.8 m hoog, 5.9 m breed. Bodemdiepte is 9 m;
- Noordersluis: 400 m lang, 50 m breed, 15.6 m diep,  $292.000 \text{ m}^3$  volume;
- Middensluis: 200 m lang, 25 m breed, 9.6 m diep,  $48.000 \text{ m}^3$  volume;
- Zuidersluis: 105 m lang, 21 m breed, 7.5 m diep,  $16.000 \text{ m}^3$  volume;
- Kleine Sluis: 111 m lang, 11 m breed, 3.4 m diep,  $4.000 \text{ m}^3$  volume.



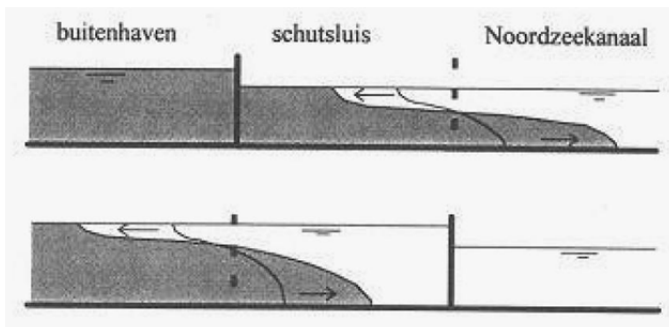
**Figuur 1.** Sluisencomplex in het Noorzeekanaal bij IJmuiden. Waterdieptes (lichtblauw) zijn gegeven in m beneden NAP.

Dwarsdoorsneden van het gemaal en de spuiokers zijn weergegeven in figuur 2 en 3. Voor meer details van de schutsluizen zie Bijlage 1.



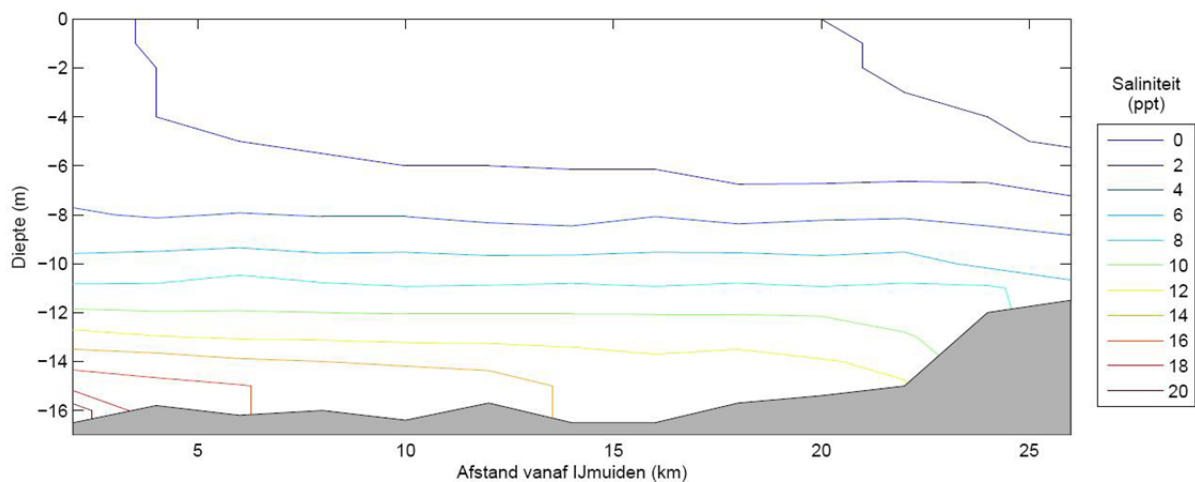


Door het grote verschil in zoutgehalte aan buiten- en binnenzijde van de schutsluizen treedt er bij vrijwel elke schutting een volledige uitwisseling van het volume plaats, waarbij het zoute water telkens langs de bodem naar het oosten het Noordzeekanaal instroomt en het brakke water naar het westen de Buitenhaven in (Figuur 4).



**Figuur 4.** Schematisch zijaanzicht waarin de waterstromingen van brak water (wit) en zout water (grijs) wordt aangegeven tijdens een schutting van één van de schutsluizen (Akkermans 2003).

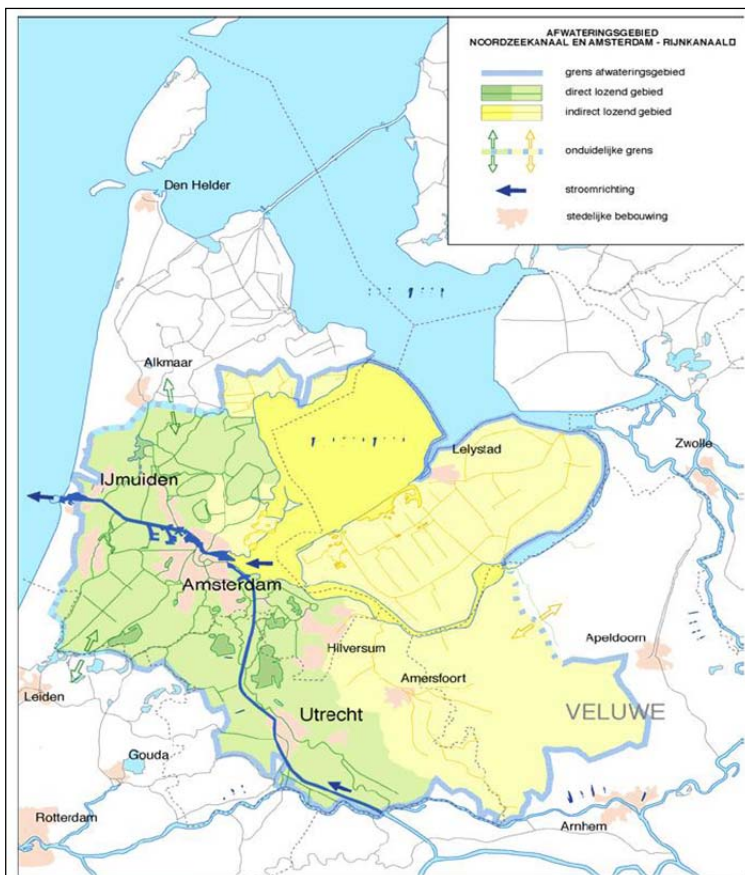
Het Noordzeekanaal tussen IJmuiden en de Coentunnel in Amsterdam is gemiddeld 270 m breed en 16 m diep, verder oostelijk wordt het kanaal ondieper en breder. De bovenste laag van 6 m is relatief zoet en wordt gemengd door de scheepvaart. Tussen 6 en 16 m is een sterke gradiënt van zoet naar zout water aanwezig (Figuur 5). Het Noordzeekanaal staat in verbinding met het IJmeer/Markermeer via de Oranjesluizen.



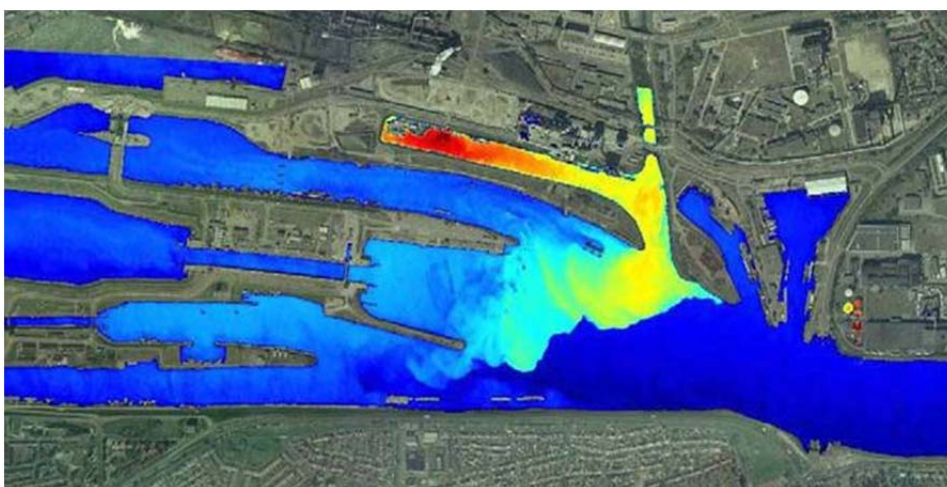
**Figuur 5.** Diepteprofielen van zoutgehalten (in ppt) van de sluis van IJmuiden (links) tot aan de Oranjesluizen in Amsterdam (rechts) (Akkermans 2003).

Het Noordzeekanaal is naast een belangrijke vaarweg ook het afwateringskanaal van een groot achterland van circa 4.000 km<sup>2</sup> (Figuur 6). Hiermee is het sluisencomplex een belangrijk uittrekpunt voor schieraal op hun migratie naar zee. De schieraal wordt in het Noordzeekanaal en bij het sluisencomplex te IJmuiden echter geconfronteerd met een zeer onnatuurlijke situatie met een grote dynamiek in tijd en ruimte van zowel waterstroming als zoutgradiënten (deze beiden vormen de belangrijkste prikkels waarop schieraal zich oriënteert tijdens de uittrek van rivieren). Alle potentiële uittrekroutes, zowel de 'gewenste' onschadelijke routes via de spuisluizen of schutsluizen als de 'ongewenste' schadelijke route via het gemaal, zijn voor schieraal niet continu, maar periodiek beschikbaar. Het gedrag en de verdeling van bij het complex aankomende schieraal in respons op de dan heersende stromingscondities en

zoutgradiënten zal dus in grote mate bepalen welk deel van de schieraal in het gemaal beschadigd raakt, welk deel uiteindelijk (na eventuele vertraging) onbeschadigd de zee haalt en welk deel wellicht geblokkeerd wordt in zijn migratie naar zee. Bovendien kan het uittrekgedrag van schieraal ook worden beïnvloed door potentiële verstoringen door geluid (gemaal, schepen), licht (verlichting) of lozingen (zoals bijvoorbeeld effluent of koelwater, zie figuur 7). Al met al geen eenvoudige uittrekllocatie voor zowel beheerders, onderzoekers als waarschijnlijk ook de schieralen zelf.



**Figuur 6.** Het afwateringsgebied dat via het Noordzeekanaal naar zee afwatert (Akkermans 2003).



**Figuur 7.** Lozingspluim van koelwater door UNA Velsen, die zich uitstrekt tot 4 à 6 meter diepte (Rijkswaterstaat Noord-Holland).

## 4. Overzicht van uitgevoerde onderzoeken gedurende 2007-2011

Gedurende 2007-2011 zijn verschillende onderzoeken uitgevoerd rondom de uittrekproblematiek van schieraal in relatie tot het gemaal/spui/schutsluizen complex in het Noordzeekanaal. Dit betreft zowel veldstudies met verschillende technieken als deskstudies als expertmeetings. In chronologische volgorde is hieronder een overzicht gegeven. Vriese (2010) heeft op basis van de onderzoeken die uitgevoerd zijn gedurende 2007-2009 al een uitgebreide tussenbalans opgemaakt.

### 2007:

- Gedurende het najaar van 11 okt – 13 dec: netvangsten achter één pomp, nr 5, van het gemaal waarbij ook het percentage dodelijk verwonde schieraal werd bepaald, en achter één spuikoker, nr 7, (Kruitwagen et al. 2008).

### 2008:

- Deskstudie naar de mogelijke aanpak van implementatie van visgeleiding bij gemaal IJmuiden (Bruijs 2008).
- Verwerking van stroomsnelheidsmetingen in het Binnenspuikanaal van IJmuiden (Mol 2008).
- Gedurende het najaar van 28 okt – 23 dec: Netvangsten achter één pomp, nr 5, van het gemaal waarbij ook het percentage dodelijk verwonde schieraal werd bepaald, en achter één spuikoker, nr 7, (Kruitwagen et al. 2009).
- Vanaf 23 okt 2008: zenderonderzoek met Nedap transponders en 2 detectiestations: 200 schieralen met zenders uitgezet ten oosten van detectiestation in Noordzeekanaal bij Velsen, tweede detectiestation bij ingang gemaal (Spierts & Vriese 2009).
- Vanaf 6 nov 2008: merk- terugvangst experiment met Floy-tags, 927 gemerkte schieralen uitgezet ten in Noordzeekanaal ten oosten van Velsen, terugvangsten binnen totaal geregistreerde vangsten bij sluisencomplex (Spierts & Vriese 2009).

### 2009:

- Expertmeeting Schieraalgeleiding IJmuiden op 1 juli 2009. Deelnemers: Imares, Kema, VisAdvies, RWS WD en NH (Van Wieringen 2009).
- Gedurende het najaar van 24 nov – 26 dec: netvangsten achter één pomp, nr 5, van het gemaal waarbij ook het percentage dodelijk verwonde schieraal werd bepaald, (Kruitwagen & Manshanden, 2010).
- Vanaf 24 nov 2009: zenderonderzoek met Nedap transponders en 3 detectiestations: 200 schieralen met zenders uitgezet tussen het detectiestation in Noordzeekanaal bij Velsen, en het detectiestation bij ingang gemaal, plus een nieuw detectiestation bij de ingang van de spuisluizen (Vis & Spierts 2010).
- Gedurende 24 nov – 21 dec: Didson (hoge resolutie akoestische camera) onderzoek naar gedrag van schieraal rond het krooshek voor gemaal IJmuiden (Van Keeken et al. 2010).
- Gedurende 7 – 21 dec 2009: 3D telemetrie onderzoek naar individuele gedragspatronen nabij het gemaal van 65 schieralen met akoestische zenders (Spierts et al. 2010).

### 2010:

- Op 7 en 21 jan 2010: onderzoek met Sensor Fish naar de fysische omstandigheden in de gemaalpompen bij IJmuiden in relatie tot vis (Vis et al. 2010).
- Deskstudie naar kostenoverzicht voor toepassing van induced flows (FVES-systeem) visgeleiding bij het gemaal IJmuiden (Bruijs 2010).
- Deskstudie en expertmeeting (dd. 5 juli) met integratie van de onderzoeken die uitgevoerd zijn in 2007-2009 (Vriese 2010). Deelnemers expertmeeting: Imares, Kema, Witteveen+Bos, Vivion, VisAdvies, AT-KB, RWS WD, LI en NH.

- Gedurende 2 nov – 15 dec: netvangsten achter één pomp, nr 5, van het gemaal waarbij ook het percentage dodelijk verwonde schieraal werd bepaald, en er viswering met stroboscooplampen werd toegepast (Kruitwagen & Manshanden 2011).
- Gedurende 13 nov – 20 dec 2010: schieraalbemonstering van het gebied aan de binnenzijde van schutsluizen en spui/gemaal IJmuiden m.b.v. fuiken door beroepsvisser Bram van Wijk (Vriese & Van Wijk 2011).
- Gedurende 15 nov – 15 dec 2010: Didson (hoge resolutie akoestische camera) onderzoek naar gedrag van schieraal rond het krooshek met viswering van stroboscooplampen voor gemaal IJmuiden (Van Keeken et al. 2010).
- Gedurende 17 nov – 2 dec 2010: Didson (hoge resolutie akoestische camera) onderzoek naar gedrag van schieraal bij de ingang van spuikoker 7 (Van Keeken et al. 2010).

#### **2011:**

- Deskstudie visvriendelijk malen naar verschillende beheersscenario's voor gemaal en spui (Van Overloop 2011).
- Expertmeeting Schieraalgeleiding IJmuiden op 28 juni. Deelnemers: Imares, Kema, FishFlowInnovations, Witteveen+Bos, VisserijserviceNI, RWS WD, LI en NH (Van Wieringen 2011).
- Bureaustudie naar de verdeling van de zwemdiepte van schieraal die van 2008 t/m 2010 is geregistreerd bij Km 8 (Fockens 2011).

De resultaten en rapportages van al deze studies zijn betrokken bij het opstellen van deze integrale rapportage. Voor meer details over de opzet, uitkomsten en gedetailleerde systeemkennis van het onderzoeksgebied verwijs ik naar de desbetreffende rapporten. De veldonderzoeken die in het najaar van 2010 zijn uitgevoerd worden in deze rapportage in iets meer detail behandeld dan voorgaande veldstudies omdat deze nog niet beschikbaar waren voor de tussenbalans die door Vriese (2010) is opgemaakt.

## 5. Gedrag en verdeling van uittrekkende schieraal bij IJmuiden

In dit hoofdstuk wordt op basis van de gegevens uit de diverse onderzoeken en literatuur een analyse gegeven van het gedrag van schieraal in het Noordzeekanaal en bij het sluisencomplex IJmuiden. Aangezien de meeste gegevens en onderzoek bij het gemaal en spuisluizen beschikbaar zijn, wordt er eerst ingezoomd op het gedrag op kleine schaal bij het gemaal en de spuisluizen en daarna verder uitgezoomd naar grotere schaal.

### 5.1. Onderzoek naar gedrag van schieraal bij gemaal en spuisluizen

Het gedrag van schieraal bij nadering van het gemaal en spuisluizen is onderzocht met verschillende technieken die het mogelijk maken individueel gedrag van schieralen op verschillende tijd- en ruimteschalen te meten:

- De *DIDSON camera* maakt het mogelijk om op een schaal van enkele tot een tiental meters ongestoord het zwemgedrag en –richting te bepalen en bijvoorbeeld de respons nabij het krooshek (grof vuil rooster) van alle paling die zich binnen de 'zichtbundel' van de DIDSON begeven. Maar het tijdsbestek dat individuele paling kan worden gevolgd is zeer klein. De meeste paling is slechts enkele seconden in beeld (Van Keeken et al. 2010, Van Keeken et al. 2011).

- De *akoestische zenders van HTI* met een opstelling van 4 hydrofoons maakte het mogelijk om het zwemgedrag van individuele met een zender uitgeruste paling op een schaal van ca. 60x200 m bij de ingang van het gemaal te registreren gedurende 14 dagen (Spierts et al. 2010). Daarnaast kon de aanwezigheid van individueel gezenderde paling in een groter gebied bij de ingangen van het gemaal en spuisluizen tot ca. 500 m worden gedetecteerd. Door de lokale omstandigheden en de gekozen opstelling kon het zwemgedrag in het platte vlak (2D) goed worden bepaald, maar de diepte waarop gezwommen werd niet (geen 3D).

- De *transponders en detectiestations van het Nedap-Trail systeem* maken het mogelijk om de aanwezigheid te bepalen van individuele paling met een transponder bij een detectiestation op een schaal van de lengte waarover het detectiestation is aangebracht (vaak over de volle breedte van een watergang of ingang), ca. 50 m in de lengterichting boven het station en tot ca. 25 m diep (bij Velsen wordt passerende schieraal gedetecteerd in een zone van ca. 270 m over de volle breedte van het kanaal, in de hele waterkolom en over een lengte in de zwemrichting van ca. 50 m). De transponders gaan gemiddeld 1.5-2 jaar mee. Elke 4 seconden wordt door een detectiestation een ondervragingssignaal uitgezonden. Als een transponder wordt gedetecteerd wordt deze 2 minuten 'uit' gezet om batterijduur te sparen. Dus de kleinste tijdschaal is 2 minuten en de grootste 2 jaar. Ruimtelijke aanwezigheid bij een detectiestation is op een schaal van minimaal tientallen meters. Het netwerk aan detectiestations kan inzicht geven in gedrag op veel grotere schaal, in principe van lokaal op Noordzeekanaal: ingang gemaal en Noordzeekanaal Velsen vanaf oktober 2008, en ingang spuisluizen vanaf november 2009 (Spierts & Vriese 2009, Vis & Spierts 2010) tot landelijk (Breukelaar et al. 2009).

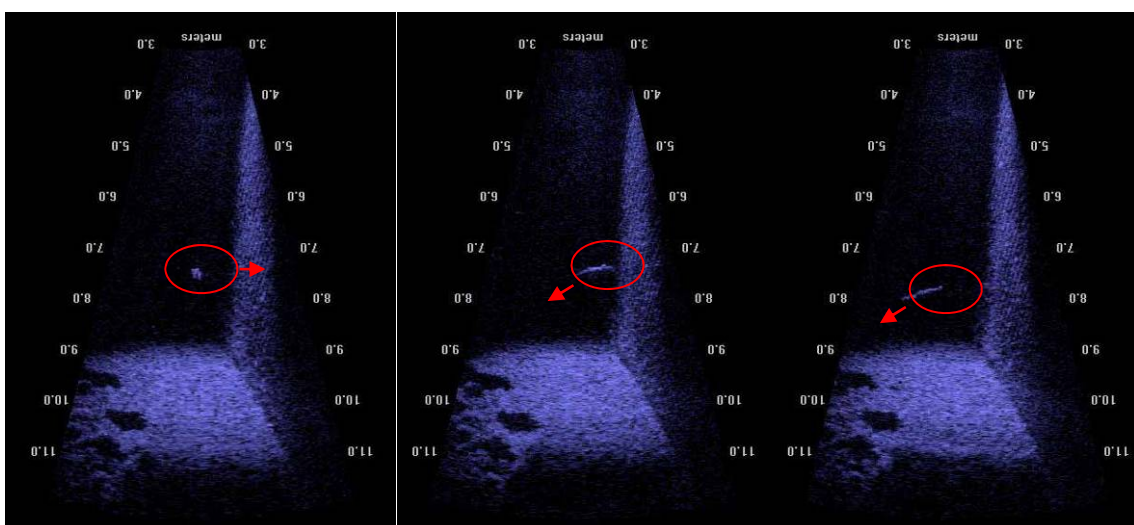
Daarnaast kan uit de onderzoeken met netvangsten achter het gemaal (2007, 2008, 2009, 2010) en spuisluis (2007, 2008) en fuikregistraties aan de binnenzijde van de diverse schutsluizen, de spuisluizen en 't gemaal indirect informatie over gedrag worden gehaald.

### 5.2. Gedrag van schieraal bij de ingang van het gemaal

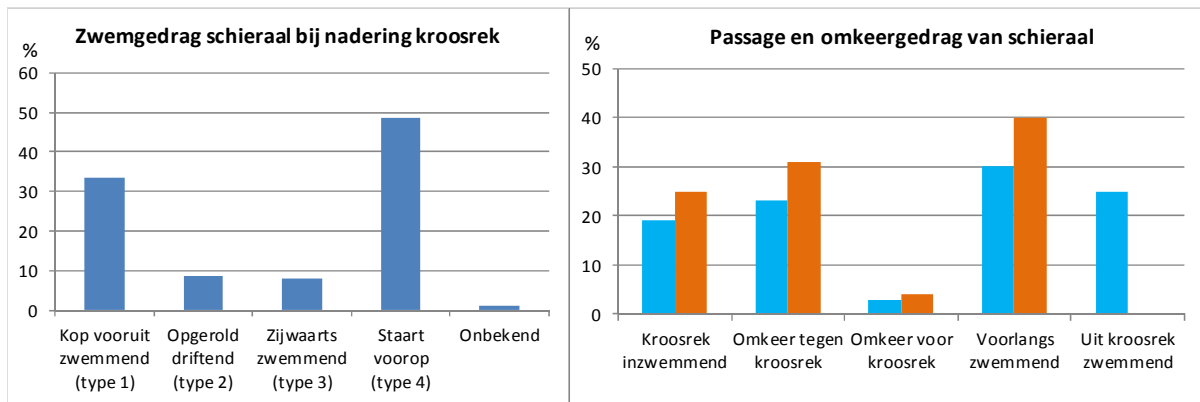
Het 2D akoestische telemetrie experiment en de DIDSON onderzoeken bevestigen duidelijk dat er ook in de situatie zonder viswering veel terugkeergedrag van schieraal in de directe omgeving van de ingang

van het gemaal plaatsvindt, zoals Bruijs (2008) op basis van literatuurstudie en berekende stroomsnelheden al verwachtte. Hierbij treedt niet alleen een gedragsrespons op bij het krooshek maar ook dicht bij de rotor van de pomp (die ca. 20 m achter het krooshek ligt) en op verschillende afstanden stroomopwaarts van het krooshek. Een belangrijke constatering is dat schieraal de mogelijkheid heeft om te kiezen niet het gemaal in te zwemmen. De stroomsnelheden vlak voor het krooshek variëren bij vol pompvermogen tussen de 0.7-0.9 m/s (Van Keeken 2010). Het akoestische zender- en DIDSON-onderzoek toont duidelijk aan dat schieraal hieraan in tegenstroomse richting kan ontsnappen en dat tenminste een deel van de schieraal dat ook doet. De spijlafstand in het krooshek is 15 cm. Een deel van de naderende schieraal zwemt door het krooshek heen, waarvan een deel tussen het krooshek en de ingang van het gemaal omkeert en weer terug zwemt tegen de stroom in door het krooshek heen. Tussen 16 en 20 m achter het krooshek neemt de stroomsnelheid snel toe van ca. 1 m/s tot ca. 4 m/s bij volle kracht en van ca. 0.5 tot ca. 2 m/s bij halve kracht. Schieralen die met de stroming meezwemmen tot binnen 2-3 m van de rotor kunnen hier niet meer aan ontsnappen en zullen onherroepelijk worden ingezogen.

Waarnemingen met de DIDSON laten zien dat schieralen die het krooshek naderden grofweg zijn in te delen in vier typen zwemgedrag; 1) actief meezwemmend met de stroming (hiervan ging een deel door het krooshek heen), 2) opgerold als een 'bal' meedriftend met de stroming (hiervan keerden allen of voor het krooshek of bij het krooshek om, zie figuur 8), 3) zijwaarts driftend/zwemmend (ook hiervan zwom geen enkele het krooshek in), 4) omgekeerd driftend met de stroming mee met kop tegen de stroming in gericht (ook hierbij geen passage van krooshek). Type 1 is wat je van een schieraal op migratie verwacht in een natuurlijke ongestoorde situatie. Type 2, 3 en 4 is wat je verwacht van schieralen die door de omstandigheden ter plaatse in een alertere of behoedzamere staat zijn geraakt, een natuurlijke reactie die hen in staat stelt snel te reageren op eventueel gevaar. Door de korte duur waarbij individuen kunnen worden gevolgd kan met de DIDSON alleen worden gekwantificeerd wat het gedrag per waargenomen schieraal is, niet welk deel van de populatie dit gedrag vertoont. Zo vond er in het najaar van 2009 in 25% van de gevallen waarin schieraal het krooshek naderde ook daadwerkelijk passage van het krooshek plaats (figuur 9), maar binnen de 'groep' van alle schieralen die het krooshek benaderden kan dit percentage hoger liggen omdat in de DIDSON metingen individuen die terugkeergedrag vertonen meerdere malen kunnen worden gezien.



**Figuur 8.** Omkeergedrag zoals geregistreerd met de DIDSON, waarbij de aal opgerold met de stroming mee driftend tot het krooshek komt en vervolgens omkeert en wegzwemt tegen de stroming in en schuin naar de bodem gericht (Van Keeken et al. 2010).



**Figuur 9.** Gedragingen van schieraal bij gemaal zoals gemeten met de DIDSON in 2009: linkerpaneel: verdeling in% over typen aanzwemgedrag (zie tekst); rechterpaneel: verdeling in% van passeer- en omkeergedrag voor alle waargenomen schieralen (lichtblauw) en exclusief de uit het krooshek zwemmende schieralen (oranje). Gebaseerd op Van Keeken et al. (2010).

Met het akoestische zender-experiment zijn schieralen uitgezet bij verschillende gemaalscenario's, met name pomp 5&6 op volle kracht versus op halve kracht. In beide gevallen werd veel terugkeergedrag gezien op verschillende afstanden van de ingang van het gemaal. Bij volle kracht lijkt het terugkeergedrag gemiddeld op iets grotere afstand voor het krooshek plaats te vinden dan bij halve kracht, waarbij wellicht afschrikking door geluid een rol speelt (Spierts et al. 2010). Er werd relatief weinig gespuid ten tijde van de uitzettingen van deze gezenderde schieraal, maar in geval van spuien vond er vrijwel geen zwembewegingen van schieraal bij het gemaal plaats. Van de 65 gezenderde schieralen die op 250-300m van het gemaal en spuiokers zijn uitgezet zijn er 9 via het gemaal naar zee getrokken. Individuele patronen van zwembewegingen zijn helaas niet gerapporteerd. Hoeveel van de 65 schieralen het gemaal hebben benaderd waarvan er uiteindelijk 9 het gemaal in zwommen is dan ook onbekend.

Met de NEDAP transponders werden in het najaar van 2008 in totaal 27 van de 200 schieralen bij de ingang van het gemaal gedetecteerd. Deze 27 schieralen leverden 77 'registraties' (gedefinieerd als een enkele of aaneengesloten serie van detecties met 2 min interval), wat duidt op veel terugkeergedrag. Te meer daar er binnen een 'detectie' met een serie registraties met 2 min interval ook terugkeergedrag op het detectiestation kan plaatsvinden. Ook in het najaar van 2009 werden veel herhaalde detecties bij de ingang van het gemaal waargenomen.

### 5.3. Gedrag van schieraal bij de ingang van de spuiokers

In 2009 is ook de ingang van de spuiokers afgedekt met een NEDAP station. Ook bij de ingangen van de spuiokers zijn een deel van de schieralen meermalen gedetecteerd. Dit vond vooral plaats als er niet gespuid werd. Van de 25 schieralen die als laatste detectie een detectie bij de spuioker hadden, was dit voor 22 tijdens het spuien. Ook tijdens het DIDSON onderzoek in 2010 bij de ingang van de spuiokers (4 avonden) is tijdens het spuien geen terugkeergedrag waargenomen, alleen schieralen die de spuioker inzwommen. Alleen op 19 november voorafgaand aan het spuien dat om 20:00 uur begon zijn er 3 schieralen gezien die koker 7 inzwommen, 2 die er weer uitzwommen en 5 die er zijwaarts voorlangs zwommen. Wellicht dat de schieralen die buiten de spuiperiodes alsnog de spuioker inzwommen afkomen op het zoute lekwater dat bij hoogwater langs de deuren in de kokers binnendringt.

Met de DIDSON is van de schieralen die tijdens het spuien spuikoker 7 inzwommen bepaald op welke diepte deze zwommen. Schieralen zwommen op alle diepten binnen, maar het meeste in het middengedeelte tussen 1-4 m boven de bodem, wat overeenkomt met een diepte tussen 5 en 8 meter. In de bovenste 2 m van de spuikoker (tussen 3 en 5 m diep) en direct aan de bodem 0-1 m (tussen de 8 en 9 m diep) zwommen relatief minder schieralen de spuikoker binnen. De verhouding tussen het aantal schieralen dat via de diepteklasse 0-1 m boven de bodem zwom was een factor 1.7 lager dan het gemiddelde per diepteklasse, maar de aantallen waarop dit is gebaseerd waren niet groot en het verschil was niet significant (Van Keeken et al. 2011).

#### **5.4. Verhouding tussen uittrek van schieraal via het gemaal en spuisluisen**

Zenderexperimenten in de Maas lieten zien dat de schieraal zich in eerste instantie conform de debietverdeling over verschillende routes (waterkrachtcentrale versus stuw) verdeelt, en er vervolgens via teruggegedrag na verstoring bij de ingang van waterkrachtcentrales in tweede instantie een herverdeling optreedt. Hierdoor passeert er uiteindelijk relatief meer schieraal via de stuw dan via de waterkrachtcentrale dan op basis van debietverdeling kon worden verwacht (Jansen et al. 2007). Als dit ook opgaat voor de situatie in het Noordzeekanaal, dan is de verwachting dat de initiële verdeling van schieraal dichtbij de debietverdeling ligt, en zal er indien er sprake is van gedragsbelemmeringen om het gemaal in te zwemmen, uiteindelijk een veel kleinere fractie via het gemaal naar zee trekken dan via andere routes. Aangezien de spuisluisen direct naast het gemaal liggen lijkt dit de meest aangewezen alternatieve uittrekroute die beschikbaar is voor schieraal die in eerste instantie bij het gemaal aankwamen maar ervoor kozen om deze niet in te zwemmen. Om te inventariseren in welke mate er in de situatie zonder viswering al afleiding van schieraal van het gemaal naar de spuisluisen plaatsvindt wordt er een vergelijking gemaakt tussen de verdeling van schieralen over het gemaal en spuikokers bij eerste nadering en wat er uiteindelijk via het gemaal en spuisluisen naar buiten trekt.

Uit de data in Bijlage III uit Vis & Spierts (2010) kan worden afgeleid dat van alle gezenderde schieralen die in het najaar 2009 aankomen bij het gemaal of de spuisluisen, 32% als eerste worden gedetecteerd bij het gemaal, tegen 68% als eerste bij de stuw. De debietverdeling in dezelfde periode was 53% van de afvoer via het gemaal tegen 47% via de spuisluisen (figuur 10). Een aannemelijke verklaring hiervoor zou kunnen zijn dat de schieraal zich in eerste instantie conform het debiet verdeelt maar dat er voor het bereiken van het detectiestation bij de ingang van het gemaal al een deel van de schieraal door verstoring aarzelt en afwijkt van de gekozen migratieroute (waarvoor geluid de meest waarschijnlijke storingsprikkel lijkt). Dit komt overeen met waarnemingen die met de akoestische zenders zijn gedaan.

Om de verhouding tussen uittrek van schieraal via het gemaal en de spuisluisen te bepalen zijn er in drie onderzoeken conclusies getrokken:

- 1) NEDAP telemetrie met detectiestations bij de ingang van het gemaal en spuikokers in najaar 2009;
- 2) het akoestische zenderexperiment in december 2009;
- 3) de netvangsten achter het gemaal en in spuikoker 7 in 2007 en 2008.

*Ad 1)* In de NEDAP zenderstudie van het najaar 2009 wordt niet rechtstreeks gemeten welke schieralen het gemaal of de spuisluisen hebben gepasseerd, maar wordt de zwemrichting afgeleid van het aantal 'registraties' (enkele of aaneengesloten serie detecties met 2 min interval), waarbij één registratie een passage richting zee betekent, 2 registraties een passage richting zee en terugkeer richting kanaal, en 3 registraties een passage richting zee, terugkeer richting kanaal en passage richting zee. Als extra criterium om de zwemrichting te bepalen bij de detectiestations in spuisluisen en voor gemaal werd aangenomen dat in geval van een laatste registratie (de schieraal is nadien niet meer gezien) én er afvoer was bij de spuisluisen of het gemaal de gezenderde schieraal naar zee is gepasseerd (Vis & Spierts 2010). Op deze wijze komen zij op 15 gezenderde schieralen die het gemaal naar zee passeren



en 22 gezenderde schieralen die de spuisluizen naar zee passeren, een verdeling van 41% via gemaal versus 59% via spui naar zee. Deze methode om de zwemrichting te bepalen werkt redelijk goed bij stations op een route waar de kans op terugkeergedrag direct op het station gering is (Bij de Vaate & Breukelaar 2001), zoals bijvoorbeeld voor station Velsen zeer waarschijnlijk opgaat. Dit station is gelegen in een lang traject met een relatief monotoon habitat, de kans dat een schieraal precies boven het detectiestation van zwemrichting verandert, zodat 1 registratie in werkelijkheid niet een passage van het station betekent maar een heen-en-weer-zwemactie representeert, lijkt gering. Dit neemt niet weg dat er ook in het Noordzeekanaal ter hoogte van Velsen veel heen-en-weer-zwemgedrag is waargenomen (33% van de 175 geregistreerde vissen had er meer dan 5 registraties en 22% 10 registraties of meer), maar hier is een directer verband tussen even/oneven aantal registraties en zwemrichting te verwachten dan bij het station direct voor het gemaal. De DIDSON- en akoestische zenderonderzoeken laten zien dat er met name op en direct bij het detectiestation bij de ingang van het gemaal veel terugkeergedrag op verschillende afstanden van het gemaal is waar te nemen. Juist ook als er afvoer is via het gemaal. Voor de spuisluizen lijkt het terugkeergedrag zich te beperken tot de situatie dat er geen afvoer is. Met name voor het gemaal zal hierdoor het aantal gezenderde schieralen dat in het najaar 2009 via het gemaal is gepasseerd (veel) lager liggen dan de geschatte 15. Voor de spuisluizen zal het aantal gezenderde schieralen dat in het najaar 2009 naar zee passeerde waarschijnlijk minder afwijken van de geschatte 22. Dit maakt dat de NEDAP zender opzet ongeschikt is om de verhouding te bepalen voor uittrekkende schieralen via gemaal en spuisluizen. Hiervoor is ook een detectiestation aan de zeezijde noodzakelijk.

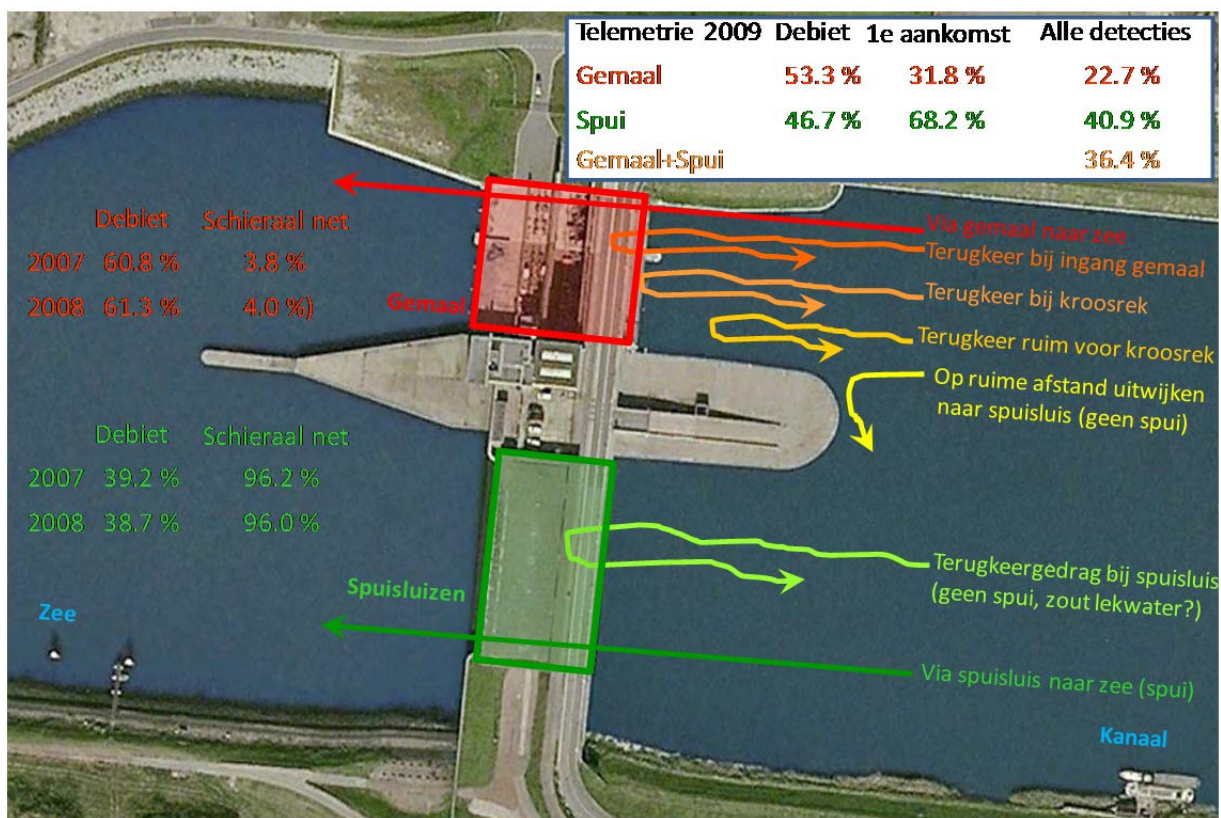
*Ad 2)* In het akoestische zender-experiment gingen van de 65 schieralen, 9 via het gemaal naar zee en 15 via de spuisluizen, een verdeling van 37.5% gemaal tegen 67.5% via spuisluizen. Dit experiment is echter opgezet om het gedrag van schieraal bij het gemaal te meten onder verschillende condities: malen met volle kracht versus malen met halve kracht. Hierdoor hebben de uitzettingen van de 3 groepen gezenderde schieraal plaatsgevonden toen er veel gemalen werd en vrijwel niet gespuid. Dit maakt dit onderzoek minder geschikt om de verhouding in uittrek te bepalen (waar het onderzoek ook niet voor bedoeld was). De werkelijke verhouding zal een groter aandeel via de spuisluizen en een kleiner deel via het gemaal laten zien.

*Ad 3)* In het najaar 2007 en in 2008 zijn op basis van netvangsten achter pomp 5 van het gemaal en in spuiwerker 7 geschat hoeveel schieralen via het gemaal en via de spuisluizen naar zee trekt (Kruitwagen et al. 2008, Kruitwagen & Manshanden 2009). Hierbij is aangenomen dat er geen verschil is tussen de spuiwerkers en dat de schieraal zich evenredig over de diepte van de spuiwerkers verdeelt. De netbemonsteringen maken een directe meting van de verhouding tussen uittrekkende schieralen via het gemaal en spuisluizen mogelijk. De geëxtrapoleerde totale aantallen zijn echter wel gebaseerd op een relatief gering aantal waarnemingen per najaar (najaar 2007 en 2008: resp. 9 en 7 metingen bij gemaal, 6 en 9 bij spuiwerker), waardoor de nauwkeurigheid van de schatting kleiner zal zijn. De debietverdeling over gemaal en spuisluizen in de onderzoeksperiode was in beide jaren vrijwel gelijk: 61% via gemaal om 39% via spuisluizen. De geschatte verhouding tussen uittrekkende schieraal was ook vrijwel gelijk in beide jaren: 4% via gemaal en 96% via spuisluizen. Als de aanname dat schieraal evenredig is verdeeld over de diepte van de spuiwerker niet geheel klopt, maar dat de netvangsten met een factor 1.7 moeten worden verhoogd (zie boven) dan zou de verhouding zelfs 2% om 98% worden. Het feit dat in beide jaren vrijwel dezelfde uitkomsten werden gehaald geeft vertrouwen in de resultaten.

## **5.5. Viswerende en afleidende werking bij gemaal voor schieraal in huidige situatie**

Er is veel terugkeergedrag voor het gemaal waargenomen op verschillende afstanden van het gemaal. Schieraal die het gemaal nadert wordt geconfronteerd met een serie opeenvolgende 'onnatuurlijke' prikkels: zoals bijvoorbeeld een toenemend geluid, veranderingen in stroomsnelheden en -patronen,

onnatuurlijke fysieke structuren (krooshek), verlichting, welke waarschijnlijk een rol spelen bij het waargenomen terugkeergedrag op verschillende afstanden van het gemaal. De stroomsnelheden die optreden bij nadering van het gemaal maken het voor schieraal mogelijk om tot voorbij de ingang van de maalgangen nog om te keren en van het gemaal weg te zwemmen (zoals de uit het krooshek tegen de stroom inzwemmende schieralen die met de DIDSON zijn waargenomen). Binnen 3 m van de rotor nemen de stroomsnelheden snel toe en worden schieralen onherroepelijk ingezogen.



**Figuur 10.** Samenvattend figuur met de belangrijkste uitkomsten van de diverse onderzoeken naar gedrag en verhoudingen van schieraal die bij het gemaal en spuisluizen aankomt. Er vindt veel terugkeergedrag plaats op verschillende afstanden voor het gemaal. De tabellen met verhoudingen van aantallen schieraal aan de linkerkant in figuur 10 zijn gebaseerd op de netvangsten achter gemaal en spuisluizen in 2007-2008. Deze waarden betreffen ongecorrigeerde percentages, wanneer een correctiefactor van 1,7 voor de vangsten achter het spuicomplex wordt toegepast zullen de percentages via het gemaal nog lager zijn (2.4%). De tabel in de rechterbovenkant van de verhouding in aankomende schieraal is gebaseerd op data van het NEDAP onderzoek in 2009.

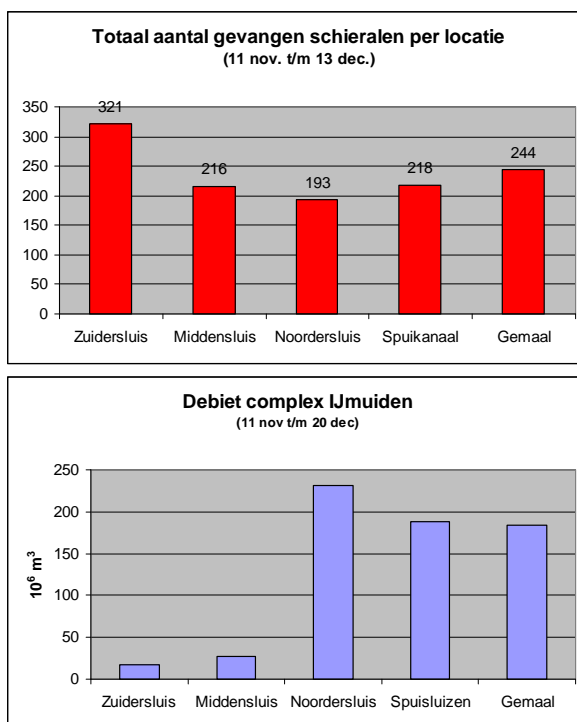
Van de schieraal die het gemaal en spuisluizen nadert in het najaar van 2009 komt 32% aan bij het gemaal en 68% bij de spuisluizen (volgens NEDAP onderzoek, wat de best beschikbare schatting is). Van de schieraal die uiteindelijk naar zee zwemt via het gemaal en spuisluizen in het najaar van 2007 en 2008 is de verhouding slechts 4% via gemaal tegen 96% via spuisluizen (volgens de netbemonsteringen, wat hiervoor de best beschikbare schattingen zijn). De verhouding in debiet tussen gemaal en spuisluizen verschilt weliswaar van jaar tot jaar, 49-61% voor gemaal en 39-51% voor spuisluizen gedurende 2007-2010, maar niet zodanig dat de verhoudingen zoals gevonden in 2007-2008 en 2009 niet met elkaar vergeleken kunnen worden. Hieruit kan worden geconcludeerd dat de huidige situatie bij het gemaal al een grote viswerende werking heeft en er veel afleiding van schieraal die eerst bij het gemaal aankomen naar de spuisluizen optreedt (figuur 10). In het geval dat alle schieraal die het Binnenspuikanaal van het gemaal en spuisluizen inzwemt uiteindelijk via of het gemaal of de spuisluizen

naar zee zwemt kan op basis van bovenstaande gevonden verhoudingen worden berekend dat 87.5% (1-0.04/0.318) van de schieraal die aankomt bij het gemaal via de spuisluis wordt afgeleid (van elke 32 schieralen die aankomen bij gemaal gaan er 4 door gemaal en dan 28 via de spuisluisen). Als de verhouding schieraal die richting gemaal of spuisluisen zwemt conform de debietverdeling is en er ook nog afleiding van schieraal op grotere afstand van het gemaal plaatsvindt (voordat deze binnen bereik van het NEDAP station komen), dan zou de afleiding zelfs 92-93% kunnen bedragen (uitgaande van dat er voor elke 49-61 schieralen die voor het gemaal aankomen er 4 doorheen zwemmen). Dit wil nog niet zeggen dat de geweerde alen allemaal uiteindelijk de migratie ongestoord zullen vervolgen. Dat hangt vooral af van de spui mogelijkheden, de oriëntatiemogelijkheden van de schieraal richting de schutsluisen en de passeerbaarheid van de schutsluisen.

Een belangrijke factor bij de afleiding van de schieraal naar de spuisluisen is dat er bij hoog water een aanzienlijke instroom van lekwater plaatsvindt onderlangs de spuischuiven waar de schieraal door aangetrokken wordt. De spuischuiven blijken in gesloten stand nl. niet goed aan te sluiten op de bodem. Schieraal kan zo langere tijd vlak voor het spui complex of in de spui kokers verblijven om een volgend laagwater af te wachten.

## 5.6. Verdeling van schieraal over het gehele sluisencomplex bij IJmuiden

Als we verder uitzoomen van het Binnenspuikanaal naar het gemaal en spuisluisen naar het gedrag van schieraal in het Noordzeekanaal en verdeling van naderende schieralen over het gehele sluisencomplex zijn er veel minder onderzoeksgegevens beschikbaar. De opzet van de zenderexperimenten laat het niet toe om te bepalen of en welk deel van de schieraal via de schutsluisen naar buiten trekt. Er kan geen onderscheid worden gemaakt tussen schieraal die achterblijft op het Noordzeekanaal tussen station Velsen en het sluisencomplex IJmuiden en welke schieraal via één van de vier schutsluisen naar zee is getrokken. Er zijn ook geen metingen in de schutsluisen uitgevoerd of en hoeveel schieraal via deze potentiële routes naar zee is getrokken.



**Figuur 11.** Totale aantallen gevangen schieralen per fuiklocatie (vangstinspanning is gelijk voor alle locaties) gedurende het najaar van 2010 (boven) en de debietsverdeling voor de verschillende locaties (onder), (Vriese & Van Wijk 2011)

Wel zijn er in 2010 fuikbemonsteringen door Bram van Wijk en ATKB (Vriese & Van Wijk 2011) aan de binnenzijde verdeeld over het gehele sluisencomplex uitgevoerd, die duidelijk maken dat er bij alle sluisen en aanvoerkanalen aanbod is van schieraal (figuur 11). Wanneer we de vangsten vergelijken met het debiet dat via elk van de sluisen of gemaal naar zee wordt uitgelaten, is er vrijwel geen verband in te ontdekken. De vangsten bij de Zuidersluis en Kleine Sluis waren het grootst terwijl hier het 'uitgeslagen' debiet naar zee het geringst was. De vangsten mogen echter niet één op één vertaald worden naar aanbod (aantallen schieraal die per 'route' aankomt). De vangst is afhankelijk van de absolute aantallen schieraal die aankomt bij een bepaalde locatie, van het gedrag

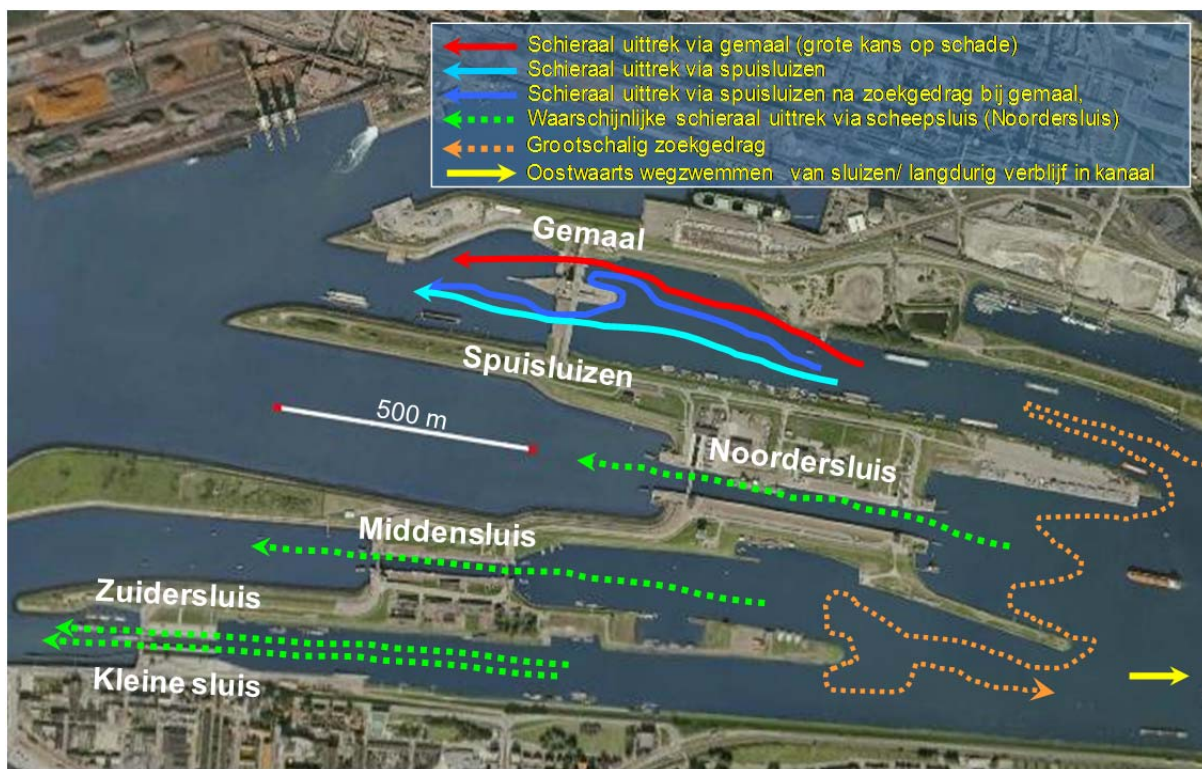
ter plaatse (veel lokaal zoekgedrag langs oevers geeft een grotere vangkans met de fuiken dan bijvoorbeeld langdurig wegkruipen in stortsteenoever, of in open water in de waterkolom rondzwemmen), en de verblijftijd ter plaatse (veel succesvolle uittrek met korte verblijftijd ter plaatse geeft lagere vangsten bij even grote aantallen naderende schieralen dan lange verblijftijd ter plaatse door bijvoorbeeld gebrek aan migratiemogelijkheden of gedragsbelemmeringen hiervan gebruik te maken).

Het NEDAP zenderonderzoek laat zien dat schieralen die aankomen bij het gemaal zelfs weer bij Velsen kunnen opduiken (3 van de 200 schieralen in 2008 en 2 van de 200 schieralen in 2009). Dit laat zien dat er in ieder geval voor een deel van de schieraal ook grootschalige zwembewegingen/zoekgedrag in het Noordzeekanaal bij het sluisencomplex plaats vindt. Daarnaast geven deze zenderonderzoeken aan dat er een veel groter deel van de schieraal in het Noordzeekanaal achterblijft en niet wegtrekt dan bijvoorbeeld op de grote rivieren met zenderonderzoek wordt gevonden. Voor 2008, toen 200 gezenderde schieralen 10 km oostwaarts van detectiestation Velsen (NZK Km 8) zijn uitgezet, wordt dit door Spierts & Vriese (2009) op 107 van de 200 schieralen gesteld (alle niet gedetecteerde schieralen), ofwel 53% van deze schieralen zou geen migratiedrang hebben. Station Velsen is echter tijdelijk buiten gebruik geweest. Van de 27 schieralen die opdoken bij gemaal IJmuiden waren er 12 niet bij Velsen gedetecteerd. Dit suggereert een misdetectiekans van 44% bij Velsen voor het najaar van 2008, wat dan neer zou komen op 36 schieralen die eventueel gemist zouden zijn. Daarnaast is het bijvoorbeeld mogelijk dat de eerste detectie gemist is en de tweede terugkerende zwembeweging wel, enzovoort. Dit maakt het op basis van de beschikbare data niet mogelijk om in te schatten welk deel ten oosten van Velsen is gebleven. Maar als ruwe schatting lijkt tenminste ca. 50% aannemelijk. Dat is een aanmerkelijk hoger percentage dan de 19-30% die in de rivieren Maas en Rijn zijn gevonden (Winter et al. 2006, Winter et al. 2007, Klein Breteler et al. 2007, Breukelaar et al. 2009).

In 2009 zijn de 200 gezenderde schieralen 2,6 km westelijk van detectiestation Velsen uitgezet. Vis & Spierts (2010) schatten op basis van detecties en aannames dat er van deze 200 schieralen, 15 (7.5%) via het gemaal naar zee zijn getrokken, 22 (11.0%) via de spuisluisen naar zee zijn getrokken, 51 (25.5%) via de schutsluisen naar zee zijn getrokken, 63 (31.5%) in het gebied tussen detectiestations en schutsluisen is achtergebleven en 49 (24.5%) oostelijker van Velsen is getrokken. Van deze schattingen lijkt de uittrek van 22 (11%) schieralen via de spuisluisen aannemelijk (zie argumentatie in 5.4. Ad 1). De schatting van 15 schieralen via het gemaal zal in werkelijkheid veel lager hebben gelegen (zie idem). De schatting van 51 (25.5%) uittrek via de schutsluisen is zeer arbitrair omdat hierover geen enkele gegevens of waarnemingen bestaan. De schatting van 63 (31.5%) van de schieralen die achterblijven in het gebied tussen sluisencomplex en Velsen is eveneens zeer arbitrair omdat er geen onderscheid kan worden gemaakt tussen achterblijven in dit gebied en uittrek via de schutsluisen. De schatting van 49 (24.5%) van de schieralen die naar het Noordzeekanaal ten oosten van Velsen zwemmen lijkt reëel, en bedraagt ten minste 39 (19.5%) schieralen. Dit maakt dat het 'uittrek-lot' van een grote groep schieralen onbekend is: een groot deel van de 15 via gemaal, 51 via schutsluisen en 63 in gebied, maakt grofweg 120-125 schieralen van de 200, waarvan niet bekend is of deze via de schutsluisen naar zee zijn getrokken of in het gebied zijn achtergebleven. De verschillende potentiële gedragingen zijn schematisch weergegeven in figuur 12.

Omdat er geen gegevens bekend zijn over de uittrek via de schutsluisen kunnen we alleen beargumenteren of en zo ja in welke mate dit wellicht optreedt. Schieraal komt bij alle schutsluisen aan (Vriese & Van Wijk 2011). Het debiet dat via de schutsluisen wordt 'uitgeslagen' naar zee is aanzienlijk en bedraagt grofweg 30% (jaarlijks 40 m<sup>3</sup>/s) van de totale bruto waterafvoer. Driekwart van het jaargemiddelde uitwisselingsvolume van de schutsluisen neemt de grote Noordersluis voor haar rekening. Er zijn verschillende 'migratie-vensters' beschikbaar voor schieraal om een sluisom in te trekken: hetzij via de geopende deuren, hetzij met de stroom mee via ruim bemeten rinketten (Kleine en

Zuidersluis) of omloopriolen van de Noordersluis tijdens het schutten. De omloopriolen van de Middensluis zijn niet of slecht toegankelijk voor vis vanwege de aanwezigheid van roosters. Bij geopende deuren vindt zowel een stroming naar het kanaal toe van zout water (waar paling tegen de stroming in kan zwemmen langs een zouter wordende gradiënt), of met de naar zee gerichte stroming met zoeter water (kan paling met de stroom mee zwemmen). Verder takt de Noordersluis met een drempelhoogte van 15.5 m aan op de dieper gelegen zoutere lagen van het Noordzeekanaal. Om deze sluis te bereiken hoeft paling die nabij de bodem van het Noordzeekanaal vertoeft dan niet via een ‘onnatuurlijke’ zoutgradiënt omhoog te zwemmen, zoals wel moet bij het Binnenspuikanaal naar gemaal/spuisluizen, de Middensluis en de Zuider- en Kleine Sluis (drempels en waterdiepten die geringer zijn en daardoor minder zout aan de bodem). Onderzoek van Visserijservice Nederland in de grote schutsluis te Zaandam, die op het Noordzeekanaal uitmondt (Van Wijk 2011), laat zien dat schieraal goed door rinketten kan trekken. De relatief geringe vangst ten opzichte van geschatte totale aantallen (zie ook volgend hoofdstuk) van beroepsvissers bij het sluisencomplex duidt op een geringe vangkans per schieraal. Dit zou kunnen worden veroorzaakt door relatief weinig grootschalig zoekgedrag en een korte verblijftijd van schieraal bij het sluisencomplex, wat ook uit het zenderonderzoek naar voren lijkt te komen: veel detecties vlak na uitzetting waarna het aantal detecties snel minder wordt. Deze waarnemingen laten zich goed rijmen met een relatief goede uittrek via één van de schutsluizen, maar zijn hiervoor geen bewijs.

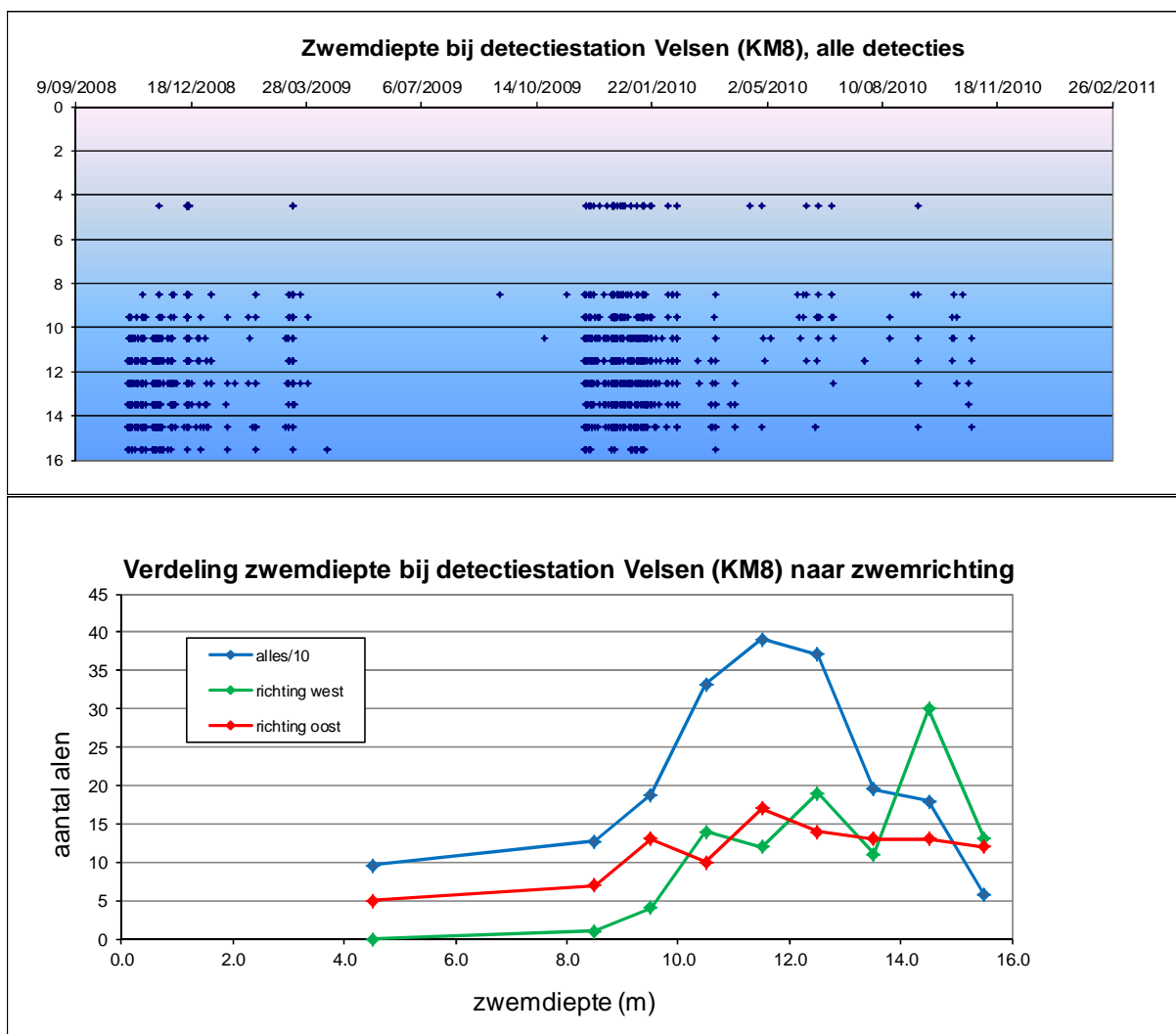


**Figuur 12.** Verschillende ‘grootschalige’ gedragingen van schieraal bij het sluisencomplex te IJmuiden

Wanneer we het totaal aan bovengenoemde indirecte waarnemingen, migratiemogelijkheden, de dimensies en afvoeren, de lokale stromings- en zoutgradiënten in de vier schutsluizen in ogenschouw nemen lijkt het aannemelijk dat de condities voor schieraal om één van deze schutsluizen succesvol te kunnen passeren relatief goed is, en gunstiger is dan in de meeste andere schutsluissituaties in Nederland. Het lijkt mij een aannemelijke inschatting dat een aanzienlijk deel van de schieralen die gemotiveerd is om naar zee te trekken en aankomen bij het sluisencomplex ook succesvol naar zee kunnen trekken, al dan niet na enige vertraging omdat de migratievensters niet continu in de tijd

beschikbaar zijn. Maar of dit ook daadwerkelijk plaatsvindt kan alleen met gerichte metingen worden vastgesteld.

Blijft over het vraagstuk dat een groter deel van de gezenderde alen dan gebruikelijk achter lijkt te blijven op het Noordzeekanaal. Op basis van alle detecties van schieralen met NEDAP-zenders tot februari 2011 bij station Velsen heeft NEDAP voor het station Velsen een relatie kunnen leggen tussen de signaalsterkte en de zwemdiepte (Fockens 2011). De resultaten hiervan zijn gebruikt voor figuur 13. Bij de bepaling van de zwemrichting zijn alleen de eerste registraties gebruikt. Te zien is dat vrijwel alle waarnemingen in de diepere zoutere delen zijn en dat de westwaarts zwemmende alen gemiddeld iets dieper zwemmen dan de oostwaartse.



**Figuur 13.** Zwemdiepte van schieraal bij passage bij Velsen (km8) in het Noordzeekanaal. Boven zijn van alle detecties de zwemdiepte weergegeven tijdens de periode 2008-2011, onder is de verdeling van de zwemrichting over de diepte aangegeven onderverdeeld in alle detecties, en detecties van oostwaarts of westwaarts zwemmende schieralen, gebaseerd op de relatie tussen signaalsterkte en zwemdiepte zoals gevonden door Fockens (2011).

Wat de reden is voor het grote aantal achterblijvers op het kanaal is onbekend. Hieronder noem ik een aantal potentiële verklaringen:

- Wellicht speelt de sterke gelaagdheid met een zoet-zout gradiënt in de diepte van het Noordzeekanaal, terwijl er in natuurlijke estuaria meer menging optreedt, hierbij een rol. De bodem van het kanaal is dieper dan de waterdiepte in de meeste uittrekroutes. Paling nabij de bodem zal zich langs een zout-zoet gradiënt moeten begeven om een uittrekroute te bereiken, met uitzondering van de Noordersluis. Als dit het geval is zou er een extra blokkade in de uittrek van schieraal naar zee optreden door de onnatuurlijke condities in het Noordzeekanaal. Hierin geeft het onderzoek naar de zwemdiepte op km 8 inzicht: westwaarts zwemmende alen zwemmen iets dieper dan oostwaarts zwemmende dieren, wat erop wijst dat ze westwaarts inderdaad de zoutgradiënt volgen. De westwaartse stroming vindt vooral in de bovenste 6 m plaats. De zoutgradiënt op het kanaal lijkt voor de schieraal een oriëntatiemiddel. Dit kan eventueel tot problemen leiden als het ondieper wordt, bijvoorbeeld bij de aantakking van het Binnenspuikanaal (van 16 m naar 14 m, halverwege het Binnenspuikanaal 12 m, voor het gemaal 8 m en voor de spui 11 m).
- Andere versturende invloeden zouden de migratiemogelijkheden kunnen beperken voor uittrekkende schieralen, zoals geluid van schepen in en nabij de schutsluizen (weinig over bekend), vermijding van de koelwaterlozingspluim aan het oppervlakte van het kanaal (zoals voor effluentpluimen is gevonden, Winter et al. 2011), verlichting van het complex (water is vaak relatief helder, maar de waterdiepten zijn ook relatief groot).
- Het zou kunnen zijn dat om wat voor reden dan ook een kleiner deel van de schieraal gemotiveerd is om in het jaar van uitzetting naar zee te willen migreren. Dit lijkt ten minste deels waar, gebaseerd op de detecties van schieralen in het jaar nadat de analyses voor de rapportages zijn uitgevoerd. Anderzijds neemt het aantal detecties in de tijd snel af nadat de verschillende batches zijn uitgezet, al blijven er detecties plaatsvinden tot aan het verstrijken van de levensduur van de batterijen twee jaar na dato (zie bijvoorbeeld figuur 13).
- Het zou kunnen zijn dat er een relatief grote sterfte is onder schieralen in het Noordzeekanaal, hetzij 'natuurlijk' door predatie of ziekte hetzij 'onnatuurlijk' door sport- of beroepsvisserij. De totale aantallen gevangen schieralen (ca. 3.000 in 2008) in het kader van de merk-terugvangst experimenten suggereren dat vangst door beroepsvisserij slechts een klein deel van de verdwijningen verklaart. Overigens is de aalvisserij op het Noordzeekanaal vanaf 1 maart 2011 verboden, nadat in 2009 en 2010 al gedurende resp. 2 en 3 maanden een vangstverbod was ingesteld.

## 6. Schade van uittrekkende schieraal in relatie tot populatieomvang

Om de totale omvang van de schade door het gemaal aan schieraal te bepalen zijn verschillende stappen noodzakelijk. Op basis van de netvangsten achter het gemaal is een inschatting te maken van het percentage van de schieralen die in het gemaal terecht komen en dodelijk gewond raken. Hiervoor zijn 4 onderzoeksjaren beschikbaar: 2007, 2008, 2009 en 2010. Omdat er in 2010 veel geëxperimenteerd is met viswering (stroboscooplampen) en gemaalvermogen (volle versus halve kracht) zijn de jaren 2007-2009 gebruikt om een inschatting te maken van het sterftepercentage van schieraal die in het gemaal terecht komt. In al deze bemonsteringen zijn 400 schieralen bemonsterd waarvan er 168 als dodelijk verwond zijn aangemerkt (42%). Hierbij is de direct zichtbare schade opgeteld bij zichtbare schade na een week bewaren van de aal in een bun. Daarnaast zijn in 2010 63 schieralen, die er ongedeerd uitzagen na passage van pomp 5 op volle capaciteit, ook inwendig onderzocht (gegevens Manshanden, niet gepubliceerd), waarbij 59 (94%) inwendige bloedingen had en een aantal ook beschadigingen aan de ruggengraat. Dit zou suggereren dat het werkelijke percentage dodelijk verwonde schieraal van de aalen die het gemaal passeren veel hoger ligt dan 42%, en mogelijk zelfs tot 96% ( $42\% + (0,94 \cdot 58\%)$ ).

De tweede stap is het bepalen wat het aandeel van schieraal is welke via het gemaal naar zee trekt van de totale hoeveelheid schieraal die aankomt bij IJmuiden en gemotiveerd is om naar buiten te trekken.

In de diverse deelonderzoeken zijn via verschillende methoden schattingen gemaakt van de hoeveelheden schieraal die via de verschillende uittrekroutes naar zee zouden trekken. Op basis van de debietverdeling en netbemonsteringen bij gemaal en spuisluisen is onder aanname dat de schieraal zich verdeelt conform deze debietverdeling en er buiten het gemaal geen migratiebelemmeringen optreden een opwerking uitgevoerd in Kruitwagen et al. (2008) en Kruitwagen & Manshanden (2009) voor 2007 en 2008 en voor alleen het gemaal in Kruitwagen & Manshanden (2010 en 2011) voor 2009 en 2010. Deze schattingen namen van de schutsluizen alleen de Noordersluis in beschouwing. In het kader van deze studie zijn deze schattingen met dezelfde berekeningswijze uitgebreid met de drie andere schutsluizen (tabel 1). Deze komen uit op circa 70.000-80.000 schieralen die tijdens de onderzoeksperiode (okt-dec) via het gehele sluisencomplex naar zee trekken, waarvan circa 2.000 schieralen via het gemaal trekken.

In deze schattingen zitten vele onzekerheden:

1) De grootste onzekerheid is of de aantallen schieraal die via de schutsluizen trekken evenredig zijn met het uitgeslagen debiet. Dit kan minder zijn als er van de schutsluizen een deels belemmerende werking uitgaat. Of juist meer als bijvoorbeeld de Noordersluis door de diepgelegen aantakking waardoor schieraal langs de bodem niet langs een onnatuurlijk zout-zoet-gradiënt hoeft in te trekken, relatief meer schieraal faciliteert in de uittrek.

2) Daarnaast zal er een deel van de schieraaltrek buiten de monsterperiode plaats vinden waardoor de schattingen te laag uitpakken. Of dit een marginaal deel is of een substantieel deel is onbekend, maar beroepsvissers geven aan dat de timing van de uittrek van schieraal in het Noordzeekanaal veel later is dan in veel andere binnenwateren. Bram van Wijk heeft de ervaring dat de grootste aantallen schieralen bij IJmuiden altijd in oktober of november gevangen worden (verschilt per jaar). In september wordt soms ook al schieraal gevangen maar dan met name kleinere mannelijke schieraal. De grotere vrouwelijke schieraal komt in zijn ervaring pas in oktober in de vangst. In sommige jaren lopen de schieraalvangsten door tot in december. Deze ervaringen suggereren dat het grootste deel van trek door de monsterperioden in met name 2007-2008 wordt gedekt. In het oostelijke deel van het Noordzeekanaal bij Amsterdam laat de passieve monitoring van IMARES (bijlage 2) zien dat de grootste aantallen schieralen in de meeste jaren van half sept (week 36) tot eind oktober (week 43) worden gevangen. Dit lijkt eerder dan in IJmuiden, wellicht doordat de schieralen meer tijd in het Noordzeekanaal doorbrengen voor ze uittrekken.



3) De schattingen zijn gebaseerd op relatief weinig bemonsteringen per seizoen. Dat de schattingen in 2007 en 2008 niet veel uiteenlopen suggereert dat de invloed hiervan wellicht meevalt.

4) De schattingen gaan uit van een evenredige verdeling van schieraal over de diepte van de spuisluisen, de waarnemingen met de DIDSON suggereren dat er een factor 1.7 meer schieraal door de spuisluis gaan dan in de onderste meter is bemonsterd, maar de aantallen waarop dit was gebaseerd zijn klein en het verschil was niet significant.

5) Andere factoren dan debiet sturen de initiële verdeling van schieraal bij aankomst van het complex (d.w.z. de verdeling van de locaties waar elke individuele paling voor het eerst aankomt, vervolgens kan er een herverdeling plaatsvinden als er op de plaats van aankomst geen migratievenster beschikbaar is, of als er door versturende prikkels omkeer- of zoekgedrag wordt getriggerd), bijvoorbeeld als de trek voornamelijk langs één of beide oevers plaats zou vinden.

**Tabel 1.** Schattingen van uittrek van schieraal via verschillende routes, gebaseerd op onderzoek met netvangsten achter pomp 5 en in spuikoker 7, en onder aanname dat schieraal zich initieel verdeeld over het geheel complex conform de uitgeslagen debieten, waarbij wel rekening is gehouden dat er na aankomst bij het gemaal en spuikokers een herverdeling over routes plaats vindt.

	n dagen	Zuid.+Kl. sluis	Middensluis	Noordersluis	Spuisluisen	Gemaal	Totaal
<b>Debiet (10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>)</b>							
2007 (10 okt - 13 dec)	65	17 2.2%	27 3.6%	<b>225</b> 29.7%	<b>192</b> 25.3%	<b>297</b> 39.2%	757 100%
2008 (28 okt - 23 dec)	56	14 1.9%	22 2.9%	<b>188</b> 24.8%	<b>207</b> 27.2%	<b>327</b> 43.2%	759 100%
2009 (24 nov - 26 dec)	32				<b>307</b> 46.7%	<b>351</b> 53.3%	
2010 (11 nov - 20 dec)	39	<b>17</b> 2.7%	<b>27</b> 4.2%	<b>228</b> 35.6%	<b>187</b> 29.2%	<b>181</b> 28.3%	640 100%
<b>Geschatte aantal schieraal</b>							
2007 (10 okt - 13 dec)	65	1,811 2.2%	2,877 3.6%	23,950 29.7%	<b>50,000</b> 62.0%	<b>2,000</b> 2.5%	80,638 100%
2008 (28 okt - 23 dec)	56	1,241 1.9%	1,971 3.0%	16,410 24.8%	<b>44,700</b> 67.6%	<b>1,850</b> 2.8%	66,172 100%
2009 (24 nov - 26 dec)	32					<b>2,890</b>	
2010 (11 nov - 20 dec)	39					<b>925</b>	

Een geheel andere onderzoeksmethode om een populatieschatting te maken is op basis van merkerugvangst experimenten. Deze zijn uitgevoerd in 2008. Spierts & Vriese (2009) hebben twee schattingen gemaakt, de eerste gaat uit van een gelijke verhouding tussen gemerkte schieralen op de uitzetplaats ten opzichte van de aankomstlocatie bij het sluisencomplex, m.a.w. er komen geen 'nieuwe' schieralen bij in het traject tussen uitzet en terugvangst en gemerkte schieralen zijn even gemotiveerd om naar IJmuiden te trekken dan ongemerkte schieralen. Deze schatting komt op 100.000 schieralen

tijdens de onderzoeksperiode in totaal (Tabel 2) en zal waarschijnlijk een overschatting zijn voor het aantal dat bij het sluiscomplex aankomt omdat deze ook het deel dat langduriger in het Noordzeekanaal verblijft meeneemt in de totaalschatting (al dan niet gemotiveerd om uit te trekken). Daarnaast is er een schatting gemaakt die alleen gebruik maakt van de waarnemingen van beroepsvisser A en uitgaat van een aandeel van 44% die gemotiveerd is om naar IJmuiden te trekken. Deze komt uit op 30.000 en zal een onderschatting zijn. In het kader van deze rapportage zijn hier nog drie schattingen aan toe gevoegd: één per beroepsvisser (zijn elk onafhankelijke schattingen) en één voor beide beroepsvisseren die allen uitgaan van een percentage 59% van de schieralen die gemotiveerd zijn om uit te trekken (zie 5.6). Deze schattingen komen op afgerond 40.000 (alleen beroepsvisser A), 160.000 (alleen beroepsvisser B) en 60.000 (beroepsvisser A+B).

**Tabel 2.** Resultaten merk-terugvangst experimenten in 2008 (zie tekst)

Schatting	Visser	Correctie op M	Gemerkt (M)	Vangst (C)	Terugvangst (R)	Populatie (N)	SD
Spierts & Vriese (2009) #1	A+B	100%	927	2908	26	99,983	+ 18,532
Spierts & Vriese (2009) #2	A	44%	408	1734	23	29,567	+ 5,698
Herberekening #1	A+B	59%	542	2908	26	58,535	+ 10,734
Herberekening #2	A	59%	542	1734	23	39,276	+ 7,626
Herberekening #3	B	59%	542	1174	3	159,593	+ 70,988

De schattingen die met deze onafhankelijke methoden zijn verkregen geven dezelfde orde van grootte aan: 60.000-100.000 schieralen. Het feit dat er in twee jaren met dezelfde methode (op basis van netvangsten in 2007 en 2008) en in één jaar met een geheel onafhankelijke methode (merk-terugvangst in 2008) schattingen zijn verkregen die dicht bij elkaar liggen geeft vertrouwen in de juistheid van deze schattingen.

Om een inschatting te maken van de schade die het gemaal aanricht bij uittrekkende schieraal en rekening houdende met een aantal onbekende factoren (welk deel van de schieraal trok buiten de onderzoeksperiode naar buiten?, hoe groot is de uittrek via de schutsluizen? Moet de opwerking van de netvangsten van spuisluisen nog met een factor 1.7 worden opgehoogd?), zijn op basis van de gemiddelde debietverdeling over het complex over de jaren 2007-2008 (waarin de beste populatieschattingen beschikbaar waren), inschattingen gemaakt voor verschillende scenario's. Als uitgangswaarden voor de scenario's is per uittreklocatie het aantal schieralen gemiddeld over 2007-2008 genomen (uit tabel 1). Daarna zijn op deze gemiddelde aantallen schieralen verschillende correctiefactoren op doorberekend in de verschillende scenario's: Hierbij is de spuisluisfactor op 1.0, 1.3 of 1.7 gesteld. De mate van uittrek via de schutsluizen ten opzichte van het debiet is gesteld op 10% (in geval van sterke migratiebelemmering bij schutsluizen), 50% (in geval matige migratiebelemmering bij schutsluizen) of 100% (in geval er geen migratiebelemmering bij schutsluizen optreedt). Daarnaast is de fractie van de schieraaltrek die buiten de onderzoeksperiodes viel (en daarmee gemist zou zijn in de onderzoeken van 2007 en 2008) gesteld op 0% (alle uittrek concentreerde zich in de onderzoeksperiode okt-dec), 10% van de uittrek vond plaats buiten de onderzoeksperiodes, of 25% vond plaats buiten de onderzoeksperiodes (Tabel 3). Voor elk van de scenario's is vervolgens uitgerekend wat het schadepercentage van het gemaal is op de totale uittrek van schieraal bij IJmuiden, waarbij zowel het sterftepercentage van 42% van de in het gemaal trekkende schieraal wordt dodelijk verwond en een worst case scenario van 100% van de schieraal die het gemaal intrekt wordt dodelijk gewond.

De verschillende instellingen van de correctiefactoren geven schattingen binnen een range van grofweg 50.000 – 150.000 schieralen die via IJmuiden naar zee trekken. De spuisluiscorrectiefactor (ingesteld op 1.0-1.7) kon niet met zekerheid worden vastgesteld (van Keeken et al. 2011). Dat er iets meer schieraal in de middelste waterlagen doortrekt in de spuikokers dan direct bij de bodem is aannemelijk op basis van gedrag van schieraal die met de stroming (die vlak tegen de bodem en het plafond iets lager zal zijn) mee zwemt, hetgeen suggereert dat 1.3 wellicht een redelijke aanname zou zijn. De doortrek via de

schutsluizen is onbekend, maar gezien de omstandigheden, uitgeslagen debieten en dimensies lijkt 50-100 % doortrek een betere schatting dan 10 %. De fractie schieraal die buiten de bemonsteringsperiode is gevangen zal groter zijn dan 0 %. Maar of dit bijvoorbeeld 10 of 25 % bedraagt is moeilijk vast te stellen. De latere timing suggereert dat het grootste deel van de trek is afgedekt en dan zou 10 % een redelijke benadering zijn, maar 25 % is zeker niet ondenkbaar.

**Tabel 3.** Berekeningen van verschillende scenario's gebaseerd op de schattingen conform de netvangsten in 2007-2008 en op aanname dat de initiële verdeling van schieraal over het complex volgens debiet plaatsvindt. Er zijn drie factoren in verschillende mate meegenomen: de spuisluiscorrectiefactor (van 1 tot 1.7), de mate waarin schieraal via de schutsluizen uittrekt (van sterk belemmerd 10% van de aantallen schieralen die initieel bij de sluisen aankomen, tot onbelemmerd 100%) en de fractie schieraal die buiten de monsterperioden uittrekt (van 0% als schieraaltrek volledig gedekt is tot 25% wanneer een kwart van de schieraaluittrek buiten de monsterperioden plaats vindt). Om de schade door het gemaal aan de totale aantallen te relateren is zowel een scenario met 42% sterfte (zoals bepaald) als 100% sterfte van de schieralen die in het gemaal terechtkomen (worst case)

Scenario	Spuisluis factor	Scheepsluizen (% doortrek op basis van debiet)	Fractie schieraal buiten monsterperiode	Zuider +	Midden-	Noorder-	Spui-	Gemaal	Totaal	Schade	
				Kleine Sluis	Sluis	sluis	sluizen			42%	100%
Minimum	1.0	10%	0	153	242	2,018	47,350	1,925	51,688	809	1,925
				0.3%	0.5%	3.9%	91.6%	3.7%	100%	1.6%	3.7%
Gemiddeld 1	1.0	50%	10%	839	1,333	11,099	52,085	2,118	67,474	889	2,118
				1.2%	2.0%	16.4%	77.2%	3.1%	100%	1.3%	3.1%
Gemiddeld 2	1.0	100%	10%	1,679	2,666	22,198	52,085	2,118	80,745	889	2,118
				2.1%	3.3%	27.5%	64.5%	2.6%	100%	1.1%	2.6%
Gemiddeld 3	1.3	50%	10%	1,166	1,852	15,521	67,711	2,118	88,367	889	2,118
				1.3%	2.1%	17.6%	76.6%	2.4%	100%	1.0%	2.4%
Gemiddeld 4	1.3	100%	10%	2,332	3,704	31,041	67,711	2,118	106,906	889	2,118
				2.2%	3.5%	29.0%	63.3%	2.0%	100%	0.8%	2.0%
Maximum	1.7	100%	25%	2,650	4,210	35,274	100,619	2,406	145,159	1,011	2,406
				1.8%	2.9%	24.3%	69.3%	1.7%	100%	0.7%	1.7%

De uiteindelijke schadepercentages variëren van 0.7% tot 3.7% (worst case). Het schade percentage van de schieraal die uiteindelijk in het gemaal terecht komt van 42% lijkt echter een onderschatting van de werkelijke schade. De eenmalige meting die Manshanden heeft uitgevoerd naar inwendige schade duidt er op dat het schadepercentage in het gemaal hoger is, tot mogelijk zelfs 96%. Als we er van uitgaan dat er tussen de 70-95% van de gemiddeld 2.100 schieralen die via het gemaal trekken sterft, dan betekent dit een schade van 1.500-2.000 in absolute aantallen. Dit komt neer op 1.3-1.7 ton bij een gemiddeld schieraalgewicht op het Noordzeekanaal van 850 gram (Vriese 2010). Uitgaande van een totale uittrek cf. de gemiddelde scenario's van 70.000-100.000 (60-85 ton) schieralen bij IJmuiden, zou de relatieve schade van het gemaal dan tussen 1.5-2.9% bedragen.

Om de ernst van deze schade in perspectief te zetten: landelijk sterft naar schatting 30 ton schieraal in gemalen (Kunst et al. 2008) en 280 ton in de beroepsvisserij (periode vóór 2009, LNV 2008). Er trekt in Nederland naar schatting 400 ton schieraal succesvol naar zee (LNV 2008), waaraan het Noordzeekanaal dus een substantiële bijdrage levert van 15 – 21%. Het aandeel van het gemaal in de landelijke sterfte aan schieraal door gemalen, zou dan tussen 4-6% bedragen.

## 7. Evaluatie van geteste schade beperkende maatregelen

### 7.1 Viswering bij gemaal met stroboscoopverlichting

In 2010 is een experiment uitgevoerd waarbij een viswering met stroboscoopverlichting, gerealiseerd door FishFlowInnovations, bij het krooshek is uitgetest en onderzocht middels netvangsten achter het gemaal (Kruitwagen & Manshanden 2011) en DIDSON waarnemingen bij het krooshek met stroboscoopverlichting (Van Keeken et al. 2011).

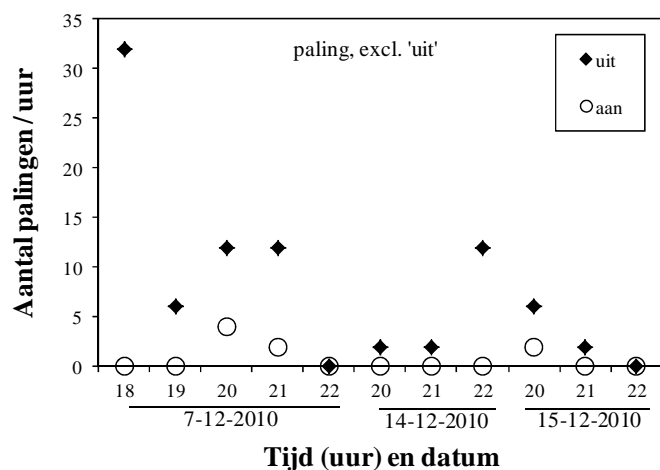
Afschrikking van vis of visgeleiding met behulp van stroboscoopverlichting wordt al decennia lang toegepast en onderzocht voor een groot aantal vissoorten, waaronder veel salmoniden (bijvoorbeeld Kock et al. 2009). Screening van de literatuur leverde echter maar één studie op naar effecten van stroboscooplampen op paling. Patrick et al. (1982) vonden 65-92% effectiviteit in viswering met stroboscooplampen voor Amerikaanse paling (nauw verwant aan de Europese paling) zowel in het veld in de Saint Lawrence Rivier als in het laboratorium. De frequentie van stroboscoop verlichting van FishFlowInnovations bedraagt 60/min. In de literatuur worden vele frequenties gebruikt variërend van 60/min tot >1000/min, waarbij de meest gebruikte 'flash'-frequenties 200-400/min bedragen (zie review in Baker, 2008). Hiermee vergeleken zit de frequentie van de bij IJmuiden geteste stroboscoopverlichting aan de ondergrens wat in de literatuur is toegepast en onderzocht. De meeste studies hebben betrekking op andere vissoorten zoals salmoniden. Patrick et al. (1982) heeft in het laboratorium verschillende flash-frequenties variërend van 66-1090/min getest op Amerikaanse paling. Hierbij werd een duidelijk ontwijkend effect van stroboscooplicht op paling gevonden bij alle flash-frequenties, terwijl er geen significante verschillen tussen de verschillende flash-frequenties optraden. Op basis hiervan mag worden verwacht dat er ook bij een frequentie van 60/min zoals door FishFlowInnovations toegepast ontwijkend gedrag van paling ging plaatsvinden.

Met de netvangsten zijn in het najaar van 2010 in totaal 24 bemonsteringen uitgevoerd; 5 zonder stroboscoopverlichting, 14 met stroboscoopverlichting en 5 met altemnerend een half uur met en zonder stroboscoopverlichting (deze laatste met name opgezet voor het DIDSON-onderzoek). Hierbij is zowel met halve (n=9) als met volle kracht (n=15) gemaal (Kruitwagen & Manshanden 2011). Zowel zonder als met stroboscoopverlichting is passage van schieraal door het gemaal waargenomen. De stroboscoopverlichting geeft geen volledige viswering voor schieraal. Er is geen significant verschil in netvangsten met of zonder stroboscoopverlichting vastgesteld. De lage aantallen schieralen, het geringe aantal bemonsteringen dat voor een vergelijking gebruikt kon worden, en de niet-random verdeling van met en zonder stroboscoop tijdens de monsterperiode maakt dat er op basis van de netvangsten niet kan worden bepaald of de stroboscoopverlichting heeft geresulteerd in extra viswering bovenop de in de huidige situatie al bestaande viswering bij het gemaal. Wel is het opvallend dat er in het najaar van 2010 toen iets meer dan de helft van de onderzoeksperiode de stroboscoopverlichting voor pomp 5 heeft aangestaan ook aanmerkelijk minder schieralen via het gemaal trokken (tabel 4).

**Tabel 4.** *Schatting van de totale uittrek via het gemaal van schieraal per najaarsonderzoekperiode gebaseerd op de netvangsten achter gemaal IJmuiden (Kruitwagen & Manshanden 2011).*

Jaar	Bemonsteringsperiode	Geschatte totale aantallen schieraal via gemaal
2007	10 okt – 13 dec	2.000
2008	28 okt – 23 dec	1.850
2009	24 nov – 26 dec	2.890
2010	2 nov – 16 dec	925

De DIDSON metingen tijdens een viertal sessies waarbij de stroboscoopverlichting alternerend een half uur aan en uit werd gezet, lieten zien dat er significant minder vaak schieraal bij het krooshek aankwam in de situatie met stroboscooplampen aan in vergelijking met stroboscooplampen uit (factor 10 lager, figuur 14, tabel 5).



**Figuur 14.** Paarsgewijze metingen van het aantal palingen dat het krooshek benadert op drie dagen (7, 14, en 15-12-2010) waarbij alternerend de stroboscooplampen een half uur aan en uit hebben gestaan. In het linker paneel zijn alle palingen meegenomen behalve de palingen die 'uit' het rooster zwommen. In het rechterpaneel zijn alle palingen behalve die 'uit' of 'voor' het rooster langs zwommen (van Keeken et al. 2011)

**Tabel 5.** Paarsgewijze analyse van het aantal palingen dat het krooshek benadert op drie dagen (7, 14, en 15-12-2010) waarbij alternerend de stroboscooplampen een half uur aan en uit hebben gestaan. Er zijn twee datasets getest: een dataselectie met alle palingen behalve de palingen die 'uit' het rooster zwommen, en een dataselectie met alle palingen behalve die 'uit' of 'voor' het rooster langs zwommen. Voor elk van deze datasets is het gemiddelde aantal palingen per uur weergegeven met de stroboscooplampen uit en aan. Daarnaast is de p-waarde van de pairwise t-test weergegeven. Beide verschillen zijn significant ( $p < 0.05$ ) (van Keeken et al. 2011).

<b>Statistisch geteste dataset</b>	<b>Gemiddeld aantal paling stroboscoop uit (n/uur)</b>	<b>Gemiddeld aantal paling stroboscoop aan (n/uur)</b>	<b>p-waarde paired t-test</b>
Alle data exclusief paling die 'uit' het rooster zwommen	7.82	0.73	0.0205
Alle data excl. paling die 'uit' en 'voor' het rooster zwommen	4.73	0.18	0.0354

De stroboscoopverlichting geeft duidelijk een extra schieraal-werende prikkel bovenop de serie prikkels die in de huidige situatie al voor een viswerende werking van ca. 90% zorgen. In hoeverre er meer schieraal geweerd werd uit het gemaal kan op basis van de uitgevoerde experimenten niet worden gekwantificeerd. Maar de relatieve winst die met een extra visweringsysteem gemaakt kan worden is gering omdat:

- 1) de fractie van de alen die zonder viswering door het gemaal trekt tussen 2 en 3% is van de populatie (zie tabel 3);
- 2) het visweringspercentage van de huidige situatie al erg hoog is en een extra toegevoegde visweringsprikkel dan minder efficiënt zal zijn en de potentiële visweringswerking niet automatisch even goed werkt voor het kleine deel schieralen dat in de huidige situatie niet geweerd wordt;

3) een gelijktijdig beschikbare alternatieve route ontbreekt (er zijn weliswaar alternatieve routes maar die zijn op andere tijdstippen periodiek beschikbaar), waardoor de kans op herhaalde pogingen om toch via het gemaal te migreren wellicht groter is met een verminderde viswering tot gevolg. Het feit dat er in de huidige situatie al een hoge viswering uitgaat van het gemaal indiceert dat deze factor niet van grote invloed zal zijn.

Deze argumenten nemen niet weg dat er weliswaar procentueel relatief weinig extra winst kan worden geboekt met aanvullende viswering, maar dat in absolute aantallen, gezien het aandeel dat gemaal IJmuiden in de landelijke sterfte in gemalen (4-6%), een verdere reductie van de sterfte van belang kan zijn.

## 7.2 Pompen op halve kracht

Om te onderzoeken of het sterftepercentage van schieraal die in het gemaal terecht komt geringer is bij pompen op halve kracht ten opzichte van pompen op volle kracht is dit nader onderzocht aan de hand van de netvangsten achter het gemaal in relatie tot de pompegegevens op basis van de gegevens uit Bijlage IV in Kruitwagen & Manshanden (2011). Omdat er in bemonstering 12 en 13 onduidelijkheden waren waartoe de vangsten behoorden, zijn er twee analyses naar de sterftepercentages uitgevoerd: één gebaseerd op alle 24 bemonsteringen en één gebaseerd op de bemonsteringen excl. bemonstering 12-13. Met een 2x2 G test of independence zijn de fracties sterfte aan schieraal bij volle kracht getest tegen halve kracht (tabel 6).

**Tabel 6.** Experiment met pompen op hele en halve kracht gedurende najaar 2010. De gegevens zijn gebaseerd op Bijlage IV in Kruitwagen & Manshanden (2011). Met een 2x2 G test of independence zijn de fracties sterfte aan schieraal bij volle kracht getest tegen halve kracht, voor twee gevallen: met alle bemonsteringen en met uitsluiting van bemonstering 12-13 (zie tekst).

	25 m3	50 m3	totals	2x2 G-test of independence	
<b>bemonstering 13-&gt; 12</b>					
onbeschadigde aal	82	151	233	Observed G=	15.72
beschadigde aal	10	68	78	William's correction=	1.01
<b>totals</b>	<b>92</b>	<b>219</b>	<b>311</b>	<b>p-value=</b>	<b>0.00</b>
%	10.9	31.1	25.1		
<b>bemonstering 12-13 helemaal buiten beschouwing gelaten</b>					
onbeschadigde aal	36	151	187	Observed G=	4.21
beschadigde aal	7	68	75	William's correction=	1.02
<b>totals</b>	<b>43</b>	<b>219</b>	<b>262</b>	<b>p-value=</b>	<b>0.04</b>
%	16.3	31.1	28.6		

Hieruit blijkt dat er in beide analyses een significante vermindering van sterfte optreedt bij pompen op halve kracht. In dit experiment een vermindering van 31% schade bij volle kracht (hetgeen lager is dan de 42% die voor 2007-2010 werd gevonden) naar 11-16% bij pompen op halve kracht.

Maalscenario's waarbij zoveel mogelijk op halve kracht wordt gepompt zullen dus een reductie van de sterfte van schieraal geven. Bovendien is gebleken dat deze scenario's daarbovenop ook nog energiezuinig zijn (Van Overloop 2011). Mogelijk is het werkelijke sterftepercentage hoger dan bij de netvangsten is ingeschat, maar ook dan is het de verwachting dat pompen op halve kracht een reductie van de schade geeft. In hoeverre er ook minder schieraal in het gemaal terechtkomt is niet te bepalen op basis van de uitgevoerde experimenten.

## 8. Potentiële maatregelen ter vermindering van de schade

### 8.1 Maximaliseren van uittrek via de schutsluizen

Met de huidige kennis van zaken is het niet bekend of er migratiebelemmeringen optreden bij de schutsluizen. Maar mocht dit wel het geval zijn, dan is er een aantal maatregelen denkbaar die deze potentiële migratiebelemmeringen verminderen. Hieronder worden de mogelijkheden kort per sluis besproken:

- Kleine Sluis: deze sluis wordt weinig gebruikt gedurende de donkere uren van de dag als er juist wel veel schieraalmigratie plaatsvindt. Dit biedt mogelijkheden voor extra schuttingen speciaal om schieraal de mogelijkheid te geven om naar buiten te trekken. Daarnaast kan er met stromingen via de rinketten extra mogelijkheden voor schieraal doortrek worden gecreëerd. Bijvoorbeeld door de rinketten aan de kanaalzijde 's nachts open te zetten afgewisseld met het periodiek (bijvoorbeeld om de 2 uur) open zetten van de rinketten aan de zeezijde. Deze maatregel zou effectief kunnen zijn, vooral in het geval het aanbod bij de Kleine Sluis onevenredig groot is ten opzichte van andere locaties, wat het geval zou kunnen zijn indien de schieraal vooral de zuidwal bij Velsen migreert (wat beroepsvisser Bram van Wijk het geval zou kunnen zijn) en er in de huidige situatie beperkingen gelden voor schieraalmigratie voor deze sluis.
- Zuidersluis: hier zijn de 'speelmogelijkheden' geringer dan bij de Kleine Sluis en wellicht ook niet nodig als bovenstaande maatregelen bij de Kleine Sluis worden uitgevoerd. Bovendien zijn in deze sluis balken voor de rinketten aangebracht die de intrek van schieraal via de rinketten mogelijk zou kunnen verminderen.
- Middensluis: de omloopriolen zijn voorzien van roosters. Analoog aan de resultaten zoals gevonden bij het krooshek voor het gemaal zou dit een extra beperking kunnen zijn voor de intrek van schieraal via de omloopriolen.
- Noordersluis: gezien het uitgeslagen debiet en de dimensies van deze sluis lijkt dit een belangrijke uittrekroute voor schieraal. Dit is tevens het enige uittrekpunt met een gelijke diepte als het Noordzeekanaal. Een maatregel zou kunnen zijn om de binnenzijdse deur zoveel mogelijk open te zetten, waardoor schieraal zonder verstoring van schepen de kolk in kan zwemmen, om bij de eerstvolgende schutting te worden mee geschut.

Over de effectiviteit van de maatregelen bij de Kleine- en de Noordersluis kan in dit stadium niet veel worden gezegd. Door middel van monitoring met de DIDSON of met bemonsteringen in de kolk of bij de rinketten valt dit vast te stellen.

Een andere vorm van maximaliseren van de uittrek via de schutsluizen is niet om de migratiemogelijkheden ter plekke te verbeteren, maar om de schieraal af te leiden bij de ingang van het Binnenspuikanaal van de spuisluizen en het gemaal. Hiervoor zijn diverse (weliswaar vaak kostbare) visgeleidingsystemen denkbaar (Bruijs 2008). Hoe effectief dit is, is op voorhand moeilijk in te schatten. Bovendien zit er het risico aan vast dat als de uittrek via de schutsluizen niet optimaal verloopt (wat nu onbekend is), er schieraal van een goede uittrekroute, namelijk de spuisluizen, wordt weggeleid naar een minder goede, namelijk de schutsluizen.

Een laatste potentieel storende factor zou de verlichting aan de kanaalzijde van het spuicomplex en de schutsluizen kunnen zijn. De verlichtingssituatie op deze locaties is nu onbekend, en verdient nader onderzoek. Het verminderen van verlichting kan een eenvoudige maatregel zijn om de uittrek van schieraal te verbeteren.

## **8.2 Maximaliseren van uittrek via de spuisluisen**

In de huidige situatie is er bij hoog water een instroom van zeewater onder de gesloten spuischuiven door, die een belangrijke rol zal spelen bij de waargenomen afleiding van schieraal weg van het gemaal. De lokkende werking van dit lekwater houdt schieraal weg van het gemaal en beperkt de schade aan schieraal die het sluisencomplex op weg naar zee passeert. Alhoewel deze lekstromen vanuit waterhuishoudkundige belangen ongewenst zijn, is het voor de schieraal van groot belang deze in stand te houden.

Om schieraal maximale kansen te geven om via de spuikokers naar buiten te trekken zou er meer inzicht in de timing van aankomst van schieraal moeten komen in relatie tot de timing van spuibeheer en de interactie met het tussentijds gevoerde maalbeheer. Dit is geen eenvoudige opgave. De bestaande gegevens maken het mogelijk om dit meer te onderzoeken. Verder heeft Van Overloop (2011) hiervoor al een aantal varianten vanuit het maalbeheer verkend. Deze zouden kunnen worden gekoppeld aan bestaande gegevens over timing en aanbod van schieraal. Het probleem hierbij is echter dat het spui- en maalbeheer gebonden is aan het peilbeheer en hierdoor weinig flexibel. Men kan niet spuien op commando. De speelruimte en extra winst door deze maatregel lijken zeer gering.

Een andere optie is gebruik te maken van het feit dat schieraal ook in een situatie zonder spui voor een deel de spuikoker inzwemt, mogelijk aangetrokken door lekkend zoutwater. Door extra migratievensters middels tijdelijk openzetten van een spuikoker tijdens gelijk water (peil kanaal versus peil zeezijde) te creëren kan deze schieraal een extra uittrekmogelijkheid worden geboden. In de huidige situatie sluiten de schuiven in de spuikokers tegen gelijk water, waardoor er in de praktijk al over de vloed wordt gespuid. Dit is wellicht niet alleen gunstig voor uittrekkende schieraal, maar ook voor intrekkende glasaal. Extra maatregelen, dan het zoveel mogelijk in stand houden van deze situatie, lijken dan ook niet nodig.

## **8.3 Viswering bij gemaal (minimaliseren uittrek via gemaal)**

In de huidige situatie vindt al een viswering bij het gemaal van naar schatting ca. 90% plaats, waarschijnlijk door prikkels als geluid, krooshek, stromingspatronen en wellicht verlichting. De geteste viswering met stroboscooplicht in 2010 gaf weliswaar een duidelijk significante gedragsrespons voor schieraal (DIDSON metingen), maar met de huidige gegevens kan niet worden bepaald hoeveel extra viswering deze toevoegt aan de viswerende werking van de huidige situatie. In ieder geval leidde dit niet tot een volledige viswering, aangezien er in de netvangsten ook met stroboscooplichten aan schieraal werd gevangen. Omdat de viswerende werking van de huidige situatie al hoog is, kunnen extra visweringsystemen slechts een geringe relatieve winst ten opzichte hiervan boeken (zie 7.1). De effectiviteit van viswering is ook gerelateerd aan de beschikbaarheid van alternatieve routes, waarbij de spuikokers de meest nabije en logische optie zijn, maar bij zoekgedrag op grotere schaal zijn ook de schutsluisen in beeld als alternatieve routes. Met name de meest nabije alternatieve route, het spuicomplex, is niet gelijktijdig beschikbaar als er gemalen wordt. Gezien de hoge viswerende werking van de huidige situatie bij het gemaal zal deze laatste factor waarschijnlijk geen grote invloed hebben. Dit komt vermoedelijk door de lekstromen van zeewater door het spuicomplex, die een aantrekkende werking zullen uitoefenen op schieraal.

## **8.4 Visvriendelijk malen (minimaliseren schade in gemaal)**

De maatregel die het meest zeker visvriendelijk is, is het vervangen van de huidige pompen door pompen die geen enkele schade aanrichten bij schieraal, want dan zijn alle uittrekroutes in het complex



vrij van schade en maakt de verdeling over het complex ook niet meer uit. Dit is wellicht alleen op de lange termijn mogelijk. Volledig visvriendelijke pompen zijn inmiddels vergevorderd in ontwikkeling.

Het zoveel mogelijk pompen op halve kracht lijkt een gemakkelijk te implementeren maatregelen die de schade aan schieraal in het gemaal vermindert. Temeer omdat dit daarnaast ook nog een energiewinst oplevert (Van Overloop 2011). Helaas kunnen twee van de zes pompen niet minderen in toerental en kan bij hoge aanvoer vaak niet met halve capaciteit worden gepompt. Hierdoor is de te verwachten winst toch beperkt. Indien bijvoorbeeld wordt aangenomen een halvering van de sterftekans bij halvering van het toerental, dan kan op grond van de debietgegevens in Van Overloop (2011) een schadereductie worden berekend tussen 15 en 20%.

## 9. Conclusies en aanbevelingen

### 9.1 Conclusies

#### **Uittrekgedrag van schieraal bij het sluisencomplex bij IJmuiden**

- Er treedt veel terugkeergedrag van schieraal op bij de ingang van het gemaal en op verschillende afstanden van het gemaal. Prikkelers als geluid, stromingspatronen en –snelheden, fysieke structuren als krooshek en wellicht andere onbekende versturende prikkels spelen hierbij een rol.
- In de huidige situatie is de viswerende werking van de omstandigheden aan de binnenzijde van het gemaal voor schieraal al erg hoog met naar schatting een wering van minstens 90% van de schieralen die voor het gemaal aankomt.
- Er vindt veel viswering van schieraal bij het gemaal en uitwijken naar de nabij gelegen spuisluisen plaats, die relatief ten opzichte van het uitgeslagen debiet veel uittrekkende schieraal bevat. Er lijken zich weinig belemmeringen in uittrek voor te doen. Daarnaast trekken de spuikokers ook in een situatie zonder spui een deel van de schieraal aan, waarschijnlijk door spuien over de vloed en lekkend zoutwater via de deuren.
- Over het gehele sluisen- en gemaalcomplex in het Noordzeekanaal bij IJmuiden vindt aanbod van schieraal plaats.
- Of en hoeveel uittrek van schieraal via de schutsluisen plaatsvindt is onbekend, maar het lijkt aannemelijk dat de uittrek via de schutsluisen substantieel is. Wanneer we alle indirecte waarnemingen, migratiemogelijkheden, de dimensies en afvoeren, de lokale stromings- en zoutgradiënten in de vier schutsluisen in ogenschouw nemen lijkt het aannemelijk dat de condities voor schieraal om één van deze schutsluisen succesvol te kunnen passeren relatief goed is. En gunstiger is dan in de meeste andere schutsluissituaties in Nederland. Maar of dit ook daadwerkelijk plaatsvindt kan alleen met gerichte metingen worden vastgesteld.
- Er blijft relatief veel schieraal achter op het Noordzeekanaal. Hiervoor zijn meerdere potentiële verklaringen: er vindt een gedeeltelijke blokkade van de uittrek naar zee plaats wellicht door de onnatuurlijke zoet-zout gelaagdheid en het stagnante karakter van het kanaal; er is een groter deel van de schieraal niet gemotiveerd om verder te migreren in hetzelfde jaar dan in andere watersystemen. De mogelijkheid dat dit door een grotere sterfte door natuurlijke oorzaken als ziekte of predatie of door onnatuurlijke oorzaken zoals sterfte door beroeps- of sportvisserij zou zijn veroorzaakt lijken gezien de beschikbare gegevens minder waarschijnlijk.

#### **Schatting van de populatieomvang van schieraal en schade door het gemaal**

- Op een geschatte jaarlijks migrerende populatie bij IJmuiden van 70.000-100.000 exemplaren (60-85 ton), bedraagt het schadepercentage door het gemaal naar schatting tussen 1.5% en 2.9%. Op basis van de aanwijzingen dat de werkelijke sterfte hoger is dan de 42% direct waargenomen sterfte, lijkt een sterfte in absolute aantallen van tussen de 1.500 tot 2.000 exemplaren een reële inschatting (1.3-1.7 ton schieraal). Om de ernst van deze schade in perspectief te zetten: landelijk sterft naar schatting 30 ton in gemalen en 280 ton in de beroepsvisserij (voordat er visserij-beperkende maatregelen zijn getroffen). Er trekt in Nederland naar schatting 400 ton schieraal succesvol naar zee, waaraan het Noordzeekanaal dus een belangrijke bijdrage levert. Het gemaal IJmuiden draagt aldus ca. 6% bij aan de landelijke sterfte door gemalen. In de landelijke berekeningen is geen rekening gehouden met de

mate waarin gemalen de migratie van schieraal blokkeren. Dit zou de 'indirecte' sterfte (deel van de schieraal die niet ten goede komt aan de paaipopulatie) aan schieraal nog verder kunnen verhogen.

### **Maatregelen om de schade door het gemaal aan schieraal mogelijk te verminderen**

- Het zoveel mogelijk pompen op halve kracht vermindert de sterfte van schieraal die in het gemaal terecht komt met naar schatting 15 tot 20%. Bovendien levert dit een energiebesparing op.
- Stroboscoopverlichting heeft een significant en duidelijk (factor 10 minder schieraal benaderen het krooshek) effect op het gedrag van schieraal en geeft een extra storende prikkel bovenop de versturende prikkels die er al zijn voor schieraal bij nadering van het gemaal. In hoeverre de viswering groter is geworden door inzet van stroboscoopverlichting is met de huidige gegevens niet te bepalen. In ieder geval leidde dit niet tot een volledige viswering, aangezien er nog wel schieraal via het gemaal passeerde. Omdat de viswerende werking van de huidige situatie al hoog is, kunnen extra visweringsystemen slechts een geringe winst ten opzichte hiervan boeken. Dit neemt niet weg dat een procentueel geringe vermindering van de sterfte in absolute aantallen schieraal nog steeds de moeite waard kunnen zijn, gezien het relatief grote landelijke aandeel van het Noordzeekanaal. Op basis van de met de DIDSON waargenomen gedragsrespons op de stroboscoopverlichting, de aangetoonde effectiviteit van 65-92% viswerende werking van stroboscoopverlichting (ook met flash frequenties van 60/min) en het feit dat de uittrek van schieraal in 2010, toen tijdens de helft van de tijd bij pomp 5 met stroboscoopverlichting is uitgevoerd, minder dan de helft bedroeg in vergelijking met andere jaren lijkt het aannemelijk dat stroboscoopverlichting in aanvulling op de geschatte viswerende werking in de huidige situatie van ca. 90% enige procenten extra viswering heeft toegevoegd.
- Om de migratiemogelijkheden via de schutsluizen te vergroten lijken met name maatregelen in de Kleine Sluis (bijvoorbeeld het alternerend openzetten van de rinketten aan de kanaal- en zeezijde gedurende de nacht) en de Noordersluis (bijvoorbeeld het eerder openzetten van de sluisdeuren aan de kanaalzijde) kansrijk. In hoeverre deze extra migratiemogelijkheden ook daadwerkelijk tot een grotere uittrek van schieraal leidt is door het ontbreken van gegevens over de uittrek van schieraal via de schutsluizen onbekend.

## **9.2 Aanbevelingen**

- Het spuicomplex blijkt in de huidige situatie van belang te zijn voor de afleiding van schieraal weg van het gemaal, zelfs als er niet wordt gespuid. Dit wordt vermoedelijk veroorzaakt door de lekstromen bij hoog water onderlangs de spuischuiten waar de schieraal door aangetrokken wordt. Het is van belang dat deze situatie zoveel mogelijk blijft behouden, omdat anders het risico bestaat dat meer schieraal het gemaal zal gaan passeren, met een toenemende sterfte tot gevolg.
- De grote onbekende is de doortrek via de schutsluizen. Het lijkt aannemelijk om in te schatten dat deze aanzienlijk zal zijn, maar gerichte metingen die dit eventueel bevestigen lijken wenselijk. Temeer daar er maatregelen denkbaar zijn die de doortrek via de schutsluizen mogelijk beter maken, zoals extra nachtschuttingen, of aangepast rinkettenbeheer in de Kleine Sluis, of het vaker openzetten van de binnenzijde deur van de Noordersluis. Mocht een dergelijke veldstudie worden uitgevoerd dan is het wenselijk om deze te koppelen aan factoren zoals (scheeps-)geluid, verlichting, zoet-zout gradiënten en stromingen te koppelen.
- Het nader onderzoeken of de huidige omstandigheden in het Noordzeekanaal wat stromings- en zoet-zout dynamiek betreft leidt tot belemmering van de uittrek van schieraal waardoor een deel van de schieraal (langduriger) in het kanaal verblijft.

- Het uitgebreide en multidisciplinaire onderzoek dat in het Noordzeekanaal en schutsluizen-/spui-/gemaal-complex is uitgevoerd heeft veel gegevens opgeleverd die ook kunnen worden gebruikt in het beheer van andere locaties en zijn wetenschappelijk gezien interessant om relaties tussen gedrag van schieraal in relatie tot prikkels en omgevingsvariabelen te bepalen. Deze data zou kunnen worden gebruikt in samenhang met de vele datasets die rond schieraal in Nederland zijn verzameld voor het uitvoeren van meta-analyses.

## 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.

## Referenties

### Algemene literatuur

- Akkermans, R., 2003. Variatie van zout- en zuurstofconcentraties in tijd en ruimte in het Noordzeekanaal. Stageverslag, afdeling ANWW, RWS Dienst Noord-Holland.
- Baker, J., 2008. The effects of strobe light and sound behavioural deterrent systems on impingement of aquatic organisms at plant Barry, Alabama. MSc-thesis Auburn University, USA.
- Behermann-Godel, J. & R. Eckmann. 2003. A preliminary telemetry study of the migration of silver European eel (*Anguilla anguilla* L.) in the River Mosel, Germany. *Ecology of Freshwater Fish* 12: 196–202.
- Breukelaar, A. W., Ingendahl, D., Vriese, F. T., de Laak, G., Staas, S., Klein Breteler, J. G. P., 2009. Routechoices, migration speeds and daily migration activity of European silver eels *Anguilla anguilla* in the River Rhine, north-west Europe. *Journal of Fish Biology* 74 (9): 2139-2157
- Dekker, W. 2009. De toestand van de Nederlandse aalstand en aalvisserij in 2009. IMARES rapport C098/09. 49 pp.
- Jansen, H.M., H.V. Winter, M.C.M. Bruijs & H. Polman. 2007. Just go with the flow? Route selection and mortality during downstream migration of silver eels in relation to discharge. *ICES Journal of marine Science* 64: 1437-1443.
- Kemp, P.S., M.H. Gessel & J.G. Williams. 2005. Fine-scale behavioral responses of Pacific salmonid smolts as they encounter divergence and acceleration of flow. *Transactions of the American Fisheries Society* 134:390–398.
- Klein Breteler, J., Vriese, T., Borcharding, J., Breukelaar, A., Jörgensen, L., Staas, S., Laak, G. de & Ingendahl, D., 2007. Assessment of population size and migration routes of silver eel in the River Rhine based on a 2-year combined mark-recapture and telemetry study. *ICES J. Mar. Sci.* 2007; 64: 1450-1456.
- Kock, T.J., Evans, S.D., Liedtke, L.T., Rondorf, D.W. & Kohn, M., 2009. Evaluation of Strobe Lights to Reduce Turbine Entrainment of Juvenile Steelhead (*Oncorhynchus mykiss*) at Cowlitz Falls Dam, Washington Northwest Science, 83(4):308-314.
- Kunst, J.M., B. Spaargaren, T. Vriese, M. Kroes, C. Rutjes, E. van der Pouw Kraan & R.R. Jonker. 2008. Gemalen of vermalen worden, onderzoek naar visvriendelijkheid van gemalen. Grontmij & Visadvies rapport. 70 pp.
- LNv, 2008. The Netherlands Eel Management Plan. Den Haag, 15 december 2008, 48 p.
- Patrick, P.H., Sheehan, R.W. & Sim, B., 1982. Effectiveness of a strobe light eel exclusion scheme. *Hydrobiologia* 94, 269-277.

- Sokal, R.R. & F.J. Rohlf, 1995. Biometry: the principles and practice of statistics in biological research. 3d Edition. W.H. Freeman and Company, New York.
- Vaate, A. bij de & A.W. Breukelaar, 2001. De migratie van zeeforel in Nederland. RIZA rapport nr. 2001.046.
- Wijk, B. van, 2011. Onderzoek najaarsmigratie van vis 2010 naar het Noordzeekanaal vanuit het beheergebied van hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier. Rapport Visserijservice Nederland i.o.v. Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier.
- Winter, H.V., H.M. Jansen & M.C.M. Bruijs. 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 .
- Winter, H.V. 2009. Voorkomen en gedrag van trekvis nabij kunstwerken en consequenties voor de vangkans met vistuigen. IMARES rapport C076/09. 57 pp.
- Winter, H.V., O.A. van Keeken, E.M. Foekema, F. Kleissen, Y. Friocourt, D.J.B. Beare, 2011. Behavioural response of silver eel to effluent plumes: telemetry experiments. IMARES/DELTAARES Rapport C081/11.

#### Projectpublicaties

- Bruijs, M. 2008. Deskstudie naar de mogelijke aanpak van implementatie van visgeleiding bij gemaal IJmuiden. Notitie van 21 mei 2008 door Kema i.o.v. RWS NH.
- Bruijs, M. 2010. Kostenoverzicht voor toepassing van induced flows (FVES-systeem) visgeleiding bij het gemaal IJmuiden. Kema i.o.v. RWS NH.
- Fockens, T.H.W., 2011. Bepaling van het Signaalsterkte naar Zwemdiepte Algorithme door middel van een calibratie meting. NEDAP R&D nota 19/9/11.
- Keeken, O.A. van, D. Burggraaf, S.V. Tribuhl & H.V. Winter. 2010. Gedrag van schieraal rond het krooshek voor gemaal IJmuiden, DIDSON-metingen. IMARES rapport C049/10, i.o.v. RWS NH.
- Keeken, O.A. van, D. Burggraaf & H.V. Winter. 2011. Gedrag van schieraal rond een viswering bij gemaal IJmuiden. DIDSON-metingen. Imares i.o.v. RWS NH, conceptrapport.
- Kruitwagen, G., G. Manshanden & H.V. Winter. 2008. Sterfte van schieraal door gemaal IJmuiden, onderzoeksjaar 2007. Witteveen+Bos report RW 1664-7, i.o.v. RWS NH.
- Kruitwagen, G. & G. Manshanden. 2009. Sterfte van schieraal door gemaal IJmuiden, onderzoeksjaar 2008. Witteveen+Bos i.o.v. RWS NH.
- Kruitwagen, G. & G. Manshanden. 2010. Sterfte van schieraal door gemaal IJmuiden, onderzoeksjaar 2009. Witteveen+Bos i.o.v. RWS NH.

- Kruitwagen, G. & G. Manshanden. 2011. Sterfte van schieraal door gemaal IJmuiden, onderzoeksjaar 2010. Witteveen+Bos i.o.v. RWS NH.
- Mol, J.W. 2008. Verwerking van stroomsnelheidsmetingen in het Binnenspuikanaal van IJmuiden. AquaVisioni.o.v. RWS NH.
- Spierts, I.L.Y & F.T. Vriese.2009. Schieraal in het Noordzeekanaal: migratie en merk-terugvangst onderzoek. Visadvies i.o.v. RWS WD en NH.
- Spierts, I.L.Y., H. Vis & J.H. Kemper.2010. 3D telemetrie onderzoek naar schieraalmigratie bij maal- en spuicomplex IJmuiden. Visadvies i.o.v. RWS NH.
- Vis, H. & I.L.Y. Spierts.2010. Schieraal in het Noordzeekanaal: migratieonderzoek 2009. Visadvies i.o.v. RWS NH.
- Vis, H., I.L.Y. Spierts & J.H. Kemper. 2010. Fysische omstandigheden in de gemaalpompen bij IJmuiden in relatie tot vis. Visadvies i.o.v. RWS NH.
- Vriese, F.T. 2010. Geleiding Schieraal IJmuiden, tussenrapportage onderzoeksperiode 2007-2009. TKB in opdracht van RWS NH. Inclusief verslag expertmeeting gehouden op 5 juli 2010.
- Vriese, F.T. & B. van Wijk. 2011. Schieraalbemonstering zeesluizen en spui/gemaal IJmuiden m.b.v. fuiken, nov-dec 2010. ATKB in opdracht van RWS NH.
- Wieringen, M. van. 2009. Verslag van de Expertmeeting Schieraalgeleiding IJmuiden gehouden op 1 juli 2009. RWS NH.
- Wieringen, M. van. 2011. Verslag van de Expertmeeting Schieraalgeleiding IJmuiden gehouden op 28 juni 2011. RWS NH.



## Verantwoording

Rapport C153/11

Projectnummer: 4302101201

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: dr. S. Bierman  
onderzoeker



Handtekening:

Datum: 30 november 2011

Akkoord: drs. J. Asjes  
Hoofd Afdeling Vis



Handtekening:

Datum: 30 november 2011

Bijlage 1. Overzicht en kengetallen per schutsluis bij IJmuiden

Informatie Zeesluizen IJmuiden gem. NZKpeil = NAP -0,4 m bron: Het NZK in cijfers anno 2004 (ANW 04.04) + tekeningen sluisdeuren		afmetingen (m)		volume m <sup>3</sup>	aantal per deur		rinketten		d onderrand (NAP)	omloopriolen		zeezijde d (NAP)	
		l	b		d (NAP)	h (m)	b (m)	h (m)		b (m)	h (m)		b (m)
<b>Noordersluis</b>		400	50	-15	292,000	geen	geen				6	2.5	-9,45
													-12
<b>Middensluis (2x4 deuren)</b>		200	25	-10	48,000	geen	geen				3.25	1.9	-7,29
													?
<b>Zuidersluis</b>		104.8	20.6	-7.85	16,084	3	0.89	2.13	-7.40				
<b>Kleine Sluis</b>		111	11	-3.75	4,090	2	1.01	1.64	-3.41				

Bijlage 2. Passieve Monitoringslocatie 10 (Noordzee kanaal nabij Amsterdam): Vangsten schieraal gemaakt met een Fuik. Relatieve index van abundantie (aantal schieralen per eenheid inspanning) per week binnen het jaar. LET OP: Als er geen lijn of punt in de grafiek staat dan zijn er geen gegevens (ongepubliceerde gegevens IMARES).

