Herstel van vismigratie in het Haringvliet: kennisvragen, monitoring en wetenschappelijk onderzoek

Auteur(s): H.V. Winter, I.M. Mulder, A.B. Griffioen, J.C. van Rijssel, J.J. de Leeuw & I. Tulp

Wageningen University &
Research rapport C061/20

WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Herstel van vismigratie in het Haringvliet: kennisvragen, monitoring en wetenschappelijk onderzoek

Auteur(s): H.V. Winter, I.M. Mulder, A.B. Griffioen, J.C. van Rijssel, J.J. de Leeuw & I. Tulp

Wageningen Marine Research
IJmuiden, juli 2020

VERTROUWELIJK Nee

Wageningen Marine Research rapport C061/20

WAGENINGEN UNIVERSITY & RESEARCH

Keywords: Vismigratie, Haringvliet, Kierbesluit.

Opdrachtgever: Rijkswaterstaat Water, Verkeer & Leefomgeving
T.a.v.: dr. Eddy Lammens
Postbus 2232
3500 GE Utrecht

Dit rapport is gratis te downloaden van https://doi.org/10.18174/525964
Wageningen Marine Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

Wageningen Marine Research is ISO 9001:2015 gecertificeerd.

© Wageningen Marine Research

Wageningen Marine Research, instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research, hierbij vertegenwoordigd door Dr. M.C.Th. Scholten, Algemeen directeur

KvK nr. 09098104,
WMR BTW nr. NL 8113.83.696.B16.
Code BIC/SWIFT address: RABONL2U
IBAN code: NL 73 RABO 0373599285

Wageningen Marine Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor gevolgschade, noch voor schade welke voortvloeit uit toepassingen van de resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van Wageningen Marine Research. Opdrachtgever vrijwaart Wageningen Marine Research van aanspraken van derden in verband met deze toepassing.
Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag weergegeven en/of gepubliceerd worden, gefotokopieerd of op enige andere manier gebruikt worden zonder schriftelijke toestemming van de uitgever of auteur.

A_4_3_1 V30 (2020)

Inhoud

Samenvatting **4**

1 Inleiding **7**

1.1 Achtergrond 7
1.2 Kennisvraag 7
1.3 Plan van aanpak 8

2 Resultaten **9**

2.1 Korte beschrijving van de Kier 9
2.2 Overzicht kennisvragen vanuit beheer 10
2.3 Lopende projecten Haringvliet/Kier/Delta 12
2.3.1 Reguliere monitoring: voorkomen en verspreiding van vis in de delta 12
2.3.2 Uitgevoerd en lopend onderzoek 16
2.3.3 Extra monitoring en onderzoek in het kader van de Kier 19
2.3.4 Integratie van studies 20
2.4 Levenscyclusbenadering 22
2.5 Doelsoorten en -groepen 23
2.6 Huidige status van wetenschappelijke kennis vismigratie en zoet-zout overgangen (lokaal tot internationaal) 26
2.6.1 Welke factoren bepalen passage-efficiëntie bij zoet-zout overgangen? 26
2.6.2 Antropogene verstorende factoren tijdens migratie 38
2.6.3 Predatierisico nabij intrekbarrieres 39
2.6.4 Nieuwe overgangszone Haringvliet als leefgebied 39
2.7 Welke wetenschappelijke vragen zijn relevant voor vismigratie Haringvliet? 40
2.8 Koppeling lopend onderzoek en monitoring aan beheers- en wetenschappelijke vragen: identificatie van kennis-leemtes 44
2.8.1 Gedrag van vis bij verschillende Kier-scenario's en rivierafvoeren 44
2.8.2 Aantrekkende werking van schutsluizen versus spuisluizen 46
2.8.3 Fysiologie, conditie en energetica 47
2.8.4 Selectie en genetische structuur binnen populaties 47
2.8.5 Sterfte door visserij en predatie rondom de Haringvlietdam 47
2.8.6 Rol van de overgangszone in Haringvliet als habitat en effecten van kierbeheer 48
2.8.7 Herstel van populaties migrerende vis 48
2.9 Vanuit wetenschappelijke vragen naar voorstellen en mogelijke onderzoeksaanpak 48
2.10 Keuze doelsoorten binnen toekomstig wetenschappelijk onderzoek rondom Haringvliet 55

3 Aanbevelingen **57**

3.1 Aanbevelingen voor wetenschappelijk onderzoek 57
3.2 Aanbevelingen voor zoet-zout vismigratie platform 58

4 Kwaliteitsborging **59**

Literatuur **60**

Verantwoording **66**

Bijlage 1 Lennox *et al*. (2019): 100 vragen voor toekomstig vismigratie onderzoek **68**

Samenvatting

De Zeeuwse en Zuid-Hollandse delta vormden van oudsher een open estuarium met vrije toegang voor vissen tot het Rijn-Maas stroomgebied. Door de deltawerken is de toegankelijkheid van het gebied sterk ingeperkt. Dit heeft enorme consequenties gehad voor trekvispopulaties, maar ook voor estuariene vissoorten en de kraamkamers voor mariene vissoorten. Recent zijn grootschalige initiatieven gestart voor verbetering van doortrekmogelijkheden, waaronder het Kierbesluit (de 'Kier'), dat in 2019 in werking is getreden. De Kier voorziet erin dat tijdens een deel van het getij ook zeewater het Haringvliet wordt binnengelaten via de spuisluizen in de Haringvlietdam. Internationaal is er veel aandacht voor de Kier, omdat er veel is geïnvesteerd in het verbeteren van vismigratiemogelijkheden in de stroom-opwaartse delen van Rijn en Maas. Deze inspanningen hebben uiteindelijk alleen maar zin als een goede verbinding met zee gewaarborgd is. Rijkswaterstaat (RWS), als waterbeheerder, heeft de nodige monitoring en onderzoeken ingezet rondom de Kier in een traject van 'lerend implementeren'.

Er spelen veel beheersvragen rondom dit traject van 'lerend implementeren' van de Kier in relatie tot herstel van vismigratie. Om het functioneren van de Kier te optimaliseren is monitoring nodig om de ontwikkelingen en ecologische effecten te kunnen volgen. Daarnaast is er meer wetenschappelijk inzicht nodig in de processen en factoren die bepalend zijn om de connectiviteit te kunnen optimaliseren voor een breed soortenspectrum. De doelstellingen van deze rapportage in opdracht van RWS zijn:

1) een overzicht maken van de belangrijkste kennis- en beheersvragen m.b.t. vismigratie en estuarien habitat in zoet-zoutovergangen langs de Nederlandse kust en specifiek de Kier;
2) een overzicht maken van lopend en gepland vismonitoring en -onderzoek in en rond de delta;
3) een verkenning uitvoeren van wetenschappelijke kennis m.b.t. vismigratie en habitatgebruik bij zoet-zoutovergangen en te bepalen welke kennishiaten er nog zijn;
4) identificeren van de wetenschappelijk meest relevante onderzoeksrichtingen en -methoden die voorzien in de kennisbehoefte voor beheer;
5) aanbevelingen voor inrichting van een platform t.b.v. landelijke coördinatie en afstemming van de verschillende vismigratie-onderzoeken en -projecten rondom zoet-zout overgangen.

Inventarisatie vragen vanuit beheer
De vragen vanuit het water-, natuur- en visserijbeheer spitsen zich toe op een aantal onderdelen: optimalisatie van in- en uittrek, gebruik van het habitat aan beide zijden van de Kier, de uitspoeling van zoetwatervis en het relatieve effect van visserijvrije zones.

Inventarisatie lopend en gepland onderzoek en monitoring
Er worden reguliere monitoring, aanvullende monitoring in het kader van de Kier, gerichte onderzoeken en integratiestudies uitgevoerd. Monitoring omvat m.n. langlopende gegevensverzameling over vis (bijv. wanneer komt welke soort waar voor). Onderzoek richt zich meer op het begrijpen van mechanisme of proces (het hoe en waarom, bijv. hoe maakt vis gebruik van selectief getijdetransport tijdens intrek?). Monitoring die momenteel en komende jaren uitgevoerd worden: kraamkamerfunctie van de Zuid-Hollandse delta (zegenbemonstering, MWTL bemonstering), passage via Haringvlietsluizen (driftnetten, telemetrie) en migratiepatronen van diverse gezenderde diadrome vissoorten door middel van zenderstudies. Dit hele scala biedt een goede basis voor verdiepend onderzoek.

Inventarisatie vragen vanuit wetenschap
Er zijn omtrent vismigratie bij zoet-zoutovergangen nog veel wetenschappelijke vragen m.b.t.; gedrag van vis i.r.t. omgevingsfactoren, factoren die het benutten van migratie-vensters bepalen, antropogene verstorende factoren tijdens migratie, predatierisico bij intrekbarrières, het gebruik van brak habitat (langs een zoet-zout gradiënt) en de effecten van vertraging en verliezen op populatieniveau van trekvis.

Koppeling beheers- en wetenschapsvragen: identificeren van hiaten in kennis
Aan de hand van vragen uit beheer en wetenschap is een set vragen gedefinieerd die relevant is voor het optimaliseren van de Kier. Hierbij zijn drie ruimtelijke schalen gehanteerd: de *corridorfunctie* (het

functioneren van de verbinding tussen zee en Haringvliet via het sluizen-complex in de Haringvlietdam), de *habitatfunctie* van het leefgebied rondom de Haringvlietdam en *het populatieniveau*, waarbij knelpunten voor het herstellen van populaties worden bepaald. Daarnaast is het goed om onderscheid te maken tussen de *zwakke* en *sterke zwemmers* omdat zowel het gedrag en de afhankelijkheid van omgevingsdynamiek als de beschikbare onderzoeks-methoden en -mogelijkheden voor elk van beide categorieën verschillend is. De set vragen spitst zich toe op drie schaalniveaus:

Corridorfunctie:
- het aanbod en verspreiding (gedrag van vis) aan de zeezijde bij verschillende afvoeren
- de passage-efficiëntie van de intrek van de Haringvlietdam en wat zijn hierin bepalende factoren
- het gebruik van alternatieve routes naast de geopende Kier (scheepsluizen, visriolen/vissluizen)
- terugkeer van uitgespoelde zoetwatervissen naar het Haringvliet

Habitatfunctie:
- in hoeverre leidt de Kier tot nieuw brak habitat, en wat is het effect van 'zoetspoelen'

Populatieniveau:
- in welke mate treden extra verliezen op door visserij en predatie, energieverlies door oponthoud, werkt dit door op populatieniveau en hoe faciliteert de Kier hierin

Opmaat naar toekomstig wetenschappelijk onderzoek
Omdat mogelijkheden voor aanpakken en technieken voor zwakke en sterke zwemmers verschillen is het logisch om aparte onderzoekslijnen voor deze beide groepen aan te houden. De keuze van geschikte doelsoorten is hierbij van groot belang voor de haalbaarheid van de studies.

Migratie via het Haringvliet van zwakke zwemmers (kleine vis)
Inzicht in de relatie tussen het gedrag van vis (m.n. aan de zeezijde) en de omgevingsdynamiek is cruciaal voor het maximaliseren van intreksucces. Omdat er geen individuele technieken zijn om gedrag van kleine vis te volgen maar deze vaak wel in flinke aantallen voorkomen, lijkt een aanpak gebaseerd op een combinatie van dichtheids- en fluxmetingen gedurende getij het meest kansrijk. Koppeling van gedrag aan hydrodynamische modellen lijkt een goed insteek, ook voor toepassing voor beheer.

Migratie via het Haringvliet van sterke zwemmers (grote vis)
Individueel gedrag van sterke zwemmers is meetbaar met verschillende merk- en zendertechnieken. Hiermee kan zowel zoekgedrag, vertraging als passage succes direct bepaald worden. Doordat er in de periode voor de Kier ook veel zenderonderzoek is uitgevoerd is het effect van de kier goed te bepalen. Veel openstaande onderzoeksvraagstukken liggen op populatieniveau: knelpunt-analyses, de rol van verliezen door visserij of predatie en andere bottlenecks tijdens het voltooien van de levenscyclus. We pleiten voor een geïntegreerde aanpak, waarbij niet alleen de directe effecten van het vergroten van de connectiviteit door de Kier wordt belicht, maar ook de indirecte effecten op populatieniveau: vertraging, energieverlies, selectie. Omdat dit spectrum vragen zo breed is, is het voor vervolgonderzoek wel van belang om duidelijke keuzes voor doelsoorten en onderzoekslijnen te maken.

Habitat functie van de brakke overgangszone in Haringvliet
De gevolgen van de Kier op de zoutdynamiek in de overgangszone in het Haringvliet en de respons van vis daarop zijn nog onzeker. Dit vergt eerst meer zicht op de ontwikkelingen in soortensamenstelling in tijd en ruimte uit de lopende monitoring. Gericht wetenschappelijk onderzoek naar de habitatfunctie van de overgangszone lijkt daarom nu nog te vroeg en te onzeker om op in te steken.

Uitspoelen van zoetwatervis via de Haringvlietdam
Voor de waterbeheerder niet de hoogste prioriteit, maar vanuit het visserij- en natuurbeheer wel van belang. Herhaling van de snoekbaars-zenderstudie zoals is uitgevoerd voor de Kier in werking trad, levert een goede voor-na studie op om de verbetering van terugkeer na uitspoeling te bepalen.

Vergelijkende studies
Wij bevelen aan om ook in te zetten op vergelijkende studies tussen verschillende (typen) zoet-zout overgangen: Welke processen spelen bij zowel kleinschalige als grootschalige zoet-zout overgangen? Welke zijn schaalafhankelijk? Voor dergelijke vergelijkende studies zijn al veel gegevens beschikbaar.

Verder zijn in de zuidwestelijke delta van de Rijn/Maas/Schelde stroomgebieden drie grote intrekroutes met veel afvoeren beschikbaar: het Haringvliet, de Nieuwe Waterweg en de Westerschelde. Deze verschillen onder andere in mate van natuurlijkheid van de estuariene processen en connectiviteit. Een vergelijking van het gebruik van deze verschillende grote toegangspoorten in de zuidwestelijke delta door een of meerdere doelsoorten kan veel inzicht geven in de werking van de Kier.

Aanbevelingen zoet-zout platform

Momenteel lopen er in Nederland (en België) een flink aantal vismigratie-onderzoeken en wetenschappelijke initiatieven rondom zoet-zout overgangen. Om maximaal van elkaars kennis en bevindingen te profiteren zou het goed zijn om via een gezamenlijk platform elkaar te informeren en onderzoeksvragen aan te scherpen. Een doorstart van het 'zoet-zout platform' wat zich vooral richtte op zoutproblematiek tot een breder ecologisch zoet-zout platform zou hierin kunnen voorzien. Daarnaast zou er vanuit de verschillende onderzoeksprojecten een jaarlijks thematisch mini(symposium) kunnen worden gehouden.

De spuisluizen in de Haringvlietdam (bron: Rijkswaterstaat)

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Grenzend aan Noordzee en Waddenzee kent Nederland als rivierdelta met een grote variatie aan zoetwaterhabitats veel zoet-zoutovergangen, die vaak vanwege veiligheid onmogelijk te passeren barrières voor vis vormen. De bekendste voorbeelden hiervan zijn de Haringvlietdam en de Afsluitdijk. Veel geld wordt geïnvesteerd in voorzieningen die barrières voor met name diadrome vissen gedeeltelijk moeten opheffen. Bij de Afsluitdijk gaat dit om visvriendelijk spuibeheer en de vismigratierivier, bij het Haringvliet om de 'Kier', waarbij naast het spuien van zoetwater tijdens een deel van het getijde ook waterv anuit zee wordt binnengelaten. In beide gevallen gaat het om een infrastructuur waarvan het eigenlijke beheer (hoeveel en wanneer wordt overtollig water afgevoerd van de rivieren/IJsselmeer en zeewater naar binnen toegelaten) geoptimaliseerd kan worden om de migratiemogelijkheden voor vis te vergroten. Daarnaast gaat het ook om visstand- en visserijbeheer die samenhangt met het voorkomen en de migratie van vissen. Kennis over en onderzoek naar kennis over het optimaal inrichten van het sluisbeheer en de vissoorten die daarvan profiteren is beperkt beschikbaar. Vanuit het Waddenfonds vinden diverse wetenschappelijke onderzoeken, o.a. Swimway Waddentools, Ruim Baan voor Vissen en Vismigratierivier, plaats om kennisontwikkeling met betrekking tot optimalisatie en herstel van vismigratie tussen mariene en zoetwaterhabitats te realiseren. Ook met betrekking tot de Kier en het Haringvliet bestaat de wens van Rijkswaterstaat en Ministerie van LNV om met behulp van aanvullend wetenschappelijk onderzoek, nog openstaande kennisvragen zo goed mogelijk te kunnen beantwoorden en toe te passen om tot een optimalisatie van vismigratie in de Rijn-Maas delta te komen.

1.2 Kennisvraag

Deze rapportage heeft als doel om het huidige onderzoek en de resterende onderzoeksvragen op gebied van estuariene vis en vismigratie in zoet-zoutovergangen, en het Haringvliet in het bijzonder, zo goed mogelijk in beeld te brengen d.m.v. interviews en literatuuronderzoek. Naast bestaande vismonitoring t.b.v beleid en beheer van meerdere overheidsinstanties, heeft Rijkswaterstaat (RWS), als beheerder van de Kier, ook aanvullende monitoring en onderzoeken ingezet specifiek rondom de Kier in een traject van 'lerend implementeren'. Er spelen veel beheersvragen rondom dit traject van 'lerend implementeren' van de Kier in relatie tot herstel van vismigratie. Om het functioneren van de Kier te optimaliseren is monitoring nodig, zodat de ontwikkelingen en ecologische effecten gevolgd kunnen worden. Daarnaast is er meer wetenschappelijke kennisontwikkeling nodig naar de processen en factoren die bepalend zijn voor het optimaliseren van de connectiviteit voor een breed soortenspectrum. Met het oog hierop is in opdracht van RWS (via WVL) door Wageningen Marine Research (WMR) voorliggende rapportage opgesteld met de volgende doelstellingen:

1) een overzicht te maken van de belangrijkste kennisvragen m.b.t. vismigratie en estuariene vissen in zoet-zoutovergangen langs de Nederlandse kust en specifiek de Kier
2) een overzicht te maken van huidig lopend vismonitoring en -onderzoek in de delta
3) een verkenning uit te voeren van de wetenschappelijke literatuur met betrekking tot de problemen van estuariene vissen en vismigratie in zoet-zoutovergangen gericht op habitatgeschiktheid, kennishiaten hierin, en optimalisatie van vismigratie via zoet-zoutovergangen.
4) aan de hand van de combinatie van vragen vanuit beheer en wetenschappelijk relevante onderwerpen te definiëren welke wetenschappelijke onderzoeksrichtingen en -methoden het meest relevant en kansrijk lijken om de geïdentificeerde kennishiaten en bepalende factoren te kunnen onderzoeken.

Gezien de verschillende initiatieven op het gebied van vis-gerelateerde projecten in Nederland en daarbuiten is er binnen deze opdracht ook gevraagd naar:

5) aanbevelingen voor het inrichten van een platform ten behoeve van landelijke coördinatie en afstemming van onderzoek naar vissen in zoet-zout overgangen en mogelijke financieringsbronnen voor het uitvoeren van onderzoek gerelateerd aan de Kier en het Haringvliet.

Deze rapportage vormt de basis en startpunt voor het formuleren wetenschappelijke onderzoeksvoorstellen (zoals AIO-onderzoeken) die specifiek op de geïdentificeerde kennisvragen en kennisleemtes ingaan om tot een optimalisatie van het herstel van de connectiviteit voor vis tussen het Maas-Rijn stroomgebied en zee.

1.3 Plan van aanpak

Vanuit het beheer spelen kennisvragen zich op verschillende niveaus af. Op de kleinste schaal gaat het om het functioneren van de Kier en de specificaties van het gebruik van de Kier op de migratiemogelijkheden voor vis, op deltaschaal om de migratiemogelijkheden van trekvis in het hele deltagebied en het gebruik van mogelijke alternatieven en op de grootste schaal: hoe werken belemmeringen zoals bijvangst in de visserij en doortrekmogelijkheden zoals de Kier bij aan de populaties van de verschillende trekvissoorten? Voor het overzicht van kennisvragen vanuit het beheer zijn we uitgegaan van een lijst die Koen Workel eind 2019 heeft opgesteld en vragen geformuleerd door Frans van de Berg naar aanleiding van de rapportage over de bijvangsten van trekvis in verschillende vormen van visserij (van Rijssel *et al.* 2019). Aan de hand van deze lijst hebben we de vragen gerubriceerd in verschillende bredere onderwerpen.

Voor de verkenning van de wetenschappelijke literatuur zijn we uitgegaan van een eerder gemaakt bronnenonderzoek in het kader van de Vismigratierivier (Winter *et al.* 2014b), aangevuld met meer recente grijze en wetenschappelijke literatuur.

Daarnaast zijn de beheers- en wetenschappelijke vragen die spelen rondom optimalisatie van het spui- en kierbeheer ten behoeve van het herstel van vismigratie in Haringvliet en achterliggende stroomgebieden in kaart gebracht.

Verder wordt er een overzicht gegeven van alle reeds uitgevoerde, nog lopende en al ingeplande toekomstige onderzoeken en monitoring naar vis in Haringvliet en omliggende watersystemen.

Aan de hand hiervan zijn hiaten in kennis geformuleerd en aanbevelingen gegeven die de basis kunnen vormen voor toekomstig wetenschappelijk onderzoek.

In twee tussentijdse bijeenkomsten met de direct betrokkenen zijn de voortgang en mogelijke insteken voor wetenschappelijk onderzoek besproken en bediscussieerd. Tussentijds heeft tevens afstemming plaatsgevonden tussen RWS en het Ministerie van LNV over de vragen vanuit het beheer.

Bij de totstandkoming van deze rapportage hebben we goede discussies en waardevolle input gehad van: Eddy Lammens, Marjoke Muller, Koen Workel, André Breukelaar, Aniel Balla (RWS); Frans van den Berg (Ministerie LNV); Tom Buijse (Deltares, Wageningen University); Tom Ysebaert (WMR, NIOZ); Arjan Palstra, Leo Nagelkerke, Hendrik-Jan Megens (Wageningen University); en Sanne Ploegaert (RAVON).

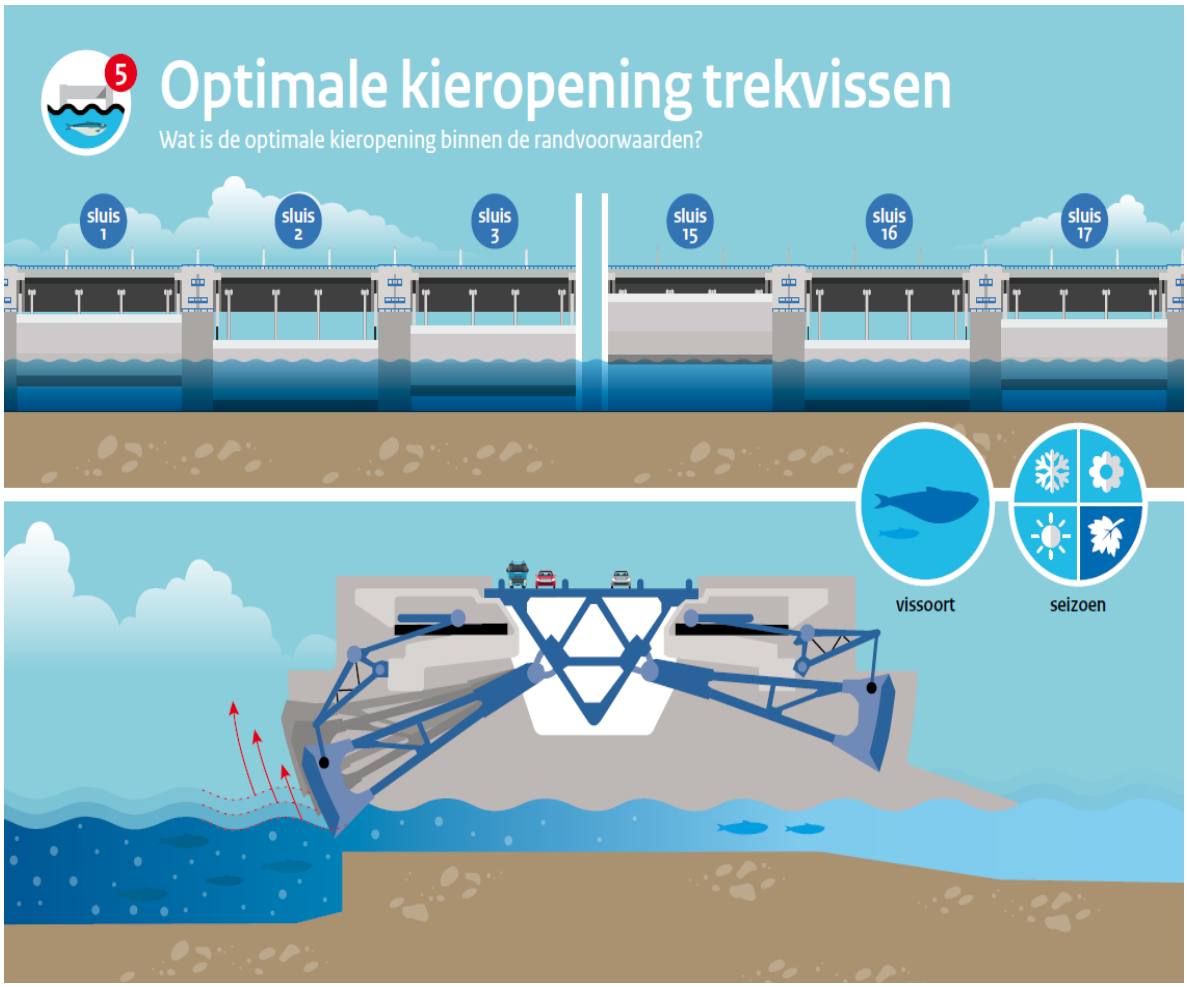
2 Resultaten

2.1 Korte beschrijving van de Kier

De situatie rondom de Kier is uitgebreid beschreven in diverse documenten (o.a. (Noordhuis 2017) en een korte omschrijving is hier opgenomen als introductie op de beheersvragen.

Het Haringvliet spuisluizencomplex is ruim een kilometer lang en telt 17 spuisluizen van 60 meter lengte. Een spuisluis heeft twee 56 meter brede kantelbare schuiven, een schuif aan de zeezijde en een schuif aan de rivierzijde (Figuur 2.1). Elk van die schuiven kan worden geopend tot een hefhoogte van ongeveer zes meter, zodat de totale opening maximaal bijna 6000 m^2 bedraagt. In zes van de pijlers tussen de schuiven zijn vissluizen gemaakt, die werken als een schutsluis en maken beperkte visintrek mogelijk. Zout water kan een stuk landinwaarts binnendringen, waardoor een tijdelijke brakke zone ontstaat in het Haringvliet.

Voorafgaand aan perioden met lage debieten wordt het Haringvliet gespoeld met zoet water door wel te spuien bij eb, maar geen water in te laten bij vloed. Hierdoor wordt het natuurlijke seizoens-verloop van de zoutverspreiding ten opzichte van de oorspronkelijke delta doorbroken; in de periode waarin het zeewater van nature het verst naar binnen dringt, is het Haringvliet nagenoeg volledig zoet.



Figuur 2.1 Vooraanzicht (boven) en zijaanzicht van de spuisluizen en zee-schuiven in de Haringvlietdam (Infographics RWS, 2019)

2.2 Overzicht kennisvragen vanuit beheer

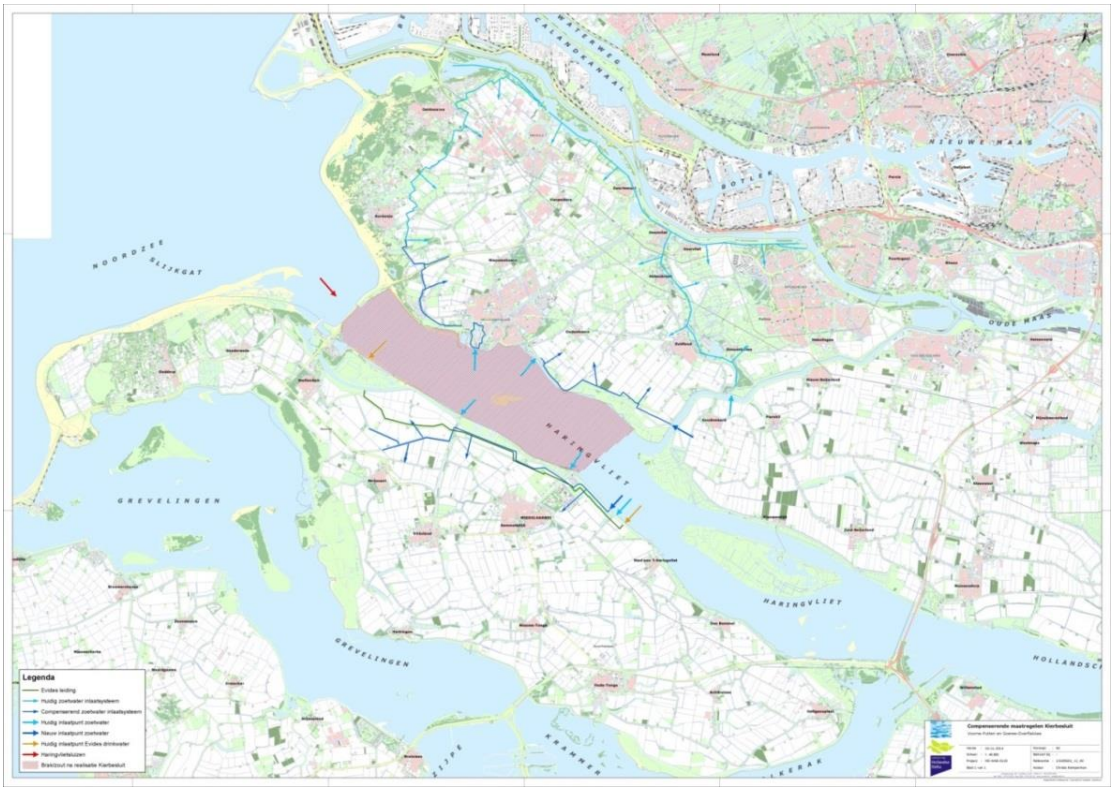
Voor het beheer zijn er diverse mogelijkheden om te variëren in het gebruik van de Kier:

1. De sluisdeuren waarmee gekierd wordt
2. De hefhoogte van de kier
3. De spuihoeveelheid en verdeling
4. Moment van openen
5. Duur van openen
6. De volgorde van sluiting

Voor elk van deze gebruiksmogelijkheden is het belangrijk te weten wat het effect is op de mogelijkheden voor vis om in of uit te trekken. Hierbij lijkt gezien de variatie in de waarnemingen een aanpak van eerst in grove lijn uitzoeken en daarna verder verfijnen het meest kansrijk. Daarvoor is informatie nodig over het gedrag van vis in de nabijheid van de sluizen. Hierbij gaat het om hoe vissen de kieropening weten te vinden, hoe groot het gebied is waar ze zich verzamelen en hoe die verspreiding varieert met het getij en het recente spuiregime, via welke route ze de sluizen naderen en of er variatie is tussen het voorkomen van vis over de lengte van het complex. Daarnaast is er informatie nodig over de verspreiding van vis in de waterkolom: trekken ze vooral over de bodem of hoger in de waterkolom? Al deze facetten kunnen variëren met de doelsoort. Sterke zwemmers zullen zich anders gedragen in de buurt van de sluizen dan zwakke zwemmers en ook de motivatie kan verschillen tussen de diverse stadia en soorten.

Om vissen die willen intrekken meer kans te geven wordt overwogen om een visserijvrije zone in te stellen aan beide zijden van de Haringvlietdam. Om in te schatten hoe deze maatregel zou kunnen bijdragen aan het verbeteren van vispopulaties is extra informatie nodig over het voorkomen van trekvissen in dit gebied en de kans om onbedoeld bijgevangen te worden.

Naast vragen omtrent de werking van de Kier zijn er ook vragen over de habitatverandering als gevolg van het ontstaan van een brakwaterzone en het zoetspoelen (Figuur 2.2). Een samenvatting van alle beheersvragen is gegeven in Tabel 2.1.



Figuur 2.2. De zone die brak kan en mag worden als gevolg van de Kier (bron: Rijkswaterstaat).

Tabel 2.1. Beheersvragen vanuit Rijkswaterstaat en het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit

vragen vanuit Rijkswaterstaat (waterbeheer)

Optimale kieropening voor intrek
Met welke sluisdeuren kieren?
Via welke route trekken vissen vanuit de Voordelta naar de Haringvlietsluizen?
Waar houden de meeste vissen zich op tijdens spuien?
Hoe lang kieren per doelgroep?
Waar houden verschillende doelgroepen zich op gedurende het getij?
Is er sprake van een variërende spreiding van het aanbod als gevolg van hogere of lagere spuihoeveelheden?
Hoe ver is de afstand tot de dichtstbijzijnde kieropening?
Hoe snel zwemmen/getijde transporteren doelgroepen naar de kieropening?
Hoe lang moeten doelgroepen in het Haringvliet zijn om terugspoeling te voorkomen?
Wat is de gewenste hefhoogte?
Hoe migreren verschillende doelgroepen over de waterkolom?
Hoe ver reikt het aanzuigingsgebied bij verschillende hefhoogten?
Wat is de kleinste hefhoogte waarmee verschillende doelgroepen nog effectief intrekken?
Wat is de meest optimale hefhoogte per doelgroep afgezet tegen het aantal sluisdeuren?
Wat is de optimale spuihoeveelheid?
Bij welke spuihoeveelheden is er een optimum tussen de hoeveelheid gelokte vissen en effectieve intrek?
Vanaf welke spuihoeveelheden neemt de intrek-effectiviteit af?
Optimale spui-opening voor uittrek
Welke sluisdeuren kieren/spuien?
Via welke route trekken de meeste vissen via het Haringvliet naar de Haringvlietsluizen?
Waar houden de meeste vissen zich op bij de Haringvlietsluizen?
Optimale vindbaarheid uit-trek opening
Wat is de invloed van stroming en de spuihoeveelheden op de vindbaarheid van de opening?
Wat is de invloed van een brakke zone op de vindbaarheid van de opening?
Wat is de invloed van een brakke zone op de uitspoeling van zoetwatervis?
Optimale hydraulische omstandigheden en impact predatie
Wat is de impact van predatie op uittrekkende vissen?
Wat is de impact van de woelbak op een effectieve uittrek?
Hoe varieert de turbulentie bij verschillende spuihoeveelheden en over het getij?
Kan de turbulentie door de woelbak worden verminderd door aangepast sluisbeheer?
Wat is de gewenste hefhoogte?
Wat is de kleinste hefhoogte waarmee verschillende doelgroepen nog effectief uittrekken?
Wat is de meest optimale hefhoogte per doelgroep afgezet tegen het aantal sluisdeuren?
Effecten van de kier op lange afstandsmigreerders
Passeren er meer trekvissen de Haringvlietsluizen?
Verandert de verhouding van intrek tussen het Haringvliet en de Nieuwe Waterweg?
Komen er meer trekvissen aan op hun bestemming?
Nemen populaties van trekvissen toe?
Alternatieve route - Schutsluis - Huidige intrek en invloed spuien
Hoeveel intrek vindt er plaats via de schutsluis als er gespuid en niet gespuid wordt?
Wat is de invloed van spuien (spuisluis) op het aanbod bij de schutsluis?
Wat is de invloed van het ontbreken van een zoete lokstroom (spuisluis) op het aanbod bij de schutsluis?
Bediening en doelmatigheid
Wat is de optimale bediening?
Is het visvriendelijk schutsluisbeheer, de kosten- en baten afwegend, een doelmatige maatregel?
Alternatieve route - Vissluizen
Wat is de intrek via de vissluizen in de glasaalstand als er niet gespuid wordt?
Is het bedienen van de vissluizen in de glasaalstand zout-technisch haalbaar als er niet gespuid wordt?
Alternatieve bedienwijze
Kunnen de vissluizen volledig open?
Wat is hiervan de zout-technische haalbaarheid?
Wat is de intrek-effectiviteit hiervan?

Habitatverandering
Wat is het invloedgebied van brak water (locatie en over waterkolom)?
Wat is de invloed van brak water op de aanwezige organismen en planten in het Haringvliet?
Wat is de invloed op de soortensamenstelling?
Functioneert het brakwaterhabitat als kraamkamer voor vissen?
Functioneert het brakwaterhabitat als acclimatisatiezone?
Verandert de primaire productie in het gebied?
Wat is de invloed van zoetspoelen op de ontwikkeling van organismen en planten?
Verandert de mate van sedimentatie?
Uitspoeling zoetwatervis (lagere prioriteit dan 1-3)
Resulteert het kieren in een verminderde uitspoeling van zoetwatervissen?
Resulteert het kieren in terugkeer van uitgespoelde zoetwatervissen?
Wat is het belang van de vissluizen voor de terugkeer van zoetwatervissen?
Wat is het belang van de scheepvaartsluis te Stellendam voor de terugkeer van zoetwatervissen?

vragen vanuit Ministerie van LNV (visserij en natuurbeheer)
Populaties
In welke mate worden trekvissen bij gevangen op locatie Haringvliet in de verschillende visserijen (fuikenvisserij, staand wantvisserij, en kleinschalige sleepnetvisserij)?
Draagt een visserijvrije zone rondom de Haringvlietdam aan het verbeteren van trekvispopulaties?
Wat zijn de effecten van visserij op trekvis?
Wat is de grootte van trekvis populaties?
Uitspoeling zoetwatervis
In welke mate worden zoetwatervissen uitgespoeld?
Wat zijn de terugkeerkansen voor uitgespoelde zoetwatervis, met speciale aandacht voor snoekbaars?

2.3 Lopende projecten Haringvliet/Kier/Delta

In de zuidwestelijke delta vonden en vinden diverse onderzoeken en monitoringprogramma's plaats. In deze paragraaf geven we een overzicht. In de volgende paragraaf leggen we de koppeling tussen de informatie die deze programma's oplevert en de vragen vanuit beheer en wetenschap.

De lopende onderzoeken vallen uiteen in reguliere (langjarige) monitoring (waarvan een deel vanuit de wettelijke onderzoekstaken), aanvullende monitoring in het kader van de Kier en onderzoeksprogramma's.

2.3.1 Reguliere monitoring: voorkomen en verspreiding van vis in de delta

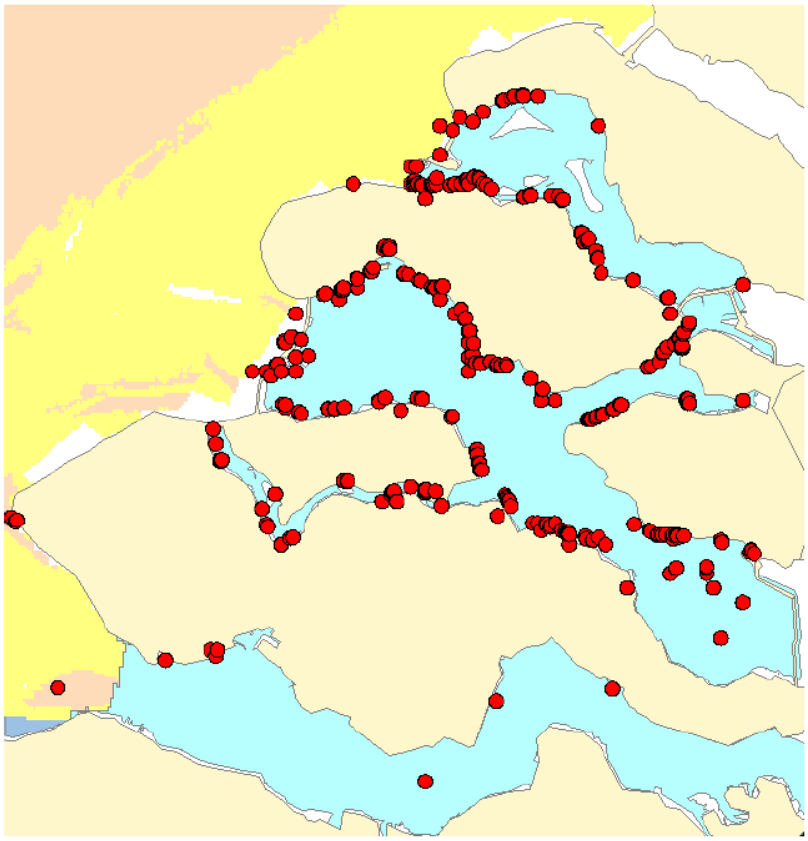
In het deltagebied worden een aantal monitoringprogramma's uitgevoerd die informatie opleveren over een aantal aspecten. We bespreken deze programma's kort en vatten samen welke relevante informatie deze programma's opleveren voor de beheers- en onderzoeksvragen.

Al deze programma's leveren gegevens op van het voorkomen en de verspreiding van vis (in verschillende catch per unit of effort paramaters zoals dichtheid, aantal per fuiketmaal) in de diverse Zeeuwse wateren op een bepaald moment in het jaar.

2.3.1.1 MOO project

In 1994 is door Stichting ANEMOON het Monitoringproject Onderwater Oever (MOO) gestart (zie voor locaties Figuur 2.3). Bij dit project inventariseren duikende waarnemers goed herkenbare mariene organismen op vrijwillige basis. Het doel daarbij is veranderingen in de mariene fauna en flora van de Nederlandse kustwateren vast te stellen en kennis op te bouwen met betrekking tot de ecologie van de

soorten. In 1999 werden voor het eerst de resultaten geanalyseerd onder de titel 'Het Duiken Gebruiken' (Gmelig Meyling *et al.* 1999). Per soort werden voor de Oosterschelde en het Grevelingenmeer de verspreidingsbeelden, trends en seizoenspatronen gegeven van de 87 diersoorten die toen in het MOO onderzocht werden. In 2003 volgde een tweede analyse getiteld "Het Duiken Gebruiken 2" (Gmelig Meyling & de Bruyne 2003). In dit deel zijn de ecologische veranderingen die zich in de Zeeuwse Delta hebben afgespeeld sinds 1978 beschreven, waarbij ook oude gegevens uit duiklogboeken zijn verzameld en bij de analyse betrokken.



Figuur 2.3: ligging van de locaties in en rond de Zeeuwse delta die bij het Monitoringproject Onderwater Oever minimaal een keer zijn onderzocht in de periode 1994 t/m 2012.

2.3.1.2 Glasaal monitoring

Glasaal wordt bij de Goereese sluis sinds 1988 jaarlijks gemonitord met een 1x1 m kruisnet (Griffioen *et al.* 2017a). Sinds 2019 wordt bij deze sluis ook gevist met een glasaaldetector in de periode maart, april en mei. In die periode wordt vier keer een groep gemerkte glasalen uitgezet voor het bepalen van verblijftijd, het lokale aanbod en mogelijk verspreiding. Sinds 2015 wordt door RAVON en een vrijwilligersnetwerk op een 13-tal locaties gevist met een 1x1 m kruisnet in de Zuidwestelijke Delta en in Zeeland gaat het om nog eens 10 locaties die structureel gemonitord worden (Aal 2019; Kooiman & Ploegaert 2019). Onder de Zuid-Hollandse locaties vallen onder ander de voor de Kier zeer relevante locaties bij de Zuiderdiep sluis valt en drie stroomopwaarts gelegen locaties langs het Haringvliet en Hollandsch Diep.

2.3.1.3 Demersal Fish Survey (DFS)

Ieder najaar wordt de Demersal Fish Survey (DFS) uitgevoerd in de Waddenzee, de Wester- en Oosterschelde en in de Nederlandse kustzone (Tulp 2015). De DFS levert jaarlijkse schattingen voor dichtheden bodemgebonden vis voor de Zeeuwse wateren die bemonsterd worden (Westerschelde, Oosterschelde en Voordelta), maar niet voor sneller zwemmende soorten of soorten die vooral in de waterkolom leven. De survey is oorspronkelijk ontworpen voor het schatten van de aanwas van jonge schol en tong en de dichtheden van garnalen. Sinds het begin van de survey zijn echter alle vangsten compleet geregistreerd. Omdat de survey al 50 jaar wordt uitgevoerd, leveren deze gegevens belangrijke informatie over verschuivingen van de op de zeebodem levende vis- en epibenthosfauna in

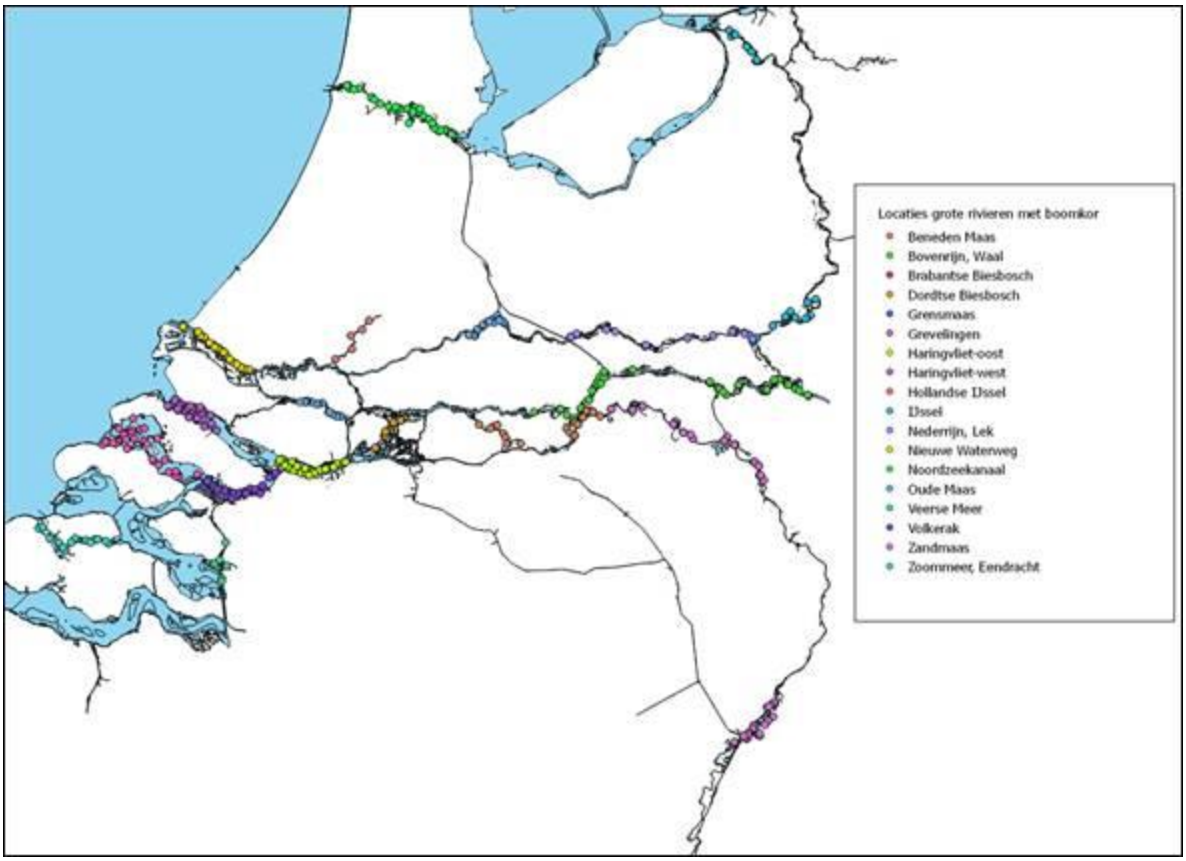
de Nederlandse kustzone en de estuariene wateren. In de delta wordt de survey uitgevoerd door de Luctor waarbij jaarlijks in de nazomer (september/oktober) gevist wordt met een 3 m garnalenkor met één wekkerketting en een klossenpees (maaswijdte net 35 mm, maaswijdte kuil 20 mm). De beviste stations zijn verdeeld over verschillende dieptestrata. Alle stations hebben een vaste positie, alhoewel door langzame verplaatsing van geulen de posities geleidelijk kunnen verschuiven.

2.3.1.4 Ankerkuil Westerschelde

Op de Schelde wordt monitoring van pelagische vis met een ankerkuil uitgevoerd in het kader van de Europese Kaderrichtlijn Water (De Boois & Couperus 2018). In Nederland wordt dit op de Westerschelde sinds 2007 jaarlijks twee maal per jaar uitgevoerd met een onderbreking in 2010. Sinds 2011 wordt dit door België op identieke wijze, met hetzelfde schip en vistuig, uitgevoerd op de Zeeschelde en vormt een geheel met de Nederlandse bemonstering. Zowel in België als in Nederland worden vier locaties zowel bij eb als bij vloed bevist, zodat een reeks van acht locaties in een aaneengesloten periode van twee weken wordt bemonsterd. De bemonstering in Nederland wordt in het voorjaar en het najaar uitgevoerd, die in België in het voorjaar, de zomer en het najaar. In het voor- en najaar sluiten de Belgische en Nederlandse bemonsteringsweken op elkaar aan.

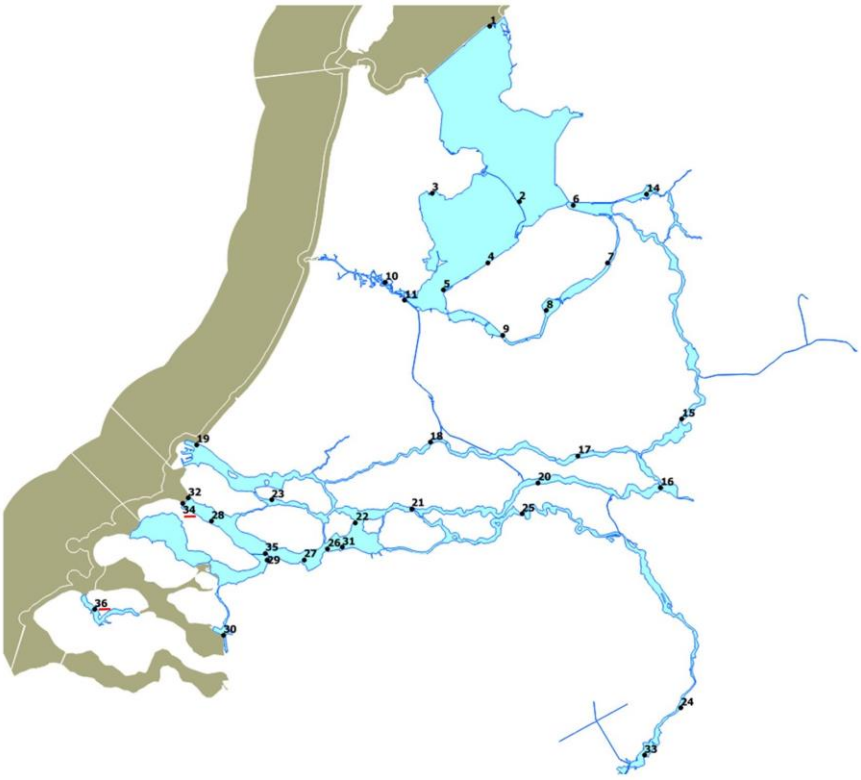
2.3.1.5 Monitoring Waterstaatkundige Toestand des Lands (MWTL)

Binnen de MWTL wordt zowel actief (boomkor, electroschepnet) als passief (fuiken) bemonsterd (van der Sluis *et al.* 2019) (Figuur 2.4). De actieve bemonsteringen worden op de meeste locaties uitgevoerd met boomkor en elektroschepnet. In wateren die (deels) brak of zout water bevatten, te weten Grevelingen, Nieuwe Waterweg, Veerse Meer en Haringvliet-West, wordt alleen met de boomkor gevist omdat elektrisch vissen vanwege de hoge geleidbaarheid van het water door het hogere zoutgehalte niet mogelijk is. De boomkor wordt gebruikt in het open water van de rivieren en door een schip (Luctor, voorheen Schollevaar) voortgesleept. De meeste gebieden worden jaarlijks bemonsterd, Grevelingen, Volkerrak worden driejaarlijks bemonsterd. In de oeverzones en de ondiepe gedeeltes van de rivieren wordt een elektroschepnet gebruikt.



Figuur 2.4. Locaties van de actieve vismonitoring grote rivieren in 2018 met boomkor en/of electrisch schepnet.

Registratie van de fuikvangsten vindt plaats gedurende het gehele jaar met –sinds de instelling van het Aalbeheerplan- uitsluiting van de periode september t/m november vanwege het gesloten seizoen voor de aalvisserij. De vissers lichten hun fuiken op het moment dat zij het nodig achten. De tegenwoordig nog steeds geregistreerde fuiken staan aan de binnenzijde van Haringvlietdam, nabij Scheelhoek (34) en in het Veerse Meer (36) (Figuur 2.5). Sommige locaties zijn tijdelijk niet bemonsterd.



Figuur 2.5. Overzicht van de locaties van de fuiken waarvan de vangsten door de tijd heen zijn geregistreerd. De rood onderstreepte locaties zijn de enige locaties waarvan de vangsten nog steeds worden geregistreerd. Op sommige locaties wordt soms nog bemonsterd.

Voor alle bijna alle doelsoorten (zie hoofdstuk 2.5) zijn binnen de MWTL monitoring gegevens beschikbaar uit de diadrome vismonitoring met fuiken in het westelijke deel van het Haringvliet. Voor zalm en zeeforel wordt ook gebruik gemaakt van de zalmsteken op de Waal als indicatie voor de doortrek door het Haringvliet. Aantallen van zalm, zeeforel, zeeprik en rivierprik vertoonden een (sterke) afname sinds de start van de monitoring in 2012-2014, waarbij de afname van zalm in de Waal al een aantal jaar eerder is ingezet en zeeforel al sinds het begin van de monitoring in 1994 afneemt (van Rijssel et al. in prep., WMR ongepubliceerde data). Fint wordt zeer weinig gevangen en daarvan lijken de vangsten stabiel door de tijd heen, houting wordt nauwelijks gevangen en elft wordt niet gevangen (van Rijssel et al. in prep., WMR ongepubliceerde data). Migrerende aal lijkt sinds 2017 in aantallen toe te nemen in het Haringvliet-West (geen gegevens voor 2018, van Rijssel & van der Hammen in prep.). Aal wordt ook met de boomkor tijdens de actieve monitoring sinds 2011 bemonsterd in het Haringvliet-West waarbij de vangsten in 2018 en 2019 aanzienlijk hoger waren dan in de jaren daarvoor (van Rijssel et al. in prep.). Andere doelsoorten worden vrij weinig gevangen, hiervan laten de aantallen van spiering en diklipharder een afname en de aantallen van bot, driedoornige stekelbaars en ongedefinieerde harders een toename door de tijd heen zien. Opvallend is dat zeebaars en haring/sprot allebei voor het eerst pas in 2019 zijn gevangen, wat wellicht al een effect van het kieren zou kunnen zijn. Dunlipharder is alleen in 2016 gevangen (WMR ongepubliceerde data). Bij deze toe/afnames moet wel in acht worden genomen dat het gebruikte tuig niet altijd geschikt is voor het vangen van bepaalde soorten, waardoor er een vertekend beeld kan ontstaan.

Andere doelsoorten die met de boomkor in het Haringvliet-West gevangen worden zijn bot, spiering, haring/sprot, driedoornige stekelbaars, houting, zeebaars, rivierprik, harder spp. en zeeprik. Hiervan worden met name bot, spiering en haring/sprot in redelijke hoeveelheden gevangen en daar zien we vergelijkbare trends als in de fuikenmonitoring in het Haringvliet-West, spiering is sterk afgenomen (alhoewel er een lichte toename was in 2019) en bot neemt de laatste jaren toe (van Rijssel et al. in

prep.). Voor haring/sprot is er juist een afname te zien in de boomkorvangsten. Net als in de fuiken in Haringvliet-west zien we een toename van de driedoornige stekelbaars en worden zeebaarzen sinds 2019 plotseling meer gevangen. Harders zijn alleen in 2013 gevangen, zeeprik is alleen in 2012 gevangen, rivierprik en houting worden ook nauwelijks gevangen, maar daar is een plotselinge stijging in 2019 zichtbaar wat mogelijk te danken is aan de Kier.

Aan de buitenzijde van de Haringvlietdam wordt ook nog op één locatie met fuiken gemonitord sinds 2004 (al is hier in 2019 en 2020 niet bemonsterd). Bij deze monitoring worden vangsten van een commerciële beroepsvisser geregistreerd. Hierbij is te zien dat rivierprik en zeeprik (in tegenstelling tot de fuiken in het Haringvliet-West) een toename lijken te laten zien, net als de driedoornige stekelbaars. Zeebaars, bot, spiering, aal en haring/sprot lijken af te nemen en zalm, zeeforel, houting en diklipharder worden nauwelijks gevangen (WMR ongepubliceerde data). Ook hier moet er bij deze toe/afnames wel in acht worden genomen dat het gebruikte tuig niet altijd geschikt is voor het vangen van bepaalde soorten waardoor er een vertekend beeld kan ontstaan.

2.3.2 Uitgevoerd en lopend onderzoek

Naast monitoringprogramma's zijn er in het verleden en heden diverse onderzoeksprogramma's uitgevoerd waarin onderzoek gedaan is naar processen die het gebruik van het gebied door vissoorten behorende tot verschillende gildes sturen. Ze worden hieronder besproken aan de hand van verschillende onderwerpen.

Figuur 2.6. Netwerk aan Nedap-Trail ontvangststations in de stroomgebieden van de Maas en Rijn (bron: Rijkswaterstaat)

2.3.2.1 Onderzoek aan salmoniden migratie met NEDAP-TRAIL telemetrie

De verdere intrek vanaf het Haringvliet, in de richting van de Maas en Rijn, is en voor soorten als salmoniden (o.a. bij de Vaate *et al*. 2003), schieraal (o.a. Winter & Bierman 2010) en zeeprik (van der Ven 2018) onderzocht en dit onderzoek zal ook in de toekomst vervolgd worden. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van het NEDAP-TRAIL Systeem (Breukelaar *et al.* 1998). Deze lange afstand migranten trekken relatief ver de rivier op om te paaien, tot ver voorbij de landsgrenzen.

In 1996 is een monitoringsprogramma gestart naar de intrek van volwassen salmoniden in de Nederlandse rivieren, waarbij met name aan de buitenzijde van het Haringvliet veel zeeforel en in mindere mate ook Atlantische zalmen zijn uitgerust met een NEDAP-TRAIL transponder en gevolgd kunnen worden via detectie in het uitgebreide netwerk aan detectiestations het de Maas en Rijn stroomgebieden (Breukelaar *et al*. 1998, bij de Vaate *et al*. 2003, Figuur 2.6). De gehele Haringvlietdam en scheepsluizen bij Stellendam zijn afgedekt door detectiestations. Hierdoor kan intreksucces in relatie tot de heersende omstandigheden in getijde, spuiregime, timing (per dag en gedurende het jaar) bepaald worden. Eerdere datasets van deze gezenderde salmoniden zijn geanalyseerd door Jurjens (2006). In de periode 1996-2019 zijn in totaal 1139 volwassen Zeeforellen en 204 volwassen zalmen gezenderd. Van deze salmoniden zijn ook genetische profielen van populaties afgeleid (Ensing & Breukelaar 2017).

Naast een jaarlijkse zenderen van zeeforel en zalm, zijn in sommige jaren ook andere soorten (150 zeeprikken, 50 houtingen en 69 snoekbaarzen) aan de buitenzijde van het Haringvliet uitgerust met transponders. Verder zijn in opdracht van RWS in samenwerking met LANUV de afgelopen 10 jaar jaarlijks smolts een schieralen gemerkt en uitgezet in de Rijn in NRW (Duitsland). In opdracht van het ministerie van LNV zijn door WMR in de periode 2002-2019 in totaal 1050 schieralen gezenderd op de Maas. Door ATKB zijn in opdracht van Rijkswaterstaat in totaal ook enkele honderden schieralen verdeeld over meerdere jaren uitgezet op de Maas.

2.3.2.2 Intrek Haringvliet

Over het algemeen is er slechts in beperkte mate inzicht over de passeerbaarheid van de spuisluizen en dus ook van de Haringvlietdam, behalve de Nedap-Trail zenderonderzoeken die hierboven zijn genoemd. Verdere metingen aan intrek is niet beschikbaar voor kleine diadrome vissen (wel zijn er metingen in de spuisluizen gestart). Verder blijkt uit fuikenmonitoring dat andere soorten zoals zeeprik, houting en rivierprik ook het Haringvliet opzwemmen (van Keeken *et al.* 2016), maar niet via welke alternatieve routes of via de spuisluizen gebeurt, wanneer zij dit doen of in welke mate.

Het effect van de mate en duur van openen van de schuiven op de intrek van vis via de spuisluizen is alleen onderzocht bij jonge aal en driedoornige stekelbaars via het inlaatwerk bij gemaal Colijn (Hop 2012). Uit dit onderzoek bleek dat het verder openen van de schuiven in het begin leidde tot een toename van het aantal driedoornige stekelbaars dat werd ingelaten. Vanaf een bepaald moment (hefhoogte) was dit effect verdwenen. Waarschijnlijk werd dit veroorzaakt door de mate van aanzuiging. Bij aal was dit niet waarneembaar. Hierbij opgemerkt dat het gemaal Colijn sterk afwijkt van de situatie bij de Haringvlietsluizen.

Naast het moment in de getijdencyclus speelt ook de periode van het jaar (migratieperiode) en het moment van de dag een rol. Bij onderzoek naar de intrek van glasaal via de spuikokers van de Afsluitdijk bleek dit voornamelijk effectief tijdens de nacht (Vriese et al., 2015). Salmoniden die via de Haringvlietdam naar binnen trekken doen dit juist overdag (Hop 2018b).

Bij Afsluitdijk is ook gekeken naar intrek aan het einde van de spuiperiode en begin spuiperiode. Aan het einde van de spuiperiode was de intrek aanzienlijk hoger.

2.3.2.3 Uitspoeling zoetwatervis

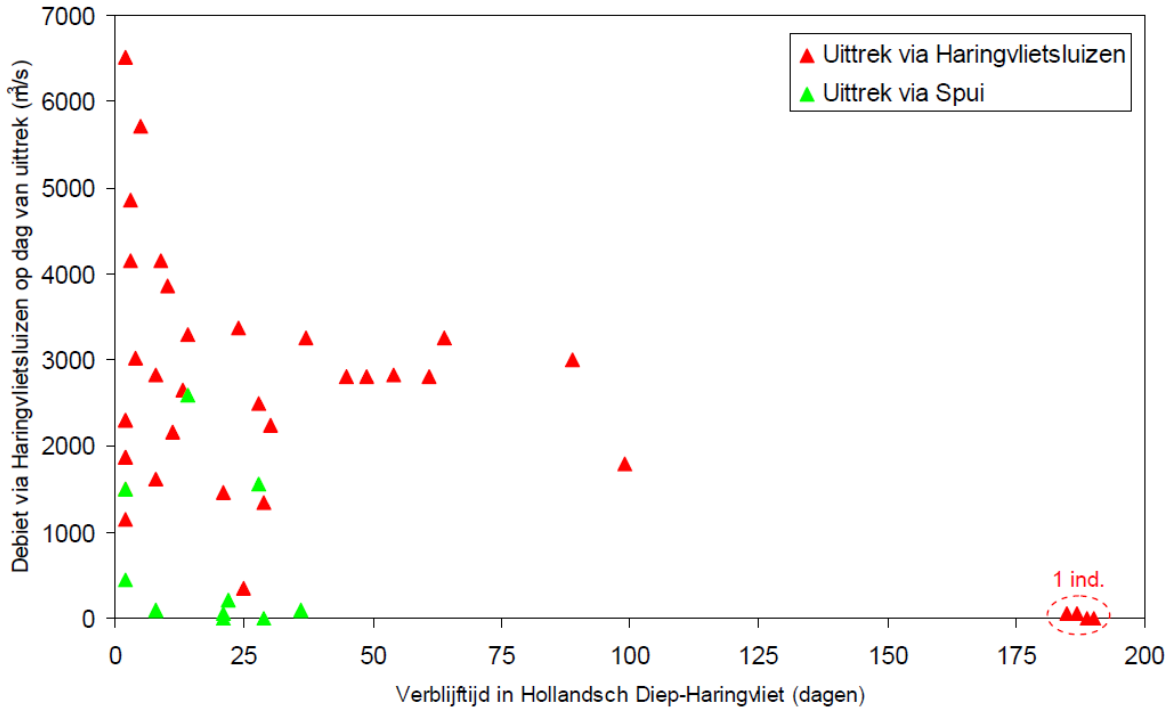
Over het algemeen is er weinig bekend over het uitspoelen van zoetwater vis. In het verleden is hier bij het Haringvliet onderzoek naar gedaan met sonar en werd de voorzichtige conclusie getrokken dat dagelijks duizenden kilo's naar zee worden gespoeld (Kemper 1997b). Dat vissen gebruik maken van scheepssluizen in het algemeen is bekend, maar niet in welke mate en hoe succesvol zij hierin zijn (Griffioen *et al.* 2013). Uit een recente telemetriestudie is gebleken dat ook via de Haringvlietdam

uitgespoelde snoekbaarzen gebruik maken van de scheepssluis om terug te zwemmen naar het Haringvliet (Vis 2017a; Breve *et al.* 2018). In totaal werden 67 snoekbaarzen ingezet om het terugkeergedrag te evalueren vanuit de Voordelta naar het Haringvliet. Zes snoekbaarzen werden tussentijds gerapporteerd na een fuikvangst aan de zeezijde van het Haringvliet en deze werden daar ook weer levend losgelaten. In totaal wisten elf snoekbaarzen de Haringvlietdam stroomopwaarts te passeren. Zij deden dit deels via de visriolen (n=9) en deels via de scheepvaartsluis van Stellendam (n=2), maar stroomopwaartse passage door de Haringvlietdam werd niet waargenomen via de spuisluizen.

2.3.2.4 Uittrek schieraal

De uittrekmogelijkheden van schieraal vanuit het Haringvliet via de spuisluizen zijn onderzocht aan de hand van bestaande gegevensbestanden (Winter & Bierman 2010). Voor drie locaties zijn de dagelijkse spuigegevens vergeleken met de fuikvangsten van schieraal: in het Hollandsch Diep, in het Haringvliet aan de binnenzijde van de Haringvlietdam en in het estuarium aan de zeezijde van de Haringvlietdam. Alleen tijdens of direct nadat er gespuid werd, werden schieralen gevangen in het estuarium. Uit het verloop in de verhouding in de vangsten tussen het Haringvliet en Hollandsch Diep zijn geen aanwijzingen voor ophoping van schieraal aan de binnenzijde naar voren gekomen.

Analyses van 300 schieralen met Nedap-Trail zenders die vanuit de Maas naar zee trokken in de periode 2002-2006 laten een zeer duidelijk patroon zien (Winter et al. 2010). Uittrek via de Haringvlietsluizen vond vrijwel uitsluitend plaats bij hoge spuidebieten van meer dan 1000 m^3/s. Bij lagere spuidebieten trokken de gezenderde schieralen vanuit het Haringvliet met name via het Spui naar zee of bleven langere tijd op het Haringvliet totdat er hogere afvoer kwam (Figuur 2.7). Dus ook bij een volledige sluiting van de Haringvlietsluizen vormde het Spui een alternatieve route die altijd beschikbaar was voor schieraal en die ook daadwerkelijk als zodanig werd gebruikt door tenminste een deel van de schieralen in het Haringvliet. Daarnaast verbleef een deel van de gezenderde schieralen gedurende perioden met geringere afvoer voor langere tijd in het Haringvliet om vervolgens met een hogere afvoerpiek naar buiten te trekken via de Haringvlietsluizen.



Figuur 2.7. Voor gezenderde schieralen die met zekerheid in het Haringvliet zijn aangeland is bepaald wat het spuidebiet via de Haringvlietsluizen bedroeg ten tijde van de uittrek via hetzij de Haringvlietsluizen (rood), of het Spui (groen). Per schieraal is bepaald hoeveel dagen ze in het Hollandsch Diep-Haringvliet verbleven voor uittrek. Omcirkelde waarnemingen betreft dezelfde schieraal die op 4 dagen bij de Haringvlietsluizen is gedetecteerd, maar niet naar zee is gemigreerd (Winter & Bierman, 2010).

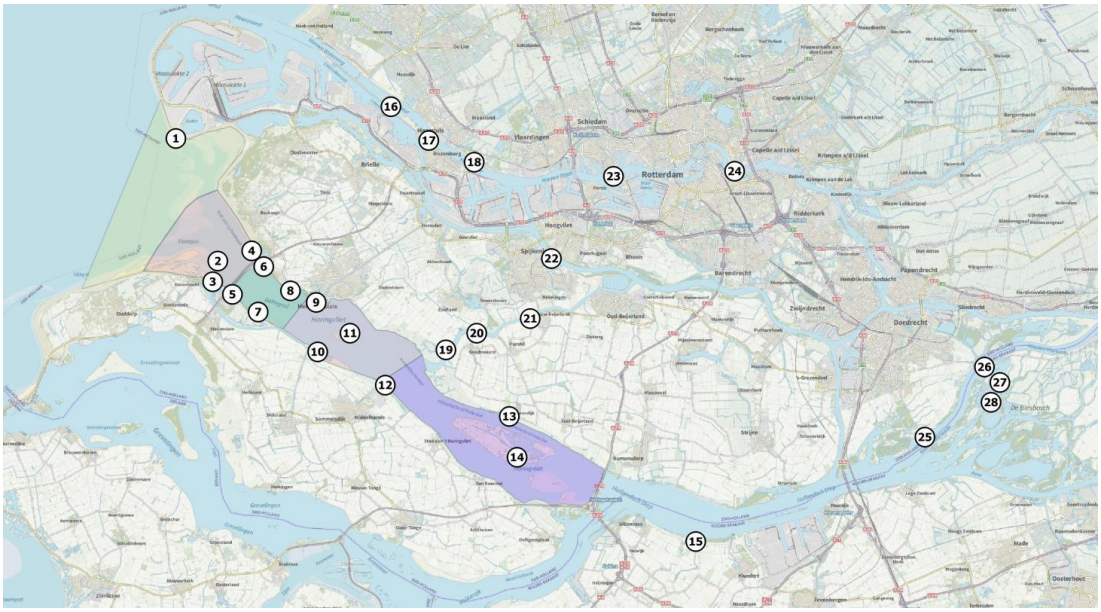
Uit een grote trackingstudie waarbij 457 schieralen werden gezenderd en uitgezet bij Keulen tussen 2004 en 2009 bleek dat 43% nergens gedetecteerd was en van de 260 individuen die Nederland in zijn gezwommen er 83 (32%) de zee hebben gevonden; 78 (94%) via de Nieuwe Waterweg, 3 (4%) via de sluizen in de Haringvlietdam en 2 (2%) via de sluizen in deAfsluitdijk (Breukelaar *et al.* 2009; Spierts *et al.* 2009).

2.3.3 Extra monitoring en onderzoek in het kader van de Kier

In 2018 heeft ATKB aan de hand van concrete kennisvragen omtrent de werking van de kier een voorstel gedaan voor benodigde aanvullende monitoring (Hop 2018a). Dit voorstel omvat een groot aantal monitoring- en onderzoeksactiviteiten, waarvan een deel al in uitvoering of in de planning is. Voorgestelde studies omvatten een veelheid aan technieken, zoals kruisnet, driftnet (larvennet), ankerkuil, fuiken, boomkor, stortkuil en pelagische kuil, zenderstudies (NEDAP & VEMCO), PIT-tags en VIE-Tags. In onderstaande paragrafen worden alle onderdelen weergegeven die momenteel worden uitgevoerd. Waarschijnlijk zullen in de komende jaren daarnaast ook andere monitoringstechnieken worden toegepast om beheervragen te beantwoorden.

2.3.3.1 Functie ondiepe oevers

De MWTL monitoring is beperkt tot de diepere delen en de geulen. Om de visdiversiteit en de functie en waarde van de verschillende ondiepe habitats voor vissen in kaart te brengen en te monitoren heeft RAVON samen met partners het project "Een Zegen in de Delta" opgezet in 2017 (Ploegaert *et al.* 2017)(Figuur 2.8). Door verschillende habitats te onderzoeken langs de zoet-zout gradiënt wordt inzicht verkregen in welke vissoorten (als juveniel) aanwezig zijn in de verschillende estuariene zones. Naast variatie in saliniteit kan het habitat verschillen in bijvoorbeeld de bodemsamenstelling, de hoeveelheid waterplanten, de mate van beschutting en de steilheid van het talud in de oever. Het in kaart brengen van habitatgebruik door juveniele vis geeft inzicht in het functioneren van de oevernatuur als opgroeigebied.



Figuur 2.8. Monsterlocaties binnen de twaalf onderzochte deelgebieden.

2.3.3.2 Glasaal in de buitenhaven en intrek glasaal

WMR voerde in het voorjaar van 2020 een pilot project uit bij de Haringvlietdam spuikoker 17 met een glasaaldetector. Circa 1900 glasalen gemerkt met een Bismarck Brown kleurmerk en 300 glasalen met een VIE tag zijn uitgezet. Het doel van deze studie was om te bepalen hoeveel glasaal per glasaaldetector gevangen konden worden en of gemerkte glasaal teruggevangen kon worden nabij de spuisluizen (koker 17). Deze pilot richtte zich met name op de vraag of een groter merk-terug vangst experiment in 2021 kan worden uitgevoerd om een aanbodschatting te krijgen en hoeveel glasalen daarvoor gemerkt zouden moeten worden. Door het uitzetten van gemerkte glasalen kan er ook in 2020

een (beperkte) aanbodschatting gedaan worden en verblijftijd worden vastgesteld. Eventueel kan ook uitwisseling met het aanbod bij de schutsluis worden vastgesteld. Een dergelijke aanbodschatting kan dan worden vergeleken met een opgewerkte schatting uit de monitoring van intrek via de spuisluizen om een inschatting te krijgen van het intreksucces via de Kier.

2.3.3.3 Monitoring spuisluis en schutsluis

Met driftnetten wordt gedurende meerdere jaren de intrek/instroom van selectief getijden migranten en (kleine) vis tijdens het kieren en de uittrek/uitstroom van (kleine) vis en eventuele uitspoeling van selectief getijden migranten tijdens het spuien gemeten. ATKB heeft op een aantal avonden in spuikoker 17 gevist met driftnetten om te beoordelen of en zo ja welke vis gebruik maakt van spuikoker 17 voor de migratie richting het Haringvliet (hierin worden ook intrekkende glasalen gevangen).

2.3.3.4 Voortzetten zenderstudies salmoniden, smolts, zeeprik, houting en schieraal

In de komende jaren wordt in opdracht van RWS het zenderen van trekvissen met NEDAP-TRAIL transponders aan de buitenzijde van de Haringvlietdam voor trekvissen tijdens de intrek voortgezet. De planning voor de komende jaren is dat er per jaar 150 Volwassen Salmoniden (zalmen en zeeforellen, afhankelijk van de vangsten), 50 zeeprikken en 50 houtingen worden gezenderd. Bovenstrooms in de Rijn zullen jaarlijks tot 200 smolts en tot 150 schieralen worden gezenderd.

Verder zullen er om de drie jaar door WMR in opdracht van LNV 150 schieralen op de Maas worden gezenderd met NEDAP-TRAIL, waarvan een deel ook via het Haringvliet uittrekt.

2.3.4 Integratie van studies

Er zijn een aantal studies uitgevoerd waarin bekende kennis geïntegreerd is tot overzichten met een specifieke kennisvraag.

2.3.4.1 De visstand tussen 1870 -1970

De ontwikkelingen in de visstand in het Haringvliet, Hollands Diep en Goereesche Gat tussen 1870-1970 zijn uitgebreid beschreven in Quak (2016) aan de hand van visserijstatistieken. Het rapport schetst het belang van het zuidwestelijke rivieren- en estuariene systeem van Rijn en Maas voor trekvissen en brengt de belangrijkste ontwikkelingen en oorzaken voor populatie-afnames in kaart. Een belangrijke constatering was dat behalve een poortfunctie naar paaigebieden stroomopwaarts het systeem vooral functioneel was als opgroeigebied voor een groot aantal soorten, zowel voor estuariene soorten (spiering, bot, aal, haring) als juveniele trekvis (zalm, elft, fint, rivierprik). Spiering en jonge haring waren waarschijnlijk in abundantie en productie de 'sleutelsoorten' voor het functioneren van het voedselweb, het ecosysteem en de visserij. De achteruitgang van de meeste trekvispopulaties kwam grotendeels op het conto van de visserij eind 19^{e} eeuw, waarbij na 1900 ook riviernormalisaties, waterkrachtcentrales en het grootschalig verdwijnen van paai- en opgroeihabitats stroomopwaarts een rol hadden. Belangrijk is ook de veronderstelling dat de sterke toename van organische en chemische verontreinigingen – grofweg tussen 1930 en 1970 -ook heeft geleid tot een bijdrage aan de degradatie van het visbestand en de productie in het studiegebied, waarbij de afsluiting van het Haringvliet op het niveau van de toenmalige populaties in feite weinig effect meer heeft gehad.

2.3.4.2 Historisch beeld

Schaminée *et al*. (2019) hebben een referentiebeeld van de natuur in de Zuidwestelijke Delta in de periode voorafgaande aan de Deltawerken (vanaf 1900) geschetst en de trends die zijn opgetreden na de afsluitingen. De historische referentie van de visfauna voor de Zuidwestelijke Delta is vastgesteld door het bijeenbrengen van gegevens uit verschillende rapporten die over het algemeen focussen op specifieke waterbekkens. De focus voor vis lag op trekvissen, zoals Atlantische zalm, Europese steur, elft en fint. Voor de periode na 1970 is gebruik gemaakt van rapportages die tijdsreeksen van de visstand voor de delta beschrijven op basis van gegevens afkomstig van verschillende monitoringsprogramma's zoals de Demersal Young Fish Survey (DFS), de ankerkuil bemonstering en de MWTL visstand bemonstering.

2.3.4.3 Huidige visstand Haringvliet

De huidige visstand in het Haringvliet is uitgebreid beschreven in Hop (2016) op basis van bestaande monitoring (MWTL en DFS) aangevuld met enkele eenmalige opnames.

2.3.4.4 Bijvangst trekvis

In 2019 is een studie uitgevoerd naar de bijvangst van trekvissen in verschillende visserijvormen bij intrekpunten, waaronder het Haringvliet (van Rijssel *et al.* 2019). Deze studie was een update van een eerder uitgevoerde studie (Jansen *et al.* 2008). De volgende vragen zijn hierbij aan de orde gekomen:

1. Wat is de (indicatieve) omvang van de bijvangst aan trekvissoorten zalm, zeeforel, houting, fint, elft, rivierprik en zeeprik in de verschillende vormen van beroeps-, recreatieve- en sportvisserij in de kustwateren, overgangswateren en de binnenwateren?
2. Wat is de mogelijke impact hiervan op de bestanden en de bestandsontwikkeling van de betreffende vissoorten als gevolg van bijvangst en sterfte na terugzet?
3. Is er sprake van een zone dichtbij kunstwerken en vismigratievoorzieningen waar door concentratie van vissoorten sprake is van een duidelijk verhoogde vangkans en in hoeverre heeft dit invloed op de bestanden van de betreffende vissoorten? Is een indicatie te geven van de omvang van de zone waarin dit concentratie-effect van toepassing is?

Om deze vragen te beantwoorden was informatie nodig over: (1) visserij-inspanning, (2) vangfrequentie en (3) overleving na terugzet. Daarnaast was informatie nodig over de populatie-omvang. Voor deze studie zijn alle beschikbare gegevens gebruikt (monitoringsreeksen, vergunningsgegevens, logboekgegevens, enquêtes, literatuuronderzoek, onafhankelijke veldwaarnemingen en gegevens uit voorgaande onderzoeken).
Belangrijke constatering van de studie was dat kwantitatieve informatie over inspanning en vangstkansen in de verschillende visserijen ontbreekt. Populatieschattingen zijn voor zalm gemaakt op basis van telemetrie-studies en voor overige soorten zijn alleen kwalitatieve schattingen gemaakt.

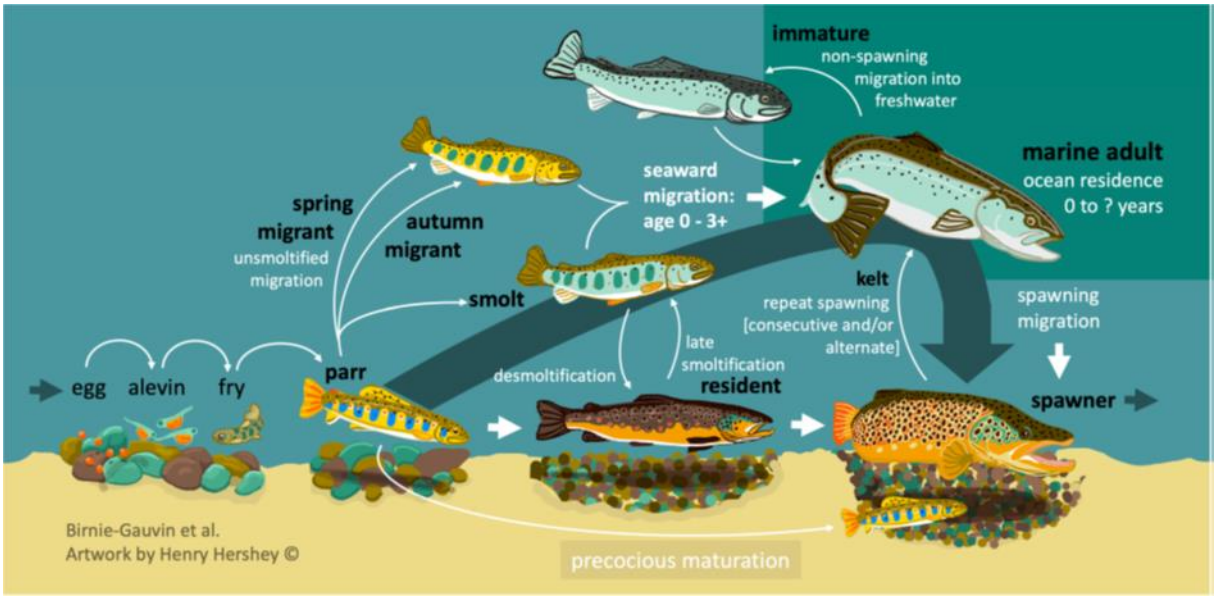
2.3.4.5 Prognose visstand na invoering Kierbesluit

Voorafgaand aan de inwerkingstelling van de Kier is een prognose gemaakt van verwachte ontwikkelingen van de maatregel (Griffioen *et al.* 2017c). De centrale vraag in deze studie was: 'Hoe ontwikkelt de visstand zich in het Haringvliet na instelling van de Kier en welke factoren zijn hierbij van belang?' Voor elk visgilde zijn op basis van de beschikbare informatie en inzichten de effecten van de Kier geschetst. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen de corridorfunctie van een estuarium en de habitatfunctie. Het belang van de corridor- en habitat functie voor de 16 doelsoorten van deze rapportage en of de gehele populatie dan wel en deel daarvan hierbij betrokken is, is weergegeven in Figuur 2.9.

Figuur 2.9. Weergave van de mate van belang van een estuarium als corridor-functie (Y-as) en de mate van belang van het estuarium als habitat-functie. Uit (Griffioen et al. 2017c). Hier gaat hierbij om de afhankelijkheid van estuaria in het algemeen en de rol die estuaria speelt binnen populaties voor de verschillende soorten. Voor de corridor-functie bijvoorbeeld of een gehele populatie via estuaria moet migreren, of dat een deel van een populatie hun hele levenscyclus op zee of juist in zoetwater voltooit zonder langs estuaria te trekken.

2.4 Levenscyclusbenadering

Het is belangrijk om in de aanpak van kennisontwikkeling voor de beantwoording van kennis- en beheersvragen omtrent vismigratie een levenscyclusbenadering te hanteren: een populatie kan alleen maar zichzelf in stand houden wanneer een soort zijn levenscyclus succesvol kan volbrengen. Dat betekent dat de voorwaarden voor elke levenscyclus vervuld moeten zijn. Aan elke stap in de levenscyclus hangen bepaalde voorwaarden om succesvol naar de volgende levensfase door te kunnen stromen. Het deltagebied heeft voor verschillende soorten een andere rol in hun levenscyclus. Voor sommige soorten vormt het een verbinding van het zoute water naar paaigebieden die stroomopwaarts liggen, andere soorten zoeken juist de doorgang van zoet naar zout en voor weer andere soorten vormt de delta een opgroeigebied. De rol die migratie langs zoet-zout overgangen speelt kan sterk verschillen binnen een soort en zelfs binnen populaties (zie Figuur 2.10 voor variatie in migratie-strategieën in salmoniden, (Birnie-Gauvin *et al.* 2019)). Bijvoorbeeld voor Atlantische forel kan elk individu zich tot beekforel (residente strategie) of zeeforel (naar zee migrerende strategie) ontwikkelen afhankelijk van de opgroei-omstandigheden en genetisch bepaalde 'drempel' om de onderdrukking van de genetische expressie tot zeeforel op te heffen (Ferguson *et al.* 2019).



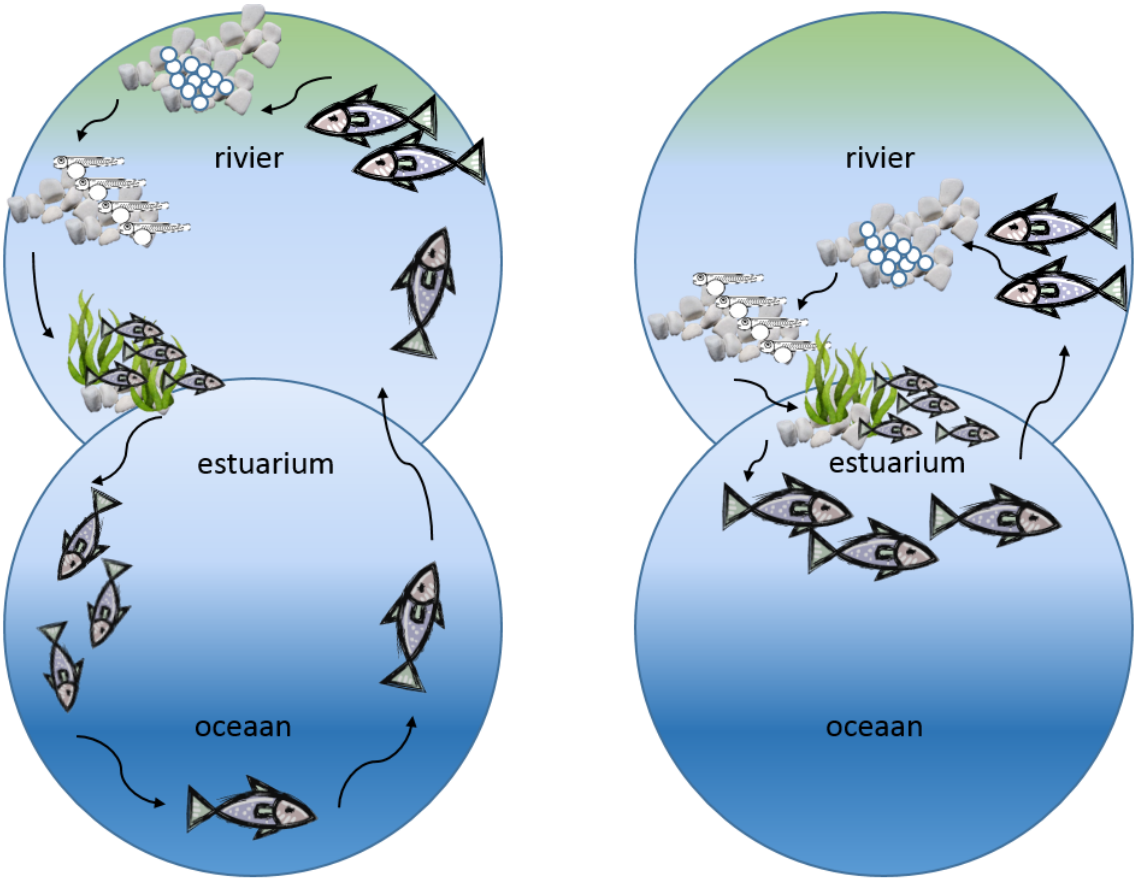
Figuur 2.10. Levenscyclus van salmoniden (zalm en zeeforel). Na de ontwikkeling van ei, larve ('alevin') en jonge salmoniden ('fry' en ' parr') zijn er uiteenlopende migratie strategieën. Uit (Birnie-Gauvin et al. 2019)

Daarbij is het belangrijk om erkennen dat voor een zichzelf in standhoudende populatie meer nodig is dan alleen maar de in- en uittrek waarborgen. Dat is de reden waarom we in het beschrijven van de algemene kennisvragen uitgaan van de hele trekroute. De vragen spelen zich dan grofweg af op drie schaalniveaus (in oplopende volgorde):

1. Vragen omtrent de intrek- en uittrekmogelijkheden bij de zoet-zout overgang (connectiviteit, corridor-functie),
2. Vragen m.b.t. de beschikbaarheid van geschikt habitat in het estuarium en verder stroomopwaarts zodat aan behoeftes voldaan kan worden die spelen tijdens verschillende levensfasen (bv foerageer-, schuil-, opgroei- of paaihabitat),
3. Vragen omtrent factoren die van invloed zijn op de populatieregulering. Hieronder vallen alle demografische parameters, zoals overleving en groei in zowel de zoet- als zoutwater leefgebieden. Directe factoren die op deze parameters van invloed zijn, zijn bijvoorbeeld sterfte door bijvangst in de visserij of door predatie, maar ook indirecte factoren zoals het doorwerken van oponthoud (vertraging) op conditie (energievoorraden) en het reproductief succes.

2.5 Doelsoorten en -groepen

De vissoorten waar we mee te maken hebben in elke zoet-zout overgang kunnen we op diverse manieren groeperen. Gezien de focus van de vragen omtrent de Kier op zwemgedrag lijkt het logisch om hier een onderscheid te hanteren in sterkere en zwakke zwemmers onder de vissoorten (Tabel 2.2). De zwemcapaciteit verschilt tussen soorten en ook tussen levensstadia binnen een soort. Sterke zwemmers als zalm en zeeforel kunnen goed tegen de stroom inzwemmen. Botlarven, jonge aal, spiering en driedoornige stekelbaars zijn zwakkere zwemmers. Zij zijn voornamelijk afhankelijk van de stroming en kunnen maar in beperkt mate sturen waar ze terecht komen. De bovengenoemde kennisvragen gelden voor beide groepen vissoorten, maar spelen vaak op een andere schaal. Bovendien zijn er voor grotere vis (meestal 'sterke zwemmers') veel meer onderzoekstechnieken om individueel gedrag te volgen beschikbaar (zoals telemetrie), waarbij er voor kleinere vis (meestal 'zwakke zwemmers') meer indirecte methoden moeten worden gebruikt om migratiegedrag meetbaar te maken (zie monitoringsplan voor de Vismigratierivier voor een uitgebreide bespreking van de beschikbare methoden voor sterke en zwakke zwemmers, (Griffioen & Winter 2017)). De sterkere zwemmers leggen over het algemeen veel langere routes af terwijl het leefgebied van de zwakkere zwemmers dat ze tijdens hun levenscyclus gebruiken veel beperkter is (Figuur 2.11). Uitzonderingen hierop zijn glasaal en wellicht haring.



Figuur 2.11. Levenscycli en gebiedsgebruik door sterke (links) en zwakke zwemmers (rechts).

Tabel 2.2. Classificatie van verschillende soorten (en levensstadia) in sterke en zwakke zwemmers.

Naar https://haringvliet.nu/sites/haringvliet.nu/files/2016-05/Vismigratie_flyer_lowres.pdf

Soort	Levensfase	Migratierichting	Zwemcapaciteit
Europese aal	glasaal 1-3 jr	zout->zoet	zwak
Anguilla anguilla	rode aal 2-17 jr	zout<->zoet	sterk
	adult	zoet->zout	sterk
Bot	juveniel	zout->zoet	zwak
Platichthys flesus	juveniel 2-4 jr	zout<->zoet	zwak
	adult	zout<->zoet	matig
Driedoorn. stekelbaars	juveniel 0.5 jr	zoet->zout	zwak
Gasterosteus aculeatus	adult	zout->zoet	zwak
Elft	juveniel 0+ jr	zoet->zout	zwak
Alosa alosa	juveniel 0-1 jr	zout<->zoet	zwak/matig
	adult	zout->zoet	sterk
Fint	juveniel 0+ jr	zoet->zout	zwak
Alosa fallax	juveniel 0-1 jr	zout<->zoet	zwak/matig
	adult	zout->zoet	sterk
Atlantische haring	larve	zout->brak	zwak
Clupea harengus	juveniel 3-4 jr	zout<->brak	zwak/matig
	adult	zout<->brak	matig
Rivierprik	juveniel 3-4.5 jr	zoet->zout	zwak
Lampetra fluviatilis	adult	zout->zoet	matig
Spiering	juveniel 0-1jr	zoet->zout	zwak
Osmerus eperlanus	adult 2-3jr	zout->zoet	zwak/matig
Sprot	larve	zout->zoet	zwak
Sprattus sprattus	juveniel <3 jr	zout<->brak	zwak/matig
	adult	zout<->brak	zwak/matig
Diklipharder *	juveniel	zout->zoet	zwak/matig
Chelon labrosus	adult	zout<->zoet	sterk
Noordzee Houting	juveniel	zoet->zout	zwak
Coregonus oxyrinchus	juveniel 2-4 jr	zout<->zoet	matig
	adult	zout->zoet	sterk
Europese steur	juveniel	zoet->zout	matig
Acipenser sturio	juveniel 2-4 jr	zout<->zoet	matig/sterk
	juveniel 4-8 jr	zout<->zoet	sterk
	adult	zout->zoet	sterk
Atlantische zalm	juveniel 1-3 jr	zoet->zout	matig
Salmo salar	adult	zout->zoet	sterk
Zeebaars	juveniel 1-5 jr	zout->zoet	matig
Dicentrarchus labrax	adult	zout<->zoet	sterk
Zeeforel	juveniel 2-3 jr	zoet->zout	matig
Salmo trutta	adult	zout<->zoet	sterk
Zeeprik	juveniel 2-3 jr	zoet->zout	zwak
Petromyzon marinus	adult	zout->zoet	matig/sterk

*ook dunlipharder trekt Nederlandse binnenwateren in, maar in veel mindere mate

2.6 Huidige status van wetenschappelijke kennis vismigratie en zoet-zout overgangen (lokaal tot internationaal)

In het recente verleden is een overzicht gemaakt omtrent de huidige stand van kennis omtrent vissen in zoet-zoutovergangen in het kader van het uit te voeren onderzoek rondom de Vismigratierivier (Winter *et al.* 2014a). Met deze studie als startpunt is het overzicht hieronder verder aangevuld met de meest recente grijze en wetenschappelijke literatuur en lokaal specifieke literatuur voor het Haringvliet en omliggende watersystemen. Dit is gedaan aan de hand van verschillende onderwerpen: oriëntatie en zoekgedrag, aantrekkings-efficiëntie van het complex, passage-efficiëntie, antropogene verstorende factoren tijdens migratie, predatierisico.

2.6.1 Welke factoren bepalen passage-efficiëntie bij zoet-zout overgangen?

De passage-efficiëntie van trekvis die bij zoet-zout barrières naar binnen wil trekken hangt af van veel factoren. In onderstaande paragrafen staan deze factoren op een rij en worden zowel algemeen geldende principes als meer toegesneden op de specifieke locatie (Haringvliet sluizencomplex) voor de trekvissen en andere vissoorten die van de Kier gebruik zouden moeten maken besproken.

De '*totale passage efficiëntie'* kan worden gedefinieerd als het percentage van de aantallen vis die bij het spui-complex aankomen en gemotiveerd zijn om naar het Haringvliet te trekken ten opzichte van de aantallen vis die er daadwerkelijk in slaagt om op het Haringvliet aan te komen. In de huidige situatie zal dit ofwel via de spuikokers, ofwel via de scheepsluis plaats moeten vinden. Andere intrekroutes rondom dit gebied zijn vooralsnog niet beschikbaar. Voor vissen die op grotere schaal migreren, zoals bijvoorbeeld aal, zalm en zeeforel, biedt de Nieuwe Waterweg naar het Maas-Rijn achterland en via het Spui ook een mogelijke route van en naar het Haringvliet (zie H 2.6.1.1).

De '*totale passage-efficiëntie*' van een barrière-complex (deel van het totale aanbod bij een barrière dat uiteindelijk succesvol weet te passeren) kan worden opgedeeld in:

- '*aantrekkings-efficiëntie van de intrekroute*', welk aandeel van het aanbod van vis wordt aangetrokken door bijvoorbeeld lokstromen afkomstig van de potentiele intrekroute en weet de potentiële intrekroute te vinden.
- '*passage-efficiëntie van de intrekroute',* welk aandeel van de vis die de migratieroute inzwemt slaagt erin deze succesvol te passeren (voor de Kier alleen tegen stroming in, na Kier ook met de stroom mee bij opkomende tij).

Zo zal de *aantrekkings-efficiëntie* van de spuisluizen door het grote volume gespuid zoetwater groot zijn, terwijl de *passage-efficiëntie* van vis, die via de spuikokers willen intrekken, door de grote stroomsnelheden in periode voor de Kier voor vrijwel alle soorten gering zijn. Alleen zeer sterke zwemmers weten deze in enige mate te passeren zoals de NEDAP-TRAIL telemetrie monitoring laat zien. Na de Kier zal de *aantrekkings-efficiëntie* naar de ingang van een geopende spuisluis met instromend water naar verwachting de belangrijkste factor zijn. Eenmaal bij de ingang van een geopende spuisluis die water van zee naar het Haringvliet binnenlaat (wanneer de waterstand aan zeezijde hoger is dan aan de haringvlietzijde) hoeven alle vissen alleen maar met de stroming mee te zwemmen/driften en zal de passage-efficiëntie door de spuikoker hoog zijn.

2.6.1.1 Factoren m.b.t. aantrekkings-efficiëntie van Haringvliet spuicomplex

Wanneer vissen afhankelijk zijn voor het voltooien van hun levenscyclus van migratie tussen zoet en zout water voor bijvoorbeeld opgroei-, leef- en of paaigebied, moeten deze vissen op grotere afstand de verbinding tussen deze watertypen kunnen vinden en benutten. Hiervoor moeten zij eerst de riviermonding vinden en vervolgens moeten zij deze passeren om naar het achterland de rivier op te zwemmen. Vissen moeten zich hiervoor kunnen oriënteren en zich gericht kunnen verplaatsen. Afhankelijk van de soort, moet de oriëntatie richting het zoete water, zoals het Haringvliet, in eerste instantie op grotere schaal plaatsvinden. Oriëntatie op basis van elektrische en aardmagnetische velden is waarschijnlijk van toepassing voor vis die zich wil oriënteren op grotere schaal richting continenten of regio's (Schmidt 1922; Schaber *et al.* 2011). Eenmaal aangekomen bij de monding van een rivier, de overgang tussen zoet en zout water, kan het zijn dat de vis andere technieken en of tactieken moeten gebruiken om uiteindelijk in het zoete water te komen. Men kan hierbij denken aan selectief

getijdentransport, al dan niet geholpen door geurstoffen vanuit zoete lokstromen en een zoet-zout gradiënt voor de oriëntatie. Dit zien we niet alleen terug bij kleinere vissen zoals glasaal en bot, maar ook grotere soorten zoals zalm, steurachtigen en fintachtigen lijken hier gebruik van te maken (Dodson *et al.* 1972; Potter 1985; Moser & Ross 1994; Poiner *et al.* 1998). In de volgende alinea's worden deze aspecten behandeld en waar relevant toegespitst op de Voordelta en de Haringvlietdam. Het gaat hierbij om zowel oriëntatie en zoekgedrag van vissen die richting het zoetwater willen zwemmen voor paai of opgroei.

Oriëntatie en zoekgedrag door vissen nabij zoet-zout overgangen

Met oriëntatie en zoekgedrag wordt verstaan dat vissen weten *welke richting (oriëntatie)* ze op moeten om op te groeien of te paaien (op basis van omgevingsprikkels) en zich daarnaartoe *verplaatsen (zoekgedrag)*. Oriëntatie en zoekgedrag van vissen zijn begrippen die lastig zijn op te delen, te kwantificeren of te visualiseren. Dit kan namelijk per individu maar ook binnen de soort sterk verschillen (Russell *et al.* 1998). Daarnaast kan de variatie in lokale omstandigheden het gedrag van vis beïnvloeden (predatierisico, windrichting, windkracht, neerslag etc.). Hoe gedrag wordt beïnvloed in een onnatuurlijke situatie is sterk afhankelijk van de situatie en hoe deze aansluit op het gedrag van vis. Zo zullen (gemotiveerde) vissen die eenmaal zijn aangekomen via de Voordelta bij de Haringvlietdam zich moeten herverdelen over de diverse routes binnen het complex (schutsluis of spuisluis). Wanneer vissen gemotiveerd zijn om te trekken en ze bij een barrière als de Haringvlietdam aankomen is het de vraag wat ze doen. Gaan ze actief zoeken naar passagemogelijkheden? Blijven ze wachten? Ontstaan er grote concentraties vis? Keren ze om op zoek naar een andere migratiemogelijkheid? Proberen ze het op een later tijdstip nog eens bij dezelfde route? Allemaal aspecten die waarschijnlijk per soort, per individu en per locatie zullen verschillen. Ze moeten lokaal zoeken naar migratiemogelijkheden en gebruikmaken van de vensters die worden geboden. Langdurig oponthoud kan leiden tot groter predatierisico of verlies van conditie en verloren zijn voor de populatie. Sommige zullen er uiteindelijk voor kiezen om te keren en bijvoorbeeld via de Nieuwe Waterweg hun succes beproeven, maar in welke mate dit optreedt is nog grotendeels onbekend.

Aardmagnetisch veld, waterstromingen, zoet-zout gradiënt en geurstoffen

In de Voordelta kunnen, net als bij andere systemen, vele prikkels ertoe leiden dat vissen vanuit zee bij de spuisluizen (of de scheepvaartsluizen) van het Haringvliet terechtkomen. Prikkels als (1) het aardmagnetisch veld, (2) waterstromingen, (3) zoet – zout gradiënten en (4) geurstoffen (feromonen en organische verbindingen) spelen een rol voor vis om zich op grotere schaal te kunnen oriënteren bij het zoeken naar de overgangsgebieden van zout naar zoet (Creutzberg 1959; Creutzberg 1961; Quinn 1990; Jager 1998; Gaudron & Lucas 2006; Gagliardi *et al.* 2007; Vrieze *et al.* 2011; Johnson *et al.* 2012; Winter *et al.* 2013; Quak 2016). In de Voordelta kunnen deze prikkels ook een rol spelen, maar hierover is weinig bekend.

(1) Oriëntatie op aardmagnetisch veld

Voor een aantal diadrome vissoorten, zoals Europese aal en diverse salmoniden is aangetoond dat het aardmagnetisch veld wordt gebruikt voor oriëntatie en navigatie, met name voor migraties op grotere ruimtelijke schaal in open zee (Putman *et al.* 2014; Cresci *et al.* 2017; Naisbett-Jones *et al.* 2017; Scanlan *et al.* 2018). Voor glasaal zijn sterke aanwijzingen dat deze ook op kleinere schaal het aardmagnetisch veld gebruiken gelinkt aan de getijdenstromingen (Cresci et al. 2017).

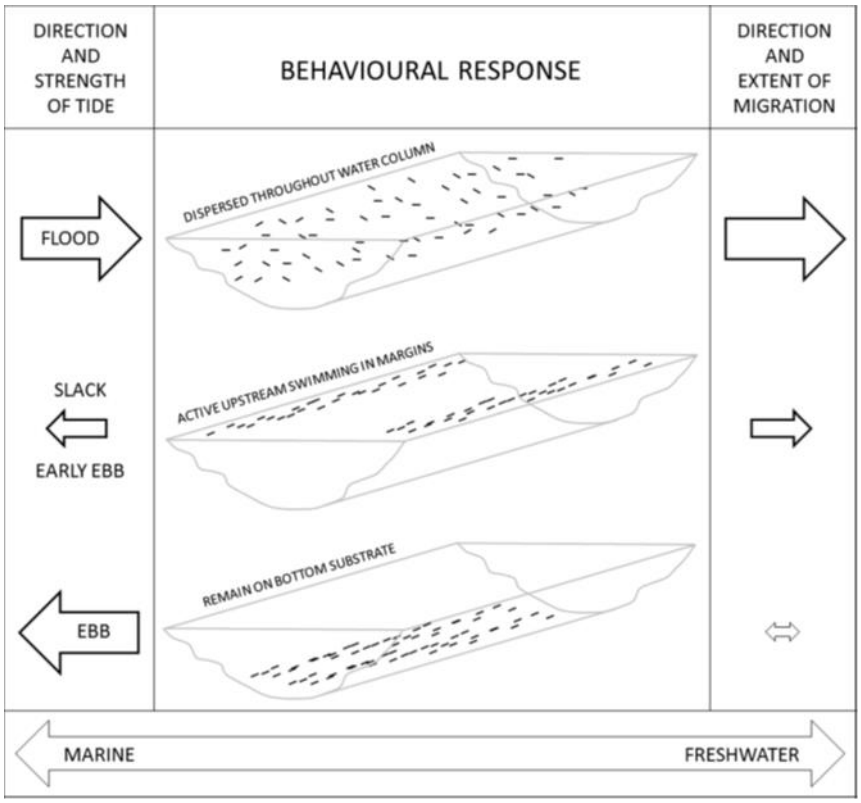
(2) Waterstromingen, selectief getijdentransport

Selectief getijdentransport is de verplaatsing van de vis door slim gebruik te maken van het getij en vooral kleinere diadrome vissen zijn hier grotendeels afhankelijk van voor de migratie richting zoetwater. Een getijcyclus kent een afgaand tij (eb) en een opkomend tij (vloed). Wanneer een vis zich richting het zoete water wil verplaatsen is het zeer efficiënt om gebruik te maken van het opkomende tij (Figuur 4.10). Dit zijn de perioden waar de waterstroom richting het zoete water is gericht. Tijdens afgaand tij (eb) is het zaak om de positie vast te houden.

Met name juveniele katadrome soorten en kleinere anadrome soorten kunnen hier hun voordeel meedoen om energie te besparen wanneer zij tegen de stroom in het zoete water moeten bereiken om op te groeien. Maar ook grotere, relatief sterkere zwemmers zoals zalm en fintachtigen, maken hiervan gebruik door met het getij in een estuarium stroomopwaarts te bewegen (Dodson *et al.* 1972; Stasko

1975; Potter 1988; Moser & Ross 1994). Bij afgaand tij proberen zij positie te houden door zich in te graven in de bodem (bijvoorbeeld bot), dicht bij de bodem te blijven of stationair te zwemmen in de stroom en bij opkomend tij juist de waterkolom in te zwemmen en gebruik te maken van de stroming van het water (Figuur 2.12). Op deze manier besparen ze energie en worden ze niet weggespoeld door het afgaand tij. Voor glasaal en bot kan het gebruikmaken van het getij uitkomst bieden om het zoete water te bereiken (Creutzberg 1961; Bos 1999; Jager 1999; Trancart *et al.* 2012). Dat glasaal selectief getijdentransport gebruikt is al aangetoond door Creutzberg (1961) en verder bediscussieerd met aanvullende veldgegevens door Dekker & van Willigen (2000). Morfologie speelt in relatie tot getijdetransport ook een rol; de grootste volumes worden via getijdengeulen getransporteerd. Oude stroomgeullopen bij dammen zouden hierdoor kunnen leiden tot een geconcentreerd voorkomen aan het eind van deze geulen (zoals aan de zuidelijke kant bij de Haringvlietssluizen, en bij Kornwerderzand in de Waddenzee).

De inschatting is dat selectief getijdentransport voor zwakke zwemmers een belangrijke rol speelt bij de optimalisatie van de Kier. Hierbij is het goed om te realiseren dat de stromingsrichting in een natuurlijk functionerend estuarium gedurende het opkomende tij rivierwaarts is en zeewaarts gedurende het afgaande tij. Bij het Kierbeheer van de Haringvlietsluizen daarentegen is er tijdens opkomend tij eerst zeewaartse stroming, totdat de waterstand aan de zeezijde even hoog is als aan de rivierzijde. Dan kentert de stroming en gedurende het laatste deel van het opkomende tij, hoogwater en het eerste deel van het afgaande tij is de stromingsrichting rivierwaarts (inlaten van water). Wanneer de waterstand aan de zeezijde vervolgens lager wordt dan aan de rivierzijde, kentert de stromingsrichting naar zeewaarts (spuien van water) gedurende het laatste deel van het afgaande tij, laagwater en eerste deel van opkomend water. Of dit faseverschil interfereert met de natuurlijke timing van vis gedurende selectief getijdentransport is onbekend.

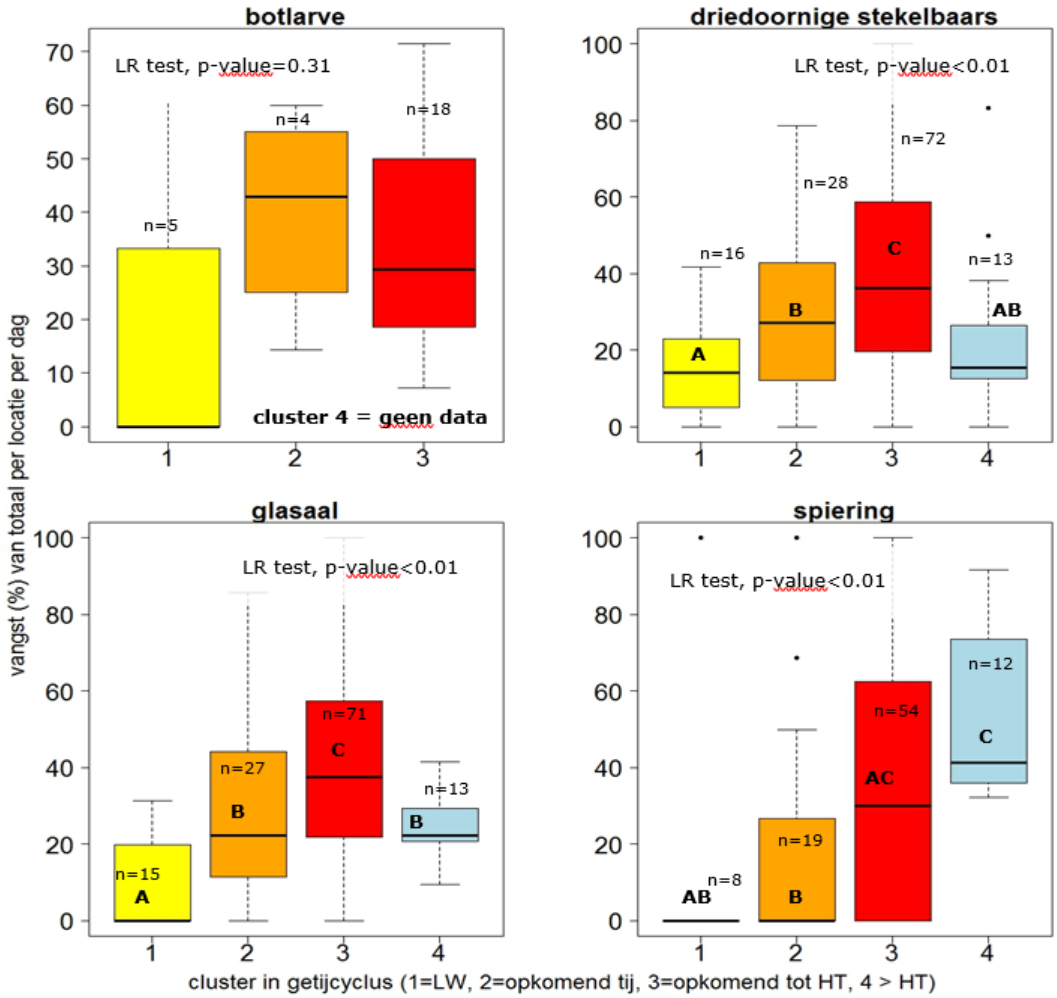


Figuur 2.12. Een grafische voorstelling van selectief getijdentransport voor glasaal. Tijdens afgaand tij ('ebb') zit de glasaal op of in de bodem om positie te houden en tijdens opkomend tij ('flood') wordt de waterkolom opgezocht om energetisch efficiënt gebruik te maken van de waterstroom. Tijdens het begin van het afgaand tij kunnen glasalen actief tegen de geringe stroming in zwemmen (uit Harrison et al. (2014).

Nabij een zoet-zout overgang kan selectief getijdentransport een rol spelen om uiteindelijk succesvol richting het achterland te geraken. Ook Mouton *et al.* (2011) concludeert dat glasalen zich door

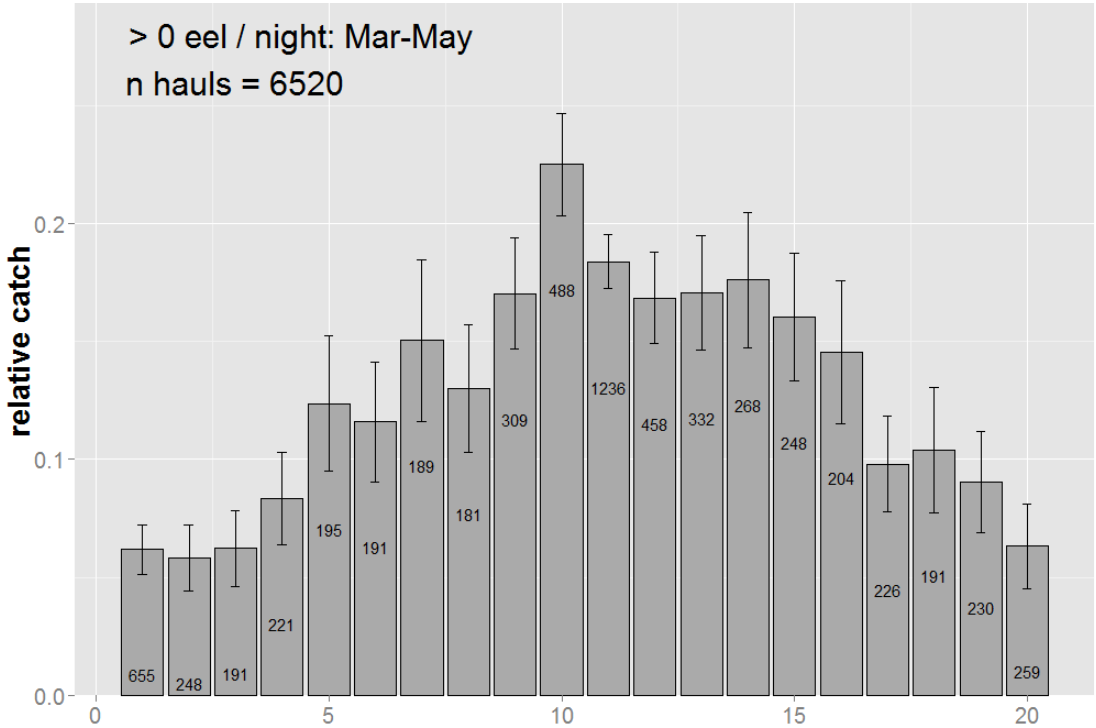
getijdestroming laten bewegen bij een barrière in de rivier de IJzer. Iets wat bevestigd wordt door andere onderzoeken (Laffaille *et al.* 2007; Crivelli *et al.* 2008). In het onderzoek van Mouton *et al.* (20a1) is gebleken dat glasalen de bovenste laag van het water vermijden en zowel overdag als in de nacht worden gevangen. Over het gedrag in de waterkolom, bijvoorbeeld in relatie tot verticale zoet-zout gradiënten die in gelaagde situaties voorkomen. Is nog weinig bekend. Een piek van vangsten gedurende de nacht/donkerperiode was waarneembaar een uur voor hoogwater. Zij concluderen dat deze piek onafhankelijk was van een licht-donker effect. Zij adviseren dan ook om vismigratievoorzieningen 24-uur te laten functioneren.

Echter, naarmate de tijd in het migratieseizoen vordert of de duur dat een glasaal voor een gesloten deur blijft hangen, lijkt actief zwemgedrag (in plaats van 'passief' met de stromen mee) de overhand te nemen voor transport richting het zoete water (Griffioen *et al.* 2014a). Zo werden bij de Afsluitdijk en het spuicomplex te Kornwerderzand in 2014 glasalen in de gehele spuikom in vergelijkbare aantallen gevangen (Griffioen *et al.* 2014a). Tijdens het onderzoek werden in absolute getallen meer glasaal gevangen nabij de spuideuren, maar niet significant meer dan elders in de spuikom. Dit zou erop duiden dat glasalen lang vertrouwen op selectief getijdentransport. Dit wordt ook teruggezien in de vangsten afgezet tegen het getij (Figuur 2.13, Kornwerderzand en Figuur 2.14 Den Oever). Echter, in mei, toen het migratieseizoen ten einde liep ontstond een verschil, waarbij significant meer glasaal nabij de deuren werd gevonden.



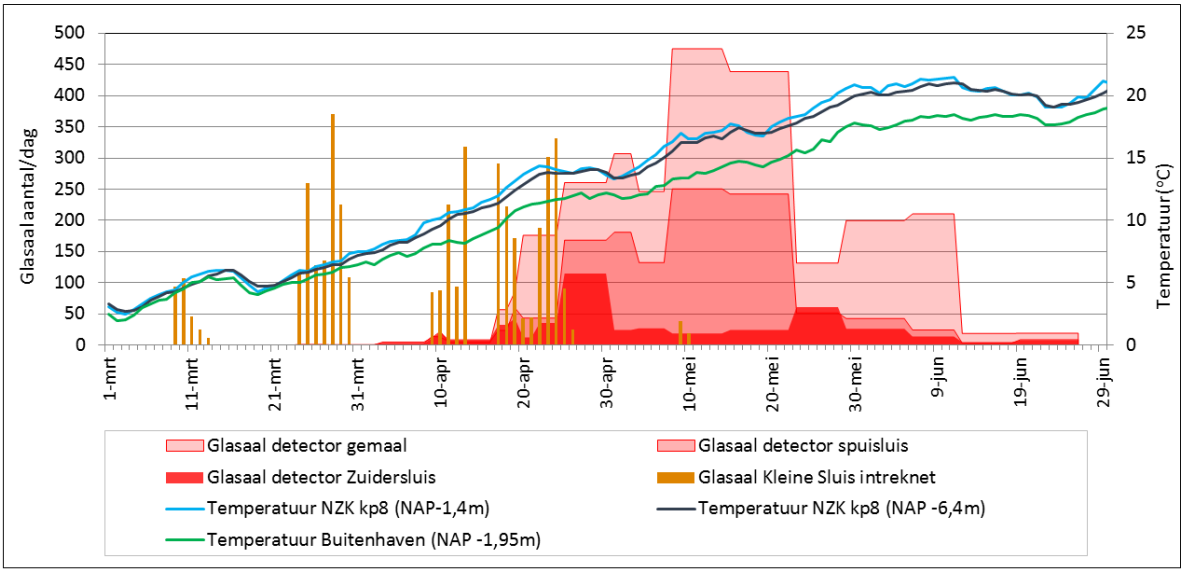
Figuur 2.13. Vangsten in de spuikom te Kornwerderzand voor botlarven, driedoornige stekelbaars, glasaal en spiering in het getij, waarbij het getij is opgedeeld in vier clusters (cluster 1= laagwater tot 33% van laagwater, 2 = 33-66% vanaf het laagste waterpeil, 3=66-100% vanaf het laagste waterpeil en 4= na hoog water) (Griffioen et al. 2014b).

Toch vertoont ook een deel van de glasalen al vroeg in het seizoen bij relatief lage watertemperaturen rond de 5-6 graden actief zwemgedrag (op basis van waarnemingen in het Noordzeekanaal bij gemaal Halfweg begin februari (Griffioen et al. 2019)). Dekker (1998) beschrijft dat glasalen het binnenwater opzwemmen als de watertemperatuur rond de zeven graden is, terwijl glasalen al bij drie graden aan de kust worden waargenomen (van Heusden 1943; Deelder 1952). Het lijkt er dus op dat een deel van de glasalen wacht om actief het zoete water op te zwemmen afhankelijk van de watertemperatuur. Echter, in 2018 zijn glasalen bij watertemperaturen zo rond de vijf graden gevonden achter de vispassage te Halfweg circa 16 km landinwaarts. Voorafgaand aan deze periode bleven de vangsten in glasaaldetectoren in de Buitenhaven van IJmuiden uit (Griffioen *et al.* 2019). Dit wijst er op dat glasalen in de Buitenhaven bij een watertemperatuur beneden ca. zeven graden nauwelijks actief gedrag vertoonden. Dit werd bevestigd door de vangsten in een net achter de Kleine Sluis te IJmuiden in diezelfde periode waar wel glasaal werd gevangen. De vismigratievoorziening daar is ingesteld op een 'passieve modus' en selectief getijdegedrag. In deze monitoringprogramma's werden glasalen gevangen voordat er glasalen in de detectoren werden gezien die sinds 7 maart geplaatst waren (Figuur 2.15). Glasalen moeten immers actief de detectoren inkruipen en de temperatuur was daar in die periode waarschijnlijk te laag voor. Boven de 11 graden kwamen pieken in de detectoren voor.



Figuur 2.14. Relatieve vangsten in relatie tot de getijfase bij de spuisluizen van Den Oever (0=laagwater, 10=hoogwater en 20=laagwater) (Griffioen et al. 2017a).

Hoe het migratiegedrag van glasaal, botlarven en in zeker zin ook driedoornige stekelbaars en spiering zich verhouden tot getijde- en spuistromingen in de Voordelta is onbekend en zal ook afhangen van eventuele verblijftijd en herhaalde migratiepogingen in de Voordelta. Lokale omstandigheden en aangeboden migratiekansen zullen hier een grote rol in spelen. Langdurige ophopingen zullen mogelijk uiteindelijk resulteren in sterker actiever zwemgedrag dan in een situatie waar er vrije migratie mogelijk is.



Figuur 2.15. De vangsten bij de drie detectoren in de Buitenhaven van IJmuiden en in het intreknet achter de Kleine Sluis, samen met de watertemperatuur in de Buitenhaven en op het Noordzeekanaal (daggemiddelden). De waarden op de dagen tussen de bemonsteringen zijn geïnterpoleerd (Griffioen et al. 2019).

Naast *kleine* migranten zoals glasaal en botlarven, maken ook grotere vissen gebruik van waterstromen, maar zijn hier minder afhankelijk van. Stroomopwaarts zwemmende zalm in een natuurlijk estuarium kan met het getij mee, soms over de bodem tegen de stroom in zwemmend, verder komen richting de paaigronden. Soms houden ze positie gedurende eb, mogelijk om geen energie te verspillen (Stasko 1975; Potter 1988). Ook lijkt de migratiesnelheid voor zalm lager te liggen eenmaal aangekomen bij een estuarium (Davidsen *et al.* 2013). Het feit dat zalmen in estuaria af lijken te remmen kan meerdere oorzaken hebben. In de literatuur wordt in discussies vaak aangehaald dat eventuele vertraging in het estuarium juist een middel is om te wennen aan een veranderend zoutgehalte (acclimatisatie). Hiervoor is echter geen bewijs gevonden in de literatuur. Een andere suggestie voor deze vertraging is dat vissen overschakelen op andere oriëntatie, wellicht gevoeligere technieken, of wachten om efficiënt gebruik te maken van de lokale omstandigheden om verder stroomopwaarts te migreren (Davidsen *et al.* 2013). Rivierprikken lijken tijdens hun stroomopwaartse intrek van estuaria geen gebruik te maken van selectief getijdentransport (Silva *et al.* 2017).

(3) Zoet – zout gradiënt (saliniteit)

In een natuurlijke situatie is de overgang van zoet naar zout water een geleidelijke gradiënt. De rivier mondt uit in de zee waardoor er een brakwaterzone ontstaat. Met de afstand verder op zee neemt ook de saliniteit af. Bij een groot afvoerdebiet uit een riviermonding ontstaat een grotere verder merkbare zoetere 'pluim' op zee dan voor riviermondingen met kleine afvoer. Door de netto stromingsrichting naar het noorden strekt deze pluim uit het Haringvliet en Nieuwe Waterweg (Maas-Rijn delta) uit naar het noorden langs de Hollandse kust en deze pluim wordt ook wel aangeduid als 'kustrivier'. Vissen kunnen deze gradiënt van saliniteit gebruiken om zich te oriënteren richting het zoete water (Jager 1998). Deze gradiënt en een grote zoetwaterstroom die met het spuien wordt gegenereerd zal door vis gebruikt kunnen worden om de verbinding naar het Haringvliet te vinden. Hoe meer (en langer) spuiwater is geloosd, hoe groter deze zoetwaterstroom zal zijn. De vraag is hierbij of en hoe vis op een zoetwaterstroom reageert. Een recent onderzoek in het Noordzeekanaal leek uit te wijzen dat glasalen zich verspreiden in het Noordzeekanaal en zich evenredig verdelen afhankelijk van de hoeveelheid lokstroom gecreëerd door lozingspunten van polders en boezem door gemalen (Griffioen *et al.* 2019). Het Noordzeekanaal is brak tot lichtbrak, terwijl de lokstromen geheel zoet zijn. Hiermee lijkt dit ook een goed mechanisme om glasalen te sturen met lokstromen. Ook in een brak-zout watersysteem heeft een zoete lokstroom aantrekkende werking op soorten als (glas)aal (Kroes *et al.* 2020).

In de Voordelta zal het zoete spuiwater van het Haringvliet een aantrekkende werking hebben op soorten als (glas)aal, maar ook driedoornige stekelbaars en andere, zowel grote als kleine, diadrome vis, maar de dynamiek, het verblijf en de verspreiding van een 'zoetwaterbel' in de Voordelta, en een gedragsrespons van de diadrome vis hierop zal onderzocht moeten worden.

Verticale zoet-zout gradiënten (gelaagdheid) kunnen ook effect hebben op gedrag van vis, maar hier is minder over bekend.

(4) Het gebruik van geurstoffen

Veel diadrome vissen gebruiken hun geurzintuigen om hen naar paaigebieden te leiden (Stabell 1984; Lucas & Baras 2001). Met name bij salmoniden is het bekend dat zij afgaan op de geur van de geboorteplek (Dittman & Quinn 1996). Salmoniden zwemmen gericht op zoet-zout overgangen af, waarbij ze prikkels, zoals geurstoffen, kustlijnen, maar ook waterstromen kunnen gebruiken naarmate zij dichterbij de zoet-zout overgang komen (Potter 1985; Potter 1988; Hansen *et al.* 1993).

Het zoete water dat met het spuien in de Voordelta terechtkomt zorgt ervoor dat er ook andere stoffen worden meegebracht in de Voordelta. Het is goed mogelijk dat juist deze stoffen ervoor zorgen dat vissen zich kunnen oriënteren richting het Haringvliet. Voordat glasalen bijvoorbeeld de Voordelta bereiken driften zij op de waterstromen van de Atlantische Oceaan richting de Europese wateren (Schmidt 1922; Munk *et al.* 2010). Eenmaal aangekomen bij de Europese wateren zoals de Voordelta lijkt het erop alsof ze andere tactieken gebruiken om de zoete wateren binnen te trekken. Hierbij lijkt, zeker op iets grotere afstanden, niet zozeer de zoet-zout gradiënt van belang, maar organische verbindingen die met het zoete water worden meegevoerd naar zee. Eén van de eersten die hier onderzoek naar heeft gedaan is Creutzberg (1959, 1961). Hij concludeerde dat organische substanties in het oppervlaktewater verantwoordelijk moesten zijn voor de aantrekkingskracht op glasaal.

Prikken gebruiken geurstoffen (feromonen) van larven die zich in een geschikt opgroeihabitat hebben gesetteld (Gaudron & Lucas 2006; Vrieze *et al.* 2010; Vrieze *et al.* 2011). De priklarven, ammocoeten, scheiden een feromoon dat voor de intrekkende volwassen prikken een teken is dat er verderop geschikt paai- en opgroei-gebied is. Hoe detecteerbaar deze feromonen op grotere schaal zijn en hoelang deze feromonen detecteerbaar blijven voor vis in de Voordelta is onbekend. Telemetrische experimenten met rivierprikken in het Drentsche Aa gebied vanuit de Eems Dollard suggereren dat prikken gericht op hun doel, de paaigronden, afgaan en daarbij zijstromen waar geen larven in leven negeren (Winter *et al.* 2013). Experimenteel onderzoek in Amerika naar prikken (*Entosphenus tridentatus*) die werden geplaatst in een Y-buis, waarbij de dieren konden kiezen tussen water met en zonder feromonen bleek dat ze aangetrokken werden tot beide buizen, echter tijdens de migratiestadia waren prikken meer aangetrokken tot de buis met lage concentraties feromoon (Mary Moser, ongepubliceerde resultaten).

Zoekgedrag bij zoet-zout overgangen

Naast oriëntatie op omgevingsprikkels is actief zoekgedrag ook een factor die van belang is voor een succesvolle passage richting zoet water. Zoals eerder vermeld zijn zoekgedrag en oriëntatie nauw aan elkaar verbonden. In de volgende alinea's worden enkele onderzoeken beschreven van zoekgedrag van sterke en zwakkere zwemmers, waarbij oriëntatie met behulp van eerdere genoemde aspecten (waterstromen, geur en zoet-zoutgradiënt) ook een rol speelt.

Zoekgedrag sterke zwemmers

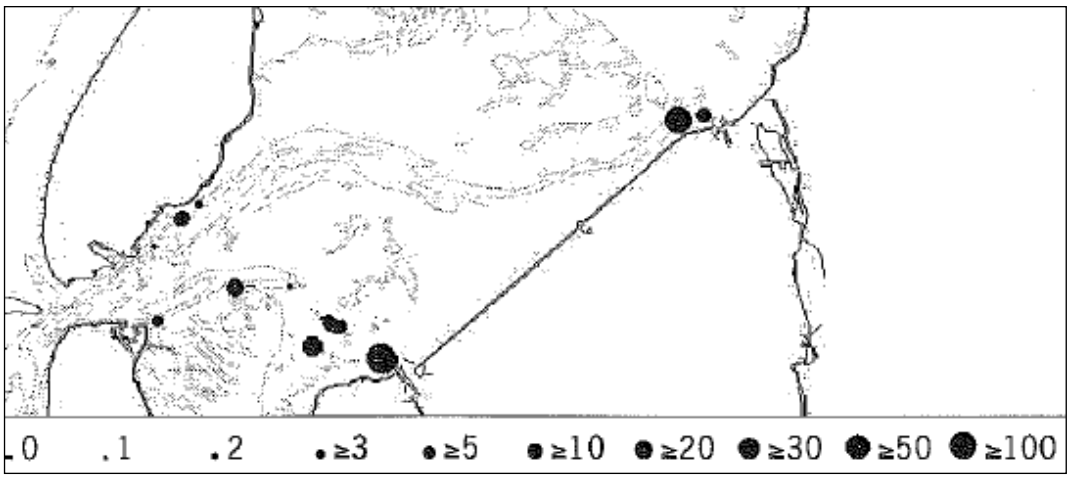
Davidsen *et al.* (2013) geven aan dat zalmen die eenmaal in estuaria zijn aangekomen door gebruik te maken van het aardmagnetisch veld of andere manieren lijken te wachten op de juiste omstandigheden om over te schakelen op fijnere oriëntatietactieken. Het wachten kan ook gerelateerd zijn aan het overschakelen op een nieuw zoutgehalte (Davidsen et al. 2013) en dus niet zozeer aan een barrière. Ook bij telemetrie-experimenten met zalmen door Russel et al (1998) is grote variatie in gedrag tussen individuen waargenomen afhankelijk van de timing en de afvoer van de rivier. Een deel van de zalmen lijkt zich wel aangetrokken te voelen door de zoete lokstroom uit een passage, maar er is uiteindelijk maar een klein percentage dat er gebruik van maakt (Russell et al. 1998). Duidelijk is dat barrières vertraging kunnen veroorzaken in de migratie. Het is echter niet eenduidig of deze vertraging of ophoping ook nadelig is voor het individu. Dit zien we ook terug in de onderzoeken van Keefer (2013). Onderzoek naar vijf verschillende vissoorten in Amerika (zalm, prik en een fintachtige: *Oncorhynchus tshawytscha*, *O. nerka*, *O. mykiss*, *Entosphenus tridentatus*, *Alosa sapidissima*) heeft laten zien dat de migratiepatronen voor deze stroomopwaarts zwemmende anadrome soorten systematisch varieerden tussen habitattypen binnen dezelfde vissoort. Zwemactiviteit van de vissen werd waargenomen gedurende een dagcyclus van 24 uur in minder risicovolle weinig turbulente situaties, terwijl de mate van activiteit verminderde bij situaties die sterk uitdagend en risicovol waren (Keefer et al. 2013). Als

risicovolle of complexe situaties werden beschreven: een grotere kans op predatie bij vispassages of grote stroomsnelheden of turbulentie. In dergelijke situaties lieten diadrome vissen een sterker soortspecifiek verschil in gedrag tussen dag en nacht zien, met zalm en de fintachtige die dan voornamelijk overdag actief zijn en prikken veel meer 's nachts (Keefer *et al.* 2013). Er werd gevonden dat in weinig complexe situaties voor diadrome vissen zowel overdag als 's nachts via de gewoonlijke oriëntatie gemigreerd wordt met minder verschil tussen dag en nacht per soort: bijvoorbeeld het volgen van geursporen of (stabiele) waterstromen. Wanneer de situatie sterk verandert door grote waterstroomsnelheden en turbulentie kiezen soorten als zalmen en fintachtige vooral voor migratie overdag omdat ze dan meer zintuigen tot hun beschikking hebben om gevaren te ontwijken, terwijl prikken ervoor kiezen om dan met name 's nachts te migreren om hun predatierisico te verminderen (Kelly & King 2001; Kemp *et al.* 2011; Keefer *et al.* 2013). In hoeverre leergedrag een rol speelt bij het passeren van complexe barrières of het gebruik van kortdurende migratievensters is nog grotendeels onbekend.

Eén van de grootste barrières in een getijdenrivier in Europa is de stuw in de Elbe bij Geesthacht. Hier is in 1998 een natuurlijke vispassage met relatief gering debiet aangelegd. In 2010 is langs de andere oever de grootste vispassage van Europa aangelegd (het meer technische type vertical slot). Bij Geesthacht is grootschalig PIT-tag onderzoek, naar de diadrome soorten rivierprik, zeeforel, zalm, zeeprik, houting en migrerende zoetwatervissoorten als winde, barbeel, snoekbaars, kwabaal, roofblei en kopvoorn uitgevoerd (Faller & Schwevers 2012). De resultaten laten zien dat er geen effect is van de oever waarlangs de vis is uitgezet. Dit suggereert zoekgedrag langs de stuw of tenminste menging over de gehele breedte van de rivier. Er was wel een duidelijk soortspecifieke verdeling over beide vistrappen.

Zoekgedrag zwakke zwemmers

Hoe lokaal zoekgedrag in de Voordelta voor kleine vis uitpakt, is grotendeels onbekend. Bij andere zoet-zout-overgangen zoals de buitenhaven te IJmuiden, Den Oever, Kornwerderzand en Lauwersoog zijn wel enkele onderzoeksresultaten bekend. Resultaten van Dekker en van Willigen (2000) in de Waddenzee laten zien dat glasaal de spuisluizen bij Den Oever en bij Kornwerderzand in gelijke mate weet te vinden (Figuur 2.16).



Figuur 2.16. Verspreiding van de glasaal in de ankerkuilvangsten in de Westelijke Waddenzee, in de voorjaren van 1998 en 1999 (Dekker & van Willigen 2000)

Dekker & van Willigen (1997) beschrijven een ophoping en een langdurig verblijf van glasaal voor de deuren van spuicomplexen. Hierbij zijn met merk-terugvangst-experimenten enkele glasalen zelfs na 14 dagen nog steeds voor de spuideuren waargenomen terwijl op vrijwel alle nachten is gespuid (Dekker & van Willigen 1997). Dit suggereert dat zij langere tijd voor de spuideuren aanwezig blijven. Recente onderzoeken met glasaaldetectoren langs de kust van Nederland toont aan dat de 'verblijftijd' aan de buitenzijde van grote spuicomplexen verschilt. Verblijftijd is gerelateerd aan passage-succes. Bij een hoge passage-efficiëntie zal de gemiddelde verblijftijd aan de buitenzijde lager zijn, dan bij een lage passage-efficiëntie, waarbij er meer ophoping plaatsvindt aan de buitenzijde. Zo is deze gemiddeld 5,6 dagen bij IJmuiden (Griffioen *et al.* 2019) en gemiddeld 11,1-13,6 dagen bij Den Oever

(ongepubliceerde resultaten WMR). Terwijl de maximale vastgestelde verblijftijd aan de buitenzijde kan oplopen tot wel 70 dagen bij Den Oever. Bij het sluiscomplex te IJmuiden was de maximaal vastgestelde verblijftijd met 23 dagen aanzienlijk lager. De verblijftijd in de Voordelta voor glasaal is vooralsnog onbekend. In de Voordelta is bij zowel de schutsluis als de Haringvlietdam in het voorjaar van 2020 een eerste pilot voor uitgevoerd door WMR, Bureau Waardenburg en Visserij Service Nederland. Resultaten hierover zijn nog niet beschikbaar.

Hoewel Dekker & van Willigen (1997, 2000) aangeven dat de ophoping en de vertraging van glasaal voor de spuideuren niet per definitie nadelig hoeft te zijn, is het niet onwaarschijnlijk dat er een grotere kans op predatie ontstaat, voornamelijk wanneer de verblijftijd oploopt tot wel enkele weken/maanden. Na een oriëntatie van achtereenvolgens waterstromen en selectief getijdentransport in combinatie met geurstoffen zullen glasalen in het laatste stadium actief de spuideuren moeten passeren. De eerste vraag is of ze actief zoeken naar mogelijkheden voor passage. Dekker & van Willigen (1997) laten dit zien via een vergelijking tussen een groot kruisnet van 5x5 m en een 1x1 m kruisnet. Dit laatste kruisnet wordt gebruikt voor de monitoring sinds 1938 bij de spuisluizen van Den Oever. Het 5x5 m net was ook gebruikt bij de spuisluizen bij Den Oever tijdens merk-terugvangstexperimenten. De resultaten gaven aan dat op dezelfde locatie met het grote kruisnet de afname in vangsten sneller was dan met de kleinere kruisnetten. De meest waarschijnlijke verklaring hiervoor is dat er met het grote net eerder lokale uitputting van glasaal plaatsvind (het vangen van glasaal gaat sneller dan de nieuwe aanwas via dispersie weer 'opvult'). Daarnaast is er een groter randeffect en ontsnappingskans en daardoor lagere vangst efficiëntie bij het kleine 1x1 m kruisnet, wat dit nog verder versterkt. Dit zou suggereren dat glasaal waarschijnlijk beperkt zoekgedrag vertoont en waarschijnlijk lang vertrouwt op selectief getijdentransport, maar dat er uiteindelijk overgeschakeld wordt naar actief zwemmen om verder het zoete water op te zwemmen. Dit lokale zoekgedrag kan verstoord worden door herhaaldelijke spuistromen. Een lokale 'reset' is niet ondenkbaar voor kleine vis als deze geconfronteerd wordt met een spuistroom van enkele meters per seconde. Ook in de Voordelta krijgen kleinere vissen te maken met flinke waterstromen door de spuistroom via de Haringvlietdam. Toch lijken glasalen zich grotendeels goed te kunnen handhaven bij sterke stromingen als gevolg van spuien en malen. Zowel bij Kornwerderzand (Griffioen *et al.* 2014a) als bij de IJzer in België (Mouton *et al.* 2011), maar ook bij kleinere locaties in beheersgebied van Waterschap Delfland (Griffioen *et al.* 2018), wijzen de resultaten erop dat glasalen sterke stromingen kunnen weerstaan, waarbij ze waarschijnlijk schuilen tussen stenen of andere substraten. Echter, in een recent onderzoek met gemerkte glasalen wordt er ook uitwisseling gezien tussen glasalen die bij spuisluizen zijn losgelaten en glasalen die bij nabij gelegen schutsluizen zijn losgelaten (ongepubliceerde resultaten WMR). Dit wordt zowel bij Lauwersoog als bij Den Oever gezien. Mogelijk dat een deel van de kleine vis, in dit geval glasaal, wordt weggespoeld door het spuiwater en zich daardoor weer opnieuw moet verplaatsen richting de schutsluis of de spuisluis. Een eerste resultaat in 2019 laat zien dat de uitwisseling sterker is van spuisluis richting schutsluis dan andersom en daarmee waarschijnlijk een gevolg van wegspoeling door spuien.

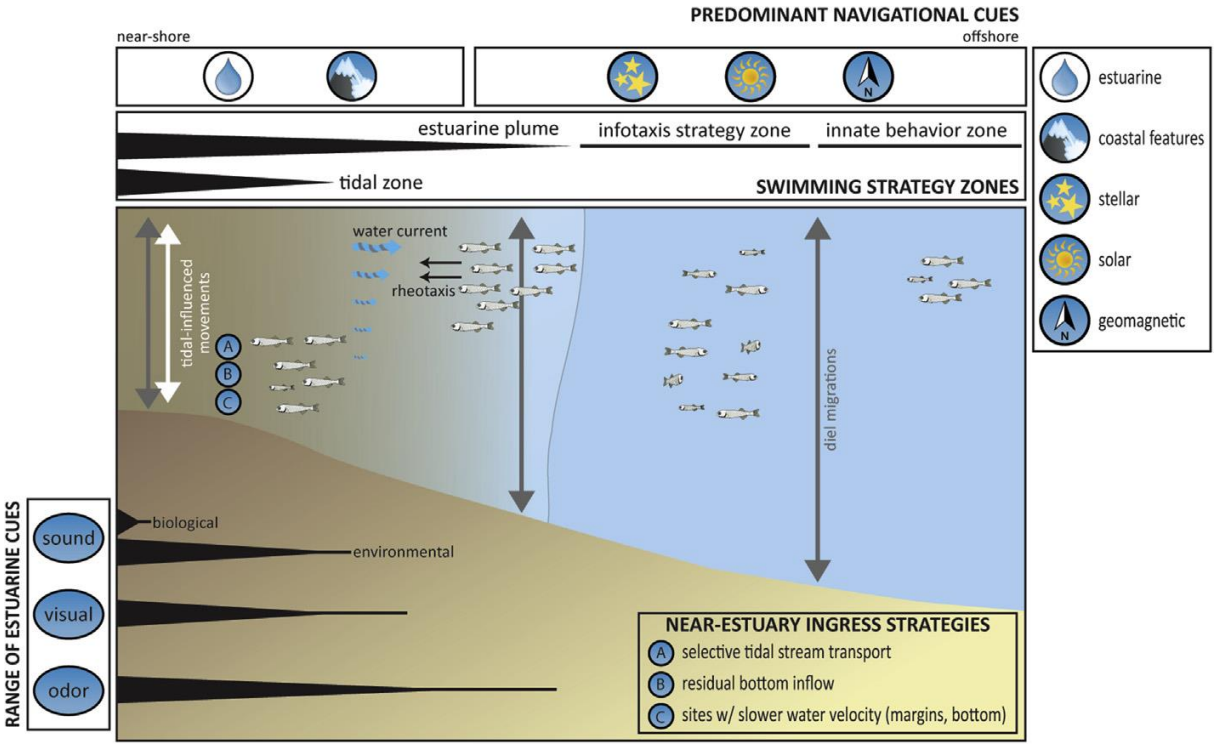
Naast glasaal die zich afhankelijk van de lokale omstandigheden ophoopt voor spuisluizen bij getijdebarrières, zijn er ook voorbeelden van jonge haring, driedoornige stekelbaars en spiering. Deze soorten zijn in tegenstelling tot glasaal beter in staat actief te zwemmen en daarmee iets sterkere zwemmers dan glasaal. Dit blijkt bijvoorbeeld uit een merk-terugvangst experiment op het Noordzeekanaal waar de gemiddelde zwemsnelheid van stekelbaars werd vastgesteld op 1900 m/dag terwijl dit bij glasaal op 800 m/dag lag (Griffioen *et al.* 2019). Hiermee wordt verondersteld dat zij beter in staat zijn om te anticiperen op migratiemogelijkheden die aangeboden worden. Griffioen *et al.* 2014 zagen bij de spuisluizen van Kornwerderzand ook dat spiering en driedoornige stekelbaars minder afhankelijk van selectief getijdentransport waren dan glasaal. Deze soorten werden significant meer gevangen voor de deuren in vergelijking met andere locaties in de spuikom, terwijl voor glasaal geen verschil werd gevonden. Beroepsvissers zien ook spiering met afgaand tij richting de deuren verschuiven, terwijl dit energetisch gezien een inefficiënte manier van migreren is, maar mogelijk wel de enige optie om de spuideuren te passeren.

Een soort die in vergelijking met de soorten die eerder zijn beschreven nog minder in staat is om actief zwemgedrag te vertonen is bot(larve) (Bos, 1999). In de Eems Dollard zijn in de jaren 1990 ophopingen van botlarven gevonden, maar door de fysieke beperkingen van bot lijkt dit deels een gevolg te zijn van getijstroming en niet door actief zoekgedrag (Jager 1998). Toch kan niet worden uitgesloten dat een

attractie via een zoet-zout gradiënt en de invloed van een zoetwaterstroom ervoor zorgt dat botlarven zich actief verplaatsen naar zoet – zout overgangen (Jager 1998). De spuideuren worden met laag tij opengezet, omdat dan de getijstroom richting Voordelta gericht is. Een actieve en gerichte zwembeweging richting de deuren in deze periode van de getijcyclus geeft een kans om het complex te passeren. Helemaal aan het begin van een spuicyclus zal de beperkte waterstroom mogelijk kans bieden om het IJsselmeer te bereiken. Wanneer het water eenmaal aan het stromen is tijdens het spuien zal de stroomsnelheid te hoog zijn om er tegenin te zwemmen.

Hoe prikken (zeeprik en rivierprik) zich gedragen op lokale schaal nabij spuisluizen is grotendeels onbekend. Een onderzoek in de spuikom van Kornwerderzand laat zien dat er uitvoering zoekgedrag is, maar dat het aantal succesvolle passanten beperkt is (slechts 16-28% passeerde succesvol (Griffioen *et al.* 2014)). Experimenten met rivierprikken bij stuwen laten zien dat rivierprikken zich met hun bek vast kunnen zuigen om tijdelijk te rusten tijden het passeren van de barrières (Kemp *et al.* 2011). Het gebruik van de bek om positie te houden werd groter naarmate het debiet groter werd, hiermee werd het aantal pogingen om een passage te passeren ook gereduceerd. Waar andere vissen bij suboptimale omstandigheden meerdere pogingen kunnen doen om een passage te passeren, kunnen prikken de efficiëntie van de passage sterk beïnvloeden door bij suboptimale omstandigheden minder pogingen te doen en tussendoor te rusten door zich vast te zuigen aan substraat. Prikken hebben de neiging om langs de muren en de bodem te migreren, hier zijn de stroomsnelheden mogelijk lager en hebben ze de mogelijkheid om zich vast te zuigen (Kemp *et al.* 2011; Russon & Kemp 2011). Prikken lijken minder succesvol te passeren bij barrières bij stroomsnelheden van 1.5 m/s, hoewel sommige kunnen passeren bij 1.7 m/s (Kemp *et al.* 2011). Andere studies laten passage met stroomsnelheden van 1.1 – 1.3 m/s zien (Laine *et al.* 1998a) en zelfs 1.75 – 2.12 m/s (Russon & Kemp 2011). Hiermee lijkt het alsof voor prikken de zwemcapaciteit en de stroomsnelheid niet per definitie doorslaggevend hoeven te zijn voor een succesvolle passage, maar dat lokale omstandigheden hier belangrijker voor zijn (van der Ven 2018). Prikken zijn minder goed in staat om een stabiele lichaamspositie te handhaven in turbulente situaties, doordat zij geen borstvinnen hebben die de stabiliteit kunnen waarborgen (Liao 2007; Kemp *et al.* 2011). Hierdoor hebben zij eerder last van turbulentie en de neiging turbulentie te mijden.

Resumerend; migrerende vissen volgen meestal verschillende prikkels (cues) om zicht te oriënteren en te navigeren tijdens hun migraties. Hierbij is er zelden sprake van het volgen van een enkele prikkel, maar worden er vaak op verschillende schaalniveaus of verschillende fasen tijdens de migratie gebruik gemaakt van verschillende prikkels. Op grote ruimtelijke schaal op oceanen wordt bijvoorbeeld het aardmagnetisch veld gebruikt in samenspel met heersende zeestromingen, terwijl er bij nadering van kustwateren wordt overgegaan op oriëntatie op getijdenstromen, geurstoffen en/of saliniteits-gradiënten. Teodosio *et al.* (2016) stelt op basis van een uitgebreide review een hiërarchische sequentie van gidsende prikkels voor oriëntatie en navigatie bij migrerende vissen (en dan met name voor de juveniele stadia) voor: de Sense Acuity And Behavioural (SAAB) hypothese (zie Figuur 2.17).



Figuur 2.17. Volgens de SAAB hypothese (Teodosio et al. 2016) gebruiken vislarven in gematigde gebieden een hiërarchische opeenvolging van aanwijzingen (geur, geluid, visuele en aardmagnetische signalen) om opgroeigebieden te detecteren en daarheen te navigeren. De gevoeligheid van hun sensoren en hun zwemcapaciteit neemt toe met leeftijd.

2.6.1.2 Factoren m.b.t. passage-efficiëntie van de Kier

Er zijn diverse factoren die passage-efficiëntie bepalen. Deze factoren zijn met elkaar verweven en in zoverre is de onderstaande opdeling tot op zekere hoogte arbitrair. Wereldwijd zijn vispassages aangelegd langs barrières in stromende wateren, waarbij de stromingscondities in de vispasssage meestal vrij constant blijven. Vis kan alleen via actief zwemmen passeren en de zwemcapaciteit van vis is een belangrijke factor in het succesvol passeren van deze vispassages. De Kier wijkt hier van af omdat er zowel een fase is met naar de Voordelta uitstromend water (die met actief zwemmen te passeren is) als een fase met vanuit de Voordelta instromend water (waarbij vis kan meeliften op de stroming om naar het Haringvliet te trekken). Sterke zwemmers als zalm en zeeforel hebben hierdoor langere intrekvensters tot hun beschikking, omdat deze, actief zwemmend, ook fasen waarbij hogere stroomsnelheden in de koker voorkomen kunnen overwinnen. Voor kleinere vissen zijn met name de waterstromen richting het Haringvliet wenselijk, omdat ze dan met de stroom mee, zowel passief als actief zwemmend, richting het Haringvliet kunnen zwemmen.

Migrerende vissen passeren de Haringvlietsluizen zowel in stroomopwaartse (van zee naar zoet) als in stroomafwaartse (van zoet naar zee) richting, afhankelijk van de levensfase en periode in het jaar. Voor de Kiermaatregelen werden ingezet waren de intrekmogelijkheden sterk beperkend voor migrerende vis, terwijl de uittrekmogelijkheden via het spuien van zoetwater naar zee niet tot in geringe mate beperkend zijn geweest; zie o.a. voor schieraal (Winter & Bierman 2010) en voor het zenderonderzoek aan salmoniden (bij de Vaate & Breukelaar 2001; Hop 2018b). Over stroomafwaartse migratie langs zoet-zout overgangen is ook veel kennis beschikbaar, maar omdat deze niet tot nauwelijks beperkend waren en ook niet of nauwelijks veranderd zijn na de instelling van de Kier, wordt er hier geen gedetailleerd overzicht van de kennis omtrent migratie van zoet naar zee gegeven. In de volgende paragrafen wordt onderscheid gemaakt tussen intrek via tegenstroomse passage van de Haringvlietsluizen tijdens spuivensters, en intrek via inlaten van water met opkomend tij met de Kier.

Tegenstrooms: zwemcapaciteiten van vis (kunnen passeren tijdens spuien)
In de situatie voor de Kier moesten vissen richting het Haringvliet tegen de stroom in door de spuisluizen zwemmen. Hierbij speelt timing en de zwem- en sprintcapaciteit een grote rol om succesvol te zijn. Vis moet tenminste fysiek in staat zijn om de heersende stroomsnelheden te kunnen passeren om een barrière (of vispassage) succesvol te kunnen passeren. Er wordt vaak onderscheid gemaakt tussen verschillende typen zwemcapaciteiten: sprintsnelheid die seconden kan worden volgehouden, verlengde sprint die minuten kan worden volgehouden en kruissnelheid die uren kan worden volgehouden (Videler & Wardle 1991; Videler 1993). Sprinten wordt gedaan met de witte spieren en is een anaeroob proces met in de spiercellen opgeslagen glycogeen als brandstof (Wardle 1980). Dit is een biochemisch proces en daarom sterk afhankelijk van de watertemperatuur. Met elke 10 graden hogere watertemperatuur verdubbelt de sprintcapaciteit (Videler & Wardle 1991). Maximale sprintsnelheid kan maar 5-15 seconden worden volgehouden totdat het glycogeen is opgebrand (Blake 1993). Omdat het weer aanvullen van het opgeslagen glycogeen tijd vergt, kan een volgende sprint pas na langere tijd weer worden ingezet. Dit maakt vis tijdelijk kwetsbaar voor bijvoorbeeld predatoren en daarom is vis in het algemeen terughoudend om de maximale sprintsnelheid in te zetten (Videler 1993). Voor verlengde sprints en kruisnelheden zijn ook rode spieren betrokken en speelt de zuurstofopname een rol. De hoogte van de zwemsnelheden en het duurvermogen zijn sterk afhankelijk van lichaamsmorfologie, lengte van de vis, watertemperatuur en zuurstofgehalte (Katopodis & Gervais 2012). Trekkende vissoorten zoals salmoniden en fintachtigen zijn in staat om hun zwemsnelheden te optimaliseren op basis van bepaalde stromingscondities (Castro-Santos 2006).

Met de stroom mee: selectief getijdentransport en benutting instroomvensters
Bij het passeren van de spuisluizen met het opkomende tij via een geopende Kier-opening in de Haringvlietdam speelt naast actief zwemmen ook selectief getijdentransport zeker voor de zwakke zwemmers waarschijnlijk een grote rol en de passagemogelijkheden voor vis via de spuisluizen zullen met de Kier worden vergroot. De situatie en het beheer van de spuisluizen Haringvliet is door de grote schaal van het spuicomplex en het in enige mate toestaan van een ingaande zoutere stroming rondom hoogwater via (gedeeltelijk) geopende sluizen (oplopend van geen tot groot in te laten volume bij hoge rivierafvoer) uniek in de wereld voor zover wij weten. Er zijn wel andere grootschalige barrières in estuaria zoals locaties met getijdecentrales (zoals in Rance, Bretagne) of stormvloedkeringen die alleen bij hoge waterstanden tijdelijk gesloten zijn. Of er betreft juist kleinschalige zoet-zout overgangen waar een gering watervolume bij hoogwater wordt binnengelaten, maar de combinatie van grootschaligheid en inlaten van zout water komt verder niet voor. Over situaties waarbij op een grootschalige locatie grote volumes worden gespuid en geringere hoeveelheden water wordt ingelaten, zoals bij het Kierbeheer, en in welke mate dit visintrek faciliteert, is weinig kennis voorhanden bij gebrek aan vergelijkbare situaties elders. Vanaf 2015 wordt er in de spuisluizencomplexen van Den Oever en Kornwerderzand in de Afsluitdijk gewerkt met 'visvriendelijk sluisbeheer', waarbij gedurende een aantal getijden per week ook beperkte volumes water vanuit de Waddenzee worden ingelaten bij afgaand tij voordat er gespuid wordt (Vriese 2014, Griffioen et al. 2014).

Naast dat vissen het Haringvliet op willen zwemmen, worden er met het spuien onbedoeld ook zoetwatervissen uitgespoeld. Een deel van deze vissen kunnen ook weer terugkeren, is gebleken uit recent onderzoek van VisAdvies, waarbij grote snoekbaarzen werden gevolgd met behulp van zenders (Vis 2017b; Breve *et al.* 2018). Echter, over het algemeen is er weinig bekend over het uitspoelen van zoetwatervis. In het verleden is hier bij het Haringvliet onderzoek naar gedaan met sonar en werd de voorzichtige conclusie getrokken dat dagelijks duizenden kilo's naar zee worden gespoeld (Kemper 1997a).

Belang van acclimatisering bij passeren zoet-zout overgangen
De osmoregulatie is voor diadrome vis een belangrijke factor. Bij de overgang van zout naar zoet (of andersom) moet het lichaam van de vis de osmoregulatie op orde hebben om niet te sterven als gevolg van de veranderde omstandigheden. Er zijn veel studies naar de fysiologische processen die een rol spelen bij osmoregulatie in diadrome vissoorten. Echter, over in welk stadium of over hoe snel vissen dit moeten doen is, voor zover ons bekend, zeer weinig kennis beschikbaar. Veelal is de osmoregulatie hormonaal aangestuurd (Wootton 1976; Lebel & Leloup 1992; Sakamoto *et al.* 1993). Bij de osmoregulatie zijn de darmen, de nieren en de kieuwen van groot belang (Laverty & Skadhauge 2012). Zo kan er eenmaal in het zoete water, water worden opgenomen via de kieuwen en dit water wordt

uitgescheiden via de nieren als verdunde urine. De chloride cellen en de cellen met veel mitochondriën spelen een rol bij de actieve absorptie van NaCl om verliezen via diffusie te voorkomen (Laverty & Skadhauge 2012). De vraag is echter wanneer ze deze aanpassing doen en of hier een geleidelijke zoet-zout overgang voor nodig is.

Uit onderzoeken gedaan met glasaal die uit een brak milieu (24‰) direct in een zoet milieu zijn gezet (Wilson *et al.* 2004)(Wilson *et al.* 2004)(Wilson *et al.* 2004)(Wilson *et al.* 2004)(Wilson *et al.* 2004)(Wilson *et al.* 2004)(Wilson *et al.* 2004) bleek geen sterfte als gevolg van deze verplaatsing (Wilson et al. 2004). Aan de andere kant is bij fintachtigen (*Alosa sapidissima*) grote sterfte gebleken na het overplaatsen van zout naar zoet water (Leggett & Oboyle 1976). Bij stekelbaars wordt de fysieke aanpassing voor de overgang gestimuleerd door omgevingsfactoren als temperatuur en daglengte en wordt op basis van hormonale processen gecontroleerd (Wootton 1976; Jonsson & Jonsson 2009b; Jonsson & Jonsson 2009a; Kitano *et al.* 2012). Het lijkt erop dat de hormonale regulatie van stekelbaars leidt tot tolerantie voor een bepaald zoutgehalte dat vervolgens een trigger is om te migreren. Hiermee zouden zij relatief snel en al voorbereid een zoete omgeving aan kunnen, hetgeen ook bevestigd wordt in veel vispassage evaluaties (Bult & Dekker 2007) en observaties bij merk-terugvangst experimenten waarbij stekelbaarzen uit een zout milieu in zoet-brak milieu zijn overgeplaatst zonder dat er sterfte optrad (Griffioen *et al.* 2019). Bos & Thiel (2006) hebben experimenteel aangetoond dat ook botlarven sterke voorkeur hebben voor zoet water en zich snel kunnen aanpassen in een gradiënt van zout naar zoet.

Omdat de beschikbare gegevens beperkt zijn, kunnen we slechts speculeren over de rol van acclimatisatie bij getijdebarrières zoals de Haringvlietdam. Vissen die sterk afhankelijk zijn van de zoete wateren voor opgroei of paai zoals zalm, zeeforel, zeeprik, rivierprik, spiering, aal, stekelbaars en houting zullen mogelijk sneller moeten kunnen overschakelen naar nieuwe omgevingsfactoren. Zalm passeert relatief snel een overgangswater, waar soorten als fintachtigen dit meer geleidelijk lijken te doen en mogelijk de 'zoetwaterbel' als gevolg van het frequent spuien in de Voordelta hiervoor gebruiken. Bij het Haringvliet is er gedurende de meeste perioden buitengaats een geleidelijke zout-zoet gradiënt aanwezig waar eventuele acclimatisatie kan plaatsvinden. Alleen in perioden met zeer weinig tot geen afvoer via de Haringvlietsluizen is er sprake van een harde zoet-zout overgang. Op deze momenten zijn de mogelijkheden om te kieren beperkt waardoor ook de intrekmogelijkheden beperkt zijn. Mogelijk is ook het aanbod dan beperkt door de afwezigheid van een lokstroom (ver in de Voordelta merkbare 'pluim').

Voor zeebaars is aangetoond dat er aanzienlijke individuele variatie bestaat in zoetwatertolerantie, waardoor sommige individuen zich verder stroomopwaarts kunnen begeven dan anderen (L'Honoré *et al.* 2020). Dit gaat wellicht ook op voor andere mariene soorten die tot ver in zoetere wateren kunnen 'doordringen', zoals dunlip- en diklipharder, haring en sprot.

2.6.2 Antropogene verstorende factoren tijdens migratie

Er zijn een aantal potentiële door de mens veroorzaakte verstorende factoren die tijdens migratie een rol kunnen spelen. Voor het Haringvliet is visserij een potentieel verstorende factor. Vangst of bijvangst van migrerende vis kan resulteren in extra sterfte. Dit hangt af van de gebruikte vistuigen, de vangstinspanning en timing hiervan, de behandeling van de vis na vangst en de overlevingskansen van terug gezette vis. Zeker bij migratie-barrières of 'nauwe' doorlaten concentreert migrerende vis zich en kan er een langere lokale verblijftijd optreden met intensief zoekgedrag. Dit maakt migrerende vis kwetsbaarder voor invloed van visserij (Winter 2009). In van Rijssel *et al.* (2019) is een overzicht van de kennis en gegevens gemaakt van de bijvangst van migrerende vis door de beroeps- en sportvisserij in het Haringvliet en de Voordelta. Om welke aantallen bijvangsten per soort het gaat en hoe dit zich verhoudt tot de omvang van de totale aantallen migrerende vissen ter plaatse, of ten opzichte van de gehele paaipopulatie, is nog grotendeels onbekend. Door de Kier zullen de migratiemogelijkheden voor intrekkende vis toenemen en daardoor zal naar verwachting ook de mate van concentratie en gemiddelde verblijftijd aan de buitenzijde van de haringvlietdam afnemen. Hierdoor zal de vangkans bij gelijkblijvende vangstinspanning per passerende vis afnemen.

Andere potentiële factoren zijn verstoring van migratie door magnetische velden, kunstlicht en geluid. Voor tenminste aal en salmoniden is bekend dat het aardmagnetisch veld een rol speelt bij de oriëntatie en navigatie tijdens migraties. Zo zijn er aanwijzingen gevonden voor enige vertraging tijdens migratie van schieralen in de Oostzee bij passage van stroomkabels op de zeebodem (Ohman *et al.* 2007). Een studie naar de effecten van grote lokale verstoringen van het magnetisch veld door barrièrewerking door bruggen in het San Francisco estuarium vond geen effect op juveniele zalmen en adulte steuren (Klimley *et al.* 2017). Of er rondom de Haringvlietsluizen ook een verstoring van het magnetisch veld optreedt is niet bekend. Het lijkt aannemelijk dat andere oriëntatie-factoren zoals stroming, getijde, zoet-zout gradiënt en geurstoffen in estuaria een grotere rol spelen dan het aardmagnetisch veld. Verstoring door kunstlicht zou een rol spelen bij passage van onnatuurlijke structuren (Keefer *et al.* 2013). De verlichting bij de Haringvlietdam is wellicht beperkt, de mate waarin deze verlicht is (waar en wanneer en met welke lichtsterkte) zou uiteraard nader bepaald kunnen worden en gerelateerd aan gedrag van vis. Indirect kan licht ook van invloed zijn op het gedrag van vis, wanneer trekkende vissen in donkere omstandigheden worden aangetrokken door een lichtbron. Hierdoor kunnen grotere concentraties van vis voorkomen die natuurlijke predatoren de gelegenheid geven om te jagen in een onnatuurlijke situatie. Ook geluid is een potentieel verstorende factor, maar hier is nog niet veel over bekend (Slabbekoorn *et al.* 2010). Wel zijn er indicaties dat geluid van gemalen en waterkrachtcentrales vis kan afschrikken (van Keeken et al. 2010, Winter 2011). Voor de Haringvlietdam lijkt het niet erg aannemelijk dat geluid verstorend zou kunnen werken. Wat wellicht wel een rol kan spelen is dat het spuien van grote hoeveelheden water met veel turbulentie geluid veroorzaakt (soort ‘ brandingachtig’ geluid) waarop vissen kunnen reageren. Ook het passerende wegverkeer over de dam zal geluid veroorzaken. Sommige vislarven die zich willen settelen in ondiepe kustzones zwemmen tijdens het driften op stromingen lateraal richting het brandingsgeluid (Teodosio *et al*. 2016).

2.6.3 Predatierisico nabij intrekbarrieres

Een onnatuurlijke situatie zoals bij het sluizencomplex in de Haringvlietdam kan leiden tot concentraties van vis die richting het Haringvliet willen zwemmen maar daarin beperkt worden. Een grote concentratie vis kan een gevolg zijn van een piek in een migratieperiode met daarbij een natuurlijk predatierisico door natuurlijke predatoren als roofvissen, zeezoogdieren en vogels. Echter, als deze concentratie vis langdurig aanhoudt als gevolg van een barrière, dan vormt predatie een aanvullend verlies die het gevolg is van een onnatuurlijke situatie (Dekker & van Willigen 1997; Dekker 2000); Baumgartner 2006). Roofvissen, zeezoogdieren en jagende vogels worden daarom vaak nabij kunstwerken als stuwen, gemalen, waterkrachtcentrales en spuisluizen gezien. Hoewel predatie een natuurlijk proces is, kan het risico op predatie door de barrièrewerking worden versterkt en is dan een indirect effect van de barrièrewerking. In de situatie voor de Kier zijn predatoren (zeehonden, vogels) vooral tijdens het spuien actief en rustten veelal tijdens de hoogwaterperioden zonder spui (Koen Workel, pers. meded.). De verwachting is dat er door de toegenomen migratiemogelijkheden na het instellen van de Kier concentraties en verblijftijden van migrerende vis aan de buitenzijde van spuisluizen vermindert en daardoor dit neveneffect zal verkleinen.

2.6.4 Nieuwe overgangszone Haringvliet als leefgebied

Brakke habitats met zoet-zout gradiënten zijn erg zeldzaam geworden langs de Nederlandse kust en kunnen daardoor een toegevoegde waarde hebben, niet alleen voor trekvis, maar ook voor zogenaamde estuariene vissoorten en mariene seizoensgasten met een grotere tolerantie voor lage zoutgehalten. De kwaliteit om als leefgebied voor diadrome en estuariene vissoorten te fungeren, hangt af van de dimensies, substraattype, heterogeniteit in diepte en stromingscondities en dynamiek in zoet-zout gradiënten. Deze dynamiek zal in het buitengaatse deel van de Kier veel hoger zijn dan in het binnengaatse deel van het Haringvliet.

Van de doelsoorten is het te verwachten dat driedoornige stekelbaars, bot, spiering, aal, zeeforel, fint, houting en wellicht ook elft de overgangszone ook als foerageergebied zullen kunnen benutten. Voor zalm, zeeprik, en rivierpik zal de overgangszone zeer waarschijnlijk geen functie als leefgebied vervullen en uitsluitend voor doortrek worden benut. Wellicht zal van de diadrome soorten alleen de driedoornige stekelbaars (een soort met deelpopulaties die in verschillende gradaties van zoet naar zout zijn hele levenscyclus kan volbrengen) de overgangszone kunnen gebruiken als paai- en opgroeigebied. De fint

is veeleisender ten opzichte van een estuariën watersysteem dan het verwachte resultaat op basis van het huidige Kierbeheer. Fint heeft zoete getijdewateren nodig voor succesvolle paai en een dynamisch estuarium voor de ontwikkeling van de eieren en de opgroei van de larven. Het Kierbesluit verbetert wel de connectiviteit en levert tijdelijke brakke zones op, maar de getijdedynamiek in het achterland van het Haringvliet wordt niet door de Kier beïnvloed dit zal wellicht nog beperkend zijn voor fint (Griffioen *et al*. 2017b).

Naast de migrerende doelsoorten zullen ook estuarien residente soorten als brakwatergrondel, dikkopje en puitaal, of mariene seizoensgasten of juvenielen van soorten als zeebaars, haring, sprot en diklipharder de overgangszone als leefgebied gaan benutten. Over de grootte van de hiervoor benodigde arealen en de dynamiek in zoet-zout gehalten die toelaatbaar is voor het lokaal vestigen van deze soorten in het Haringvliet is nog veel onbekend.

Bij lage rivierafvoer wordt de Kier gesloten en zal er voorafgaand worden 'zoetgespoeld'. Wat de effecten zullen zijn van het zoetspoelen en daaropvolgende perioden met een zoet Haringvliet zonder zoet-zout gradiënt is nog onbekend. Bij het zoetspoelen wordt geen zeewater meer in het Haringvliet ingelaten en de sluizen gaan dicht bij vloed. Dit kan per jaar tot 90 dagen aaneengesloten optreden, zoals dit is vastgesteld gebaseerd op 100 jaar metingen van Rijnafvoer (Paalvast 2016). Dit zal naar verwachting het meest voorkomen in de maanden september-oktober. Voor estuariene soorten en mariene seizoensgasten die de zoet-brakke overgangszone in het Haringvliet als habitat benutten kan dit een probleem opleveren doordat er geen brakke zone meer is. Internationaal is hier ook weinig kennis over omdat vergelijkbare regimes en watersystemen zoals in het Haringvliet met een Kier-regime weinig voorkomen. In het sterk door de mens beïnvloede Vasse-Wonnerup estuarium in Australië zijn massasterftes van vis waargenomen die gerelateerd waren aan het beheerregime van een stormvloedkering (*tidal surge barrier*) in het estuarium (Beatty *et al.* 2018). Deze massasterftes, met name onder estuariene vissen, traden vooral op in de zomer en herfst wanneer er geen passage naar zee mogelijk was en de waterkwaliteit aan de binnenzijde verslechterde en door sterke algenbloei met lage zuurstofgehalten aan de binnenzijde van de barrière.

2.7 Welke wetenschappelijke vragen zijn relevant voor vismigratie Haringvliet?

Er is een breed scala van wetenschappelijke vragen rondom vismigratie en zoet-zout overgangen waar internationaal nog weinig kennis over is. Recentelijk zijn een aantal wetenschappelijke review artikelen verschenen die een goed overzicht geven van belangrijke vraagstukken, onderzoeksthema's en te testen hypotheses op het gebied van vismigratie. Een overzicht van algemene en actuele vismigratie thema's is weergegeven in Lennox *et al.* (2019) "*One hundred pressing questions on the future of global fish migration science, conservation and Policy*" en een synthese voor experimentele aanpakken voor onderzoek naar migratie wordt gegeven in Birnie-Gauvin *et al.* (2020) "*The value of experimental approaches in migration biology*". Voor migratie van vislarven en jonge vis geeft Teodosio *et al.* (2016) een goed overzicht in: "*Biophysical processes leading to the ingress of temperate fish larvae into estuarine nursery areas: a review*" en meer specifiek voor glasaal: (Cresci 2020): "*A comprehensive hypothesis on the migration of European glass eels*".

Welke vragen spelen internationaal rondom vismigratie thema's?
Lennox *et al.* (2019) hangt de onderzoeksvragen op aan verschillende thema's binnen vismigratie-onderzoek: 1) Interne staat; 2) oriëntatie 3) voortbeweging; 4) externe prikkels; 5) bedreigingen; 6) beheer en bescherming; 7) beleid; 8) de rol van migratie (zie Bijlage 1). De genoemde vragen lopen uiteen van vragen over de ecologische aspecten van vismigratie tot managementaspecten, van heel breed en algemeen, tot meer toegespitst op concrete situaties. Uit deze hele lijst van onderzoeksvragen markeren we er hieronder kort een aantal die ook heel goed van toepassing en heel bruikbaar zijn op de situatie bij de Kier (nummers komen overeen met de nummers in de publicatie van Lennox):

Interne staat
1. Wat zijn de interne fysiologische drijfveren en triggers voor migratie?
3. Welke rol spelen genetica en epigenetica bij migratie?

6. Hoe kan voedsel of beschikbare energie het migratievermogen, direct of indirect, beperken?
9. Wat zijn de kosten van migratie voor de interne toestand en fysiologie van een dier (bijvoorbeeld energetica, oxidatieve stress, overdrachtseffecten)?
12. Hebben meerdere stressoren additieve of synergetische effecten op migratiegedrag?
14. Kunnen fysiologische processen die migratie stimuleren worden gebruikt om bescherming en beheer te informeren?
15. Wat zorgt ervoor dat een vis de drang om te migreren verliest (d.w.z. stopt met migreren, paait op een suboptimale locatie als gevolg van een barrière, verdwaalt naar een ander gebied dan bedoeld), inclusief veranderingen veroorzaakt door selectie (bijv. veranderingen in migratieroutes))?

Oriëntatie
19. Hoe beïnvloeden hydrodynamische omstandigheden (bijv. turbulentie, stroomsnelheid, stromingen) de navigatie van trekvissen?
21. Welke mechanismen worden gebruikt door vissoorten om te navigeren naar de juiste plaats?

Voortbeweging
28. Hebben veranderingen in omgevingsomstandigheden (bijv. temperatuur, zuurstof) en trekobstakels (bijv. dammen, stromingen) een onevenredige invloed op vissen met specifieke zwemmodi, fysieke kenmerken of levenskenmerken ('life-history')?
31. In welke ecologische contexten zijn efficiënte bewegingen (bijv. de energetisch gunstigste routes, energetisch efficiënte zwemsnelheden) relevant voor het succes van de migratie?
33. Welke rol speelt actieve beweging bij het migratiesucces van larvale vissen die meestal worden overgebracht door stromingen (bijv. aal *leptocephalus* larven)?

Externe prikkels
34. Hoeveel verschillende abiotische externe drijfveren informeren het gedrag van trekvissen en hoe reageren ze op elkaar?
35. Welke omgevingsdrempels zijn er die migratie in gang zetten, en hoe beïnvloeden deze de waarschijnlijkheid van migratie
38. Welke rol spelen migratiedichtheden bij het reguleren van de populatiedynamiek van trekkende soorten (bijv. functionele en numerieke reacties van roofdieren)?
40. Welke invloed heeft verandering in landgebruik op de levering van nauwkeurige aanwijzingen voor trekkende vissen?

Bedreigingen
45. Wat is het relatieve effect van verschillende soorten waterbarrières en infrastructuur op vismigratiepatronen en overleving?
47. Hoe beïnvloedt de visserij (recreatief en commercieel) die trekvissen en/of hun prooi kan bij(vangen) de verspreiding en de abundantie van trekvissen (zowel directe sterfte als in termen van kunstmatige selectie op populatiekenmerken)?
61. Hoe reageren vissen op 'implemented environmental flows' als mitigatiemaatregelen en hoe moet infrastructuur om vissen te helpen rekening houden met veranderingen in het klimaat om 'environmental flows' te behouden?
62. Welke maatregelen zijn nodig om veilige migratieroutes voor trekkende aquatische soorten te verzekeren in het licht van klimaatverandering?

Beheer en bescherming
63. Is er een tijdvenster waarbinnen de connectiviteit van habitats moet worden hersteld voordat populatieherstel bij trekvissoorten kunnen optreden?
64. Hoe verhouden de managementstrategieën: het maximaliseren van het rendement voor volwassenen, het maximaliseren van de uitgaande migratie van juvenielen en het behoud van de paaihabitat zich met betrekking tot gewenste populatieresultaten?
65. Kan bescherming van "paraplussoorten" (d.w.z. diegene wiens bescherming anderen ten goede komt) worden gebruikt om de instandhouding van zowel trekkende als niet-trekkende soorten te bevorderen (die zich nog steeds op zijn minst lokaal tussen habitats kunnen verspreiden)?
68. Hoe kan intraspecifieke variatie in migratiegedrag worden opgenomen in managementmodellen?

76. Op welke schaal zou het inrichten van vrij stromende rivieren als beschermingseenheden moeten plaatsvinden om trekkende soorten in de zeer diverse riviersystemen te beschermen?

Beleid
78. Op welke ruimtelijke en tijdsschaal moet beleid en visserijbeheer plaatsvinden om effectief bedreigingen voor alle migrerende vissoorten te mitigeren?

De rol van migratie
92. Hoe zijn migrerende vissen gestructureerd in genetisch verschillende populaties of evolutionair relevante eenheden?
95. Hoe kunnen genetische, genomische en chemische tags worden gebruikt om migratie te bestuderen?

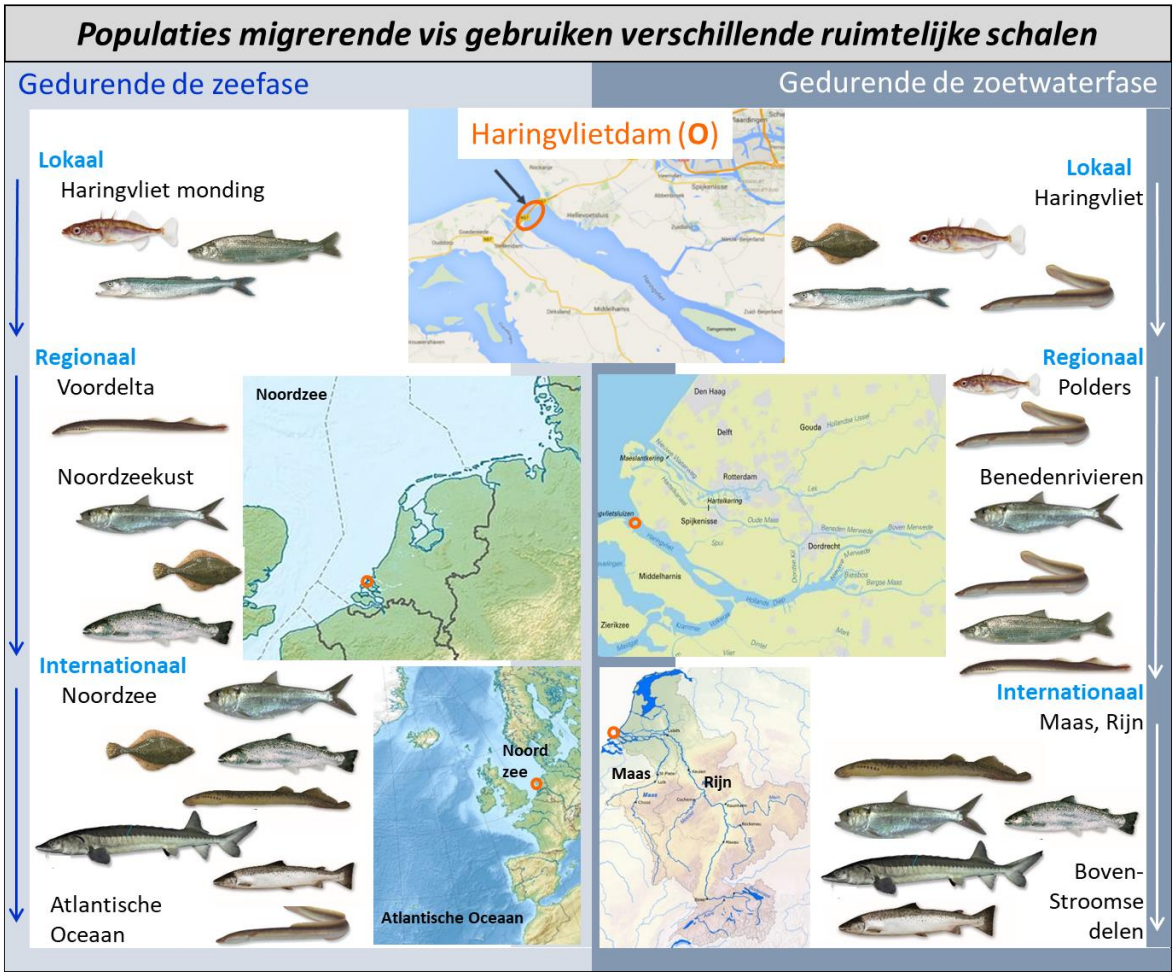
Op welke ruimtelijke schaal spelen vragen rond het functioneren van Haringvliet?
Om de wetenschappelijke vragen die relevant zijn voor de vismigratie-thema's in de Delta en specifiek de Kier en het Haringvliet verder af te bakenen en te categoriseren maken we onderscheid in verschillende ruimtelijke schaalniveaus oplopend van:

1) **Corridor-functie** van het sluizencomplex in de Haringvlietdam (lokaal, functioneren van Haringvlietdam met betrekking tot connectiviteit voor migrerende vis, passagesucces van de beschikbare migratievensters in tijd en ruimte en lokale attractie en gedrag aan directe buitenzijde van de dam)
2) **Habitat-functie** van de overgangszone in het Haringvliet (regionaal, in relatie tot de buitengaatse habitats in de Haringvliet monding en verder stroomopwaarts in het Haringvliet)
3) **Populatie niveau** (rol van de Haringvlietdam als potentiële bottleneck in het herstel van populaties migrerende vis in relatie tot andere beperkende factoren die op populaties werken zoals visserij; de ruimtelijke schaal die populaties benutten varieert sterk van soort tot soort, zie Figuur 2.18).

Functioneren van vismigratie via Haringvliet voor verschillende trekvissoorten
Daarnaast is er een tweede categorisering mogelijk op basis van zwemcapaciteiten van vis:

(1) **Zwakke zwemmers** hebben weinig tot geen 'speelruimte' om tegen stroming in te gaan en kunnen door slim aangepast gedrag de heersende omstandigheden optimaal benutten. Zij zullen in grote mate afhankelijk zijn van het inlaten van (zouter) water, waarbij de barrièrewerking van de Haringvlietdam voor de Kier veel groter is dan na de Kier (door de Kier is er een sterke toename in migratiemogelijkheden voor zwakke zwemmers).
(2) **Sterke zwemmers** hebben veel meer 'speelruimte' en individueel actief zwemgedrag zowel met- als tegenstrooms speelt hierbij een grote rol in het benutten van intrekvensters bij de Haringvlietsluizen.

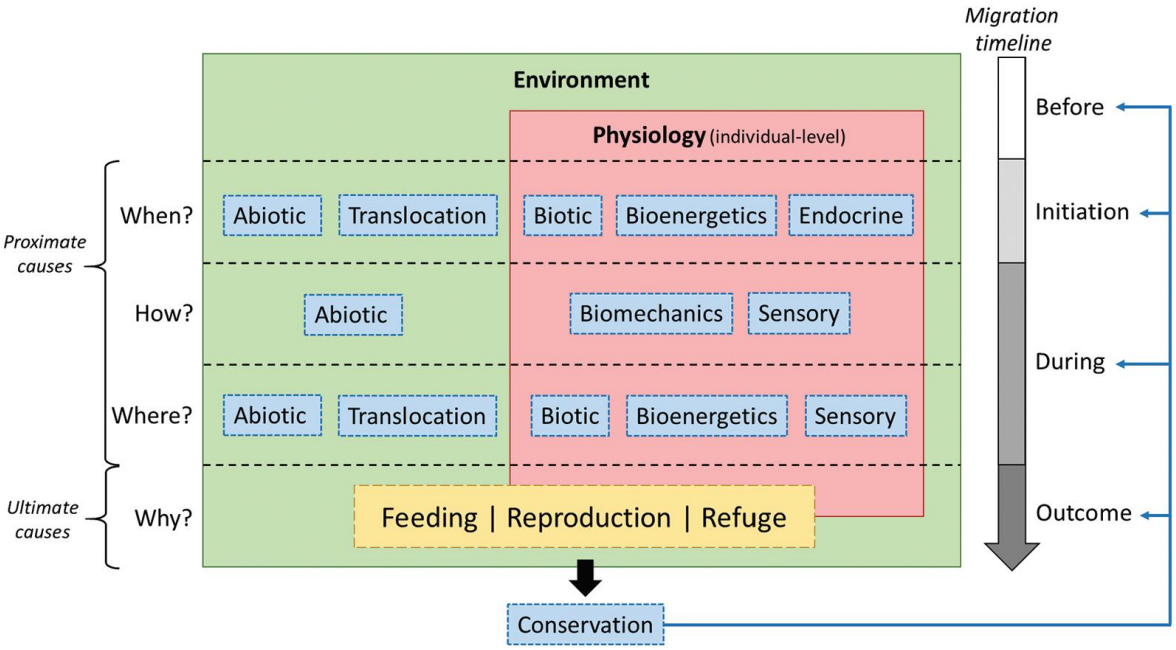
Voor de sterke zwemmers is het verschil in barrièrewerking tussen voor de Kier (toch nog enige mogelijkheden om tijdens spuivensters binnen te komen) en na de Kier (waarbij er ook met het ingelaten water mee kan worden ingetrokken) naar verwachting kleiner dan voor de zwakke zwemmers. Daarnaast zijn er voor zwakke zwemmers door hun kleine formaat vrijwel geen onderzoekstechnieken (zoals telemetrie) voor individueel gedragsonderzoek beschikbaar en zal er meer met indirecte methoden en koppeling van metingen aan dynamiek in dichtheden en fluxen gewerkt moeten worden voor onderzoek (zie Griffioen en Winter 2017). Voor sterke zwemmers is een veel groter arsenaal aan methoden beschikbaar om individueel gedrag meetbaar te maken. Zelfs voor sterke zwemmers die kwetsbaar zijn zoals de fint zijn recentelijk methoden ontwikkeld om deze van zenders te voorzien en deze zijn met succes toegepast in de Westerschelde (Breine et al. 2017).



Figuur 2.18. Overzicht van de verschillende trekvissoorten die van het Haringvliet gebruik maken. In dit schema is de variatie aan ruimtelijke schalen die de verschillende soorten riviertrekvissen benutten tijdens zowel de zeefase (links) als de zoetwaterfase (rechts) weergegeven. De ruimtelijke schalen lopen uiteen van kleinschalig (lokaal, bovenste deel) tot grootschalig (internationaal, onderste deel).

Vismigratie-onderzoek aanpak: combinatie veldonderzoek, experimenten en modellering

Voortuitgang in kennis rondom vismigratie vraagstukken kan op verschillende manieren worden verkregen. Eerst is het handig om af te bakenen wat we aanmerken als vismigratie. Birnie-Gauvin *et al.* (2020) geeft hiervoor de volgende definitie: "binnen vismigratie biologie wordt blootgelegd wanneer, waar, waarom en hoe vissen cyclische, vaak gesynchroniseerde en voorspelbare bewegingen ondernemen langs een waterlandschap." Veldobservaties en metingen maken het mogelijk om belangrijke factoren in vismigratie te bestuderen, maar deze hebben vaak een beperkte kracht om onderliggende mechanismen te verklaren. Experimenteel onderzoek is vervolgens nodig om causale verbanden vast te stellen. Een combinatie van veldmetingen, modelering en gecontroleerde experimenten geeft de meest kansrijke en, wetenschappelijk gezien, interessantste aanpak voor innovatie in vismigratie-onderzoek (zoals ook voorgesteld in het onderzoeksplan voor de Vismigratierivier, Griffioen & Winter 2017) en de beste onderbouwing voor maatregelen en investeringen in infrastructuur ten behoeve van vismigratie. In Figuur 2.19 is een conceptueel framework voor een geïntegreerde aanpak van vismigratie-onderzoek weergegeven.



Figuur 2.19. Conceptueel kader van de toepassing van experimentele biologie in vismigratie. Migratie is het resultaat van en/of wordt beïnvloed door de fysiologie van een organisme en de omgeving waarin het leeft. Fysiologie (rood) dicteert de interne toestand van een individu, die direct of indirect kan worden beïnvloed door de omgeving (groen). Deze interactie tussen fysiologie en de omgeving beïnvloedt individuen gedurende de gehele migratietijdlijn doordat deze bepaalt wanneer een individu klaar is om de migratie te starten, hoe en waar een individu zal migreren en ten slotte waarom een individu uiteindelijk migreert (geel). De blauwe vakjes vertegenwoordigen het soort experimenten die in verschillende stadia van de migratietijdlijn kunnen worden uitgevoerd om zowel de proximate als de ultieme oorzaken van migratie te begrijpen (uit Birnie-Gauvin et al. 2020).

2.8 Koppeling lopend onderzoek en monitoring aan beheers- en wetenschappelijke vragen: identificatie van kennis-leemtes

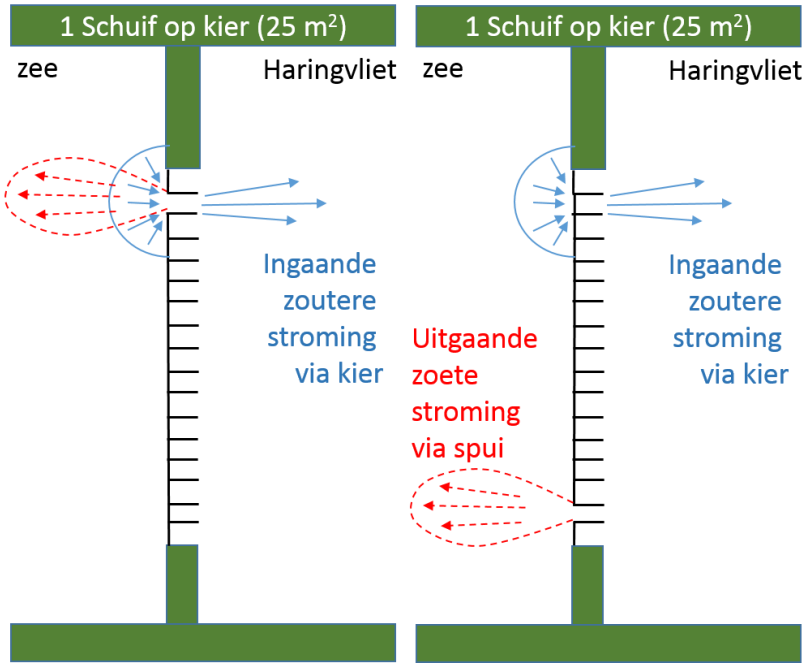
Op basis van de beheersvragen, wetenschappelijke vragen en lokale kennis uit (lopend) onderzoek en monitoring worden voor een aantal onderzoeksthema's die relevant zijn voor vismigratie-onderzoek rondom het Haringvliet hieronder de kennisleemtes geïdentificeerd.

2.8.1 Gedrag van vis bij verschillende Kier-scenario's en rivierafvoeren

Op basis van het gedrag kan passage van vis richting het Haringvliet, voornamelijk voor de minder sterke zwemmers geoptimaliseerd worden door ze te lokken naar de kokers die op een kier worden gezet en zo de lokale dichtheden van het volume dat kan worden ingelaten via de Kier te maximaliseren. In Griffioen et al. (2017) is een beschrijving opgenomen van de hypothetische effecten en factoren van verschillende afvoer- en kier-scenario's. Omdat deze passage uit het rapport ook voor deze rapportage zeer relevant is, is deze hieronder integraal opgenomen voor de volledigheid:

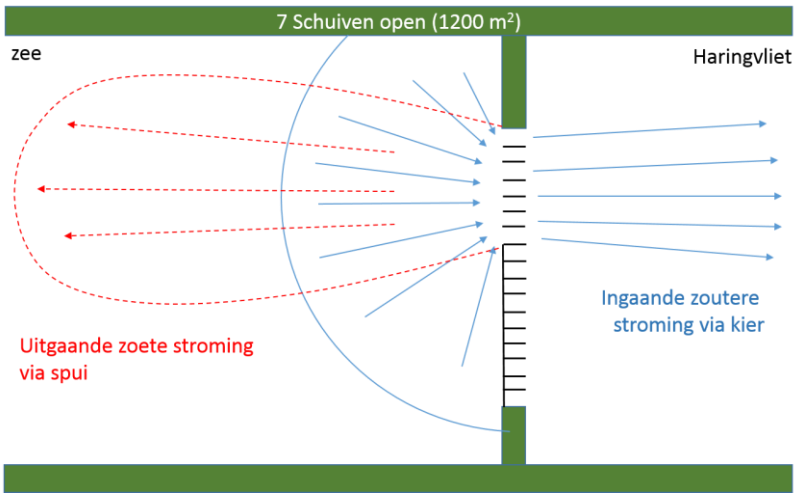
Om vooral de (relatief) minder mobiele, kleine en vaak juveniele vissoorten zoals glasaal, bot en driedoornige stekelbaars een duidelijke (herkenbare) ingang aan te geven, moet bij het beheer van de spuisluizen ook rekening gehouden worden met welke spuisluizen wordt gespuid (bij eb) en met welke wordt gekierd (bij vloed). Bij voorkeur zijn dit dezelfde sluizen. Een succesvolle passage vanuit de Voordelta naar het Haringvliet heeft logischerwijs een grotere kans van slagen als een vis zich al in de nabijheid bevindt van de voor het Kieren te gebruiken sluis. Daardoor zou deze vis, voordat de Kier opengaat, gelokt kunnen worden door voorafgaande afvoer van zoet water. Omdat het "Kieren", ten opzichte van spuien een kleiner volume en dus een kleinere reikwijdte heeft (Figuur 2.20), is het

raadzaam om het spuien en het "Kieren" bij dezelfde schuiven plaats te laten vinden. Op deze manier is het zoete water wat wordt gespuid tevens een lokstroom voor de Kier. Indien de sluizen waarmee gespuid en 'gekierd' wordt ver uit elkaar zouden liggen, is het niet ondenkbaar dat vissen worden misleid door de grotere lokstroom van het spuien, en zich verzamelen voor een dichte deur (Figuur 4.18 rechts).



Figuur 2.20. De opening van de Haringvlietsluizen waarbij 1 schuif open staat. In het linker scenario wordt zowel gespuid als "gekierd" met dezelfde schuif. Deze optie heeft de voorkeur omdat hierdoor kleine juveniele vis gelokt wordt naar de juiste sluis die benut gaat worden tijdens het kieren en de doorgang biedt van zee naar het Haringvliet. In het rechter scenario vind het spuien zuidelijk plaats en het "Kieren" noordelijk waardoor minder mobiele vis zich verzamelt voor een sluis die bij kieren gesloten zal zijn (Griffioen et al. 2017b).

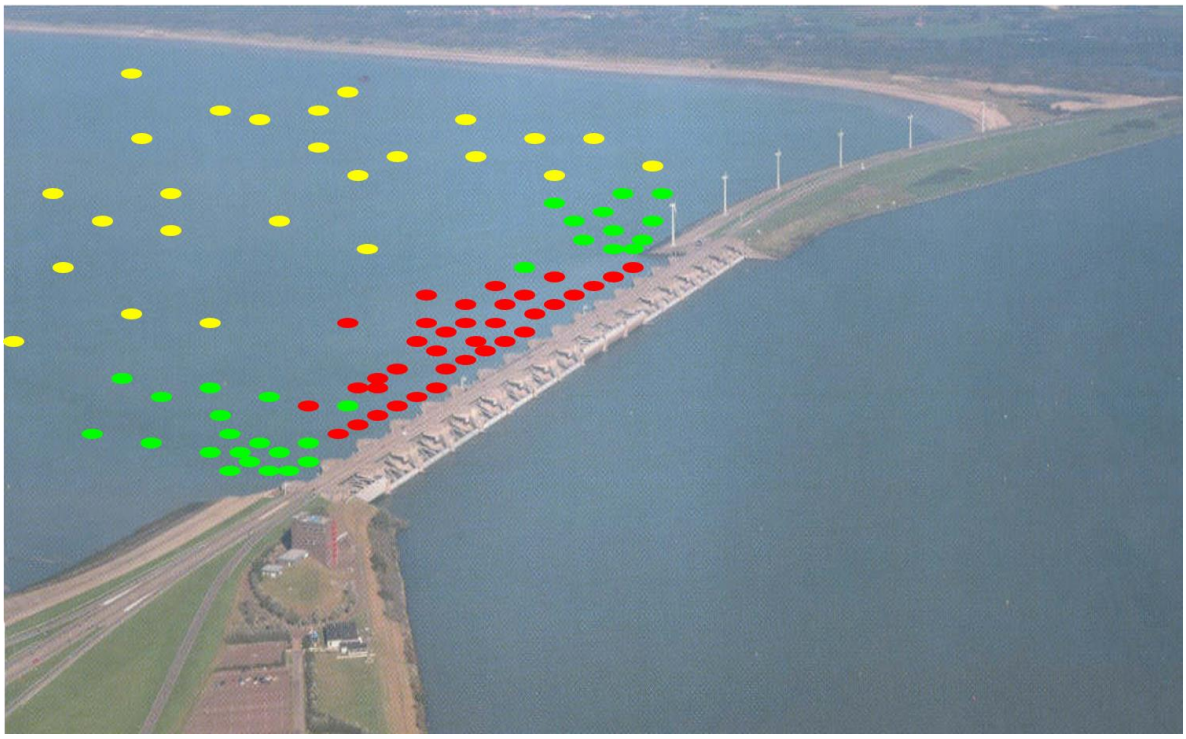
Wanneer het spuien middels meerdere schuiven plaatsvindt (zeven of meer), dan is de zoete lokstroom groter waardoor de reikwijdte van de vindbaarheid van deze opening voor de aanwezige trekvissen aanzienlijk wordt vergroot (Figuur 2.21). Echter, in deze situatie is het ook mogelijk dat kleinere (passieve) migranten hinder ondervinden van het spuien en deze kunnen zelfs worden uitgespoeld.



Figuur 2.21. De Haringvlietsluizen bij een opening met 7 schuiven. (Griffioen et al. 2017b).

Voor een succesvolle passage van zwakke zwemmers via de Kier in de Haringvlietdam is het noodzakelijk dat deze vissen zich kunnen handhaven in de Voordelta. Dat impliceert dat deze na het spuien snel kunnen terugkeren richting de schuiven. Daarvoor moeten zij zich vooraf kunnen positioneren nabij de sluizen waarmee gekierd gaat worden, door zich te oriënteren op basis van de spuistroom (Figuur 2.22, rode of groene stippen). Echter, indien vissen zich pal voor de schuiven verzamelen is het risico van wegspoelen (verder de zee op, gele stippen Figuur 2.22) groot, en dat geeft dit telkens door opnieuw spuien een volledige 'reset' van de situatie, waarna de vissen hun weg opnieuw zullen moeten vinden (rode stippen Figuur 2.22). De groene stippen in Figuur 2.22 geven aan dat indien een deel van de vissen zich ook ten noorden en ten zuiden van de Haringvlietdam verzamelen deze ook weer snel gebruik kunnen maken van het kieren.

Tijdens het spuien zullen vissen die fysiek in staat zijn om tegen de stroom in te zwemmen het Haringvliet bereiken. Via de Kier kan er zowel actief of passief met de stroom mee of tegen de stroom in (actief) richting het Haringvliet worden gezwommen.



Figuur 2.22. Hypothetische scenario's waarbij de positionering van (zwakke) zwemmers t.o.v. de Haringvlietsluizen zijn weergegeven. ***Geel*** *= zogenaamde wegspoelers die tijdens het spuien niet tegen de stroom in kunnen zwemmen.* ***Rood*** *= vissen die op zoetwater (lek?)stroom afkomen en zich geconcentreerd verzamelen voor de dam (risico op volledige reset van de situatie indien er gespuid wordt).* ***Groen*** *= vissen die aan de zijkanten van de dam zijn en na het spuien vrijwel direct weer positie kunnen innemen of gebruik kunnen maken van een migratiemogelijkheid. Uit (Griffioen et al. 2017b).*

2.8.2 Aantrekkende werking van schutsluizen versus spuisluizen

Bij afnemende rivierafvoeren bestaat in de buitenhaven van Stellendam een zoetwaterbel waarin de uitgespoelde zoetwatervissen zich wat langer op kunnen houden. Wel is er (met name relevant voor diadrome soorten) bij de spuisluizen van de Haringvlietdam een grote lokstroom aanwezig die per definitie een grotere reikwijdte en in potentie een grotere aantrekkende werking heeft op migrerende vis. Hierover is met betrekking tot het Haringvliet niets bekend. Echter, een soortgelijke situatie bij de Afsluitdijk is wel onderzocht aan de hand van zenderonderzoek aan zeeprik, zeeforel en houting. Gezenderde vissen werden eerder teruggevonden bij de spuikom dan dat ze werden gedetecteerd bij de scheepsluizen, waaruit blijkt dat zij zich waarschijnlijk eerder aangetrokken voelden door de grote lokstroom vanuit de spuisluizen (Griffioen *et al.* 2014b). Ook uit fuikvangsten, blijkt dat er relatief meer vissen worden gevangen bij de spuikom in vergelijking met de scheepssluizen (Griffioen & Winter 2014). Hoe dit voor het Haringvliet uitpakt is niet bekend, maar het is zeer aannemelijk dat de spuisluizen de grootste aantrekkende werking op vis zullen hebben door de afvoer van (zoet) water.

2.8.3 Fysiologie, conditie en energetica

Op zijn best vormt een obstakel een kortdurend oponthoud tijdens de migratie stroomop- of afwaarts. Het kan echter ook de oorzaak zijn van een langdurig oponthoud dat stress veroorzaakt en waarbij veel energie verspild wordt. Zijn de individuen die het obstakel uiteindelijk weten te overwinnen nog wel fit genoeg voor succesvolle reproductie? Of lopen ze zoveel vertraging op en spenderen ze zoveel energie dat ze te laat aankomen en geen energie meer over hebben om te paaien? De relatie tussen conditie en paaisucces is belangrijk en relevant in de situatie van de Kier, maar ook nog weinig onderzocht in andere situaties. De relatie tussen conditie, energieverbruik en gedrag heeft directe repercussies voor het reproductiesucces. In de migratiebiologie van de Atlantische zalm in Canada heeft de aanpak waarbij migratiestudies, energetica, gedrag en fysiologie zijn gecombineerd belangrijk bijgedragen om de impact van visserij en obstakels voor migratiesucces en populatieontwikkelingen beter in te kunnen schatten (Cooke et al. 2012).

2.8.4 Selectie en genetische structuur binnen populaties

Welke vissen (soort, geslacht en grootte, maar ook persoonlijkheid en fysieke fitness) willen en kunnen de obstakels passeren? Leidt deze selectie tot een verschuiving in genotype en fenotype? Of alleen tot een versmalling van genetische diversiteit? Hierbij is er nog een groot verschil tussen migranten die stroomopwaarts op zoek zijn naar een voedselhabitat (bv. Europese aal) of een paaihabitat (zalm). In beide gevallen vindt selectie door obstakels plaats maar bij reproductieve migratie wordt die selectie ook gelijk vastgelegd. In beide gevallen kunnen alleen fysiek fitte dieren passeren maar in het geval van reproductieve migratie dus ook fit in de klassiek biologische zin van het woord: alleen die dieren planten zich voort. De selectie eigenschappen hebben dan dus niet alleen impact op de samenstelling van de populatie stroomopwaarts, ze worden ook direct vastgelegd. Er vindt een fenotypische selectie plaats, van degenen die succesvol zijn. Uiteindelijk resulteert dat na reproductie in genetische selectie. Het is dan wel belangrijk of migranten die stroomopwaarts trekken naar een foerageerhabitat (jonge aal) of een reproductief habitat (volwassen zalm). In beide gevallen heeft selectie door obstakels plaats maar bij reproductieve migratie wordt die selectie gelijk na reproductie vastgelegd, terwijl die vis selectie op juveniele individuen nog veel vervolgselectie tijdens het opgroeien en volwassen ondervinden. Hier zal de invloed via fenotypische selectie op uiteindelijke genetische selectie veel indirecter gelinkt zijn aan selectie tijdens intrek.

De mate van genetische diversiteit in populaties geeft direct inzicht in migratieprocessen: zoals de populatiestructuur (bestaat de populatie uit ruimtelijk gescheiden deelpopulaties? (Jolly *et al.* 2012)), en de bronpopulaties. De mate van genetische variatie geeft ook informatie over de mate van paaiplaatstrouw en de terugkeer naar de geboorteplek. Het is belangrijk om inzicht te krijgen in de relaties tussen populaties binnen Nederland maar ook op grotere schaal, vindt er uitwisseling plaats en zo ja op welke schaal? Hierdoor kunnen effecten van barrières gekwantificeerd en mogelijke bronnen voor kolonisatie geïdentificeerd worden.

2.8.5 Sterfte door visserij en predatie rondom de Haringvlietdam

Gegevens over bijvangsten in visserij zowel bij de Haringvlietdam, in de Voordelta als op de rivieren (staand want, fuiken, garnalenvisserij (Jansen *et al.* 2008; van Rijssel *et al.* 2019)) zijn nodig voor het bepalen van de totale invloed van de visserij op populaties trekvissen. Hierbij zijn drie factoren van belang: (1) visserij-inspanning ("waar, wanneer, welke vistuigen en hoeveel?"), (2) vangfrequentie ("hoeveel per vistuig?") en (3) overleving na terugzet. Voor het bepalen van ieder van deze drie factoren is er door van Rijssel et al. (2019) zo veel mogelijk gebruik gemaakt van beschikbare gegevens via diverse methoden: monitoringsreeksen, vergunningsgegevens, logboekgegevens, enquêtes, literatuuronderzoek, onafhankelijke veldwaarnemingen en gegevens uit voorgaande onderzoeken.

In het Haringvliet en monding in de Voordelta maakt de beroepsvisserij met name gebruik van fuiken, staand want, zegen en sleepnetten. Daarnaast wordt door sportvissers met de hengel en door recreatieve vissers met staand want gevist. Er zijn momenteel geen exacte gegevens over de omvang van de bijvangsten en de kans op bijvangst van trekvissen rondom het Haringvliet. Kwantitatieve informatie over aantallen vissers (beroeps, sport en recreatief) en vergunningen zijn veelal beschikbaar.

Het daadwerkelijke gebruik van vergunningen en vistuigen hoeft vaak niet geregistreerd te worden. Schattingen van inspanning en vangkansen in van Rijssel et al. (2019) zijn daardoor met name gebaseerd op enquêtes en monitoring. In de fuikenvisserij in de Delta worden relatief veel finten en zeeprikken gevangen. Voor de staand want-visserij zijn vrijwel geen gegevens bekend. De inspanning van de garnalenvisserij met sleepnetten is in het laatste decennium flink toegenomen en op basis van een bijvangstonderzoek van (Glorius et al. 2015) zouden er potentieel per jaar honderdduizenden finten (vooral jonge fint tijdens het eerste groeiseizoen) in de Delta, Waddenzee en Kustzone worden bijgevangen (het betrof hier onderzoek in één jaar). Van de recreatieve staand want-visserij en hengelsporters is zeer weinig bekend over de aantallen bijgevangen trekvissen.

Naast sterfte binnen visserij, vindt er uiteraard ook natuurlijke sterfte plaats door predatie door roofvis, vogels en zeezoogdieren in de Voordelta en Haringvliet plaats. In welke mate trekvis hier wordt gepredeerd is nagenoeg onbekend. Belangrijke factoren die de predatiedruk bepalen zijn; de grootte van de trekvis (waarbij kleine vis meer natuurlijke vijanden hebben dan grote vis); de zwemcapaciteit van vis (hoe groter de zwemcapaciteit hoe groter het vluchtvermogen) en gedrag (bijvoorbeeld dag-nacht activiteit, diepte in de waterkolom waar gezwommen wordt, schoolvorming etc.).

Ook het voorkomen van onnatuurlijke concentraties en lange verblijftijden van trekvis door barrière-werking bij dammen en sluizen kan het predatierisico en kans op vangst door visserij verhogen (Winter 2009). De verwachting is dat bij goed functioneren van de Kier, dergelijke concentraties minder worden en de verblijftijden afnemen en daarmee ook het predatierisico en de kans op vangst binnen visserij (Griffioen *et al.* 2017).

2.8.6 Rol van de overgangszone in Haringvliet als habitat en effecten van kierbeheer

De nieuwe overgangszone in het Haringvliet met een brak-zoet gradiënt biedt kansen voor gebruik van zowel zoetwatervissen met tolerantie voor brakwater, trekvissoorten, estuariene vissoorten, mariene seizoensgasten en mariene juvenielen als opgroei en foerageergebied. In hoeverre deze zone zich ecologisch zal ontwikkelen is moeilijk te voorspellen en zal uit monitoring moeten blijken. Met name wat de effecten zijn van het periodiek optredende zoetspoelen en vervolgens dichtzetten van de Haringvlietdam. Aspecten die hierbij van belang zijn: de exacte ligging van de zoet-zout gradiënten (grotendeels buitengaats bij de meeste afvoerscenario's); in welke mate 'zoetspoelen' voorafgaand aan lage rivierafvoeren effectief zijn; in hoeverre diepe putten in het Haringvliet zouter blijven en in welke mate vis met een geringere zoet-tolerantie deze benutten dan wel weten te vinden in geval van sluiting van de spuisluizen bij geringe rivierafvoeren.

2.8.7 Herstel van populaties migrerende vis

Het ultieme doel van de maatregelen rondom de Haringvlietsluizen (Kier, visserijvrije zone) is dat populaties riviervissen zich kunnen herstellen via herstel van de connectiviteit langs de zoet-zout overgang in het Haringvliet en het verminderen van antropogene sterfte (visserij). In welke mate dit kan optreden verschilt sterk tussen verschillende migrerende soorten en hangt af van de mate waarin de migratie was beperkt voor de Kier, hoe effectief de Kier werkt, de invloed van de lokale visserij en predatie, welke andere bottlenecks elders nog optreden tijdens het voltooien van de levenscyclus en welke rol de connectiviteit via het Haringvliet speelt op (sub)populatieniveau.

Er zijn weinig gegevens over de omvang van de verschillende trekvispopulaties die van het Haringvliet gebruik maken. Wel zijn er voor een aantal diadrome soorten trends in voorkomen beschikbaar uit de diverse monitoringen (zie H 2.3.1).

2.9 Vanuit wetenschappelijke vragen naar voorstellen en mogelijke onderzoeksaanpak

Op basis van de vraagstukken rond het Kierbeheer op de verschillende schaalniveaus en voor verschillende groepen vissen en de thema's en vragen die wetenschappelijk vernieuwend zijn hebben

we een lijst van potentiële onderzoeksvragen opgesteld (Tabel 2.3). In deze paragraaf wordt besproken hoe en met welke methoden deze vragen rondom het Haringvliet onderzocht zouden kunnen worden.

De lopende en geplande monitoring en onderzoeken leveren belangrijke informatie voor het beantwoorden van de gedefinieerde beheers- en wetenschappelijke vragen. Er zijn echter ook een aantal onderwerpen die niet gedekt worden door al lopende of nog uit te voeren programma's. Die mogelijke kennisverdieping wordt hieronder op een rij gezet.

Tabel 2.3. Longlist van wetenschappelijke vragen die gerelateerd zijn aan het Kierbeheer in het Haringvliet (HV) en of deze betrekking hebben op zwakke en zwakke zwemmers en de corridor-functie, habitat-functie of populatieniveau.

Wetenschappelijke vragen	**Zwakke zwemmers**	**Sterke zwemmers**	**Corridor-functie**	**Habitat-functie**	**Populatie-niveau**
Wat is het aanbod aan de buitenzijde van het HV (per gekozen doelsoort: totale omvang, timing, lengte/levenstadia samenstelling)?	x	x	x		x
Hoe is de spatio-temporele verspreidingsdynamiek (gedrag van vis) aan de buitenzijde?	x	x	x		
Door welke omgevingsfactoren (stroming, tij, temperatuur, salinitietsgradienten (ook als proxy voor geurstoffen), wordt dit gedrag aan de buitenzijde bepaald?	x	x	x		x
Hoe worden de beschikbare migratievensters in tijd en ruimte per vissoort benut en welke factoren bepalen deze?	x	x	x		
Wat is de soortspecifieke passage-efficientie voor intrek van de HV-dam i.r.t. de beschikbare migratievensters (aanbod zeezijde versus benutting migratievensters)?	x	x	x		x
Treedt er verstoring van intrek door antropogene factoren op (geluid, kunstlicht, electro-magnetische velden)?	x	x	x		
Welk aanbod is er in perioden dat er weinig gespuid en geen Kier plaats vindt?	x	x	x		x
Worden er alternatieve routes gebruikt buiten de geopende Kier (scheepsluizen, visriolen/vissluizen) en zo ja, in welke mate en met welke spui-afvoer?	x	x	x		
In welke mate kunnen uitgespoelde zoetwatervissen door Kierbeheer weer terugkeren naar het HV en welke routes gebruiken ze daarvoor?			x		
Zijn de habitats in de nieuwe brakke overgangszone in HV een ecologische 'sink' of 'source' voor migrerende en estuariene vissoorten?	x	x		x	x
Welke effecten heeft het zoetspoelen en vervolgens tijdelijk dichtzetten van de HV-sluizen tijdens geringe rivierafvoer op het habitatgebruik, bewegingen en het lot van migrerende en estuariene vissoorten?	x	x		x	
Kunnen de diepe putten in HV als brakwater-refugia fungeren voor vissoorten die intolerant zijn voor zoetwater ten tijde van het sluiten van de HV-sluizen?				x	
Vermindert het Kierbeheer de kans op uitspoeling van zoetwatervis (door aanwezigheid van meer geleidelijke zoet-zout gradient)?				x	
Wat zijn de verliezen (mortaliteit) tijdens de intrek van HV door visserij?	x	x	x		
Wat zijn de verliezen (mortaliteit) tijdens de intrek van HV door predatie?	x	x	x		
Treden er problemen met acclimatisatie op, en zo ja wanneer en onder welke omstandigheden (rivierafvoer, zoet-zout gradienten)?	x	x		x	
Wat zijn de energiekosten (via vertraging of extra inspanningen) van intrek?	x	x	x		
Hoe werken deze energiekosten door op het vervolgsucces van de migratie, reproductie en fitness?		x			x
Hoe veranderen die energiekosten als gevolg van klimaatverandering?	x	x			x
Welke selectie op indivuele traits of kenmerken vindt plaats tijdens de intrek (grootte, coping styles/personality, zoettolerantie, genetisch)?	x	x			x
Wat is de rol van connectiviteit via de HV voor de totale (sub)populatie?	x	x			x
Welke andere antropogene bottlenecks zijn er voor de populaties migrerende vissen die van HV gebruik maken?	x	x			x
Wat is de omvang van populaties en welk herstel vindt plaats als gevolg van de verbetering van migratiemogelijheden bij HV (Kier)?	x	x			

Wat is het aanbod aan de buitenzijde van de Haringvlietdam?
Het aanbod van trekvis bij een barrière is een belangrijke factor om te weten in relatie tot de optimalisering van het intreksucces naar het Haringvliet en het verdere zoete achterland. Het aanbod bij een barrière is echter een dynamisch geheel van nieuwe aanwas vanuit zee (timing aankomst), lokaal verblijvende/zoekende vissen (verblijftijd nabij barrière), lokale verliezen door visserij en predatie, succesvol naar binnen trekkende vissen en eventueel naar andere intrekpunten wegtrekkende vissen. Deze aantalsbalans is in de praktijk vaak moeilijk meetbaar. Voor grotere vissen kunnen individuele merkmethoden en merk-terugvangst experimenten, bijvoorbeeld met zenders of PIT-tags, worden ingezet om aanbodschattingen te doen (zie bijvoorbeeld Winter et al. 2007 voor schieraal in de Maas). Het 'momentane aanbod' is het aanbod op een gegeven moment. Dit kan voor talrijk voorkomende vissoorten bijvoorbeeld ook door een opwerking van dichtheidsmetingen worden geschat (met intensieve integrale netbemonsteringen, liftnetten, broedzegens etc. op een bepaald moment). Het 'totale aanbod' is het totale aantal van een vissoort die gedurende het totale trekseizoen aan is gekomen bij een barrière/intrekpunt. Hiervoor zijn dan wel metingen of aannames over verblijftijd nodig. Het bepalen van het totale aanbod is met name van belang voor kleinere soorten zoals botlarven, glasaal, spiering, jonge haring/sport en driedoornige stekelbaars, waarvoor intrek-efficiëntie niet rechtstreeks te meten is met individuele merkmethoden, zoals zenderonderzoek. Voor deze soorten/stadia kan deze bepaald worden door een schatting te maken van de totale intrek, door representatieve bemonstering van de influx via de Haringvlietdam af te zetten tegen de totale aanbodschatting.

Hoe is de spatio-temporele verspreidingsdynamiek (gedrag van vis) aan de buitenzijde?
Kennis over het gedrag van vis aan de buitenzijde van de Haringvlietdam is belangrijk om de invulling van het Kierbeheer te optimaliseren en het intreksucces per soort te maximaliseren binnen de randvoorwaarden die aan de Kier zijn gesteld. Er is nog veel onbekend over het gedrag van vis bij getijden-barrières. Van grotere vissoorten/stadia (sterke zwemmers) kan individueel gedrag rechtstreeks meetbaar worden gemaakt met behulp van zenderonderzoek. Hiervoor zijn verschillende telemetrie-technieken beschikbaar, bijvoorbeeld akoestische telemetrie zoals Vemco, NEDAP-TRAIL transponderonderzoek, data storage tags, (zie Griffioen & Winter 2017; Hop 2018b) voor een overzicht). Elke techniek heeft voor- en nadelen. Groepsmerken (Visible Impant Elastomers/VIE en kleurmerken) kunnen voor sommige kleinere vis worden toegepast, bijvoorbeeld glasaal, driedoornige stekelbaars. Voor kleinere vis (zwakke zwemmers) is gedrag vaak niet rechtstreeks meetbaar en zou dit kunnen worden afgeleid uit de dynamiek in tijd en ruimte van dichtheden (indirecte bepaling van gedrag). De stromingsdynamiek en dynamiek in zoet-zout gradiënten zal voor alle intrekkende vis een belangrijke rol spelen bij hun gedrag. Koppeling van gedrag (direct of indirect gemeten) met hydrodynamische modellering en modellen die de dynamiek in zoet-zout gradiënten inschatten (i.s.m. met Deltares/TU Delft, waar diverse projecten en onderzoekstrajecten naar het modelleren van hydrodynamische en saliniteitsdynamiek op verschillende ruimtelijke en tijdsschalen) levert zowel vanuit wetenschappelijke vragen (relatie tussen prikkels/triggers en gedrag) als voor de beheervragen (voorspellen van gedrag a.h.v. omgevingsparameters en relatie met verschillende Kier-scenario's) veel direct toepasbare kennis op. De koppeling tussen gedrag van vis en omgevingsparameters (stromingsdynamiek, zoet-zout gradiënten) kan worden uitgevoerd met *agent-based modelling* (bijvoorbeeld *individual based modelling*) (Goodwin *et al.* 2006; Goodwin *et al.* 2014; Putman *et al.* 2014), dat recentelijk bijvoorbeeld voor glasaal door de Bie et al. (2018; in prep) is uitgevoerd in een Engelse estuarium.

Door welke omgevingsfactoren wordt dit gedrag aan de buitenzijde bepaald?
Er zijn vele factoren die het gedrag van vis bepalen, zoals omgevingsprikkels als stroming, tij, saliniteits-gradiënten, geurstoffen, temperatuur, lichtregime, etc. Door koppeling van metingen aan gedrag kan beter inzicht gekregen worden in de werking van deze factoren. Bij sterke zwemmers is dit eenvoudiger, omdat deze individueel gevolgd kunnen worden en rechtstreeks gekoppeld kunnen worden, wat voor zwakke zwemmers via metingen aan dynamiek in tijd en ruimte, wellicht in combinatie met groepsmerk technieken, indirect bepaald zal moeten worden. In aanvulling op veldmetingen kan via experimenteel onderzoek onder gecontroleerde omstandigheden de respons op prikkels worden onderzocht.

Hoe worden tijdelijke migratievensters benut en welke factoren bepalen deze?
Veel vismigratie-onderzoek is uitgevoerd in zoete continu afstromende wateren (beken, rivieren) en hoe effectief vispassages zijn bij barrières in deze wateren. In hoeverre migratievensters die alleen maar gedurende kortere tijd aanwezig zijn (in getijdewateren, bij sluizen, etc.) benut kunnen worden, is veel

minder bekend. De duur van de migratievensters, de timing van de vensters en de omgevingsvariabelen in de passage opening spelen hierbij een belangrijke rol.

Wat is passage-efficiëntie voor intrek van de Haringvlietdam?
Om de soortspecifieke passage-efficiëntie voor intrek van de Haringvlietdam in relatie tot de beschikbare migratievensters (aanbod zeezijde versus benutting migratievensters) in te schatten zijn zowel directe als indirecte methoden beschikbaar. De mate waarin de vis die gemotiveerd is om te passeren deze vensters ook weet te vinden (attractie-efficiëntie, vindbaarheid van de intrekvensters) en succesvol te passeren is de intrek-efficiëntie (in aantallen, of percentages). Het intrekpercentage van vis kan direct worden bepaald met individuele merk/zender-technieken, of indirect door de intrek (totale flux per vissoort via de beschikbare migratievensters) af te zetten tegen het aanbod aan de buitenzijde (zie boven onder 'aanbod').

Treedt er verstoring van intrek door antropogene factoren op?
Vis die wil intrekken, kan naast positieve prikkels die het gedrag sturen en gidsen (oriëntatie, navigatie) ook negatieve prikkels via verstoring door antropogene factoren ondervinden. Hierbij kan gedacht worden aan geluid, kunstlicht, elektromagnetische velden rond stroomkabels. Over de impact van dergelijke verstorende factoren is nog relatief weinig bekend (wetenschappelijk interessant) en kan in geval er verstoring optreedt heel gerichte mitigerende maatregelen opleveren in het beheer die de intrek-efficiëntie hoger kunnen maken. Onderzoek hiernaar kan plaatsvinden in het veld, maar leent zich ook goed voor laboratoriumexperimenten.

Welk aanbod is er in perioden dat er weinig gespuid en geen Kier plaats vindt?
Of er in perioden met weinig tot geen spui via het Haringvliet ook aanbod is van migrerende vis die gemotiveerd is om naar binnen te trekken is niet goed bekend. Hiervoor kunnen vergelijkbare methoden tijdens deze specifieke afvoeromstandigheden worden toegepast als hierboven voor aanbod in het algemeen zijn aangegeven. Ook kan er gezocht worden naar een indexmeting van aanbod in plaats van en totaalaanbod schatting (zoals bijvoorbeeld met kruisnetten voor glasaal wordt gedaan). Als er geen of nauwelijks aanbod is van trekvis, door ontbreken van attractieprikkels naar de Haringvlietdam op grotere schaal, dan is er ook geen noodzaak om te investeren in een verbetering van de intrek tijdens deze perioden zonder spui.

Worden alternatieve routes gebruikt buiten de geopende Kier (scheepsluizen, visriolen/vissluizen) en zo ja, in welke mate en met welke spui-afvoer?
In de Haringvlietdam zijn naast de passage via de spuisluizen (actief tegen de stroom in passerend gedurende spuien, dan wel meezwemmend met inkomend water tijdens Kieren), ook intrekmogelijkheden via de, in een aantal van de pijlers ingebouwde, visriolen en de scheepsluizen bij Stellendam. Gezenderde snoekbaarzen wisten deze alternatieve routes in de situatie voor het Kierbeheer te benutten (Vis *et al.* 2017; Breve *et al.* 2019). In hoeverre deze van toegevoegde waarde zijn tijdens het Kieren of een goed alternatief vormen tijdens perioden waarin er niet gekierd kan worden, is niet goed bekend, al wordt er aangenomen dat deze voor de meeste soorten en stadia geen volwaardig alternatief vormen. Representatieve fluxmetingen van vis via deze routes zouden kunnen worden uitgevoerd met netbemonsteringen, pit-tag opzet (met name in de visriolen/vissluizen) en wellicht camera-opstellingen. Vismigratie via scheepsluizen is niet eenvoudig te bepalen.

In welke mate kunnen uitgespoelde zoetwatervissen door Kierbeheer weer terugkeren naar het Haringvliet en welke routes gebruiken ze daarvoor?
Naast trekvissen kunnen er aan de buitenzijde ook uitgespoelde zoetwatervissen zijn die weer naar binnen willen trekken. In welke mate er sprake is van uitspoeling van zoetwatervis vanuit het Haringvliet zouden vergelijkbare netbemonsteringen zoals in het verleden bij de spuisluizen in de Afsluitdijk is uitgevoerd kunnen worden toegepast. Bij hogere afvoeren, wanneer het Haringvliet zoet en de zoet-zout gradiënt buitengaats ligt, zullen de terugkeermogelijkheden via inlaat via de Kier groter zijn dan voor de Kier, toen er alleen via de visriolen/visluizen en scheepsluizen naar binnen getrokken kon worden. Terugkeer van zoetwatervis kan met vergelijkbare methoden worden onderzocht als voor trekvis (direct met telemetrie, indirect met net- en flux bemonsteringen).

Zijn de habitats in de nieuwe brakke overgangszone in het Haringvliet een ecologische '*sink*' of '*source*' voor migrerende en estuariene vissoorten?
Allereerst is het noodzakelijk om de ontwikkelingen in habitatgebruik van diverse migrerende en estuariene vissoorten in de overgangszone te meten. Dit gebeurt met de maandelijkse zegenbemonsteringen van de oeverzone. In principe is een brak overgangsgebied een zeldzaam habitat in de huidige Maas-Rijn delta en kan dit een positieve uitwerking hebben op het voorkomen van soorten die deze habitats gebruiken om (een deel van) hun levenscyclus te voltooien. Voor sommige populaties zou het nieuwe overgangsgebied in potentie een *'source'* kunnen zijn. Echter, gezien het onregelmatige en weinig voorspelbare karakter van het voorkomen van tijdelijke perioden zonder geleidelijke zoet-zout overgang (harde zoet-zout overgang wanneer er niet gespuid wordt via het Haringvliet i.v.m. te lage rivierafvoer), zijn de effecten hiervan moeilijk te voorspellen. Of de uiteindelijk balans positief dan wel negatief, of alternerend tussen beide effecten optreedt zal met monitoring duidelijk kunnen worden. Door periodieke verandering van de zone aan de binnenzijde kan ook de concurrentiepositie tussen soorten met een grote zoet-zout tolerantie ten opzichte van brakwater- of zoetwatervissoorten veranderen en daardoor ook de vissoortensamenstelling in de tijd.

Welke effecten heeft het zoetspoelen en tijdelijk dichtzetten van de Haringvlietsluizen op migrerende en estuariene vissoorten?
Gerelateerd aan de vorige vraag is het vaststellen van het effect van het zoetspoelen en vervolgens tijdelijk dichtzetten van de Haringvlietsluizen tijdens geringe rivierafvoer op het habitatgebruik, bewegingen en lot van migrerende en estuariene vissoorten. Hiervoor is naast inzicht in het voorkomen ook inzicht in de bewegingen tijdens zoetspoelen (gaat de vis dan met de stroming mee naar buitengaats, zoals de verwachting is voor soorten die niet in volledig zoetwater kunnen voorkomen) nodig en gedurende de 'zoete' periode.

Kunnen de diepe putten in het Haringvliet als brakwaterrefugia fungeren voor vissoorten die intolerant zijn voor zoetwater ten tijde van het sluiten van de Haringvlietsluizen?
Tijdens het zoetspoelen zal het zwaardere zoutere water langer in de diepe putten kunnen blijven hangen. Gaat vis die geringe tolerantie heeft voor volledig zoetwater in perioden met een harde zoet-zoutovergang rondom de Haringvlietdam en het daar voorafgaande zoetspoelen inderdaad buitengaats? Of fungeren de diepe putten als tijdelijke brakwaterrefugia voor sommige soorten? Weet de vis deze te vinden? En hoe lang blijven deze brakwaterrefugia in stand tijdens langdurige zoete perioden of zijn ze te zout? Ook hier zal dit in de praktijk gemeten moeten worden. Hier valt moeilijk voorspellingen over te doen, zowel omdat er nog onzekerheid is over het gedrag van zout in het Haringvliet, maar ook omdat er onzekerheid is over de respons van vis op deze situaties. Metingen met netbemonsteringen in deze putten op momenten van sluiting kunnen hier inzicht in geven.

Vermindert het Kierbeheer de kans op uitspoeling van zoetwatervis (door aanwezigheid van meer geleidelijke zoet-zout gradiënt)?
De verwachting is dat wanneer er aan de binnenzijde een brak-zoet gradiënt aanwezig is, er ook minder kans op uitspoeling van zoetwatervis optreedt. Alleen in perioden van grote rivierafvoer wanneer de volledige zoet-zout gradiënt buitengaats aanwezig is, kan verwacht worden dat de kans op uitspoeling van zoetwatervis tijdens het Kierbeheer gelijk is aan voor het Kierbeheer. De terugkeermogelijkheden zijn echter wel groter na het Kierbeheer en doordat het water direct buitengaats van de dam dan ook nagenoeg zoet is, heeft zoetwatervis ook relatief veel tijd om een weg terug te vinden via de Kier. Of zoetwatervis hier ook gebruik van maakt en in welke mate kan worden onderzocht met netbemonsteringen en zenderonderzoek zoals voor snoekbaars is onderzocht voor het Kierbeheer (Breve *et al.* 2018).

Wat zijn de verliezen (mortaliteit) tijdens de intrek van Haringvliet door visserij?
Om verliezen van migrerende vis rondom het Haringvliet aan de verschillende vormen van visserij (commerciële en recreatieve visserij met elk verschillende tuigen, zie van Rijssel et al. 2019) in te schatten, zal de inspanning per visserijsegment moeten worden bepaald of geregistreerd. Daarnaast zal de bijvangst van een representatief deel van elk visserijsegment moeten worden bepaald in het veld, zodat deze met behulp van gegevens over de totale inspanning kan worden opgewerkt tot totale vangsten. Verder zal niet alle bijgevangen vis ook daadwerkelijk onttrokken worden aan de populatie door extra sterfte. Welk deel de vangst overleeft hangt af van het type vistuig,

omgevingsomstandigheden (bijvoorbeeld temperatuur), de kwetsbaarheid van de gevangen vissoort/stadia en de behandeling van de vangst tot het moment van terugzet. Het kwantificeren van deze absolute aantallen zal een intensief meetprogramma vergen en een goede samenwerking met de verschillende visserij sectoren (zowel commerciële als recreatieve) vereisen. Daarnaast is het ook mogelijk om voor enkele doelsoorten middels zender- en merkterugvangst experimenten relatieve visserijsterfte vast te stellen (kans op sterfte per individuele vis). Dit kan bijvoorbeeld worden uitgevoerd door gezenderde vissen ook een extra individueel extern merk (dat door vangers kan worden afgelezen) mee te geven of wellicht PIT-tags binnen een experiment waarin er met vissers gewerkt wordt, die uitgerust worden met handheld PIT-tag detectoren. Met een dergelijke combinatie kan met merk-terugvangst experimenten de vangkans worden bepaald en voor de met zekerheid bijgevangen vis kan de vervolgoverleving na vangst en terugzet via het zendernetwerk worden onderzocht.

Wat zijn de verliezen (mortaliteit) tijdens de intrek van Haringvliet door predatie?
Waar verliezen van migrerende vis rondom het Haringvliet aan de verschillende vormen van visserij al geen eenvoudige onderzoeksopgave zal zijn, is dit voor een kwantificering van predatie wellicht nog moeilijker te realiseren. Om dit in absolute aantallen te schatten zullen de aantallen van elk van de predatoren (soorten roofvis, visetende vogelsoorten, zeezoogdieren) en hun dieet moeten worden gekwantificeerd. Een combinatie van tellingen, analyse van otolieten in braakballen, uitwerpselen en maaginhoudonderzoek en dagelijkse energiebehoefte (al naar gelang om welke taxa het gaat) zou een schatting kunnen opleveren, die met veel aannames en onzekerheden gepaard zullen gaan. Voor predatie door zeehonden op vis in de Waddenzee is dit recent uitgevoerd (Aarts *et al.* 2019).Voor grotere vis is het ook mogelijk om met akoestische telemetrie binnen een bepaald netwerk te bepalen of een gezenderde vis is gepredeerd. Het lot van gemerkte vis kan ook onderzocht worden door gericht kolonies af te zoeken naar merkjes, zoals bijv. (overigens onbedoeld) gebeurd is bij een studie naar tong in het OWEZ windpark (Winter *et al*. 2009). Recent is een sensor ontwikkeld met een zuur-oplosbare coating die als deze, nadat de gezenderde vis is gepredeerd, oplost in maagzuur, een ander gecodeerd signaal gaat uitzenden (Halfyard *et al*. 2017). In een studie in zuid-west Frankrijk was de predatiedruk (waarschijnlijk door meerval) op intrekkende zeeprik bij een barrière zeer hoog (Bouletreau et al. 2020).

Treden er problemen met acclimatisatie op, en zo ja wanneer en onder welke omstandigheden?
Er is veel onderzoek naar de fysiologische mogelijkheid om tussen zoet en zout water te kunnen migreren m.b.t. osmoregulatie. Vooral naar acclimatisatie tijdens de uittrek van jonge salmoniden naar zee is onderzoek naar gedaan (uitgezette smolts). Trekvissen kunnen ook kleine stromen die in zee uitkomen benutten (zonder dat er ter plaatse een geleidelijke zoet-zout gradiënt is) en kunnen snelle overgangen van zoet naar zout en omgekeerd aan. Alleen voor de Noord-Amerikaanse fint-achtige *Alosa sapidissima* zijn aanwijzingen voor het belang van acclimatisatie tijdens de intrek (Dodson *et al.* 1972). Zij hebben dat vervolgens experimenteel getest met overzettingsproeven van zout naar zoet water en hier vonden zij hoge sterfte onder deze fintsoort (Leggett & Oboyle 1976). Voor de overige soorten is de noodzaak en benodigde duur van acclimatisatie nog grotendeels onbekend. Aangezien kleine vis of vislarven (bijvoorbeeld bot of haring) een relatief groot huidoppervlak hebben ten opzichte van hun inhoud en bovendien minder goed ontwikkelde nierfuncties of andere bij de osmoregulatie betrokken orgaanfuncties, lijkt het aannemelijk dat een meer geleidelijke aanpassing aan zout-zoet gradiënten voor de kleine vissoorten en jonge levensstadia het meest waarschijnlijk is. Aangezien de zoet-zout gradiënt tijdens de meeste afvoersituaties buitengaats ligt en er alleen als er niet gekierd wordt een meer abrupte overgang van zout naar zoet is (met zeer beperkte migratiemogelijkheden), lijkt de beperking die het huidige water en kierbeheer voor acclimatisatie van trekvis geen doorslaggevende rol te spelen. Het is in principe te onderzoeken door een combinatie van veldomstandigheden te simuleren in laboratorium experimenten met verschillende mate van overgang van zout naar zoet.

Wat zijn de energiekosten (via vertraging of extra inspanningen) van intrek?
Er is veel nadruk geweest op de effecten van migratiebelemmeringen op passage succes (in aantal en in tijd), maar er is veel minder bekend over het extra energieverlies die door de grotere inspanningen om te kunnen passeren of vertraging bij barrières worden veroorzaakt. Trekvis foerageert vaak niet tijdens de migratie en moet hiervoor opgeslagen energievoorraden aanspreken. Een combinatie van gedetailleerd meten van gedrag in het veld, bijvoorbeeld met zenders met accelerometer-sensoren, en

gecontroleerde laboratoriumexperimenten in zwemtunnels waar onder andere zuurstofverbruik gemeten kan worden, is een mogelijke aanpak hiervoor (Wilson *et al.* 2013).

Hoe werken deze energiekosten door op het vervolgsucces van de migratie, reproductie en fitness?
Dit aspect wordt wereldwijd gezien als een belangrijk kennishiaat (Lennox *et al*. 2019). Hoe extra energieverliezen doorwerken in het succes van de vervolgmigratie en, in geval van paaimigratie, in paaisucces is nog grotendeels onbekend. Alleen voor Pacifische zalmsoorten zijn hier integrale studies voor beschikbaar (Cooke *et al.* 2012). Een combinatie met metingen uit de vorige vraag en metingen aan omgevingsvariabelen met Dynamic Energy Budget (DEB) modelling is een geschikte methode om dit te onderzoeken, al vraagt dit veel soortspecifieke parameterisering van tal van 'life-history' aspecten van de te onderzoeken doelsoort.

Hoe veranderen die energiekosten als gevolg van klimaatverandering?
Door klimaatverandering zal zowel de temperatuur als ook het afvoerregime bij het Haringvliet veranderen. Het adresseren van deze onderzoeksvraag is met name zinvol als er eerst inzicht is in beide bovenstaande energetische vraagstukken.

Welke selectie op individuele traits of kenmerken vindt plaats tijdens de intrek?
Binnen populaties is er variatie tussen individuen. Tijdens de intrek kan er door verschillende menselijke drukken (passage mogelijkheden bij barrières, selectieve visserij) selectie plaatsvinden waarbij een bepaalde individuele eigenschap wordt bevoordeeld ten opzichte van een andere eigenschap. Hierbij kan worden gedacht aan verschillen in grootte (bijvoorbeeld door verschillen in groeisnelheid), verschillen in zoet-tolerantie, verschillen in persoonlijkheid ('*coping styles/personality*' zoals ondernemende individuen versus afwachtende individuen, dit werkveld is momenteel in een flinke stroomversnelling), of andere genetisch overerfbare '*traits*' (zoals bijvoorbeeld lichaamsvorm, vingrootte/positie maar ook fysiologische kenmerken als hemoglobine types (zorgen voor zuurstoftransport in het bloed).

Wat is de rol van connectiviteit via het Haringvliet voor de totale (sub)populatie?
Om de potentiële effecten van de toegenomen intrekmogelijkheden door het Kierbeheer te kunnen bepalen voor populaties vis, is het van belang om te weten welke rol passage via het Haringvliet speelt binnen de populatie. Het effect is het grootst als de gehele populatie langs het Haringvliet moet trekken om zijn levenscyclus te kunnen voltooien. Bijvoorbeeld voor een obligaat diadrome soort die lokaal aan weerszijden van de Haringvlietdam leeft. Soorten die verder het stroomgebied van de Maas en Rijn binnentrekken kunnen ook via de Nieuwe Waterweg naar binnen trekken (zie langlopend salmoniden NEDAP onderzoek), maar in welke mate en verhouding dit plaatsvindt is nog weinig over bekend. Daarnaast zijn er soorten waarvan een deel van de populatie niet migreert langs zoet-zout overgangen, zoals forel waarvan een deel van de populatie hun gehele leven bovenstrooms in zoetwater doorbrengt en een deel naar zee trekt. Om de verhouding tussen verschillende migratiestrategieën binnen een populatie vast te stellen is niet eenvoudig omdat de bemonsteringen of meetmethoden beide strategieën vaak niet even representatief vangen/weergeven. Ook mariene soorten met hoge brak/zoet-tolerantie, zoals zeebaars, harders, haringachtigen, kunnen het Haringvliet in toenemende mate benutten, maar dit zal maar een deel van de populatie zijn. Voor een panmictische soort (een grote mengende wereldpopulatie) als Europese aal zal het effect van het Haringvliet op de totale populatie verwaarloosbaar zijn, maar op de subpopulatie die bij het Haringvliet als glasaal binnentrekt kan er een groot effect zijn.

Welke andere antropogene bottlenecks zijn er voor de populaties migrerende vissen die van het Haringvliet gebruik maken?
Het potentiële effect van de toegenomen migratiemogelijkheden op migrerende vis kan teniet worden gedaan als er nog andere belangrijke bottlenecks tijdens het voltooien van de levenscyclus optreden. Als bijvoorbeeld de bovenstroomse paaigronden sterk beperkend zijn voor de omvang van een trekvispopulatie, zal het positieve effect van toegenomen migratiemogelijkheden via het Haringvliet onzichtbaar blijven. Juist trekvissen zijn in het verleden vaak sterk in aantal achteruitgegaan of verdwenen door een optelsom van verschillende knelpunten en antropogeen impact als overbevissing, habitatdestructie, waterverontreiniging, migratiebelemmeringen en introductie van exotische ziekten.

Wat is de omvang van populaties en welk herstel vindt plaats als gevolg van de verbetering van migratiemogelijkheden bij het Haringvliet (Kier)?
Voor de meeste populaties trekvissen hebben we geen inzicht in de totale omvang van de populatie die gebruik maakt van het Haringvliet. Alleen voor Atlantische zalm zijn hiervoor gegevens beschikbaar (zie voor een uitgebreidere discussie en beschrijving hiervan: van Rijssel *et al.* (2019); Bijlsma *et al.* (2019). Om populatie schattingen te maken, kunnen merk-terugvangst experimenten worden toegepast (zie Tabel 2.5. voor welke soorten dit kan worden toegepast), maar ook opwerkingen van gemeten fluxen bij doortrekpunten, of dichtheden in specifieke habitats kunnen hier voor worden gebruikt.

2.10 Keuze doelsoorten binnen toekomstig wetenschappelijk onderzoek rondom Haringvliet

Bovengenoemde lijst van wetenschappelijke vragen is een longlist die alleen met zeer grote inspanningen en budgetten en innovaties in meetmethoden te realiseren is. En al helemaal voor het gehele spectrum aan migrerende (diadrome, mariene seizoensgasten, mariene juvenielen) vissoorten en stadia. Voor de uitvoering van een realistisch onderzoeksprogramma zal er niet alleen een keuze en prioritering van wetenschappelijke vragen die het meest relevant zijn voor het beheer het Haringvliet gemaakt moeten worden, maar ook een keuze in doelsoorten en -stadia. In deze paragraaf zetten we voor elk van de vissoorten, die naar verwachting voordeel bij een verbeterde connectiviteit door het Kierbeheer kunnen ondervinden, criteria en overwegingen op een rij die kunnen helpen bij het bepalen van doelsoorten voor verder onderzoek (zie Tabel 2.4). Hierbij richten we ons met name op criteria en overwegingen die een rol spelen bij het bepalen van de rol van de intrek van vis. De intrek is voor veel soorten veel beperkender dan de uittrek voor het Kierbeheer. Al kan er voor onderzoeksvragen die meer op populatieniveau liggen, zowel de intrek als uittrek meegenomen worden in de overwegingen voor keuze van doelsoorten omdat dan de gehele levenscyclus moet worden beschouwd.

Tabel 2.4. Verschillende soort-specifieke kenmerken, eigenschappen of criteria t.b.v. selectie van doelsoorten voor toekomstig gericht wetenschappelijk onderzoek.

Criterium	**Aal (glasaal)**	**Bot (larve)**	**3d stekelbaars**	**Spiering**	**Elft**	**Fint**	**Houting**	**Europese steur**	**Atlantische zalm**	**(Zee)Forel**	**Rivierprik**	**Zeeprik**	**Atlantische haring**	**Sprot**	**Diklipharder**	**Zeebaars**
Gilde	Dia	Dia	Dia	Dia	Dia	Dia	Dia	Dia	Dia	Dia	Dia	Dia	MJ	MS	MS	MS
Stadium uittrek	ad	alle	alle	alle	alle	alle	alle	alle	juv	alle	juv	juv	juv	alle	alle	alle
Stadium intrek	juv	larf	ad	ad	ad	ad	alle	ad	ad	ad	ad	ad	juv	juv	alle	alle
Periode intrek (maand nrs)	2-6	2-6	2-5	2-5	3-6	4-6	10-12	4-9	1-12	6-12	10-3	2-6	11-6	5-6	3-5	3-6
Zwemcap. intrek	-	--	-	-	++	++	+/-	++	++	++	-	+	-	-	+/-	+/-
Talrijkheid gedurende intrek	++	++	+	+	--	-	+	--	+/-	+/-	+	-	++	++	+	+
Vangbaarheid in lopende monitoring	+	--	+	+	--	-	+	--	+	+	-	+/-	-	-	+	+
Belang voor Natuurbeleid: EU-richtlijnen, N2000, rode lijst	++	-	-	-	++	++	++	++	++	+/-	++	++	-	-	-	-
Gerichte studies in Nederlandse en Belgische zoet-zout overgangen	++	-	+	-	-	+	-	--	--	+/-	+/-	--	+	-	-	+
Kennisstatus (lokaal via projecten)	+	+/-	-	+	--	-	+	+/-	++	++	+/-	+/-	+/-	+/-	-	-
Kennisstatus (internationaal)	++	+	++	+/-	+	+	++	+/-	++	++	+/-	+/-	++	+/-	-	++
Kwetsbaarheid bij vangst intrek ++ = sterk; -- = zeer kwetsbaar	++	--	++	-	-	-	+	++	+	+	++	++	-	-	++	++
Geschikt voor merk-terug-vangst exp. (gr=groepsmerk; ind=individueel merk	gr	--	gr.ind	--	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind	--	--	ind	ind
Geschikt voor zenderstudies	-	-	-	-	-	+	++	++	++	++	+/-	++	-	-	++	++
Belang connectiviteit HV voor populatie?	+/-	+/-	++*	++*	+	+	+	+	+	+/-	+	+	-	-	-	-
Afhankelijk van estuarium als leefgebied?	-	++	+	+	++	++	+	+	--	+/-	-	--	+/-	-	-	-

Gilde: Dia=diadroom; MJ=Marien Juveniel; MS; Marien Seizoensgast

Periode intrek naar Vismigratiekalender Haringvliet (www.haringvliet.nu)

Merk-terugvangst: gr=groepsmerk (VIE-tagging, kleurmerken), ind=Individueel uniek merk (merken met ID, PIT-tags)

Gilde: Dia=diadroom; MJ=Marien Juveniel; MS; Marien Seizoensgast

3 Aanbevelingen

3.1 Aanbevelingen voor wetenschappelijk onderzoek

Verschillende onderzoekslijnen voor zwakke en sterke zwemmers
Omdat er voor zwakke zwemmers vaak flinke aantallen beschikbaar zijn maar geen technieken om individuele bewegingen te volgen, en er voor sterke zwemmers vaak minder grote aantallen zijn maar juist wel goede technieken voor meten van individueel gedrag aanwezig zijn, lijkt het logisch om verschillende onderzoeksvoorstellen m.b.t. vismigratie via het Haringvliet te richten op elk van deze groepen. Binnen onderzoeksvoorstellen voor zwakke en sterke zwemmers is een verdere keuze van geschikte doelsoorten van groot belang voor de haalbaarheid van dergelijke studies. Tabel 2.4 kan hierbij als leidraad worden gebruikt.

Corridor-functie (Connectiviteit)
De vraagstukken rondom de connectiviteit in en rondom de Haringvlietdam zijn het meest urgent met het oog op optimalisering van het Kierbeheer, bepalen van effecten van toegenomen migratiemogelijkheden, gedrag van vis (met name ook aan de buitenzijde van de dam) en factoren die intreksucces bepalen. Hier liggen goede mogelijkheden voor het uitvoeren van verdiepend onderzoek (zoals AIO/promotie-trajecten). Inzicht in de relatie tussen het gedrag van vis (m.n. aan de zeezijde) en de omgevingsdynamiek is cruciaal voor het maximaliseren van intreksucces. Omdat er geen individuele technieken zijn om gedrag van kleine vis te volgen maar deze vaak wel in flinke aantallen voorkomen, lijkt een aanpak gebaseerd op een combinatie van dichtheids- en fluxmetingen gedurende getij het meest kansrijk. Koppeling van gedrag aan hydrodynamische modellen lijkt een goed insteek, ook voor toepassing voor beheer om verschillende Kier-scenario's te testen. Voor sterke zwemmers is individueel gedrag direct meetbaar met verschillende merk- en zendertechnieken. Hiermee kan zowel zoekgedrag, vertraging als passage succes direct bepaald worden. En met een combinatie van meer geavanceerde zendertechnieken zoals accelerometrie-sensoren en laboratorium experimenten naar energiegebruik kan oponthoud ook aan energieverliezen worden gekoppeld.

Habitat-functie
Onderzoek naar de habitat functionering van de overgangszone lijkt nu te vroeg om wetenschappelijk op in te steken. Het ligt voor de hand om eerst via monitoring te beschrijven wat de ontwikkelingen in soortensamenstelling gedurende het jaar is en van hieruit afleiden wat mogelijke effecten zijn. Daarna wellicht in tweede instantie komen er wel problemen of knelpunten aan het licht die met een wetenschappelijke aanpak kunnen worden ingestoken. Woodland et al. (2019) geeft een elegante koppeling van monitoringsgegevens aan hydrodynamische modellen en natural biomarkers die in een later wetenschappelijk traject hierbij in overweging genomen kan worden. Gericht wetenschappelijk onderzoek naar de habitatfunctie van de overgangszone lijkt daarom in dit stadium nog te vroeg en te onzeker om direct op in te steken.

Populatie-niveau
Veel vraagstukken liggen op populatieniveau: knelpunten analyses bij herstel van populaties, de rol van visserijverliezen, andere bottlenecks tijdens het voltooien van de levenscyclus, indirecte effecten van vertraging (mismatch in timing), energieverlies (effect op reproductie capaciteit en fitness) en effecten van selectie (door visserij, door succesvolle passage, door zout/zoet tolerantie). Omdat dit spectrum zo breed is, is het voor vervolgonderzoek van belang om duidelijke keuzes voor doelsoorten en onderzoekslijnen te maken.

Voor-na studies naar effect van de Kier
Voor een aantal sterke zwemmers, zoals zeeforel, zalm, zeeprik en houting zijn NEDAP zendeerstudies van zowel voor als na de Kier beschikbaar. Deze geven de mogelijkheid om het effect van de Kier op passage-efficiëntie te bepalen en evalueren. is ook voor-na studie mogelijk naar de effecten van het

instellen van het Kierbeheer o.b.v. de lange reeksen NEDAP zenderonderzoek, MWTL monitoring en Duitse uitzet gegevens. Ook biologisch is er internationaal veel bekend over deze soort.

Uitspoelen van zoetwatervis via de Haringvlietdam
Voor de waterbeheerder heeft uitspoeling van zoetwatervis niet de hoogste prioriteit, maar vanuit het visserij- en natuurbeheer is deze, zeker voor een aantal recreatief en commercieel belangrijke soorten zoals snoekbaars, wel van belang. Herhaling van de snoekbaars-zenderstudie zoals is uitgevoerd voor de Kier in werking trad (Vis et al. 2017, Breve et al. 2019), levert dan een goede voor-na studie op om de verbetering van de terugkeermogelijkheden na uitspoeling door implementatie van de Kier te bepalen.

Vergelijkende studies tussen zoet-zout overgangen
Wij bevelen aan om ook in te zetten op vergelijkende studies tussen verschillende (typen) zoet-zout overgangen: Welke processen spelen op zowel kleinschalige als bij grootschalige zoet-zout overgangen? En welke zijn schaalafhankelijk? Deze vraagstukken kunnen vooral worden opgelost door een vergelijkende analyse tussen de vele zoet-zout overgangen in Nederland. Hier is veel lopend onderzoek voor beschikbaar (zie ook H 2.2). In de zuidwestelijke delta van de Rijn/Maas/Schelde stroomgebieden zijn drie grote intrekroutes met veel afvoeren beschikbaar: het Haringvliet, de Nieuwe Waterweg en de Westerschelde. Deze verschillen in mate van natuurlijkheid van de estuariene processen en connectiviteit. Een vergelijking tussen deze verschillende grote toegangspoorten in de zuidwestelijke delta voor een of meerdere doelsoorten zou veel inzicht kunnen geven.

3.2 Aanbevelingen voor zoet-zout vismigratie platform

Er zijn momenteel naast de in deze rapportage genoemde onderzoeken nog tal van vismigratie-onderzoeken en wetenschappelijke initiatieven gaande in en rondom Nederland:

- Waddenzee: Swimway Waddentools (5 PhDs en 1 post-doc)
- Overgangen in Noord-Nederland-Waddenzee: Ruim baan voor vissen I (promotie-onderzoek Jeroen Huisman) en Ruim baan voor vis II
- Lauwersmeergebied en overgang naar Waddenzee: Vissen voor verbinding (Sportvisserij Nederland als trekker)
- Eems vissen in beeld (samenwerking tussen Duitsland en Waterschap Hunze en Aa's)
- Steur herintroductie in Rijn-stroomgebied (promotie-onderzoek Niels Breve)
- RAVON onderzoeken bij intrekpunten in de zuidwestelijke delta naar connectiviteit en habitatgebruik voor zwakke zwemmers op drie schaalniveau's (beoogd promotietraject Sanne Ploegaert)
- LIFE-IP Project Swimway Vecht

In de Schelde/Westerschelde voeren INBO, VLIZ en Universiteit Gent en Antwerpen onderzoeken vanuit België uit.

In 2019 is een groot internationaal project RIBES (River flow regulation, fish BEhaviour and Status) van start gegaan. Hierin wordt met 15 PhD's binnen een groot consortium aan verschillende vismigratie onderwerpen gewerkt door verschillende instituten in Europa: (https://www.msca-ribes.eu).

Het zoet-zout platform is meerdere jaren een goed forum geweest voor het uitwisselen van kennis omtrent zoet-zoutovergangen. De nadruk lag toen vooral op de zoutproblematiek. Helaas is dit platform op dit moment niet meer actief. Er zijn wel initiatieven vanuit RWS om het platform nieuw leven in te blazen. Deze opdracht zou hier een mooie aanleiding voor zijn het tegelijkertijd meer om te vormen tot een meer ecologisch zoet-zout platform. Idealiter worden er meer mensen betrokken bij de organisatie hiervan (bv vertegenwoordigers van bovengenoemde projecten), waardoor een gedeelde verantwoordelijkheid ontstaat.

Het brede scala aan visgerelateerde onderzoeksprojecten biedt waarschijnlijk genoeg aanleiding voor een jaarlijks thematische minisymposia met alle betrokken onderzoekers van bovenstaande projecten.

4 Kwaliteitsborging

Wageningen Marine Research beschikt over een ISO 9001:2015 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem. Dit certificaat is geldig tot 15 december 2021. De organisatie is gecertificeerd sinds 27 februari 2001. De certificering is uitgevoerd door DNV GL.

Literatuur

Aal, P. S. v. d. (2019). Samen voor de Aal; Kruisnetmonitoring Zuid-Holland resultaten en analyse 2015-2018. Projectnummer 2015.031. Stichting RAVON, Nijmegen, rapport.

Aarts, G., S. M. J. M. Brasseur, J. J. Poos, J. Schop, R. Kirkwood, T. van Kooten, E. Mull, P. J. H. Reijnders, A. D. Rijnsdorp en I. Tulp (2019). Top-down pressure on a coastal ecosystem by harbor seals. Ecosphere 10.

Beatty, S. J., J. R. Tweedley, A. Cottingham, T. Ryan, J. Williams, K. Lynch en D. L. Morgan (2018). Entrapment of an estuarine fish associated with a coastal surge barrier can increase the risk of mass mortalities. Ecological Engineering 122: 229-240.

bij de Vaate, A. en A. W. Breukelaar (2001). De migratie van zeeforel in Nederland, rapport nr: 2001.046.

Birnie-Gauvin, K., E. B. Thorstad en K. Aarestrup (2019). Overlooked aspects of the Salmo salar and Salmo trutta lifecycles. Reviews in Fish Biology and Fisheries 29(4): 749-766.

Birnie-Gauvin, K., R. J. Lennox, C. G. Guglielmo, A. K. Teffer, G. T. Crossin, D. R. Norris, K. Aarestrup en S. J. Cooke (2020). The Value of Experimental Approaches in Migration Biology. Physiological and Biochemical Zoology 93(3): 210-226.

Bos, A. R. (1999). Tidal transport of flounder larvae (Pleuronectes flesus) in the Elbe River, Germany. Archive of Fishery and Marine Research 47(1): 47-60.

Bos, A. R. en R. Thiel (2006). Influence of salinity on the migration of postlarval and juvenile flounder Pleuronectes flesus L. in a gradient experiment. J Fish Biol . 68: 1411–1420.

Breukelaar, A. W., A. bij de Vaate en K. T. W. Fockens (1998). Inland migration study of sea trout (Salmo trutta) into the rivers Rhine and Meuse (Netherlands), based on inductive coupling radio telemetry. Hydrobiologia 371/372: 29–33.

Breukelaar, A. W., D. Ingendahl, F. T. Vriese, G. de Laak, S. Staas en J. G. P. Klein Breteler (2009). Route choices, migration speeds and daily migration activity of European silver eels Anguilla anguilla in the River Rhine, north-west Europe. Journal of Fish Biology 74: 2139-2157.

Breve, N., H. Vis en A. W. Breukelaar (2018). Escape from the North Sea: the possibilities for pikeperch (Sander lucioperca L. 1758) to re-enter the Rhine and Meuse estuary via the Haringvlietdam, as revealed by telemetry. Journal of Coastal Conservation 23.

Bult, T. P. en W. Dekker (2007). Experimental field study on the migratory behaviour of glass eels (Anguilla anguilla) at the interface of fresh and salt water. Ices Journal of Marine Science 64(7): 1396-1401.

Castro-Santos, T. (2006). Modeling the Effect of Varying Swim Speeds on Fish Passage through Velocity Barriers. Transactions of The American Fisheries Society - TRANS AMER FISH SOC 135: 1230-1237.

Cooke, S. J., S. G. Hinch, M. R. Donaldson, T. D. Clark, E. J. Eliason, G. T. Crossin, G. D. Raby, K. M. Jeffries, M. Lapointe, K. Miller, D. A. Patterson en A. P. Farrell (2012). Conservation physiology in practice: how physiological knowledge has improved our ability to sustainably manage Pacific salmon during up-river migration. Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences 367(1596): 1757-1769.

Cresci, A., C. B. Paris, C. M. F. Durif, S. Shema, R. M. Bjelland, A. B. Skiftesvik en H. I. Browman (2017). Glass eels (Anguilla anguilla) have a magnetic compass linked to the tidal cycle. Science Advances 3(6).

Cresci, A. (2020). A comprehensive hypothesis on the migration of European glass eels (Anguilla anguilla). Biological Reviews n/a(n/a).

Creutzberg, F. (1959). DISCRIMINATION BETWEEN EBB AND FLOOD TIDE IN MIGRATING ELVERS (ANGUILLA-VULGARIS TURT) BY MEANS OF OLFACTORY PERCEPTION. Nature 184(4703): 1961-1962.

Creutzberg, F. (1961). On the orientation of migrating elvers (Anguilla vulgaris turt.) in a tidal area. Netherlands Journal of Sea Research 1(3): 257-338.

Crivelli, A. J., N. Auphan, P. Chauvelon, A. Sandoz, J. Y. Menella en G. Poizat (2008). Glass eel recruitment, Anguilla anguilla (L.), in a Mediterranean lagoon assessed by a glass eel trap: factors explaining the catches. Hydrobiologia 602: 79-86.

Davidsen, J. G., A. H. Rikardsen, E. B. Thorstad, E. Halttunen, H. Mitamura, K. Praebel, J. Skardhamar en T. F. Naesje (2013). Homing behaviour of Atlantic salmon (Salmo salar) during final phase of marine migration and river entry. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 70(5): 794-802.

De Boois, I. J. en A. S. Couperus (2018). Ankerkuilbemonstering in de Westerschelde. Resultaten 2017 en meerjarenoverzichten. Wageningen University & Research Rapport C083/17, rapport.

Deelder, C. L. (1952). On the Migration of the Elver (Anguilla vulgaris Turt.) at Sea. . Journal du Conseil 18:187-218.

Dekker, W. en J. van Willigen (1997). Hoeveel glasaal trekt het IJssemeer in? - verslag van een merkproef met glasaal te Den Oever in 1997 - RIVO rapport nr C062/97.
Dekker, W. (1998). Long-term trends in the glasseels immigrating at Den Oever, The Netherlands. Bulletin Francais De La Peche Et De La Pisciculture 349.
Dekker, W. J. A. v. W. (2000). De glasaal heeft het tij niet meer mee. RIVO-Nederlands Instituut voor Visserijonderzoek, IJmuiden. RIVO Rapport C055/00., rapport.
Dittman, A. H. en T. P. Quinn (1996). Homing in Pacific salmon: Mechanisms and ecological basis. Journal of Experimental Biology 199(1): 83-91.
Dodson, J. J., R. A. Jones en W. C. Leggett (1972). BEHAVIOR OF ADULT AMERICAN SHAD (ALOSA-SAPIDISSIMA) DURING MIGRATION FROM SALT TO FRESH WATER AS OBSERVED BY ULTRASONIC TRACKING TECHNIQUES. Journal of the Fisheries Research Board of Canada 29(10): 1445-&.
Ensing, D. en A. W. Breukelaar (2017). Genetic structure and tracking of sea trout (Salmo trutta L.) in the Rhine and Meuse estuary in the Netherlands. Sea Trout Science & Management. G. Harris**:** 253-266.
Faller, M. en U. Schwevers (2012). USING HALF DUPLEX TECHNOLOGY TO ASSESS FISH MIGRATION AT THE GEESTHACHT WEIR ON THE RIVER ELBE. 9th ISE 2012, Vienna.
Ferguson, A., T. E. Reed, T. F. Cross, P. McGinnity en P. A. Prodöhl (2019). Anadromy, potamodromy and residency in brown trout Salmo trutta: the role of genes and the environment. Journal of Fish Biology 95(3): 692-718.
Gagliardi, A., A. Martinoli, D. Preatoni, L. A. Wauters en G. Tosi (2007). From mass of body elements to fish biomass: a direct method to quantify food intake of fish eating birds. Hydrobiologia 583: 213-222.
Gaudron, S. M. en M. C. Lucas (2006). First evidence of attraction of adult river lamprey in the migratory phase to larval odour. Journal of Fish Biology 68(2): 640-644.
Gmelig Meyling, A. W., R. H. de Bruyne, A. Gittenberger en N. Schrieken (1999). Het Duiken Gebruiken. Gegevens analyse van fauna-onderzoek met sportduikers in de Zeeuwse kustwateren (Monitoringproject Onderwater Oever). Seizoenspatronen, trends en verspreiding van 117 mariene organismen. Periode 1994-1998. Stichting ANEMOON, rapport.
Gmelig Meyling, A. W. en R. H. de Bruyne (2003). Het Duiken Gebruiken 2. Gegevensanalyse van het monitoringproject onderwater oever, fauna-onderzoek met sportduikers in de Oosterschelde en het Grevelingenmeer, periode 1978-2002. Stichting ANEMOON, rapport.
Goodwin, N. B., A. Grant, A. L. Perry, N. K. Dulvy en J. D. Reynolds (2006). Life history correlates of density-dependent recruitment in marine fishes. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 63(3): 494-509.
Goodwin, R. A., M. Politano, J. W. Garvin, J. M. Nestler, D. Hay, J. J. Anderson, L. J. Weber, E. Dimperio, D. L. Smith en M. Timko (2014). Fish navigation of large dams emerges from their modulation of flow field experience. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 111(14): 5277-5282.
Griffioen, A. B., O. A. Keeken, D. Burggraaf, T. J. A. Puts en G. Manshanden (2013). Onderzoek vismigratie via grote sluizen: DIDSON metingen. IMARES, rapport 013/13.
Griffioen, A. B. en H. V. Winter (2014). Inschatting van het aanbod diadrome vis bij Kornwerderzand. IMARES-rapport C069/14. IMARES, rapport nr: C069/14.
Griffioen, A. B., H. V. Winter, O. A. v. Keeken, C. Chen, E. v. Os-Koomen, S. Schoenlau en T. Zawadowski (2014a). Verspreidingsdynamiek, gedrag en voorkomen van diadrome vis bij Kornwerderzand t.b.v. de VismigratieRivier. IMARES, rapport. IJmuiden Rapport / IMARES : C083/14.
Griffioen, A. B., H. V. Winter, O. A. van Keeken, C. Chen, B. van Os-Koomen, S. Schönlau en T. Zawadowski (2014b). Verspreidingsdynamiek, gedrag en voorkomen van diadrome vis bij Kornwerderzand t.b.v. de VismigratieRivier. IMARES Rapport C083/14, rapport.
Griffioen, A. B., P. d. Vries, R. H. Twijnstra en M. d. Graaf (2017a). Glass eel monitoring in the Netherlands. Wageningen Marine Research, rapport. IJmuiden Wageningen Marine Research rapport : C010/17.
Griffioen, A. B. en H. V. Winter (2017). Fish migration river monitoring plan : Monitoring program on the effectiveness of the FMR at Kornwerderzand. Wageningen Marine Research, rapport. IJmuiden.
Griffioen, A. B., H. V. Winter en R. van Hal (2017b). Prognose visstand in en rond het Haringvliet na invoering van het Kierbesluit in 2018. IJmuiden, Wageningen Marine Research.
Griffioen, A. B., H. V. Winter en R. Van Hal (2017c). Prognose visstand in en rond het Haringvliet na invoering van het Kierbesluit in 2018. Wageningen University & Research Rapport C081/17, rapport.
Griffioen, A. B., M. E. Schiphouwer, H. V. Winter en S. Ploegaert (2018). Aalonderzoeken Hoogheemraadschap van Delfland: efficiëntie van glasaalintrek bij gemaal Schoute Wageningen Marine Research report C007.18, rapport.
Griffioen, A. B., H. V. Winter, O. A. van Keeken en B. van Houten (2019). Intrek van glasaal en driedoornige stekelbaars in het Noordzeekanaal voorjaar 2018. Wageningen Marine Research rapport C054/19, rapport.
Hansen, L. P., N. Jonsson en B. Jonsson (1993). OCEANIC MIGRATION IN HOMING ATLANTIC SALMON. Animal Behaviour 45(5): 927-941.

Harrison, A. J., A. M. Walker, A. C. Pinder, C. Briand en M. W. Aprahamian (2014). A review of glass eel migratory behaviour, sampling techniques and abundance estimates in estuaries: implications for assessing recruitment, local production and exploitation. Reviews in Fish Biology and Fisheries 24: 967-983.

Hop, J. (2012). Visintrek via inlaatwerk bij gemaal Colijn, voorjaar 2012. Rapport 20120069/001. ATKB, Geldermalsen. I.o.v. Waterschap Zuiderzeeland, rapport.

Hop, J. (2016). Visstand Haringvliet en Voordelta - heden. Rapport 20150469/01. ATKB, Waardenburg. Deelproject Monitoring van het Droomfondsproject Haringvliet.

Hop, J. (2018a). Meetplan ten behoeve van optimalisatie van implementatie kierbesluit voor vissen. ATKB rapport 20180053/01.

Hop, J. (2018b). Analyse detectiegegevens salmoniden 2011-2016. Rapport 20170122/01. ATKB, Waardenburg. I.o.v. Rijkswaterstaat WNZ, rapport.

Jager, Z. (1998). Accumulation of flounder larvae (Platichthys flesus L.) in the Dollard (Ems estuary, Wadden Sea). Journal of Sea Research 40(1-2): 43-57.

Jager, Z. (1999). Selective tidal stream transport of flounder larvae (Platichthys flesus L.) in the Dollard (Ems estuary). Estuarine Coastal and Shelf Science 49(3): 347-362.

Jansen, H. M., H. V. Winter, I. Tulp, T. P. Bult, R. van Hal, J. Bosveld en R. Vonk (2008). Bijvangsten van salmoniden en overige trekvissen vanuit een populatieperspectief. IMARES, rapport nr: C039/08. IJmuiden.

Johnson, N. S., A. Muhammad, H. Thompson, J. Choi en W. Li (2012). Sea lamprey orient toward a source of a synthesized pheromone using odor-conditioned rheotaxis. Behavioral Ecology and Sociobiology 66(12): 1557-1567.

Jolly, M. T., M. W. Aprahamian, S. J. Hawkins, P. A. Henderson, R. Hillman, N. O'Maoileidigh, P. S. Maitland, R. Piper en M. J. Genner (2012). Population genetic structure of protected allis shad (Alosa alosa) and twaite shad (Alosa fallax). Marine Biology 159(3): 675-687.

Jonsson, B. en N. Jonsson (2009a). Migratory timing, marine survival and growth of anadromous brown trout Salmo trutta in the River Imsa, Norway. Journal of Fish Biology 74(3): 621-638.

Jonsson, B. en N. Jonsson (2009b). A review of the likely effects of climate change on anadromous Atlantic salmon Salmo salar and brown trout Salmo trutta, with particular reference to water temperature and flow. Journal of Fish Biology 75(10): 2381-2447.

Katopodis, C. en R. Gervais (2012). Ecohydraulic analysis of fish fatigue data. River Research and Applications 28(4): 444-456.

Keefer, M. L., C. C. Caudill, C. A. Peery en M. L. Moser (2013). Context-dependent diel behavior of upstream-migrating anadromous fishes. Environmental Biology of Fishes 96(6): 691-700.

Kelly, F. en J. King (2001). A review of the ecology and distribution of three lamprey species, Lampetra fluviatilis (L.), Lampetra planeri (Bloch) and Petromyzon marinus (L.): A context for conservation and biodiversity considerations in Ireland. Biology and Environment 101.

Kemp, P. S., I. J. Russon, A. S. Vowles en M. C. Lucas (2011). The influence of discharge and temperature on the ability of upstream migrant adult river lamprey (Lampetra fluviatilis) to pass experimental overshot and undershot weirs. River Research and Applications 27(4): 488-498.

Kemper, J. (1997a). Sonar-onderzoek naar visbewegingen onder invloed van het openstellen van de Haringvlietsluizen in 1997. OVB - RWSZH/OVB 1995-02, rapport.

Kemper, J. (1997b). Sonar-onderzoek naar visbewegingen onder invloed van het openstellen van de Haringvlietsluizen in 1997. OVB - RWSZH/OVB 1995-02, rapport.

Kitano, J., A. Ishikawa, M. Kume en S. Mori (2012). Physiological and genetic basis for variation in migratory behavior in the three-spined stickleback, Gasterosteus aculeatus. Ichthyological Research 59(4): 293-303.

Klimley, A. P., M. T. Wyman en R. Kavet (2017). Chinook salmon and green sturgeon migrate through San Francisco Estuary despite large distortions in the local magnetic field produced by bridges. Plos One 12(6).

Kooiman, M. en S. M. A. Ploegaert (2019). Samen voor de Aal; Kruisnetmonitoring Zeeland 2017-2019. Projectnummer 2017.051. Stichting RAVON, Nijmegen, rapport.

Kroes, R., E. E. Van Loon, E. Goverse, M. E. Schiphouwer en H. G. Van der Geest (2020). Attraction of migrating glass eel (Anguilla anguilla) by freshwater flows from water pumping stations in an urbanized delta system. Science of The Total Environment 714: 136818.

L'Honoré, t., E. Farcy, E. Blondeau-Bidet en C. Lorin-Nebel (2020). Inter-individual variability in freshwater tolerance is related to transcript level differences in gill and posterior kidney of European sea bass. Gene 741.

Laffaille, P., J. M. Caraguel en A. Legault (2007). Temporal patterns in the upstream migration of European glass eels (Anguilla anguilla) at the Couesnon estuarine dam. Estuarine Coastal and Shelf Science 73(1-2): 81-90.

Laverty, G. en E. Skadhauge (2012). Adaptation of teleosts to very high salinity. Comparative Biochemistry and Physiology a-Molecular & Integrative Physiology 163(1): 1-6.
Lebel, J. M. en J. Leloup (1992). TRIIODOTHYRONINE IS REQUIRED FOR THE ACCLIMATION TO SEAWATER OF THE BROWN TROUT (SALMO-TRUTTA) AND RAINBOW-TROUT (ONCORHYNCHUS-MYKISS). Comptes Rendus De L Academie Des Sciences Serie Iii-Sciences De La Vie-Life Sciences 314(10): 461-468.
Leggett, W. C. en R. N. Oboyle (1976). OSMOTIC-STRESS AND MORTALITY IN ADULT AMERICAN SHAD DURING TRANSFER FROM SALTWATER TO FRESHWATER. Journal of Fish Biology 8(6): 459-469.
Lennox, R. J., C. P. Paukert, K. Aarestrup, M. Auger-Methe, L. Baumgartner, K. Birnie-Gauvin, K. Boe, K. Brink, J. W. Brownscombe, Y. S. Chen, J. G. Davidsen, E. J. Eliason, A. Filous, B. M. Gillanders, I. P. Helland, A. Z. Horodysky, S. R. Januchowski-Hartley, S. K. Lowerre-Barbieri, M. C. Lucas, E. G. Martins, K. J. Murchie, P. S. Pompeu, M. Power, R. Raghavan, F. J. Rahel, D. Secor, J. D. Thiem, E. B. Thorstad, H. Ueda, F. G. Whoriskey en S. J. Cooke (2019). One Hundred Pressing Questions on the Future of Global Fish Migration Science, Conservation, and Policy. Frontiers in Ecology and Evolution 7.
Liao, J. C. (2007). A review of fish swimming mechanics and behaviour in altered flows. Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences 362(1487): 1973-1993.
Lucas, M. C. en E. Baras (2001). Migration of Freshwater Fish.
Moser, M. L. en S. W. Ross (1994). Effects of changing current regime and river discharge on the estuarine phase of anadromous fish migration.
Mouton, A. M., M. Stevens, T. Van den Neucker, D. Buysse en J. Coeck (2011). Adjusted barrier management to improve glass eel migration at an estuarine barrier. Marine Ecology Progress Series 439: 213-222.
Munk, P., M. M. Hansen, G. E. Maes, T. G. Nielsen, M. Castonguay, L. Riemann, H. Sparholt, T. D. Als, K. Aarestrup, N. G. Andersen en M. Bachler (2010). Oceanic fronts in the Sargasso Sea control the early life and drift of Atlantic eels. Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences 277(1700): 3593-3599.
Naisbett-Jones, L. C., N. F. Putman, J. F. Stephenson, S. Ladak en K. A. Young (2017). A Magnetic Map Leads Juvenile European Eels to the Gulf Stream. Current Biology 27(8): 1236-1240.
Noordhuis, R. (2017). Het Haringvliet na de Kier Samenvatting van hydrologische prognoses ten behoeve van effectinschattingen op vis en vogels. Deltares 11200854-010, rapport.
Ohman, M. C., P. Sigray en H. Westerberg (2007). Offshore windmills and the effects electromagnetic fields an fish. Ambio 36(8): 630-633.
Paalvast, P. (2016). monitoringsplan ecologie project Kierbesluit. Ecoconsultrapport nr. 2016-01, rapport.
Ploegaert, S., M. Vos, M. Schiphouwer, J. Kranenbarg en J. Herder (2017). Een Zegen in de Delta – Nulmeting 2018. Onderzoek naar de kraamkamerfunctie van de Zuid-Hollandse delta. Ravon 2017.109, rapport.
Poiner, I., J. Glaister, C. Pitcher, C. Burridge, T. Wassenberg, N. Gribble, B. Hill, S. Blaber, D. Milton, G. Brewer en N. Ellis (1998). The environmental effects of prawn trawling in the far northern section of the Great Barrier Reef: 1991-1996. CSIRO, rapport. Canberra.
Potter, E. C. E. (1985). Salmonid migrations off the north-east coast of England. . Proc. Inst. Fish. Mgmt 16th Ann. Study Course, University of York, 16-19September 1985, pp. 124-141.
Potter, E. C. E. (1988). MOVEMENTS OF ATLANTIC SALMON, SALMO-SALAR L, IN AN ESTUARY IN SOUTHWEST ENGLAND. Journal of Fish Biology 33: 153-159.
Putman, N. F., E. S. Jenkins, C. G. J. Michielsens en D. L. G. Noakes (2014). Geomagnetic imprinting predicts spatio-temporal variation in homing migration of pink and sockeye salmon. Journal of the Royal Society Interface 11(99).
Quak, J. (2016). Van Aal tot Zalm tussen zoet en zout Een beschouwing over de visstand in het Haringvliet, Hollands Diep en Goereesche Gat tussen 1870-1970. Rapport sportvisserij Nederland, Bilthoven, rapport.
Quinn, T. P. (1990). CURRENT CONTROVERSIES IN THE STUDY OF SALMON HOMING. Ethology Ecology & Evolution 2(1): 49-63.
Russell, I. C., A. Moore, S. Ives, L. T. Kell, M. J. Ives en R. O. Stonehewer (1998). The migratory behaviour of juvenile and adult salmonids in relation to an estuarine barrage. Hydrobiologia 372: 321-333.
Russon, I. J. en P. S. Kemp (2011). Experimental quantification of the swimming performance and behaviour of spawning run river lamprey Lampetra fluviatilis and European eel Anguilla anguilla. Journal of Fish Biology 78(7): 1965-1975.
Sakamoto, T., S. D. McCormick en T. Hirano (1993). OSMOREGULATORY ACTIONS OF GROWTH-HORMONE AND ITS MODE OF ACTION IN SALMONIDS - A REVIEW. Fish Physiology and Biochemistry 11(1-6): 155-164.

Scanlan, M. M., N. F. Putman, A. M. Pollock en D. L. G. Noakes (2018). Magnetic map in nonanadromous Atlantic salmon. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 115(43): 10995-10999.

Schaber, M., L. Marohn, C. Petereit, J. P. Schroeder, K. Zumholz en R. Hanel (2011). Newcomers in the Baltic Sea: an attempt to trace the origins and whereabouts of thicklip grey mullet Chelon labrosus. Fisheries Science 77(5): 757-764.

Schaminée, J. H. J., J. A. M. Janssen, R. Kwak, G. J. J. M. Litjens, J. P. M. Mulder, B. Roels, S. R. Smith, B. Walles, A. van Winden, H. V. Winter en T. Ysebeart (2019). Biodiversiteit in de zuidwestelijke delta. Wageningen Environmental Research Rapport 2942. , rapport.

Schmidt, M. (1922). The breeding places of the eel. Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences 211: 179-208.

Silva, S., M. Lowry, C. Macaya-Solis, B. Byatt en M. C. Lucas (2017). Can navigation locks be used to help migratory fishes with poor swimming performance pass tidal barrages? A test with lampreys. Ecological Engineering 102: 291-302.

Slabbekoorn, H., N. Bouton, I. van Opzeeland, A. Coers, C. ten Cate en A. N. Popper (2010). A noisy spring: the impact of globally rising underwater sound levels on fish. Trends in Ecology & Evolution 25(7): 419-427.

Spierts, I. L. Y., H. Vis en F. T. Vriese (2009). Migratiegedrag van schieraal in de Maas: najaar 2008. VisAdvies Rapport: VA2008_55, rapport.

Stabell, O. B. (1984). HOMING AND OLFACTION IN SALMONIDS - A CRITICAL-REVIEW WITH SPECIAL REFERENCE TO THE ATLANTIC SALMON. Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society 59(3): 333-388.

Stasko, A. B. (1975). PROGRESS OF MIGRATING ATLANTIC SALMON (SALMO-SALAR) ALONG AN ESTUARY, OBSERVED BY ULTRASONIC TRACKING. Journal of Fish Biology 7(3): 329-338.

Teodosio, M. A., C. B. Paris, E. Wolanski en P. Morais (2016). Biophysical processes leading to the ingress of temperate fish larvae into estuarine nursery areas: A review. Estuarine Coastal and Shelf Science 183: 187-202.

Trancart, T., P. Lambert, E. Rochard, F. Daverat, J. Coustillas en C. Roqueplo (2012). Alternative flood tide transport tactics in catadromous species: Anguilla anguilla, Liza ramada and Platichthys flesus. Estuarine Coastal and Shelf Science 99: 191-198.

Tulp, I. (2015). Analyse visgegevens DFS (Demersal Fish Survey) ten behoeve van de compensatiemonitoring Maasvlakte2. IMARES rapport C080/15. IMARES, rapport nr: C080/15.

van der Sluis, M. T., J. S. M. Cremer, A. B. Griffioen, O. A. van Keeken, E. van Os-Koomen, J. A. M. Wiegerinck en P. J. A. de Bruijn (2019). Vismonitoring Zoete Rijkswateren en Overgangswateren t/m 2018. Deel II: Toegepaste methodenWageningen University & Research rapport C086/19.

van der Ven, M. W. P. M. (2018). Analyse zeeprik migratie 2009 – 2018. ATKB-rapport 20170121/rap.02, rapport.

van Heusden, G. P. H. (1943). De trek van den glasaal naar het IJsselmeer. PhD - Thesis, Utrecht.

van Keeken, O. A., M. van Hoppe, I. J. de Boois, M. de Graaf, A. B. Griffioen, M. Lohman, E. van Os-Koomen, H. J. Westerink, J. A. M. Wiegerinck en H. M. J. van Overzee (2016). Toestand vis en visserij in de zoete Rijkswateren 2015 Deel III: Data. Wageningen Marine Research Rapport C116/16.

van Rijssel, J., M. van Puijenbroek, K. Schilder en E. Winter (2019). Impact van verschillende visserijvormen op trekvissen. Wageningen Marine Research rapport rapport C046/19.

Videler, J. en C. Wardle (1991). Fish swimming stride by stride: Speed limits and endurance. Reviews in Fish Biology and Fisheries 1: 23-40.

Videler, J. (1993). Fish Swimming, Springer Science & Business Media, 1993.

Vis, H. (2017a). Onderzoek naar de intrekmogelijkheden voor snoekbaars na uitspoeling via de Haringvlietdam., VisAdvies rapportnr VA2016_16, rapport.

Vis, H. (2017b). Onderzoek naar de intrekmogelijkheden voor snoekbaars na uitspoeling via de Haringvlietdam. VisAdvies rapportnr VA2016_16, rapport.

Vrieze, L. A., R. Bjerselius en P. W. Sorensen (2010). Importance of the olfactory sense to migratory sea lampreys Petromyzon marinus seeking riverine spawning habitat. Journal of Fish Biology 76(4): 949-964.

Vrieze, L. A., R. A. Bergstedt en P. W. Sorensen (2011). Olfactory-mediated stream-finding behavior of migratory adult sea lamprey (Petromyzon marinus). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 68(3): 523-533.

Wardle, C. S. (1980). Effects of Temperature on the Maximum Swimming Speed of Fishes. Environmental Physiology of Fishes. M. A. Ali. Boston, MA, Springer US**:** 519-531.

Wilson, J. M., J. C. Antunes, P. D. Bouca en J. Coimbra (2004). Osmoregulatory plasticity of the glass eel of Anguilla anguilla: freshwater entry and changes in branchial ion-transport protein expression. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 61(3): 432-442.

Wilson, S. M., S. G. Hinch, E. J. Eliason, A. P. Farrell en S. J. Cooke (2013). Calibrating acoustic acceleration transmitters for estimating energy use by wild adult Pacific salmon. Comparative Biochemistry and Physiology A 164: 491– 498.

Winter, H. V. (2009). Voorkomen en gedrag van trekvissen nabij kunstwerken en consequenties voor de vangkans met vistuigen. IMARES-rapport C076/09, rapport.

Winter, H. V. en S. M. Bierman (2010). De uittrekmogelijkheden voor schieraal via de Haringvlietsluizen. IMARES Rapport C155/10.

Winter, H. V., A. B. Griffioen, O. A. van Keeken en P. P. Schollema (2013). Telemetry study on migration of river lamprey and silver eel in the Hunze and Aa catchment basin. IMARES-report C012/13, rapport.

Winter, H. V., A. Griffioen en O. A. van Keeken (2014a). De Vismigratierivier: Bronnenonderzoek naar gedrag van vis rond zoet-zout overgangen. IMARES Rapport C035/14, rapport.

Winter, H. V., A. B. Griffioen en O. A. van Keeken (2014b). De Vismigratierivier: Bronnenonderzoek naar gedrag van vis rond zoet-zout overgangen. IMARES-rapport C035/14. IMARES, rapport nr: C035/14.

Wootton, R. J. (1976). The biology of the sticklebacks. Wales, Academic Press.

Verantwoording

Rapport C061/20
Projectnummer: 4316100219

Dit rapport is met grote zorgvuldigheid tot stand gekomen. De wetenschappelijke kwaliteit is intern getoetst door een collega-onderzoeker en het verantwoordelijk lid van het managementteam van Wageningen Marine Research

Akkoord: ir. Olvin A. van Keeken
onderzoeker

Handtekening:

Datum: 8-7-2020

Akkoord: drs. Jakob Asjes
MT-lid

Handtekening:

Datum: 8-7-2020

Wageningen Marine Research
T: +31 (0)317 48 09 00
E: marine-research@wur.nl
www.wur.nl/marine-research

Bezoekers adres:
- Ankerpark 27 1781 AG Den Helder
- Korringaweg 7, 4401 NT Yerseke
- Haringkade 1, 1976 CP IJmuiden

Wageningen Marine Research levert met kennis, onafhankelijk wetenschappelijk onderzoek en advies een wezenlijke bijdrage aan een duurzamer, zorgvuldiger beheer, gebruik en bescherming van de natuurlijke rijkdommen in zee-, kust- en zoetwatergebieden.

Wageningen Marine Research is onderdeel van Wageningen University & Research. Wageningen University & Research is het samenwerkingsverband tussen Wageningen University en Stichting Wageningen Research en heeft als **missie**: 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'

Bijlage 1 Lennox *et al*. (2019): 100 vragen voor toekomstig vismigratie onderzoek

Hieronder is de complete lijst van 'One Hundred Pressing Questions on the Future of Global Fish Migration Science, Conservation, and Policy' van Lennox et al. 2019 weergegeven. De in onze optiek meest relevante vragen voor vismigratie-thema's rondom het Haringvliet en Kierbeheer zijn in het rapport hierboven ook in het Nederlands weergegeven:

1. What are the internal physiological drivers of, and triggers for, migration?
2. Is ontogeny an important factor regulating migratory strategies?
3. What role do genetics and epigenetics have in migration?
4. Are migratory phenotypes (residents, short-distance migrants, long-distance migrants) reflected in physiological phenotypes (predictable differences in metabolic rate, condition, energetic state, proteomics, etc.)?
5. Can physiological indices (e.g., gene expression, endocrine stress, oxidative stress, osmoregulation, sensory modalities) be used to predict migration success?
6. How can nutrition or available energy limit migration ability, either directly or indirectly?
7. What is the role of the neuroendocrine system on migration?
8. How can we characterize internal drive to migrate, and what internal factors are involved?
9. What are the costs of migration to an animal's internal state and physiology (e.g., energetics, oxidative stress, carryover effects)?
10. Do physiological processes (e.g., up/down regulation of gene expression, endocrinology) differ between when animals depart and return to natal habitats?
11. How do disease, infections, and parasites affect fish internal state during migration-related processes?
12. Do multiple stressors have additive or synergistic effects on migratory behavior?
13. To what extent are migration strategies heritable?
14. Can physiological processes that stimulate migration be used to inform conservation and management?
15. What causes a fish to lose the drive to migrate (i.e., stop migrating, spawn at a suboptimal location due to a barrier, stray to a different area than intended), including intergenerational changes caused by selection (e.g., changes to migration routes)?
16. How common are movement syndromes in fish (i.e., what distinguishes animals that migrate and those that do not) and what drives these at the individual scale?
17. What physiological changes at the population scale lead to irruptions and/or colonization events (i.e., straying at a large scale to expand or shift the population distribution)?
18. How do the Earth's rapidly shifting magnetic field and increasing anthropogenic electromagnetic fields affect fish migration?
19. How do hydrodynamic conditions (e.g., turbulence, flow rate, currents) influence migratory fish navigation?
20. How spatially and temporally accurate, and precise, is the homing of different migratory fish taxa?
26. In which ecological contexts (e.g., group size, parasite load) do individual variation in locomotory ability influence the ability to successfully migrate?
27. What are the main physical, behavioral, and ecological drivers of swimming performance?
28. Are changes to environmental conditions (e.g., temperature, oxygen) and migratory obstacles (e.g., dams, currents) disproportionately affecting fish with specific swimming modes, physical characteristics, or life histories?
29. How will changes to ocean currents and river flows affect the migratory performance of species with different locomotor performance and larval recruitment dynamics?

30. Will human-induced changes to fish life history (e.g., changes in size-at-age of maturity due to size-selective fishing) affect the locomotor performance of migratory species?
31. In which ecological contexts are efficient movements (e.g., least cost paths, energetically efficient swimming speeds) relevant to migration success?
32. Which characteristics of swimming performance explain the reliance of certain species on least cost paths for migration success?
33. What role does voluntary movement have on migration success of larval fish that are mostly conveyed by currents (e.g., eel leptocephalus larvae)?
34. How many different abiotic external drivers inform migratory fish behavior and how do they interact?
35. What environmental thresholds exist that initiate partial and facultative migration, and how do these influence the likelihood of migration?
36. Do climatic differences along geographic clines (e.g., latitude) influence migratory phenotypes; if so, is the variation predictable or generalizable among species (e.g., differences in timing or extent of migration)?
37. To what extent are external drivers conflicting with rapidly changing environmental conditions that influence migration success?
38. What role do migrant densities have in regulating migratory species' population dynamics (e.g., functional and numerical responses of predators)?
39. How do host-pathogen dynamics contribute to the evolution of migration?
40. How does land use change affect the delivery of accurate cues for migrating fishes?
45. What is the relative impact of different types of aquatic barriers and infrastructure on fish migration patterns and survival?
46. What are the individual and cumulative effects of anthropogenic stressors (e.g., water quantity/quality, sedimentation, anthropogenic sound and light) on physiology and ecology of migratory species and how can we mitigate these threats?
47. How do capture fisheries (recreational, subsistence, and commercial) that may remove migratory fishes and/or their prey affect the distribution and abundance of migrating fishes (both immediately and in terms of artificial selection on population traits)?
48. What existing or emerging chemical pollutants have the potential to affect fish migration and how?
49. Does sea cage aquaculture alter wild-fish migrations by providing resource subsidies or by aggregating prey fish that migrants rely upon?
50. How much can/will fishes behaviorally adapt (e.g., alter the timing or nature of their migration) to cope with environmental changes?
51. Are hypoxia, hyperthermia, or other climate-associated stressors affecting the distribution (e.g., prey availability), quality (e.g., energetic content), and access to critical resources needed by migratory fishes?
52. How are changes in water temperature, acidity, and flow, as mediated by global climate change, affecting fish sensory systems and the role they play in different fish species abilities to navigate?
53. Can related or potential surrogate species be used to infer the degree to which migration patterns have changed for key commercial or valued species?
54. How do pathogens affect fish migration and are the effects more pronounced under regimes of acute or chronic environmental change?
55. Will altered migration patterns of species due to climate change result in global net increases or decreases in migratory fish production?
56. Will lower latitude regions lose migratory fish species and production more quickly or disproportionately as compared with higher latitude regions?
57. Will any regions show positive increases in fish production based on the arrival of new migrants?
58. How, if at all, is climate-mediated changing floodplain inundation affecting the recruitment of different migratory fishes?
59. Are altered environmental conditions from climate change (e.g., ocean circulation, sea levels, ice cover extent and duration) creating new, and potentially persistent, migration pathways?
60. What will be the role of fish migration in influencing how existing and new fish diseases spread and proliferate under human-mediated climate change and what are the consequences for populations at range edges?
61. How do fish respond to implemented environmental flows as mitigation measures and how does fish passage infrastructure need to consider changes in climate to maintain environmental flows?

62. What measures are needed to ensure the presence of secure movement pathways for migratory aquatic species in the face of climate change?
63. Is there a key time window in which habitat connectivity needs to be restored before population rebounds can occur in migratory species?
64. How do the management strategies of: maximizing adult returns, maximizing juvenile out-migration, and preserving spawning habitat compare in their performance as management objectives with regards to desirable population outcomes?
65. Can protection of "umbrella species" (i.e., those whose protection affords benefits to others) be used to promote conservation of both migratory and non-migratory species (that may still disperse at least locally among habitat patches)?
66. How can we apply existing knowledge, and mobilize new knowledge, to effectively mitigate threats with limited funding and opportunities?
67. How can stock assessment methods adapt to the changing behavior (e.g., timing, distribution) of migratory fishes?
68. How can intraspecific variation in migratory behavior be incorporated into management models?
69. To what extent are artificial habitats, such as reservoirs, mortality sinks for migrating fishes and how can such mortality be minimized?
70. How effective is habitat restoration, including dam removal and fishway installation, and how can we accurately evaluate the costs and benefits to make better decisions?
71. How can we balance the potential for invasive species introductions with connectivity restoration for migratory species?
72. Can fishways perform as well as dam removal?
73. Can we design fish passage systems that facilitate passage by desirable species while blocking or reducing passage by undesirable (often non-native) species?
74. How can attractive (sex pheromones, larval pheromones) and repulsive (necromones) scents be used to attract migrating fish to desired migration pathways or repel them from undesired pathways or block the movements of invasive species?
75. How does the level of protection of intermittent headwater streams, hydrologically connected wetlands, and floodplains affect migratory fishes?
76. At what scale would the establishment of free-flowing rivers as conservation units protect migratory species in highly diverse river systems?
77. How do we integrate migratory processes affecting vulnerability into fisheries stock assessments or harvest control rules?
78. At what spatial and temporal scales should policies and fisheries management function to effectively mitigate threats to all migratory species?
79. How can we implement an ecosystem approach to management when migrations cross geopolitical and ecosystem boundaries?
80. What type of international policies or institutions are needed to effectively manage migratory species?
81. Are existing structures and policy instruments for managing migratory fishes enough given the multitude of threats faced by such organisms?
82. How can fisheries and conservation management systems become more responsive to changes in distributions of stocks and their connectivity?
83. What policies and governance structures could be instituted to align with global best practices for migratory fish protection and management?
84. What is the balance of evidence and action (i.e., science vs. policy) needed to effectively manage migratory fishes—or, more specifically, at what point do we know enough such that enough research has been conducted and corresponding action is needed more than new information?
85. What narratives exist to engage the public in the conservation of migratory fish and their habitats?
86. How can we raise the profile of economically or culturally less significant species with more cryptic migrations?
87. How do we improve data availability and research on migratory fishes in low income countries (e.g., Malawi, Burundi, Niger, Madagascar)?
88. Because fish migrations can span broad temporal and spatial scales and cross many jurisdictional boundaries, what mechanisms for data sharing exist or can be developed?
89. What is the evolutionary history and phylogeny of migration; is it an ancestral trait of animals or fishes that is not expressed in some species, or has it evolved independently many times?

90. How common is migration in fishes (i.e., how many and which fish species migrate)?
91. To what extent do small-bodied fishes migrate and, for those that do, how far and when?
92. How are migrating fishes structured into genetically distinct populations or evolutionarily significant units?
93. How common is vertical migration and what are its similarities and differences with other types of migration?
94. How many distinct typologies of migration are there and how can they be distinguished with respect to their ecological functions?
95. How can genetic, genomic, and chemical tags be used to assist with studying migration?
96. How tightly does fish migration couple ecological processes, both within the aquatic realm and between the aquatic and terrestrial realms, by moving matter and energy?
97. How important is intraspecific variation in migratory phenotypes (e.g., timing, frequency, body size) of migration?
98. How plastic is migration within genotypes, phenotypes, and species?
99. What role does migration have in the carbon cycle and carbon sequestration and how do threats such as barriers affect fish roles in carbon sequestration?
100. How can innovations in technology and engineering contribute new tools to answer questions related to fish migration?