Passagecheck Zeeland 2021

Efficiëntie van zout-zoet vismigratievoorzieningen bij gemalen Loohoek en De Noord voor glasaal en driedoornige stekelbaars

Maurice Kooiman & Sanne Ploegaert





RAVON

Passagecheck Zeeland - 2021

Efficiëntie van zout-zoet vismigratievoorzieningen bij gemalen Loohoek en De Noord voor glasaal en driedoornige stekelbaars

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

Provincie Zeeland

RAVON

WaterschapScheldestromen

NATIONALE POSTCODE LOTERIJ

Colofon

Status uitgave:	Definitief
Datum uitgave:	16-12-2022
Titel:	Passagecheck Zeeland - 2021
Subtitel:	Efficiëntie van zout-zoet vismigratievoorzieningen bij gemalen Loohoek en De Noord voor glasaal en driedoornige stekelbaars
Wijze van citeren:	Kooiman, M. & S.M.A. Ploegaert, 2022. Passagecheck Zeeland – 2021. Efficiëntie van zout-zoet vismigratievoorzieningen bij gemalen Loohoek en De Noord voor glasaal en driedoornige stekelbaars. Stichting RAVON, Nijmegen. Rapportnummer 2021.044-PC21.
Foto's omslag:	Sanne Ploegaert
Aantal pagina's incl. bijlagen:	73
Projectnummer:	2021.044-PC21
Projectleiding:	Sanne Ploegaert (Stichting RAVON)
Rapportage:	Maurice Kooiman & Sanne Ploegaert
Met medewerking van:	Arthur de Bruin, Jeroen Tummers, Jesper Berndsen, Jisk van den Ende, Mark Groen, Martijn Schiphouwer, Mick Vos, Thomas Kroon
Opdrachtgevers:	Rijkswaterstaat Zee & Delta, Waterschap Scheldestromen & Provincie Zeeland
Akkoord voor uitgave:	Martijn Schiphouwer (Stichting RAVON)

© 2022 Stichting RAVON, Nijmegen

Inhoud

Samenvatting 6

1 Inleiding 8

2 Methode 10
2.1 Onderzoekslocaties 10
2.1.1 Vismigratievoorziening Loohoek 11
2.1.2 Vismigratievoorziening De Noord 12
2.2 Onderzoeksopzet 13
2.2.1 Merk-terugvangst experiment 13
2.2.2 Merkprocedure 15
2.2.3 Vangst en terugvangst zeezijde 16
2.2.4 Vangst intrek vismigratievoorziening 18
2.3 Onderzoeksperiode 19
2.4 Prestatie index 20

3 Efficiëntie passages & duiding resultaten 21
3.1 Lokkende werking vispassages 21
3.1.1 Glasaal 21
3.1.2 Driedoornige stekelbaars 26
3.2 Efficiëntie intrek vispassages 30
3.2.1 Prestatie index glasaal 31
3.2.2 Verblijftijd voorzijde glasaal 32
3.2.3 Werking vispassages voor driedoornige stekelbaars 34
3.3 Uitwisseling gemerkte vissen tussen Loohoek en De Noord 35
3.4 Invloed bemalingsregime 36
3.5 Stroomsnelheden en gedrag glasaal in en rondom migratievoorzieningen 37
3.5.1 Loohoek 37
3.5.2 De Noord 41

4 Conclusies & aanbevelingen 46
4.1 Loohoek 46
4.2 De Noord 50

Dankwoord 55

5 Literatuur 56

Bijlage 1: Populatieschattingen momentaanbod 57

Bijlage 2: Aanvullende figuren kruisnetbemonsteringen 58
B2.1 Loohoek 58
B2.2 De Noord 61

Bijlage 3: Aanvullende figuren fuikbemonsteringen 64
B3.1 Loohoek 64
B3.2 De Noord 66

Bijlage 4: Bevindingen Passagecheck Loohoek 2018 68

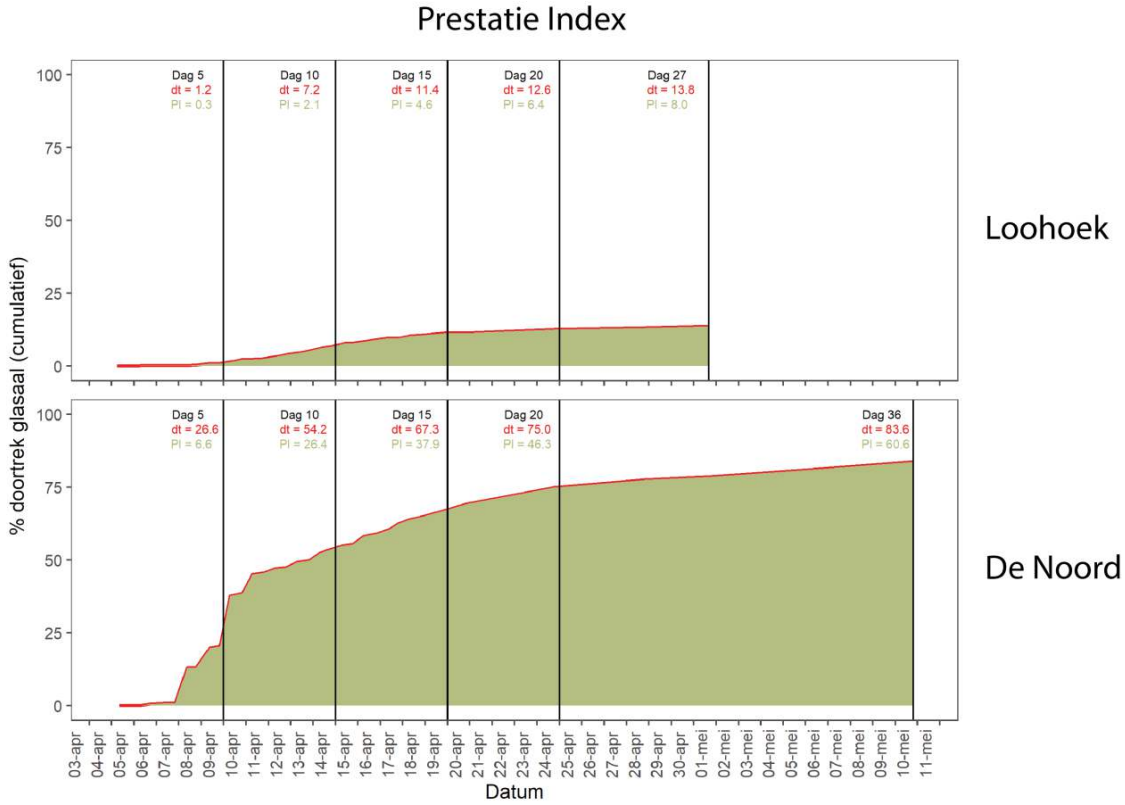
Bijlage 5: Berekening populatieschattingen onderzoeksperiode en seizoen 70

Bijlage 6: Berekening betrouwbaarheid populatieschattingen 72

Samenvatting

Onderzoeksopzet
Om te onderzoeken hoe efficiënt de vismigratievoorzieningen bij de gemalen Loohoek en De Noord (Oosterschelde) zijn in het faciliteren van glasaal en driedoornige stekelbaars in hun migratie van zout naar zoet water is een 'Passagecheck' uitgevoerd. Deze 'Passagecheck' is uitgevoerd in de vorm van een merk-terugvangst onderzoek waarbij glasaal en driedoornige stekelbaars is gemerkt met een fluorescente VIE-tag (Visible Implant Elastomer). Terugvangst van gemerkte vissen (met kruisnet aan voorzijde intrekpunt en fuik aan achterzijde) geeft inzicht in het actuele aanbod van deze soorten, welk aandeel de vismigratievoorziening weet te passeren en hoeveel tijd hiervoor nodig is. Het aandeel dat weet te passeren en de snelheid waarmee dit gebeurt bepalen voor een groot deel de efficiëntie (prestatie) van een vismigratievoorziening. Het verloop van de intrek van gemerkte individuen door de tijd is hieronder gevisualiseerd door een cumulatieve intrek curve, waarbij de 'Prestatie Index' een kwantitatieve maat geeft voor de efficiëntie waarmee passage door de vismigratievoorziening plaatsvindt.

Efficiëntie vismigratievoorziening
Bij gemaal Loohoek passeerde in een periode van 20 dagen 12,6% van de gemerkte glasalen de vismigratievoorziening. Dit is beduidend minder dan tijdens de Passagecheck in 2018, waarbij 45,2% passeerde in een periode van 18 dagen (ten opzichte van 12,1% in 2021). De Prestatie Index voor glasaal bij Loohoek (PI dag 20: 6,4%) laat zien dat de vismigratievoorziening een beperkt aandeel van de aanwezige glasaal liet passeren over een periode van weken. Bij gemaal De Noord passeerde in een periode van 20 dagen 75,0% van de gemerkte glasalen. De Prestatie Index voor glasaal bij De Noord (PI dag 20: 46,3 laat zien dat de vismigratievoorziening een substantieel aandeel van de aanwezige glasaal liet passeren binnen een afzienbare tijd, waarvan het grootste aandeel in de eerste 10 dagen.



Aanbod en jaarlijkse intrek

	Glasaal		Driedoornige stekelbaars	
	Loohoek	De Noord	Loohoek	De Noord
Momentaanbod (gemiddeld/dag)	18.960	17.396	32	127
Aanbod onderzoeksperiode	34.491 (± 29.779-41.646)	40.661 (± 39.189-42.279)	Onbekend	Onbekend
Seizoensaanbod	33.152 (± 24.091-46.878)	69.202 (± 38.439-114.521)	220 (± 52-274)	763 (± 196-1.086)

Met het uiteindelijke intrekpercentage van 13,8% en een geschat seizoensaanbod van 33.152 (±24.091-46.878) glasalen, hebben 4.575 (±3.325-6.469) glasalen kunnen intrekken in 2021 bij Loohoek. Met het uiteindelijke intrekpercentage van 83,6% en een geschat seizoensaanbod van 69.202 (±38.439-114.521) glasalen, hebben 57.853 (±32.135-95.740) glasalen kunnen intrekken in 2021 bij De Noord.

Er is op beide locaties geen intrek waargenomen van gemerkte driedoornige stekelbaarzen, mede veroorzaakt door het beperkte aanbod en daardoor lage aantal gemerkte vissen.

Aanbevelingen ter optimalisatie vismigratievoorzieningen

Voor beide vismigratievoorzieningen zijn knelpunten vastgesteld en worden aanbevelingen gedaan om migratie van glasaal en driedoornige stekelbaars op deze locaties te verbeteren. De kennis uit deze studie kan worden gebruikt voor verdere optimalisatie van vismigratievoorzieningen voor deze soorten op de overgang van zout naar zoet. De belangrijkste aanbevelingen per locatie zijn:

Loohoek

- Optimalisatie, structurele monitoring van werking en stroomsnelheid, en duurzame instandhouding van de lokstroom en de stroming in de hevelleiding. Het plaatsen van flowmeters is hierbij cruciaal.
- Onderzoeken of met het toepassen van een minder onderhoudsgevoelige vacuümpomp langdurige periodes van storing kunnen worden voorkomen.
- Optimalisatie inrichting verzamelbak en uitstroom om effectief functioneren te kunnen blijven garanderen voor de langere termijn. Een belangrijke optimalisatieslag hierbij is de toepassing van een grotere, vierkante uitstroombuis tussen de verzamelbak en de spuikoker.
- Een weinig ingrijpende en mitigerende maatregel om de intrek van glasaal effectiever te laten verlopen kan het gericht toepassen van substraat in de uitstroombuis zijn.

De Noord

- Optimalisatie van de afstelling van de stroomsnelheid van de lokstroom.
- In stand houden van het huidige natuurlijke substraat of het duurzaam aanbrengen van kunstmatig substraat in de uitstroomkoker. Glasalen gebruiken het huidige substraat effectief als ‘stepping stones’ om de verzamelbak te betreden.

1 Inleiding

Aal (*Anguilla anguilla*) is een bedreigde vissoort waarvoor in Europees verband maatregelen worden genomen (IUCN: Critically Endangered, Pike et al., 2020). Migratiebarrières zijn één van de oorzaken voor de sterke achteruitgang, aangezien jonge aal (glasaal) vanuit zee naar de opgroeigebieden in het zoete water trekt. Uit eerdere metingen is gebleken dat de gemalen Loohoek (Waterschap Scheldestromen, 2017; Ploegaert et al., 2018; Kooiman & Ploegaert, 2020) en De Noord (Kooiman & Ploegaert, 2020) belangrijke intrekpunten zijn voor glasaal langs de Oosterschelde. Mede voor aal zijn daarom vismigratievoorzieningen aangebracht. Ook voor de migrerende vorm van de driedoornige stekelbaars (*Gasterosteus aculeatus*) zijn goed werkende vispassages cruciaal om hun paaigebieden in het achterland te bereiken. Hoewel de focus van het meeste onderzoek op de aal ligt vanwege de bedreigde status, zijn deze vispassages net zo belangrijk voor de driedoornige stekelbaars. In dit onderzoek zijn daarom beide soorten meegenomen.

Waterschap Scheldestromen wil in beeld brengen hoe efficiënt de vismigratievoorzieningen bij de gemalen Loohoek en De Noord de migratie vanuit de Oosterschelde naar de achterliggende polders faciliteren. Hiervoor is een merk-terugvangst onderzoek opgezet waarmee inzicht verkregen wordt in het gebruik van de vismigratievoorzieningen door glasaal en driedoornige stekelbaars en hoe efficiënt deze soorten kunnen passeren van de voorzijde van het gemaal, door de vismigratievoorziening, naar het achterland. Hierbij zijn glasaal en driedoornige stekelbaars gemerkt met een fluorescente VIE-tag (Visible Implant Elastomer). Terugvangst geeft inzicht in het actuele aanbod van deze soorten, welk aandeel de vismigratievoorziening weet te passeren en hoeveel tijd hiervoor nodig is. Op deze wijze worden knel- en verbeterpunten inzichtelijk gemaakt, maar wordt ook duidelijker welke elementen van de voorziening effectief werken. Met deze kennis kunnen vismigratievoorzieningen worden geoptimaliseerd.

Loohoek

De vismigratievoorziening bij Loohoek bestaat in essentie uit twee visveilige pompen, waarbij één pomp de zoete lokstroom voorziet en één pomp de vis die op deze lokstroom afkomt naar het zoete water transporteert. In 2018 is onderzoek gedaan naar aanbod en intrek bij gemaal Loohoek middels het Passagecheck concept (Ploegaert et al., 2018). Samengevat kan op basis van de Passagecheck in 2018 worden gesteld dat de vismigratievoorziening een substantieel aandeel van de aanwezige glasaal liet passeren binnen een aanzienlijke tijd (18 dagen). De data liet echter ook zien dat glasaal en driedoornige stekelbaars gefragmenteerd passeerde en dagen aanwezig kon zijn alvorens gebruik te maken van de vismigratievoorziening. Motivatie van individuen tot migreren speelt hierbij uiteraard een rol, maar het liet ook zien dat dit kunstwerk nog steeds een knelpunt vormde. Voor een uitgebreide beschrijving van de resultaten, (mogelijke) knelpunten en aanbevelingen van de Passagecheck in 2018 wordt verwezen naar Bijlage 4.

De Noord

In 2019 is bij gemaal De Noord een vergelijkbare passage gerealiseerd. Op basis van de resultaten uit de voorgenoemde studie bij Loohoek (Ploegaert et al., 2018) is hier voor een vierkante uitstroombuis gekozen waardoor de uitstroomsnelheid van de zoetere laag afneemt en glasaal meer rechtstreeks kan migreren. Het is echter nog niet bekend hoe efficiënt de aanwezige glasaal gebruik maakt van deze vismigratievoorziening en of er daarbij nog verbeterpunten zijn.

Door het gelijktijdig onderzoeken van Loohoek en De Noord wordt inzichtelijk wat het effect is van de optimalisatieslag die, op basis van de bevindingen bij Loohoek in 2018 (Ploegaert et al., 2018), is toegepast bij de aanleg van de vispassage bij De Noord in 2019. Daarnaast biedt het gelijktijdig onderzoeken van de dicht bij elkaar gelegen gemalen De Noord en Loohoek mogelijkheden voor de uitvoering van aanvullende onderzoeken, zoals het verkrijgen van inzicht in de populatiedynamiek aan de voorzijde van intrekpunten, de uitwisseling tussen intrekpunten, en de invloed van fysieke conditie van glasalen en het habitatgebruik in de geul aan de voorzijde van gemaal De Noord op het passagesucces. In deze rapportage ligt de focus op de beoordeling van de efficiëntie van de vismigratievoorzieningen met behulp van de zogenaamde prestatie index (PI). De aanvullende onderzoeken zullen worden uitgewerkt in aparte publicaties.

Onderzoeksvragen

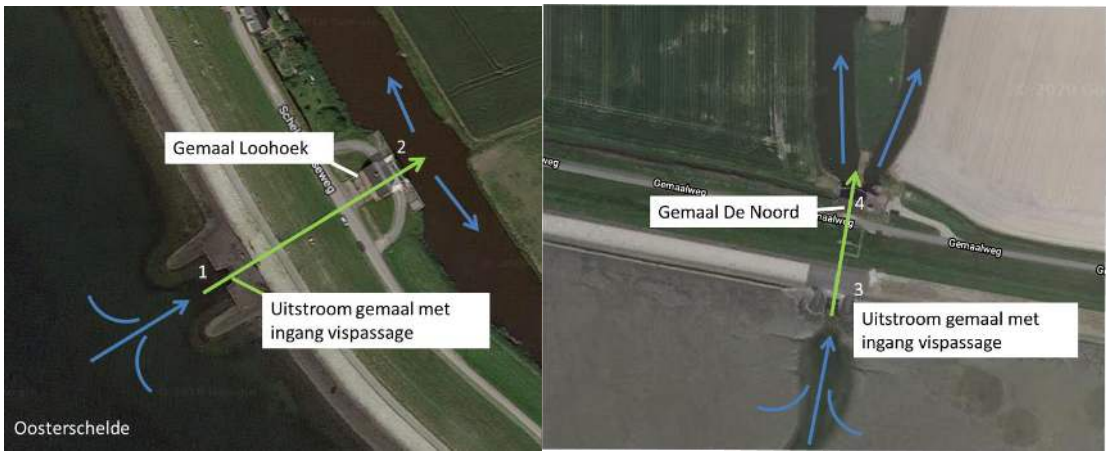
- Wat is het moment- en seizoensaanbod van glasaal en driedoornige stekelbaars aan de zeezijde van de vismigratievoorziening?
- Welk aandeel van glasaal en driedoornige stekelbaars maakt gebruik van de vismigratievoorziening?
- Hoeveel tijd hebben glasaal en driedoornige stekelbaars nodig om de vismigratievoorziening te passeren?
- Wat is de verblijftijd van glasaal en driedoornige stekelbaars aan de voorzijde van de vismigratievoorziening?

2 Methode

2.1 Onderzoekslocaties

Het onderzoek vindt plaats bij de gemalen Loohoek en De Noord op Tholen (Figuur 2.1). Op deze locaties wordt brak water uit het achterland afgevoerd naar de Oosterschelde. Zowel gemaal Loohoek als gemaal De Noord zijn voorzien van een vismigratievoorziening waarvan de ingang zich voor de uitstroomopening van de spuikoker bevindt. Beide migratievoorzieningen zijn gesitueerd in een primaire kering en verbinden het zoete tot brakke polderwater met het zoute buitenwater. Glasaal en driedoornige stekelbaars trekken vanuit de Oosterschelde richting de zoete polder. Beide migratievoorzieningen zijn ontworpen om, naast glasaal, ook driedoornige stekelbaars en andere soorten te faciliteren om te migreren. Om deze reden is er gekozen voor dubbele hevelpassages (en niet voor eenvoudige aalgoot die alleen glasaal faciliteert). Beide passages werken met een lokstroom vanuit het polderwater welke in een bak uitstroomt aan de zoute kant. Verder zijn de passages echter verschillend in ontwerp en werkingsmechanisme (zie paragraaf 2.1.1 en 2.1.2). In Figuur 2.2 is een bovenaanzicht weergegeven van beide gemalen en hun directe omgeving, waarbij de migratiebeweging van zoutwater naar zoetwater is gevisualiseerd met pijlen.

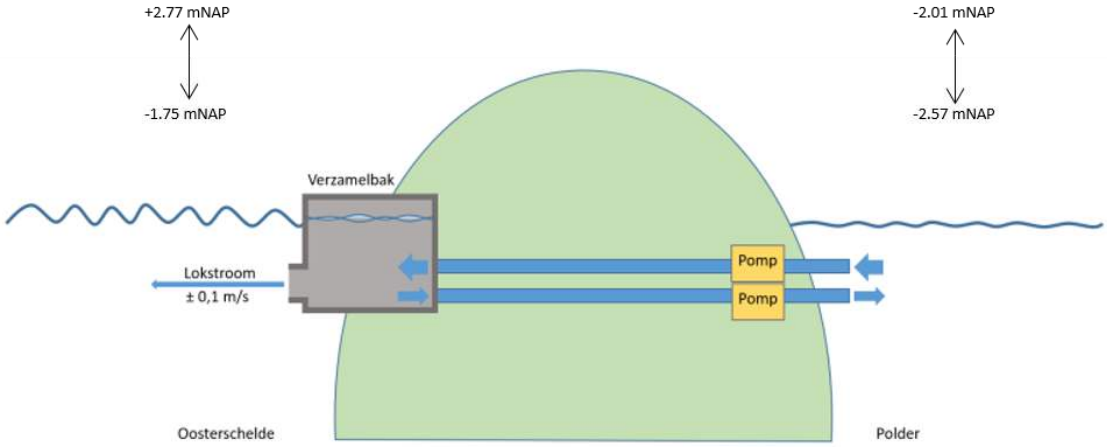




Figuur 2.2: Bovenaanzicht van de onderzoekslocaties Loohoek en De Noord waarbij de migratiebeweging van zoutwater naar zoetwater is gevisualiseerd met pijlen. De stroomrichting van het water is tegenovergesteld; van polder naar Oosterschelde. Weergegeven zijn: (1) Uitstroom gemaal Loohoek met ingang vispassage, (2) uitgang vispassage Loohoek aan polderzijde, (3) Uitstroom gemaal De Noord met ingang vispassage, (4) uitgang vispassage De Noord aan polderzijde.

2.1.1 Vismigratievoorziening Loohoek

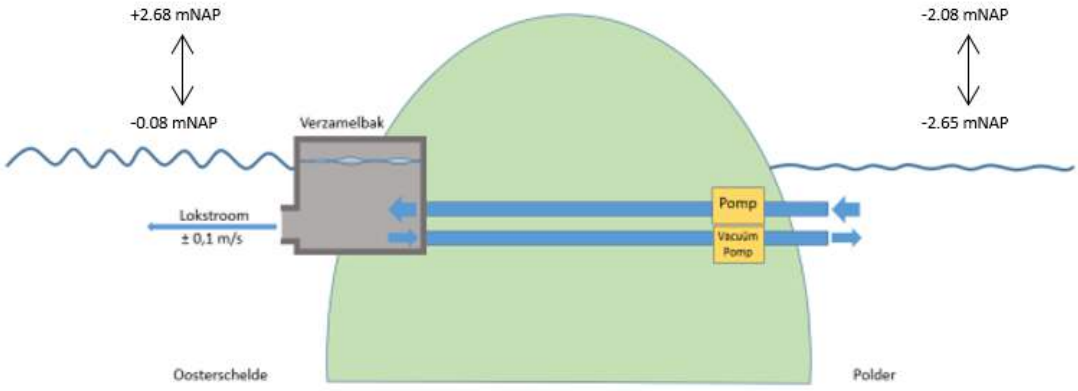
De vismigratievoorziening bij gemaal Loohoek bestaat in essentie uit twee visveilige pompen, waarbij één pomp de zoete lokstroom voorziet en één pomp de vis die op deze lokstroom afkomt naar het zoete water transporteert (Figuur 2.3). Vissen worden vanuit de Oosterschelde in eerste instantie aangetrokken door de grote hoeveelheid polderwater die het gemaal uitslaat. Bij Loohoek is gedurende de periode waarin de kruisnetbevissingen plaatsvonden bijna iedere dag sprake geweest van afvoer. Gemiddeld genomen werd er tijdens deze periode 5,6 m^3/min uitgemalen. Dit is aanzienlijk minder dan bij De Noord, waar in diezelfde periode 54,4 m^3/min werd uitgemalen. Voor een overzicht van de hoeveelheid afvoer per dag en per pomp wordt verwezen naar Figuur 3.15, waar wordt ingegaan op de invloed van het bemalingsregime op de onderzoeksresultaten. De veel kleinere maar in tegenstelling tot het gemaal continue draaiende lokstroom van de vismigratievoorziening moet zo veel mogelijk vis de vismigratievoorziening inlokken en zo naar de polder laten migreren. Naast de uitstroom van het gemaal is een grote betonnen bak gemaakt, dit is de verzamelbak. Deze verzamelbak staat via een ronde buis in verbinding met de uitstroom van het gemaal en daarmee de Oosterschelde. De verzamelbak wordt continue voorzien van een lokstroom vanuit de polder. Met het debiet van de visveilige pomp die deze lokstroom voorziet wordt gestuurd op een lokstroom van ± 0,1 meter per seconde vanuit de verzamelbak. Bij deze stroomsnelheden kan vis gemakkelijk tegen de lokstroom in de verzamelbak in zwemmen. Het lokstroomdebiet wordt bij Loohoek nog niet geregistreerd, maar ligt naar verwachting in dezelfde orde van grootte als dat bij De Noord (ongeveer 1,3 m^3/min). Vanuit de verzamelbak wordt door een tweede visveilige pomp continue water vanuit de verzamelbak naar de polder geheveld. Het debiet van deze pomp is kleiner dan het debiet van lokstroompomp, zodat er netto altijd meer water naar de verzamelbak wordt gepompt en er zodoende altijd een lokstroom vanuit de verzamelbak naar buiten heerst. De vis in de verzamelbak komt in theorie na verloop van tijd in de zone waarin het water wordt weggezogen. De uitgang van deze leiding is aan de polderzijde ± 20 meter van het gemaal geplaatst om de kans te verkleinen dat de overgehevelde vis in het gemaal terecht komt.



Figuur 2.3: Schematische weergave van de vismigratievoorziening bij Loohoek (dwarsdoorsnede dijk). De waterstanden geven de minimale en maximale in-en uitstroompeilen t.o.v. NAP weer in de periode maart t/m mei 2021.

2.1.2 Vismigratievoorziening De Noord

De vismigratievoorziening bij gemaal De Noord is in essentie een verbeterde versie van de vismigratievoorziening bij gemaal Loohoek (Figuur 2.4). Deze passage is gerealiseerd in 2019. Op basis van de resultaten van de Passagecheck in 2018 bij Loohoek (Ploegaert et al., 2018) is hier gekozen voor een vierkante uitstroombuis tussen de verzamelbak en de spuikoker (in plaats van een ronde), waardoor de uitstroomsnelheid van de zoetere waterlaag afneemt (grotere diameter en groter oppervlak waarover zoet water uitstroomt aan de bovenzijde) en glasaal meer rechtstreeks kan migreren. Daarnaast wordt bij deze passage gebruik gemaakt van een vacuümpomp in de hevelbuis en flowmeters in de lokstroom- en hevelleiding tussen de polder en de verzamelbak. Het gebruik van een vacuümpomp heeft meerdere voordelen. Het zoute water komt niet in contact met de pomp, waardoor minder snel slijtage optreedt. Ook hoeven vissen de pomp niet te passeren onderweg naar de polder, wat de kans op verwonding/sterfte verkleint. Daarnaast zorgt de vacuümpomp ervoor dat de hevelleiding altijd volledig met water is gevuld, en er geen lucht in de leiding kan gaan zitten met drukverlies als gevolg. Met behulp van de flowmeters kan worden gezorgd voor een continu corrigerend lokstroomdebiet, waarbij wordt gestuurd op een netto uitstroomsnelheid van ± 0,1 meter per seconde. Gemiddeld genomen ligt het lokstroomdebiet op ongeveer 1,3 m³/min.



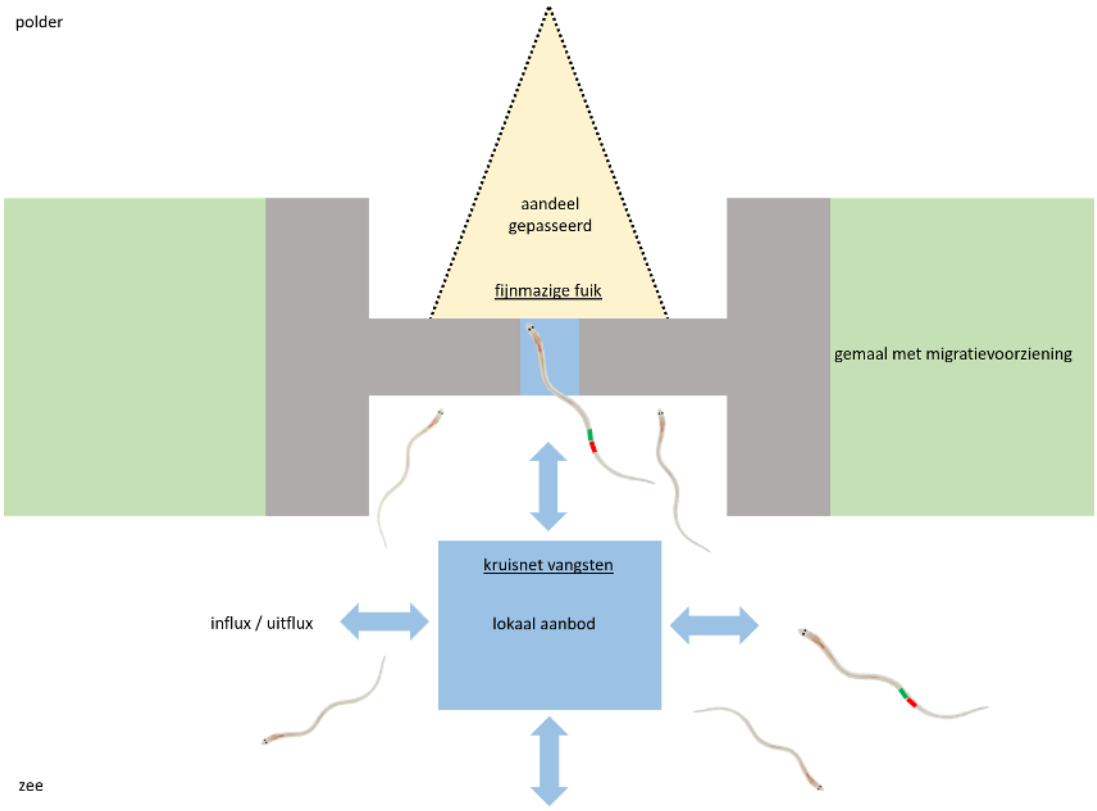
Figuur 2.4: Schematische weergave van de vismigratievoorziening bij De Noord (dwarsdoorsnede dijk). De waterstanden geven de minimale en maximale in-en uitstroompeilen t.o.v. NAP weer in de periode maart t/m mei 2021.

Bij De Noord wordt polderwater afgevoerd uit twee verschillende peilvakken. Pomp 1 bemaalt het westelijke peilvak (Stavenisse) en pomp 2 en 3 het oostelijke peilvak (Sint-Maartensdijk). Pomp 1 maalt uit in de spuikoker waar de ingang naar de vispassage zich bevindt. Vanuit de verzamelbak loopt naar beide peilvakken een hevelleiding, waarvan er altijd maar een tegelijk wordt gebruikt. Gedurende het intrekseizoen van 2021 werd de hevelleiding gebruikt die is aangesloten op het oostelijke peilvak (Sint-Maartensdijk). Gedurende de periode waarin de kruisnetbevissingen plaatsvonden is bij De Noord iedere dag sprake geweest van afvoer van polderwater. Gemiddeld genomen werd er tijdens deze periode 54,5 m^3/min uitgemalen. Dit is aanzienlijk meer dan bij Loohoek, waar in diezelfde periode 5,6 m^3/min werd uitgemalen. Voor een overzicht van de hoeveelheid afvoer per dag en per pomp wordt verwezen naar Figuur 3.15, waar wordt ingegaan op de invloed van het bemalingsregime op de onderzoeksresultaten.

2.2 Onderzoeksopzet

2.2.1 Merk-terugvangst experiment

Om inzicht te verkrijgen in de efficiëntie waarmee glasaal en driedoornige stekelbaars de vismigratievoorziening passeren vanuit zee naar het zoete(re)/ brakke achterland wordt een merk-terugvangst experiment uitgevoerd. Dit experiment geeft inzicht in het actuele aanbod van deze soorten, welk aandeel van dit aanbod de vismigratievoorziening weet te passeren en hoeveel tijd hiervoor nodig is. Om de migratiebeweging van glasaal en driedoornige stekelbaars door de migratievoorziening te kunnen volgen in ruimte en tijd zijn vissen gemerkt met een VIE-tag (Visible Implant Elastomer), een fluorescente markering die onderhuids aangebracht wordt en relatief eenvoudig te herkennen is bij terugvangst. Ten behoeve van het merken zijn met kruisnetten glasalen en driedoornige stekelbaarzen gevangen aan de zeezijde, voor de uitstroomopening van beide gemalen. Gemerkte vissen zijn op de vangstlocatie weer teruggeplaatst. Alle vissen die gebruik hebben gemaakt van de vismigratievoorziening tijdens dit experiment zijn aan de achterzijde (polder) opgevangen in een fijnmazige fuik welke de uitgang van de vismigratievoorziening volledig afsloot. Aan de voorzijde is gedurende het experiment iedere nacht gevist met kruisnetten, waarbij alle gemerkte en ongemerkte vissen zijn geregistreerd. De verhouding tussen gemerkte en ongemerkte vissen is gebruikt om een schatting te maken van de lokale populatiegrootte. Deze populatieschattingen zijn een goede maatstaf voor het actuele aanbod van glasaal. Het experiment is schematisch weergegeven in Figuur 2.5.



Figuur 2.5: Schematische weergave van het merk-terugvangst experiment, waarbij het lokale aanbod (dynamisch als gevolg van in- en uitflux van glasaal en driedoornige stekelbaars) aan de zeezijde van de vismigratievoorziening wordt bepaald met behulp van de verhouding tussen gemerkte en ongemerkte dieren in de kruisnetvangsten.

Populatieschattingen

In beginsel zijn de populatieschattingen per dag berekend ervan uitgaande dat: De verhouding tussen het totaal aantal gemerkte dieren (M) en de populatiegrootte (N) gelijk is aan de verhouding tussen het aantal in de kruisnetten teruggevangen gemerkte dieren (R) en het aantal in de kruisnetten gevangen dieren dat gecontroleerd is op de aanwezigheid van gemerkte dieren (C). De populatiegrootte (N) is berekend aan de hand van onderstaande formule.

$$N = \frac{(M+1)(C+1)}{R+1} - 1$$

Deze formule is een variatie op de eenvoudige Petersen methode, voorgesteld door Seber (1982) om overschatting van de daadwerkelijke populatiegrootte te voorkomen (Krebs, 2014). Deze formule gaat uit van een gesloten populatie waarbij er geen in- en uitflux is. Toepassing in deze situatie is daarom alleen mogelijk voor een beperkte tijdsperiode met zeer intensieve terugvangstinspanning (in dit geval 11 dagen kruisnetvissen), tenzij aan het eind van een langere periode waarin terugvangstinspanning plaatsvindt (in dit geval respectievelijk 27 en 36 dagen fuikvissen bij Loohoek en De Noord) nagenoeg geen terugvangst van gemerkte dieren meer wordt gegenereerd. Dit laatste was het geval binnen onderhavig onderzoek, waardoor het mogelijk was om naast het momentaanbod ook het aanbod tijdens de gehele onderzoeksperiode te benaderen. Wanneer aan het eind van de periode waarin terugvangstinspanning plaatsvindt nagenoeg geen terugvangst van gemerkte dieren meer wordt gegenereerd én gedurende het volledige intrekseizoen vangstinspanning wordt geleverd, kan ook het totale seizoensaanbod

worden benaderd met behulp van deze formule. Binnen onderhavig onderzoek was dit mogelijk, doordat zowel Loohoek als De Noord deel uitmaken van de structurele glasaalmonitoring binnen het project 'Samen voor de Aal Zeeland' (Kooiman & Ploegaert, 2020). Voor meer informatie over de berekening van het aanbod tijdens de onderzoeksperiode en het seizoensaanbod wordt verwezen naar (Bijlage 5).

Betrouwbaarheid
Om de betrouwbaarheid van de populatieschattingen inzichtelijk te maken is het betrouwbaarheidsinterval van 95% berekend. Er zijn verschillende manieren om een betrouwbaarheidsinterval te berekenen rondom Petersen populatieschattingen. Het is afhankelijk van de data welke manier van toepassing is. Seber (1982) heeft hiervoor een algemene richtlijn opgesteld (Krebs, 2014). Voor meer informatie over het berekenen van de betrouwbaarheid rondom de populatieschattingen wordt verwezen naar Bijlage 6.

2.2.2 Merkprocedure

Binnen de onderzoeksopzet is gekozen voor het merken met VIE-tags. VIE-taggen is het onderhuids inbrengen van een gekleurd elastomeer waardoor het herkennen van een groep mogelijk is. Alvorens glasalen werden gemerkt werd anesthesie toegepast. Het geheel van handelingen valt onder de Wet op de dierproeven (Wod) en heeft plaatgevonden onder projectnummer RAVON-21-02. Binnen een uur na het vangen werden glasalen per tien exemplaren overgebracht naar een doorluchte bak met 0,2 mg/l acetyleugenol, dit om stress te minimaliseren en de handeling nauwkeuriger uit te kunnen voeren. Het verblijf was maximaal 5 minuten. Driedoornige stekelbaarzen zijn goed te fixeren waardoor geen anesthesie nodig was. Op een schone, bevochtigde, werktafel werd met een 0,3 mm naald onder een flauwe hoek 3-5 mm van een vloeibaar elastomeer in het weefsel onder de dermis ingebracht. Bij glasaal gebeurt dit ventraal en in het abdomen (op 5-25 mm achter de anus) en bij driedoornige stekelbaars in het doorzichtige deel van de staartwortel (Figuur 2.6). Na het inbrengen hard het elastomeer uit, maar blijft flexibel. Per merkmoment kregen de dieren een unieke kleurcode mee, zodat bij terugvangst duidelijk was wanneer de dieren de eerste keer waren gevangen. Na het merken worden vissen overgebracht naar een doorluchte bak met schoon water. Hierin verblijven ze totdat alle vissen weer gebruikelijke activiteit en normaal zwemgedrag vertonen, waarna ze worden teruggeplaatst. Voor het geheel aan handelingen rond het merken worden de aanwijzingen van Imbert et al. (2007) opgevolgd. Zij hebben de toepassing van VIE-tags op glasaal uitvoerig geëvalueerd. Tijdens eerder onderzoek naar de efficiëntie van vispassages in Scheveningen (Griffioen et al. 2018), Zeeland (Ploegaert et al. 2018; Ploegaert, 2020) en langs de IJsselmeerkust (Schiphouwer & Kooiman, 2020) is deze werkwijze succesvol toegepast.



Figuur 2.6: Gemerkte glasaal en driedoornige stekelbaars (Foto's: Sanne Ploegaert).

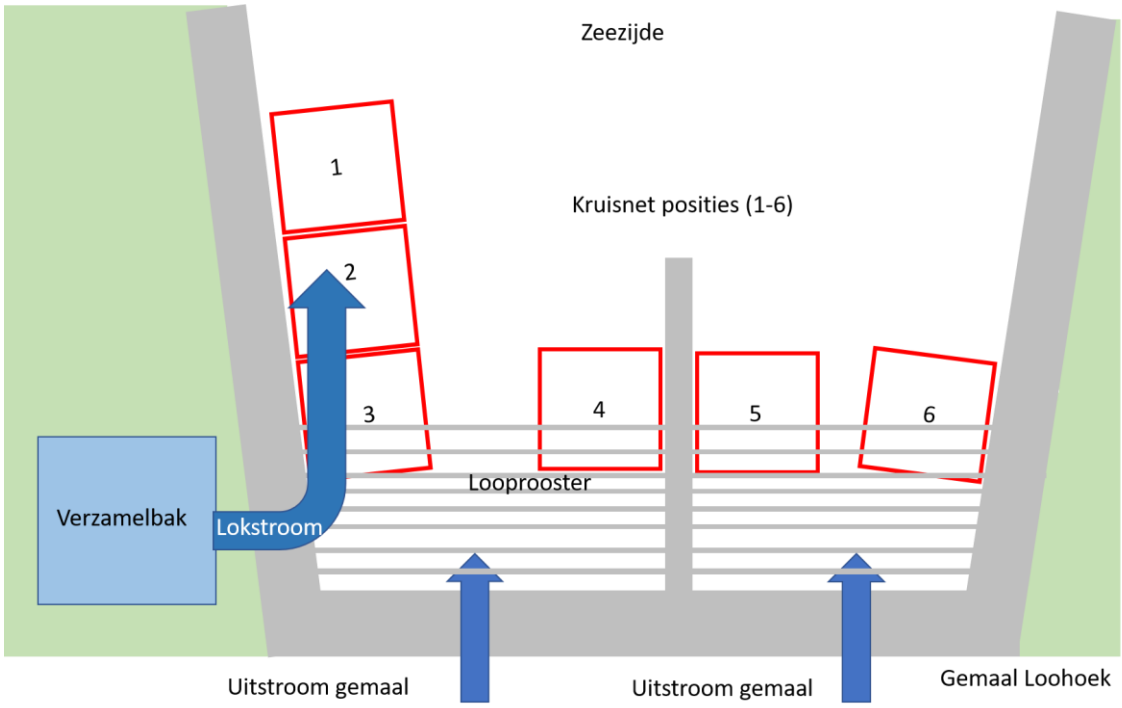
In Tabel 2.1 zijn de gemerkte aantallen glasalen en driedoornige stekelbaarzen per locatie en kleurcode weergegeven. Deze vissen zijn afkomstig uit de kruisnetvangsten tijdens de eerste dagen van het onderzoek. Vanwege extreme weersomstandigheden (storm en kou) was het streefaantal van 300 glasalen per locatie per kleurcode niet altijd haalbaar door moeilijke omstandigheden om te vissen met het kruisnet en waarschijnlijk ook verminderde activiteit van glasaal.

Tabel 2.1: Aantallen glasaal en driedoornige stekelbaars voorzien van een VIE-tag bij Loohoek en De Noord in de kleuren geel, blauw-oranje, roze-roze, blauw, roze, rood, oranje, groen-groen en groen. De glasalen en driedoornige stekelbaarzen zijn afkomstig uit kruisnetvangsten.

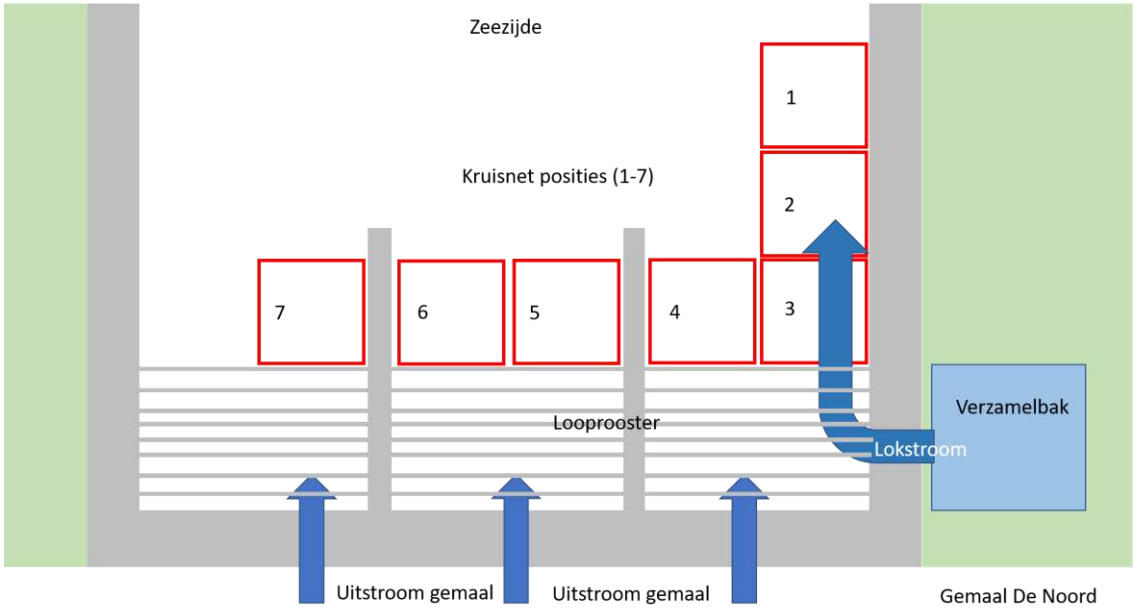
Locatie		Geel	Blauw-Oranje	Roze-Roze	Blauw	Roze	Rood	Oranje	Groen-Groen	Groen	Totaal
Loohoek	Glasaal	300	300	300							900
	Driedoornige stekelbaars	8			4	2					14
De Noord	Glasaal						300	253	266		819
	Driedoornige stekelbaars						13	16		6	35

2.2.3 Vangst en terugvangst zeezijde

Tijdens het experiment is er gedurende elf avonden met kruisnetten van 1x1 meter gevist aan de voorzijde van de gemalen. De bevissingen vonden plaats vanaf een half uur na zonsondergang en bij opkomend getij, waarbij gedurende ongeveer 3 uur werd gevist. Afhankelijk van de capaciteit, de grootte van de vangst, en de waterstand is er met minimaal 4 tot maximaal 6 kruisnetten gevist. Dit gebeurde volgens vast protocol, waarbij de kruisnetten 5 minuten rusten op de bodem alvorens te worden opgehaald. Kruisnetten hadden vaste posities in de spuikokers om lokale verschillen in dichtheden te kunnen meten (Figuur 2.7 en 2.8). Alle vissoorten aanwezig in de vangst zijn per trek geteld en geregistreerd. De vangst is met een UV-lamp gecontroleerd op gemerkte glasalen en driedoornige stekelbaarzen. Alle vissen zijn rechtstreeks vanuit de kruisnetten in grote beluchte bakken geplaatst met ruim water en zijn na de meetreeks van ongeveer 3 uur vrijgelaten aan de voorzijde van het gemaal. Bij het kruisnetten waren vele vrijwilligers betrokken waardoor intensief meten over een langere periode mogelijk was. Een groot deel van de vrijwilligers was al actief voor de kruisnetmonitoring van Samen voor de Aal Zeeland (Kooiman & Ploegaert, 2020).



Figuur 2.7: Schematische weergave van gemaal Loohoek en de lokstroom van de vismigratievoorziening waarbij de kruisnetposities zijn aangegeven met nummers 1-6.



Figuur 2.8: Schematische weergave van gemaal De Noord en de lokstroom van de vismigratievoorziening waarbij de kruisnetposities zijn aangegeven met nummers 1-7.



Figuur 2.9: De vangst wordt gecontroleerd door vrijwilliger Mark Ploegaert waarbij gemerkte en ongemerkte vissen in aparte beluchte bakken worden geplaatst (foto: Sanne Ploegaert).

2.2.4 Vangst intrek vismigratievoorziening

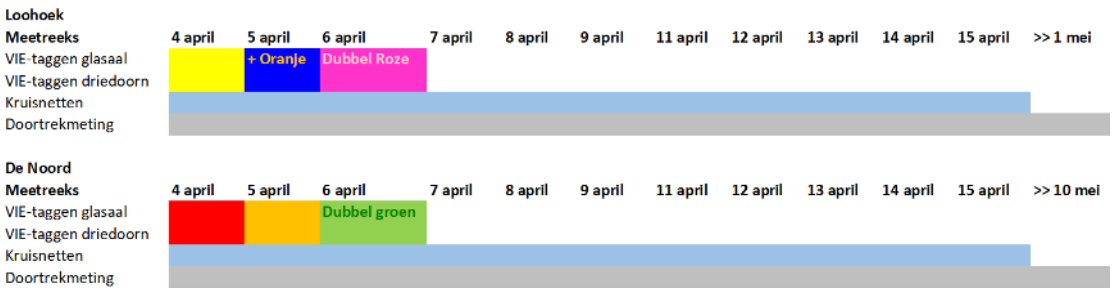
De uitstroombuizen van de vismigratievoorzieningen zijn aan de polderzijde volledig afgesloten met een fijnmazige fuik. Op deze wijze kon alle gepasseerde vis worden geregistreerd. Alle vissoorten in de fuikvangst zijn geteld en geregistreerd. Glasalen en driedoornige stekelbaarzen zijn door middel van een UV-lamp gecontroleerd op de aanwezigheid van een VIE-tag. Glasalen zijn geteld, maar niet gewogen. Het wegen van glasaal om het gevangen aantal te bepalen bleek eerder te onnauwkeurig (Ploegaert et al., 2018). Voor het bepalen van de passage efficiëntie, waarbij het gevangen aantal grote invloed heeft op de uiteindelijke uitkomsten, worden glasalen daarom geteld.



Figuur 2.10: Het controleren van de fuikvangst op gemerkte vissen met een UV-lamp door beroepsvisser Peter Kooistra (foto: Sanne Ploegaert).

2.3 Onderzoeksperiode

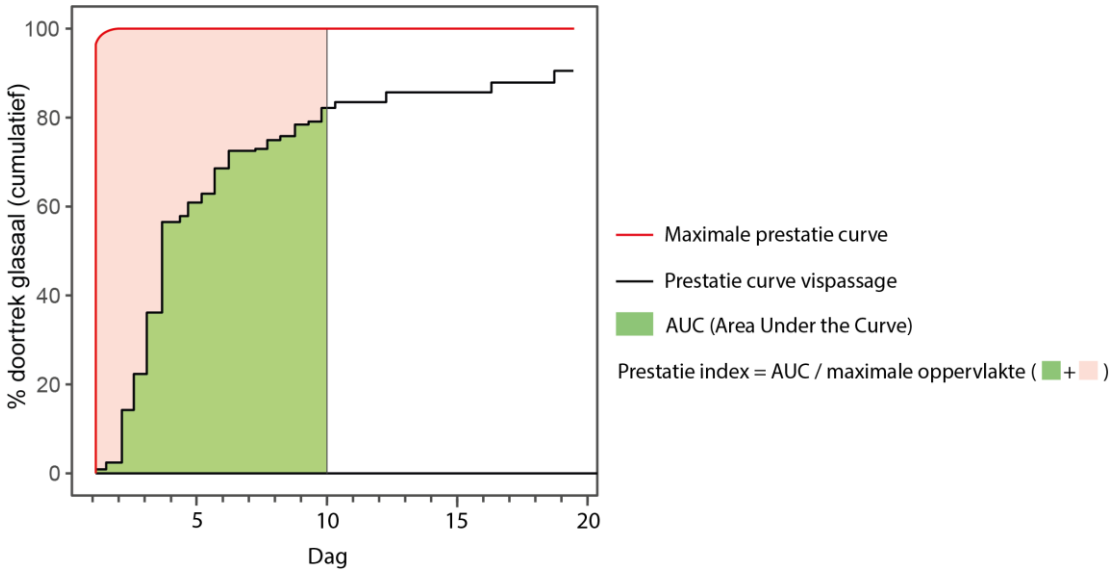
Het onderzoek is uitgevoerd in de maanden april en mei tijdens de jaarlijkse piek van de glasaalintrek. De kans op vangst van voldoende glasaal voor de uitvoering is hiermee zo hoog mogelijk. Het onderzoek is op beide locaties uitgevoerd volgens dezelfde opzet (Figuur 2.11). Op beide locaties zijn glasalen en driedoornige stekelbaarzen gedurende de eerste drie dagen voorzien van een VIE-tag, waarbij iedere dag een andere kleur of kleurcombinatie is gebruikt. Aan de zeezijde van de vismigratievoorziening is gedurende 11 dagen gevist met kruisnetten. Ook de intrekmetingen met fijnmazig fuik hebben gedurende deze periode plaatsgevonden, maar zijn langer doorgezet om ook vertraagde intrek van gemerkte vissen te registreren. In totaal is bij Loohoek 27 dagen met een fuik gevist en bij De Noord 36 dagen.



Figuur 2.11: Onderzoeksperiode voor Loohoek en De Noord met planning VIE-taggen inclusief gebruikte kleurcombinaties, kruisnetvisserij en intrekmetingen met fijnmazige fuik.

2.4 Prestatie index

De prestatie van een vispassage wordt niet bepaald door de absolute hoeveelheid vis die passeert, maar door het aandeel van het aanbod dat weet te passeren en hoeveel tijd hiervoor nodig is. Deze prestatie werd in Ploegaert (2018) gevisualiseerd door een cumulatieve curve van het intrekpercentage (aandeel gemerkte individuen dat gepasseerd is op een gegeven tijdstip). Het beoordelen en vergelijken van het verloop van deze 'prestatiecurves' is echter deels kwalitatief. Om deze prestatiecurves van verschillende typen vismigratievoorzieningen te kunnen kwantificeren en daarmee goed te kunnen vergelijken is een prestatie index berekend. Hiervoor is de AUC (Area Under the Curve), oftewel oppervlak onder de grafiek van de 'prestatiecurve' bepaald (Figuur 2.12). Deze prestatie index is vervolgens weer te geven als percentage van de maximaal haalbare prestatie (Prestatie Index (%) = (AUC/MaxAUC)*100). Het aandeel van het aanbod dat is gepasseerd op een gegeven tijdstip en de tijd die nodig was voor vissen om te passeren zijn in dit getal meegenomen. Dit betekent dat twee verschillende vispassages met beiden een intrekpercentage van 30% op dag 10, toch een andere prestatie index kunnen hebben. Bij vispassage 1 is op dag 4 bijvoorbeeld al 30% gepasseerd en vlakt de intrek af, terwijl vispassage 2 gefragmenteerd vissen laat passeren en over 10 dagen geleidelijk naar de 30% intrek stijgt, waardoor de prestatie index lager uitvalt. In dit onderzoek bepalen we de prestatie index na 5, 10 en 14 dagen voor de intrek van glasaal en driedoornige stekelbaars. De prestatie index is voor het eerst toegepast bij het testen van de vispassages bij de gemalen Schore en Poppekinderen in 2019 (Ploegaert, 2020).



Figuur 2.12: Prestatiecurve (% intrek (cumulatief)) vismigratievoorziening uitgezet tegen maximale prestatiecurve. Met de oppervlakte onder de curve (AUC) wordt de Prestatie Index bepaald als percentage van het maximaal haalbare resultaat. In deze index wordt het aandeel gemerkte vissen dat weet te passeren en de snelheid waarmee dit gebeurt meegenomen.

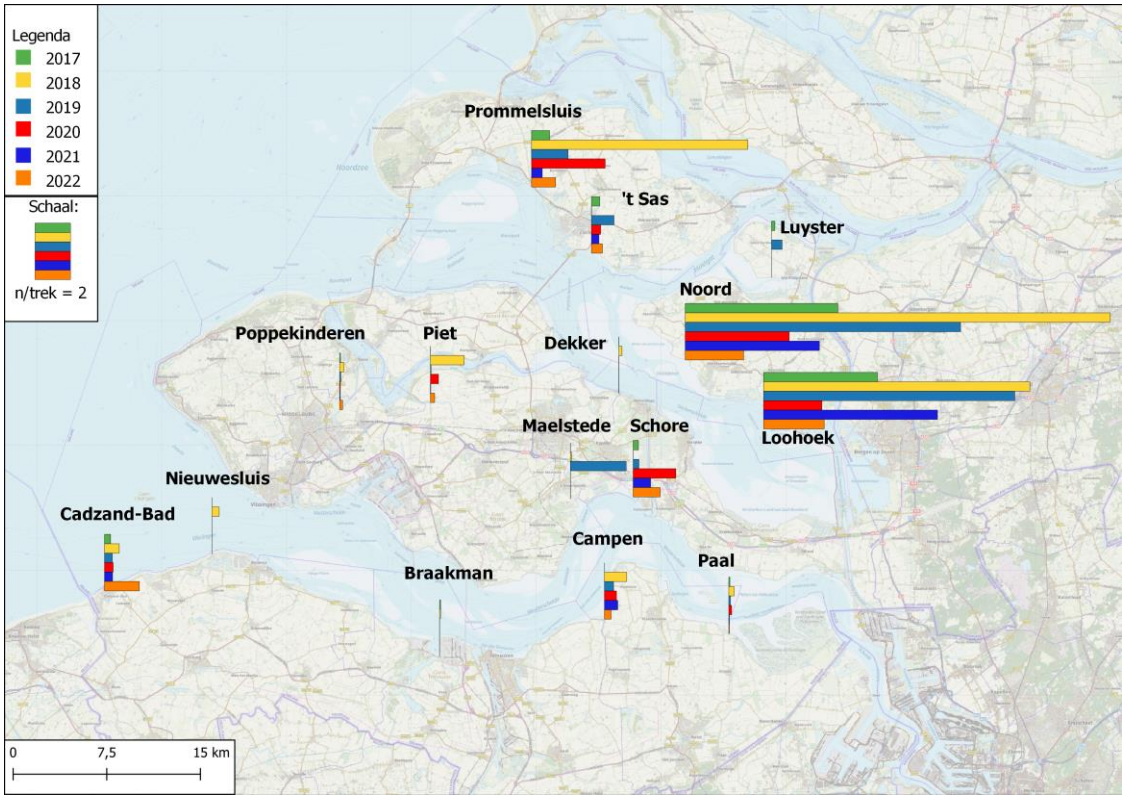
3 Efficiëntie passages & duiding resultaten

3.1 Lokkende werking vispassages

Het evalueren van de efficiëntie van een vismigratievoorziening begint bij de lokkende werking van het intrekpunt en de vismigratievoorziening. Het gemaal heeft met het grote debiet een lokkende werking op grotere afstand. Dit noemen we de hoofd lokstroom. Ter plaatse van het gemaal en de vispassage heeft de lokstroom van de vispassage een zeer lokale werking. Dit noemen we de lokale lokstroom. In eerste instantie geeft het relatieve aanbod bij een intrekpunt een indicatie van de lokkende werking van de hoofdlokstroom van het gemaal.

3.1.1 Glasaal

In Figuur 3.1 zijn de dichtheden van glasaal bij intrekpunten en migratieknelpunten in de provincie Zeeland weergegeven voor de jaren 2017-2022 (Peters et al., 2022, *concept*). Hier is te zien dat bij de locaties Loohoek en De Noord een relatief hoge dichtheid van glasaal werd gemeten. De lokkende werking van deze intrekpunten is op regionale schaal zeer hoog te noemen. Deze lokkende werking wordt grotendeels bepaald door de afvoer van de gemalen en de 'geur' van het afvoerwater op deze locaties. Ook lokale omstandigheden in de Oosterschelde kunnen een rol spelen. Zo hebben de aanwezige natuurlijk ondiepten en slikken, minder sterke getijdewerking en het relatief zoete water van Tholen mogelijke een positief effect op de dichtheid van glasaal bij Loohoek en De Noord. De lokkende werking van gemalen geeft nog geen indicatie van de efficiëntie van de vismigratievoorziening zelf.

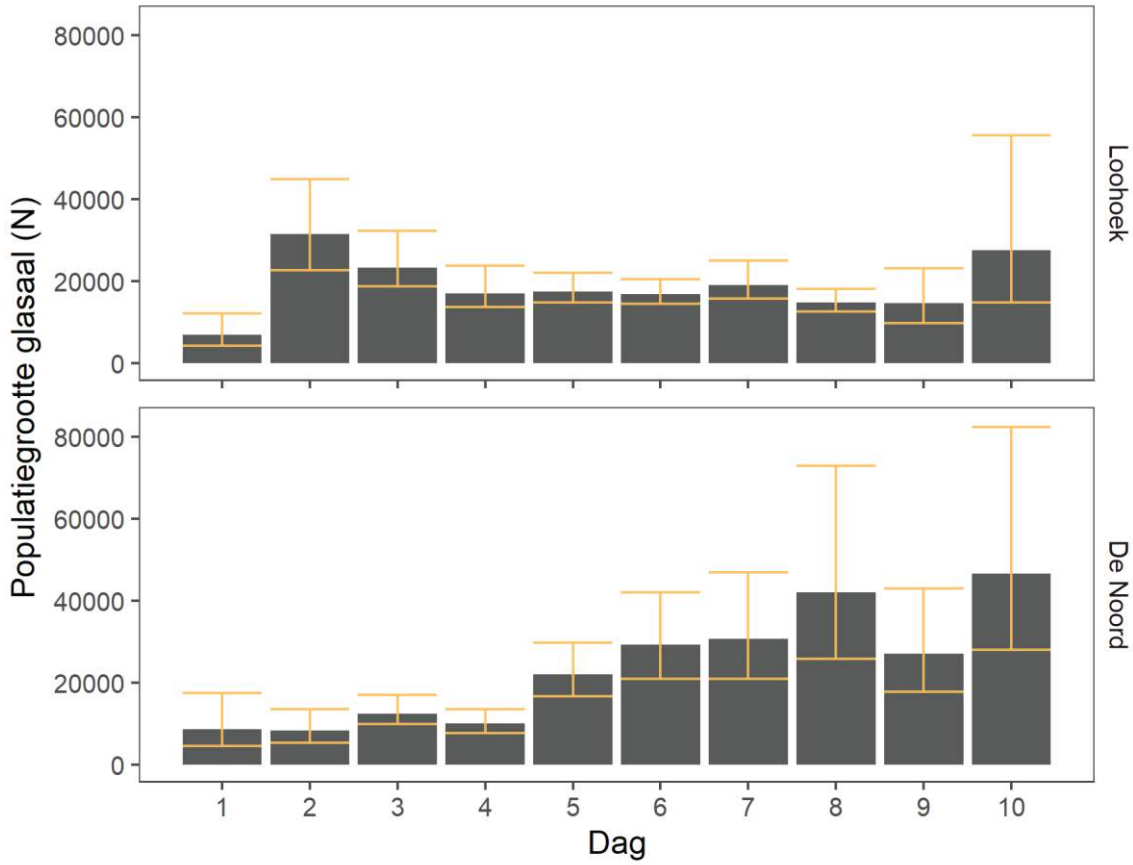


Figuur 3.1: Ruimtelijke weergave gemiddeld aantal glasalen per trek in 2017-2022 op de 15 locaties van 'Samen voor de Aal' Zeeland met meerdere glasalen (>5). (Let op: waardes geven de gemeten lokale dichtheid, deze zijn niet direct te interpreteren als lokaal aanbod).

De monitoringsgegevens van 'Samen voor de Aal Zeeland' geven geen inzicht in het absolute lokale aanbod, maar een relatieve indicatie van het lokale aanbod op basis van gemeten dichtheden, welke sterk afhankelijk zijn van lokale omstandigheden (Kooiman & Ploegaert, 2020). De populatieschattingen die zijn berekend aan de hand van de verhouding tussen met het kruisnet of de fuik (terug)gevangen gemerkte en ongemerkte glasalen geven daarentegen wel een betrouwbaar inzicht in het lokale momentaanbod, het aanbod tijdens de hele onderzoeksperiode en het totale seizoensaanbod.

Momentaanbod

De populatieschattingen (gebaseerd op de meest betrouwbare schattingen) laten zien dat er op beide locaties dichtheden glasaal aanwezig zijn in dezelfde orde grootte, namelijk gemiddeld 18.960 per dag bij Loohoek (gebaseerd op dag 1-10) en gemiddeld 17.396 per dag bij De Noord (gebaseerd op dag 1-7) (Figuur 3.2).



Figuur 3.2: Populatieschattingen per dag voor glasaal, gebaseerd op een merk-terugvangst model bij gemaal Loohoek en gemaal De Noord. De foutbalken geven de 95% betrouwbaarheidsinterval weer.

Bij De Noord zijn dag 8-10 niet meegenomen in de berekening van het gemiddelde aanbod. Vooral op dag 8 en 10 is de betrouwbaarheidsinterval verhoudingsgewijs erg groot. De populatieschattingen worden hier waarschijnlijk onnauwkeurig, doordat een groot deel van de gemerkte vissen inmiddels via de vispassage is ingetrokken (Figuur 3.12) in combinatie met de aankomst van nieuwe glasaal. De stijging in de populatieschattingen op dag 5 t/m 7 bij De Noord lijkt wel overeen te komen met de werkelijkheid. De dichtheid van glasaal in de kruisnetvangst was namelijk op dag 6 en 7 beduidend hoger dan in de omliggende dagen (Figuur B2.8 in Bijlage

2). Daarnaast was de intrek van glasaal op deze dagen ook beduidend hoger dan in de omliggende dagen (Figuur B3.6 in Bijlage 3; meting 15-18). Mogelijk wordt dit veroorzaakt door een verhoging in de migratie-activiteit van glasaal als gevolg van verbeterde weersomstandigheden na een korte periode van winterse omstandigheden (storm en kou) (Figuur 3.3). Een andere mogelijkheid is de aankomst van een aanzienlijk aantal nieuwe glasalen bij het intrekpunt. Als dit het geval is lijkt het in ieder geval geen verband te houden met de afvoer van het gemaal (Paragraaf 3.4).



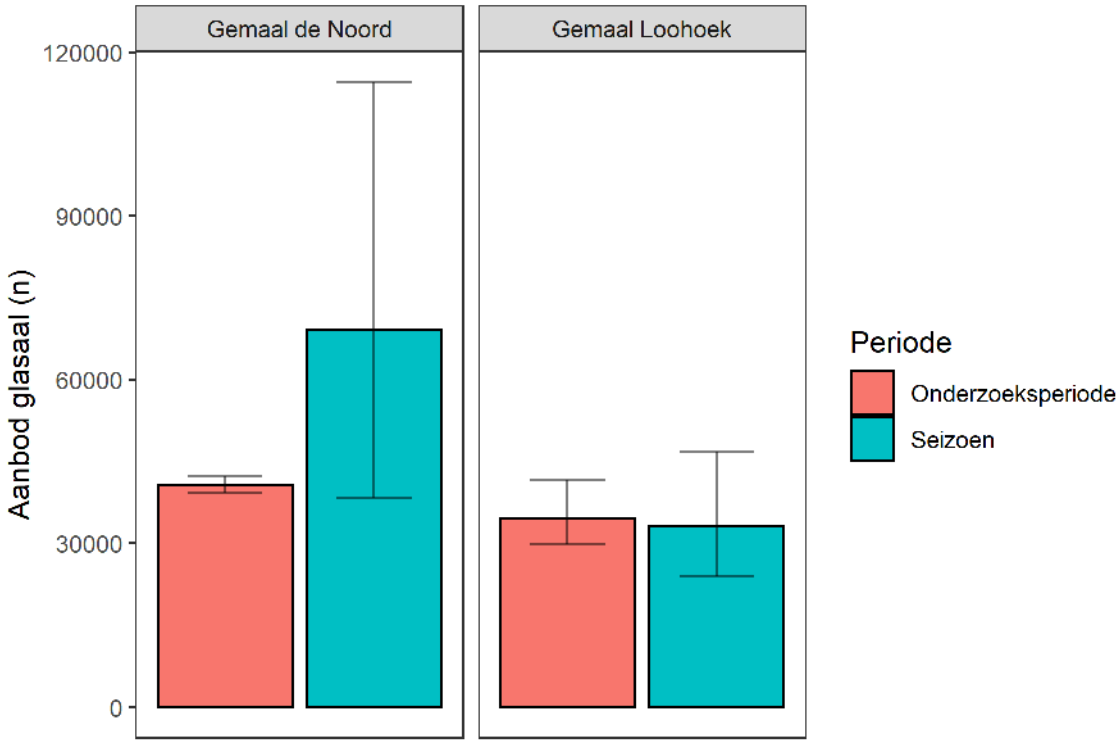
Figuur 3.3: Winterse omstandigheden tijdens de eerste dagen van het onderzoek resulteerden waarschijnlijk in de verminderde activiteit van glasaal (foto: Sanne Ploegaert).

Aanbod onderzoeksperiode

Het totaalaanbod per locatie tijdens de gehele onderzoeksperiode is benaderd op basis van de (terug)vangsten met de fuik. Bij Loohoek gaat het om de periode van 25 maart t/m 1 mei en bij De Noord gaat het om de periode van 25 maart t/m 10 mei. Het totaalaanbod in deze periodes is berekend op 34.491 (±29.779-41.646) glasalen bij Loohoek en 40.661 (±39.189-42.279) glasalen bij De Noord, waarbij de betrouwbaarheid door de hoge terugvangsten zeer groot is (Figuur 3.4).

Seizoensaanbod

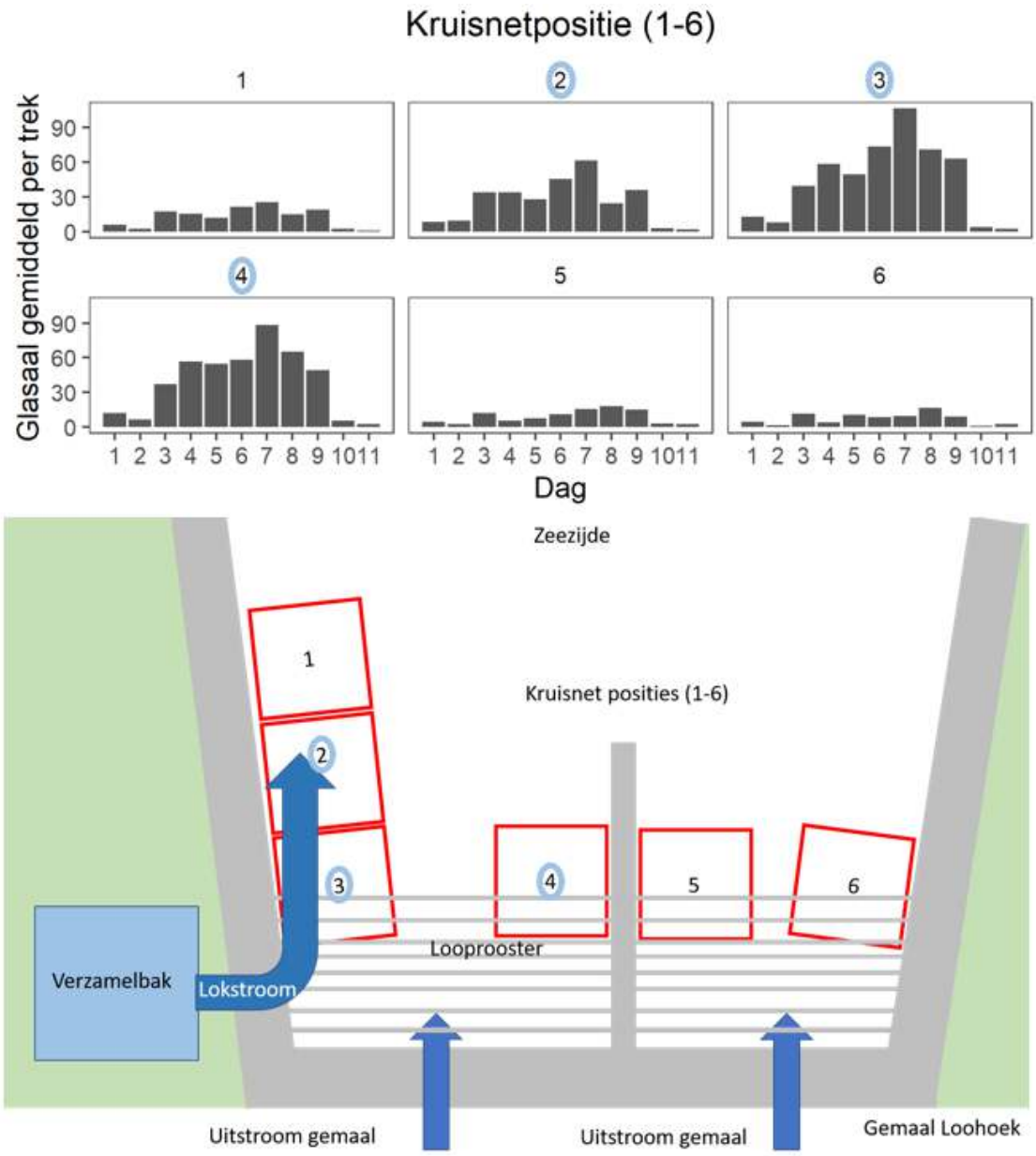
De (terug)vangsten binnen de glasaalmonitoring van ‘Samen voor de Aal’, bieden inzicht in het gehele seizoen van half februari t/m half juni. Het totale seizoensaanbod wordt op basis hiervan ingeschat op 33.152 (±24.091-46.878) glasalen bij Loohoek en 69.202 (±38.439-114.521) glasalen bij De Noord, waarbij de betrouwbaarheid relatief laag is ten opzichte van het aanbod tijdens de onderzoeksperiode vanwege de verhoudingsgewijs lage terugvangsten (Figuur 3.4). Bij Loohoek ligt het aanbod in de onderzoeksperiode in dezelfde orde van grootte als het gehele seizoen. Bij De Noord is het aanbod tijdens het gehele seizoen daarentegen waarschijnlijk aanzienlijk groter dan tijdens de onderzoekperiode.



Figuur 3.4: Inschatting van het totale aanbod per locatie tijdens de onderzoeksperiode (25 maart t/m 1 mei bij Loohoek en 10 mei bij De Noord) op basis van de fuikvangsten, en tijdens het gehele seizoen (half februari t/m half juni) op basis van de kruisnetvangsten binnen 'Samen voor de Aal'. Foutbalken geven de 95% betrouwbaarheidsinterval weer (Normal Approximation bij aanbod onderzoeksperiode en Poisson bij seizoensaanbod).

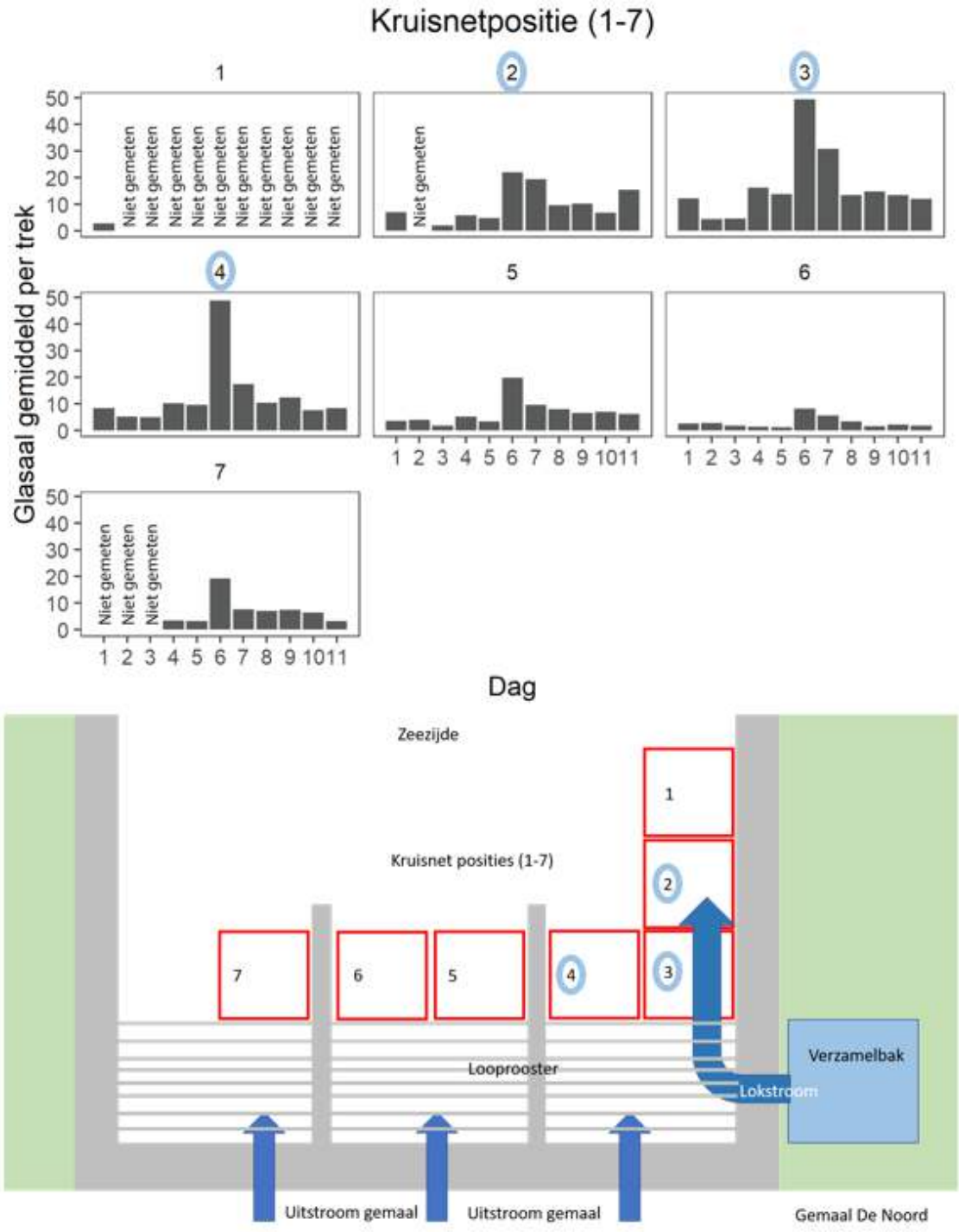
Aantrekkingskracht lokstroom vispassage

Wanneer we op een kleinere schaal kijken naar de verdeling van glasaal over de locatie, namelijk de spuikokers van het gemaal en de ingang van de vismigratievoorziening, dan zien we bij Loohoek dat direct voor de uitstroomopening van de vismigratievoorziening (positie 3) en in het verlengde hiervan aan de tegenovergestelde zijde van de spuikoker (positie 4) de hoogste dichtheden worden gevangen (Figuur 3.5). Daarnaast werden ook op de positie direct benedenstrooms van de positie die voor de uitstroomopening van vispassage ligt (positie 2) wat hogere dichtheden gemeten, zij het in mindere mate dan posities 3 en 4. Deze resultaten wijzen op een effectieve lokstroom vanuit de vismigratievoorziening.



Figuur 3.5: Met het kruisnet gevangen glasalen op de verschillende kruisnetposities (nummers 1-6) bij gemaal Loohoek weergegeven als gemiddelde per trek.

Bij gemaal De Noord zien we in grote lijnen hetzelfde beeld (Figuur 3.6). Hier werden de hoogste dichtheden ook gemeten direct voor de uitstroomopening van de vismigratievoorziening (positie 3) en in het verlengde hiervan aan de tegenovergestelde zijde van de spuikoker (positie 4). Net als bij Loohoek werden bij de Noord op de positie direct benedenstrooms van positie die voor de uitstroomopening van vispassage ligt (positie 2) ook wat hogere dichtheden gemeten, zij het in mindere mate dan posities 3 en 4. Deze resultaten wijzen op een effectieve lokstroom vanuit de vismigratievoorziening.

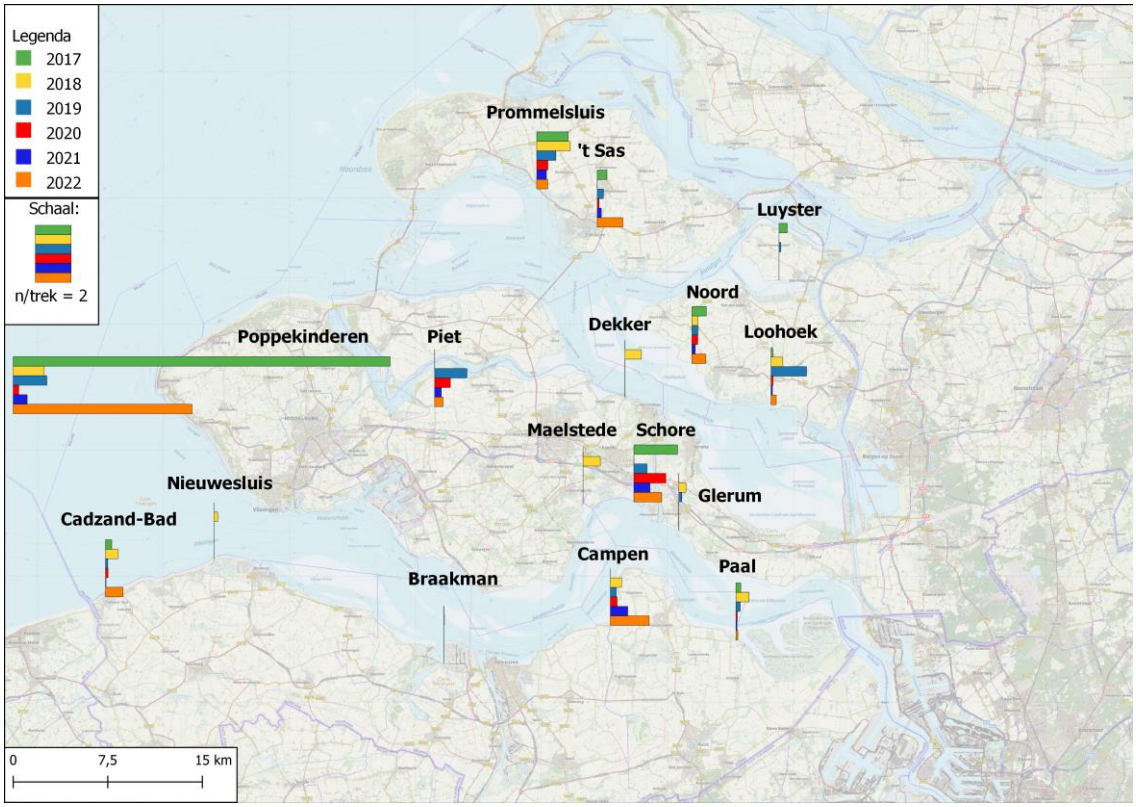


Figuur 3.6: Met het kruisnet gevangen glasalen op de verschillende kruisnetposities (nummers 1-7) bij gemaal De Noord weergegeven als gemiddelde per trek.

3.1.2 Driedoornige stekelbaars

In Figuur 3.7 zijn de dichtheden van driedoornige stekelbaars bij intrekpunten en migratieknelpunten in de provincie Zeeland weergegeven voor de jaren 2017-2022 (Peters et al., 2022, *concept*). Hier is te zien dat beide locaties over het algemeen genomen op regionale schaal een relatief lage dichtheid van driedoornige stekelbaars kennen. Enerzijds kan dit wijzen op een relatief lage lokkende werking voor driedoornige stekelbaars van deze locaties op regionale schaal, tevens kunnen relatief kleine lokale populaties hier een rol spelen (lokale in- en uittrek).

Deze lokkende werking wordt grotendeels bepaald door de grootte van de afvoer van de gemalen en samenstelling (zoutgehalte voor driedoornige stekelbaars) van het afvoerwater op deze locaties.

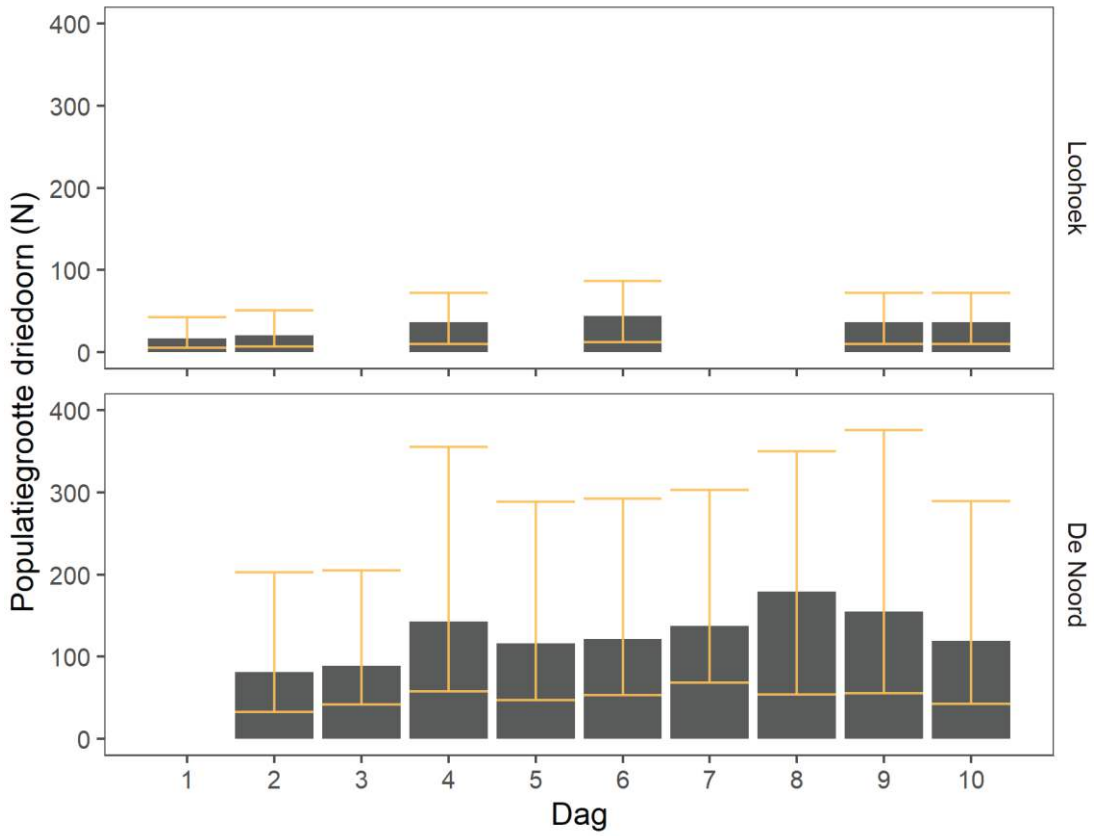


Figuur 3.7: Ruimtelijke weergave gemiddeld aantal driedoornige stekelbaarzen per trek in 2017-2022 op de locaties van 'Samen voor de Aal' in Zeeland (Let op: waardes geven de gemeten lokale dichtheid, deze zijn niet direct te interpreteren als lokaal aanbod).

De monitoringsgegevens van 'Samen voor de Aal Zeeland' geven geen inzicht in het absolute lokale aanbod, maar een relatieve indicatie van het lokale aanbod op basis van gemeten dichtheden, welke sterk afhankelijk zijn van lokale omstandigheden (Kooiman & Ploegaert, 2020). De populatieschattingen die zijn berekend aan de hand van de verhouding tussen met het kruisnet (terug)gevangen gemerkte en ongemerkte driedoornige geven daarentegen wel een betrouwbaar inzicht in het lokale moment- en seizoensaanbod. Voor driedoornige stekelbaars kan het aanbod tijdens de hele onderzoeksperiode niet worden berekend, vanwege het ontbreken van terugvangsten met de fuik.

Momentaanbod

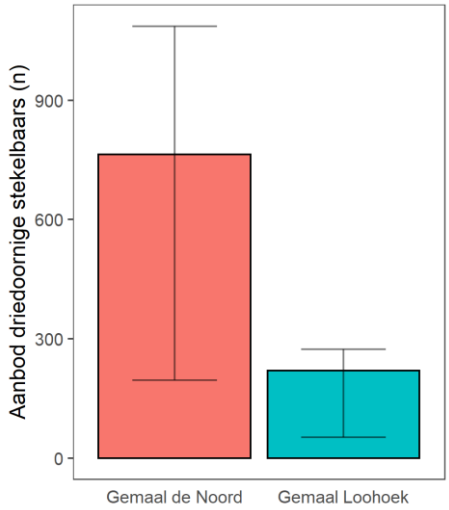
De populatieschattingen laten zien dat er bij De Noord hogere dichtheden driedoornige stekelbaars aanwezig zijn dan bij Loohoek, namelijk gemiddeld 127 (gebaseerd op dag 2-10) bij De Noord en 32 (gebaseerd op dag 1-2, 4, 6 en 9-10) bij Loohoek (Figuur 3.8).



Figuur 3.8: Populatieschattingen per dag voor driedoornige stekelbaars, gebaseerd op een merk-terugvangst model bij gemaal Loohoek en gemaal De Noord. De foutbalken geven de 95% betrouwbaarheidsinterval weer. Op sommige dagen kon geen populatieschatting worden gedaan vanwege het ontbreken van gemerkte individuen in de kruisnetvangst.

Seizoensaanbod

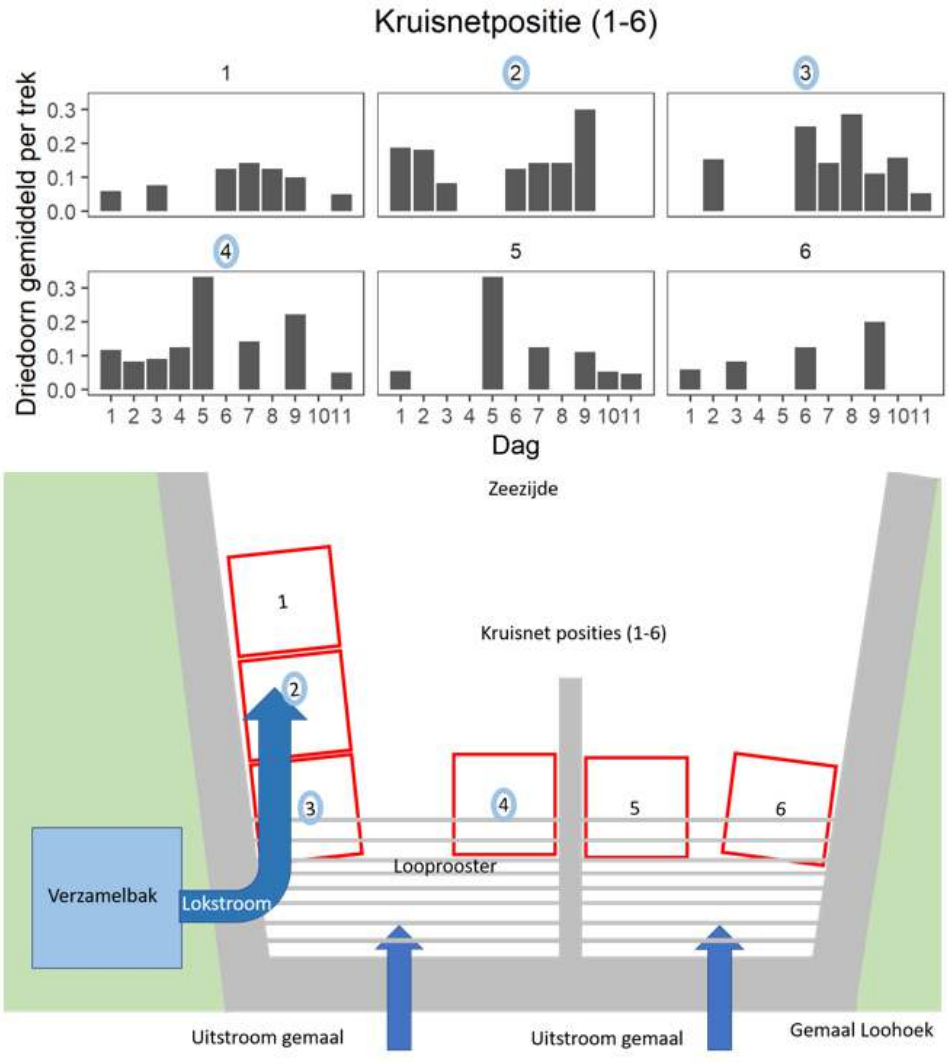
De (terug)vangsten binnen de glasaalmonitoring van 'Samen voor de Aal', bieden inzicht in het gehele seizoen van half februari t/m half juni. Het totale seizoensaanbod wordt op basis hiervan ingeschat op ongeveer 220 (±52-274) driedoornige stekelbaarzen bij Loohoek en 760 763 (±196-1.086) driedoornige stekelbaarzen bij De Noord (Figuur 3.9). De ruime betrouwbaarheidsinterval is het gevolg van lage terugvangsten.



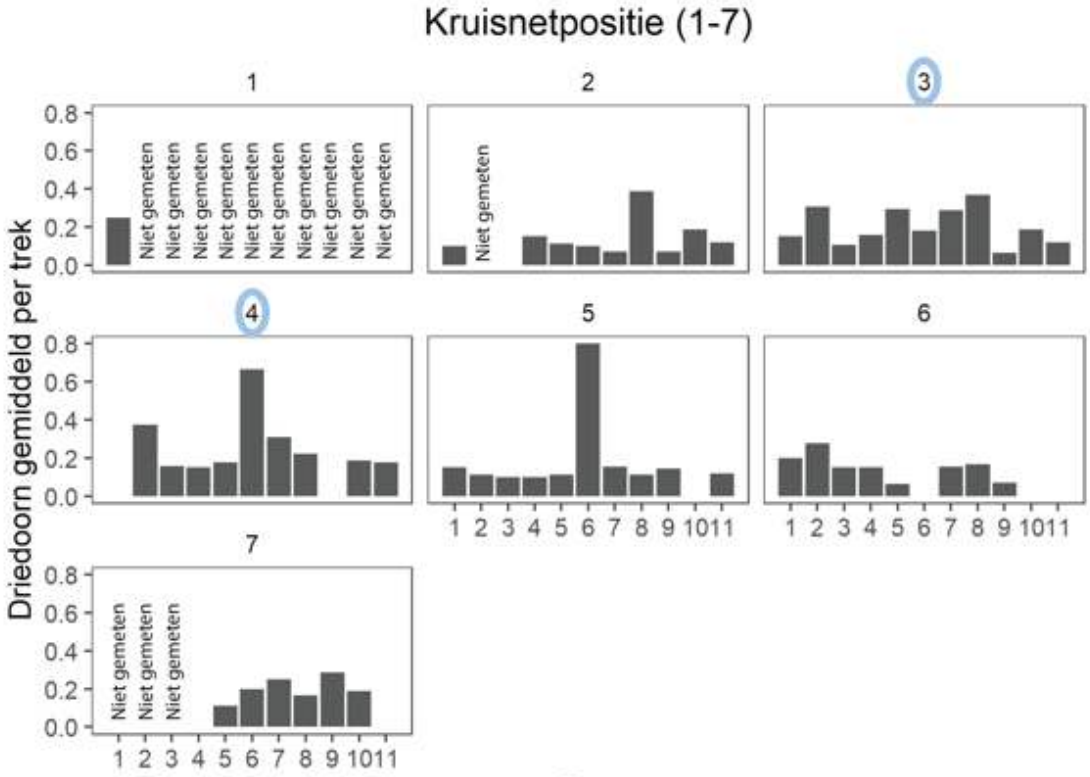
Figuur 3.9: Inschatting van het totale seizoensaanbod (half februari t/m half juni) per locatie op basis van de kruisnetvangsten binnen 'Samen voor de Aal'. Foutbalken geven de 95% Poisson betrouwbaarheidsinterval weer.

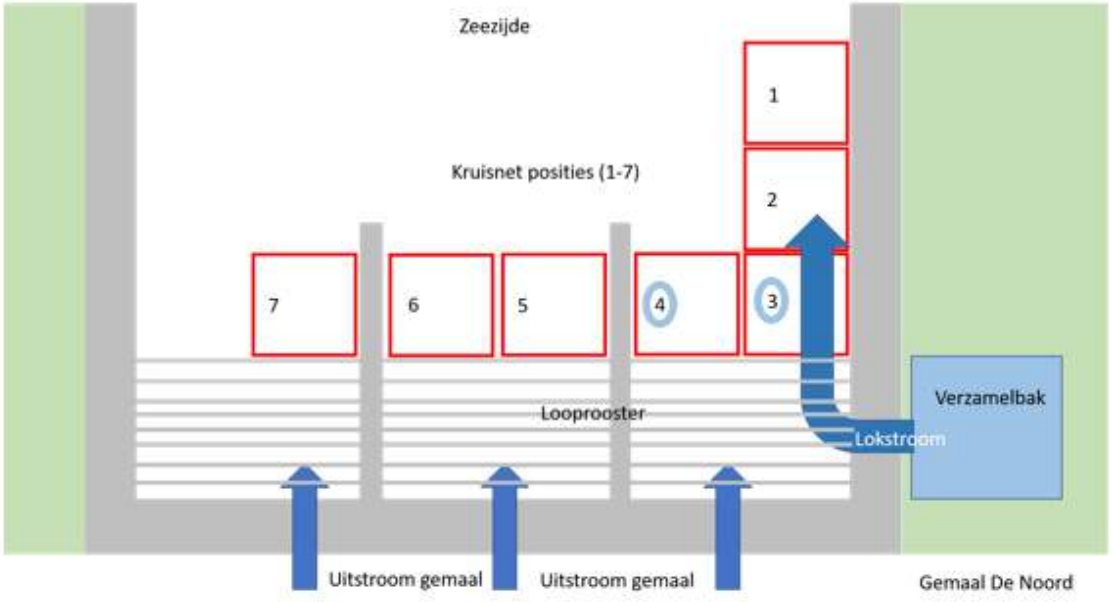
Aantrekkingskracht lokstroom vispassage

Wanneer op een kleinere schaal wordt gekeken naar de verdeling van driedoornige stekelbaars over de locatie, namelijk de spuikokers van het gemaal en de ingang van de vismigratievoorziening dan komt dit in grote lijnen overeen met het beeld voor glasaal. Bij Loohoek werden de hoogste dichtheden driedoornige stekelbaarzen ook gemeten direct voor de uitstroomopening van de vismigratievoorziening (positie 3) en in het verlengde hiervan aan de tegenovergestelde zijde van de spuikoker (positie 4). Daarnaast werden op de positie direct benedenstrooms van positie die voor de uitstroomopening van vispassage ligt (positie 2) ook wat hogere dichtheden gemeten, zij het in mindere mate dan posities 3 en 4 (Figuur 3.10). Ook bij De Noord zien we bij driedoornige stekelbaars grotendeels een vergelijkbaar beeld als bij glasaal. Hier werden de hoogste dichtheden driedoornige stekelbaarzen over het algemeen gemeten direct voor de uitstroomopening van de vismigratievoorziening (positie 3) en in het verlengde hiervan aan de tegenovergestelde zijde van de spuikoker (positie 4) (Figuur 3.11). Deze resultaten wijzen op een effectieve lokstroom vanuit beide vismigratievoorzieningen. Het contrast met de overige posities is bij driedoornige stekelbaars echter veel minder groot dan bij glasaal. Dit genuanceerde beeld is waarschijnlijk grotendeels het gevolg van de zeer lage vangsten van driedoornige stekelbaars in vergelijking met glasaal.



Figuur 3.10: Met het kruisnet gevangen driedoornige stekelbaarzen op de verschillende kruisnetposities (nummers 1-6) bij gemaal Loohoek weergegeven als gemiddelde per trek.





Figuur 3.11: Met het kruisnet gevangen driedoornige stekelbaarzen op de verschillende kruisnetposities (nummers 1-7) bij gemaal De Noord weergegeven als gemiddelde per trek.

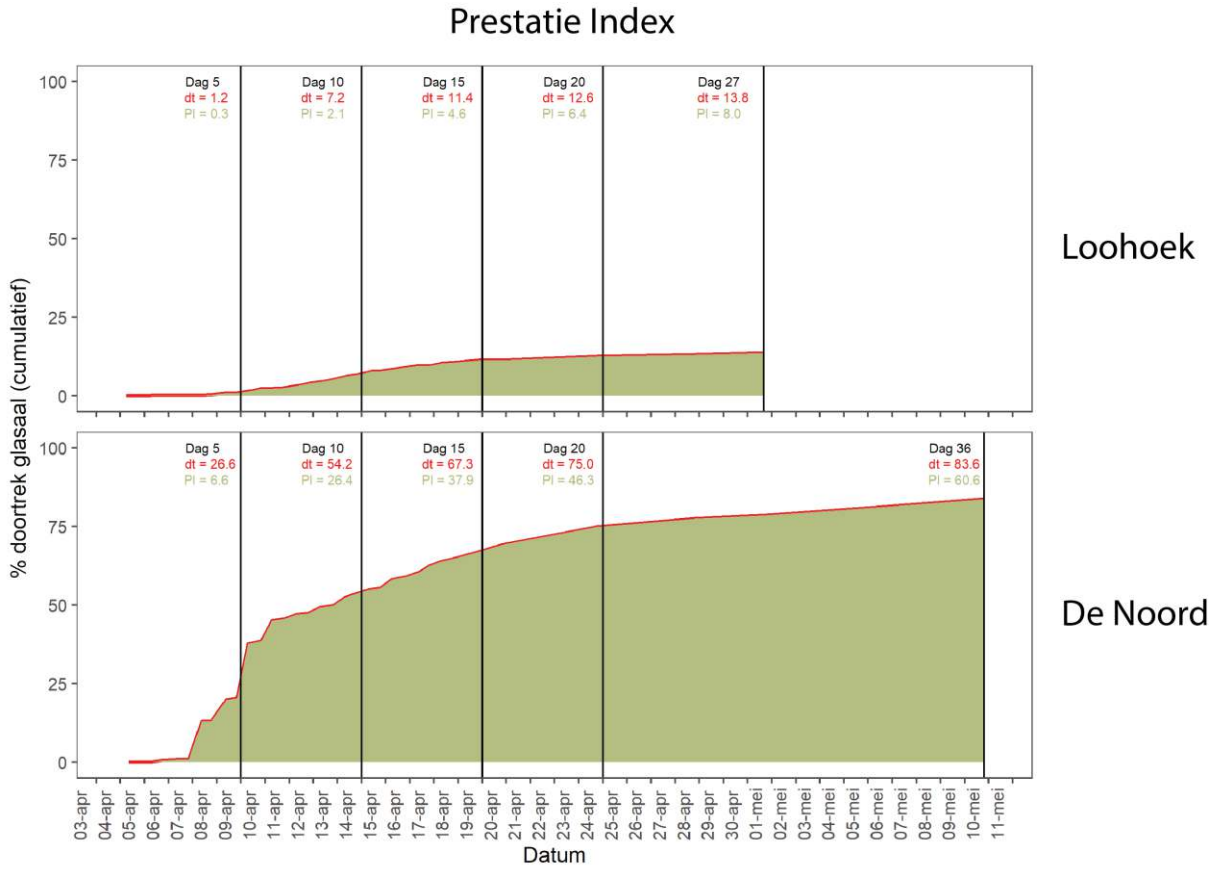
3.2 Efficiëntie intrek vispassages

De prestatie van een vispassage wordt niet bepaald door de absolute hoeveelheid vis die passeert, maar door het aandeel van het aanbod dat weet te passeren en hoeveel tijd hiervoor nodig is. Deze prestatie is gevisualiseerd door een cumulatieve curve van het intrekpercentage

(aandeel gemerkte individuen dat gepasseerd is op een gegeven tijdstip). Om deze prestatiecurves te kwantificeren en daarmee goed onderling te kunnen vergelijken is een prestatie index berekend. Daarnaast geeft de verblijftijd aan de voorzijde van de vismigratievoorziening inzicht in hoe lang vissen bij de lokstroom van vismigratievoorziening aanwezig blijven en het blijven 'proberen'. Bij een 100% efficiënte vispassage zou de snelheid waarmee het aandeel gemerkte vissen aan de voorzijde van een vismigratievoorziening afneemt, gelijk zijn aan de snelheid waarmee het aandeel gemerkte vissen wat gepasseerd is toeneemt.

3.2.1 Prestatie index glasaal

Figuur 3.12 geeft het verloop van de intrek van glasaal door de vismigratievoorzieningen bij de gemalen Loohoek en De Noord weer, waarbij de Prestatie Index (PI) is weergegeven voor dag 5, 10, 15, 20 en de dag van de laatste lichting (resp. dag 27 en 36).



Figuur 3.12: Cumulatief intrekpercentage (percentage van totaal aantal gemerkte glasalen dat succesvol de vismigratievoorzieningen bij Loohoek en De Noord is gepasseerd), waarbij voor dag 5, 10,15, 20 en de dag van de laatste lichting (resp. dag 27 en 36) het cumulatieve intrekpercentage (dt) en de Prestatie Index (PI) zijn weergegeven.

Loohoek

De intrek bij Loohoek komt erg langzaam op gang, met een PI van 0,3% op dag 5. Deze trage start wordt mogelijk mede veroorzaakt door inactiviteit van glasaal als gevolg van de winterse omstandigheden tijdens de eerste dagen van het onderzoek. Vervolgens laat de cumulatieve intrek curve een flauw verloop zien, waarbij de PI op dag 15 uitkomt op 4,6%. Vanaf dat moment vlakt de curve af, met een PI van 6,4% op dag 20. Er is dan 12,6% van de gemerkte glasalen gepasseerd. Bij de laatste lichting van de fuik op dag 27 is de PI 8,0 %. Op dat moment is 13,8 %

van de gemerkte glasalen de vismigratievoorziening gepasseerd. Dit betekent dat de vismigratievoorziening een beperkt aandeel van de aanwezige glasaal laat passeren over een periode van bijna een maand.

Met het uiteindelijke intrekpercentage van 13,8% en een geschat seizoensaanbod van 33.152 (±24.091-46.878) glasalen, hebben 4.575 (±3.325-6.469) glasalen kunnen intrekken in 2021 bij Loohoek.

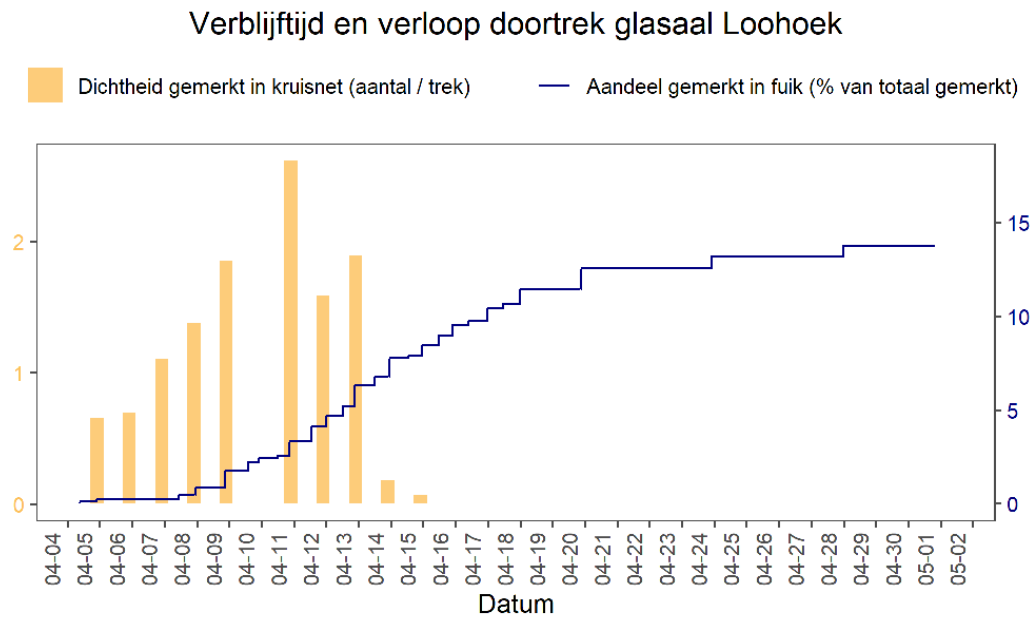
Tijdens de Passagecheck bij Loohoek in 2018 passeerde 45,2% van de gemerkte glasalen in een periode van 18 dagen. Tijdens de Passagecheck in 2021 was na 18 dagen slechts 12,1% van de gemerkte glasalen gepasseerd. De migratievoorziening presteert daarmee een stuk minder goed dan drie jaar geleden.

De Noord
De intrek bij De Noord komt na ongeveer 3 dagen op gang. Door deze trage start bedraagt de PI 6,6% op dag 5. Deze trage start wordt mogelijk mede veroorzaakt door inactiviteit van glasaal als gevolg van de winterse omstandigheden tijdens de eerste dagen van het onderzoek. Vanaf dag 3 laat de cumulatieve intrek curve een stijl verloop zien. Tussen dag 5 en 10 is de stijging van zowel de PI als het intrekpercentage het grootst, respectievelijk 19,8% en 27,6%. Vanaf ongeveer dag 7 wordt de stijging wel iets minder sterk, maar gaat gestaag door tot ongeveer dag 20. De PI op dag 20 bedraagt 46,3%. Er is dan 75,0% van de gemerkte glasalen gepasseerd. Vervolgens neemt de stijging nog iets verder af, waarna de PI bij de laatste lichting op dag 36 uitkomt op 60,6%. Op dat moment is 83,6% van de gemerkte glasalen de vismigratievoorziening gepasseerd. Dit betekent dat de vismigratievoorziening een substantieel aandeel van de aanwezige glasaal laat passeren binnen een tijdsbestek van ruim een maand, waarvan het grootste aandeel in de eerste 10 dagen.

Met het uiteindelijke intrekpercentage van 83,6% en een geschat seizoensaanbod van 69.202 (±38.439-114.521) glasalen, hebben 57.853 (±32.135-95.740) glasalen kunnen intrekken in 2021 bij De Noord.

3.2.2 Verblijftijd voorzijde glasaal

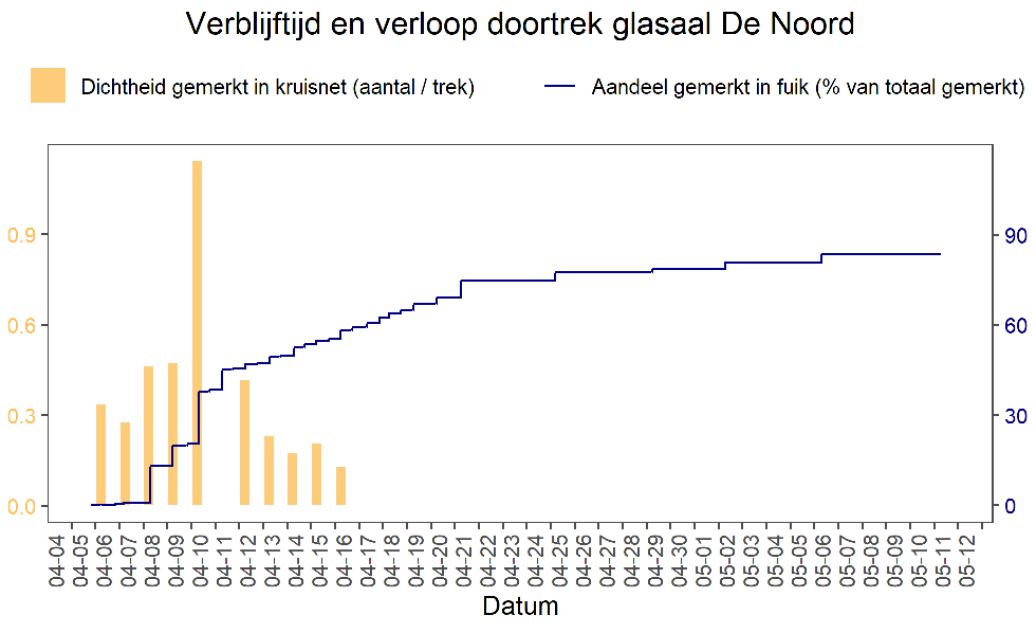
Loohoek
Wanneer we het cumulatieve percentage gemerkte glasalen dat de migratievoorziening passeerde vergelijken met het verloop van de dichtheid gemerkte glasalen aan de voorzijde van de vismigratievoorziening bij gemaal Loohoek (Figuur 3.13), dan zien we dat het aandeel gemerkte individuen dat de migratievoorziening passeerde langzaam toenam door de tijd tot een totale intrek van slechts 13,8% in een tijdsbestek van bijna een maand, terwijl de dichtheid gemerkte individuen aan de voorzijde gedurende een groot deel van de tijd niet af-, maar juist toenam. Dit betekent dat glasaal de vismigratievoorziening in zeer beperkte mate weet te passeren, maar wel voor een langere periode aangetrokken blijft tot de lokstroom van het gemaal en de lokstroom van de vismigratievoorziening.



Figuur 3.13: Cumulatief aandeel gemerkte glasalen (percentage van totaal gemerkt) dat succesvol de vismigratievoorziening bij gemaal Loohoek is gepasseerd (blauw) ende dichtheid gemerkte individuen in de kruisnetvangst (aantal/trek) aan de voorzijde van het gemaal (geel). Kruisnetmetingen werden verricht tot en met 15 april 2021.

De Noord

Bij gemaal De Noord heerst een ander beeld (Figuur 3.14). De trage start van de intrek vanwege het koude weer aan het begin van de onderzoeksperiode is duidelijk zichtbaar. Pas na enkele dagen kwam de intrek substantieel op gang, gevolgd door een sterke afname in de dichtheid gemerkte glasalen aan de voorzijde van de vismigratievoorziening. Enkele dagen daarna begon de intreksnelheid af te vlakken, waarna ook de afnamesnelheid van de dichtheid gemerkte vissen aan de voorzijde afnam. De totale intrek van gemerkte glasalen loopt vervolgens met een afvlakkende curve op tot wel 83,6% in een tijdsbestek van ruim een maand. Al binnen 10 dagen is ruim 50% van de gemerkte glasalen gepasseerd. Dit betekent dat glasalen de vismigratievoorziening goed weten te passeren en voor een langere periode aangetrokken blijven tot de lokstroom van het gemaal en de lokstroom van de vismigratievoorziening.



Figuur 3.14: Cumulatief aandeel gemerkte glasalen (percentage van totaal gemerkt) dat succesvol de vismigratievoorziening bij gemaal De Noord is gepasseerd (blauw) en de dichtheid gemerkte individuen in de kruisnetvangst (aantal/trek) aan de voorzijde van het gemaal (geel). Kruisnetmetingen werden verricht tot en met 15 april 2021.

3.2.3 Werking vispassages voor driedoornige stekelbaars

Van de lage aantallen gemerkte driedoornige stekelbaarzen bij Loohoek en De Noord (resp. 14 en 35 individuen) zijn geen terugvangsten gedaan in de fuiken achter de migratievoorzieningen. Hierdoor is het niet mogelijk om cumulatieve intrek curves weer te geven en efficiëntie van de migratievoorzieningen te evalueren aan de hand van de Prestatie Index. Wel zijn er ongemerkte driedoornige stekelbaarzen gevangen met de fuiken. Door het gemiddelde aantal ongemerkte driedoornige stekelbaarzen per dag dat met de fuiken werd gevangen tijdens de periode waarin de populatieschattingen plaatsvonden af te zetten tegen de geschatte populatiegrootte per dag kan toch enig inzicht worden verkregen in de werking van de vismigratievoorzieningen voor deze soort.

Loohoek
Bij Loohoek werden gemiddeld 1,5 ongemerkte driedoornige stekelbaarzen per dag aangetroffen in de fuik tijdens de periode waarin de populatieschattingen plaatsvonden. Afgezet tegen de 32 individuen die gemiddeld genomen dagelijks aanwezig zijn voor het gemaal (Figuur 3.6) komt dit neer op een intrekpercentage van 4,7% per dag. Wanneer dezelfde berekening wordt uitgevoerd voor glasaal komt het intrekpercentage bij Loohoek uit op 1,1% per dag. Dit is aanzienlijk lager dan het intrekpercentage van 4,7% per dag voor driedoornige stekelbaars. Het lijkt er hiermee op dat de vismigratievoorziening bij Loohoek beter werkt voor driedoornige stekelbaars dan voor glasaal. Eerder was te zien dat de vismigratievoorziening bij de Noord een substantieel aandeel van de aanwezige glasaal laat passeren (Paragraaf 3.2.1). Voor glasaal ligt het intrekpercentage per dag hier op 3,9%. Op basis hiervan kan worden gesteld dat de vismigratievoorziening bij Loohoek, met de berekende intrek van 4,7% per dag voor driedoornige stekelbaars, naar schatting een substantieel aandeel van de aanwezige driedoornige stekelbaarzen laat passeren. Hierbij dient wel te worden opgemerkt dat deze benadering aanzienlijk meer onzekerheid geeft dan het bepalen van de Prestatie Index. Tijdens

de Passagecheck in 2018 liet de vismigratievoorziening met 10,4% in 18 dagen slechts een beperkt aandeel gemerkte driedoornige stekelbaarzen passeren (Ploegaert et al., 2018).

De Noord
Bij De Noord werden gemiddeld 1,7 ongemerkte driedoornige stekelbaarzen per dag aangetroffen in de fuik tijdens de periode waarin de populatieschattingen plaatsvonden. Afgezet tegen de 127 individuen die gemiddeld genomen dagelijks aanwezig zijn voor het gemaal (Figuur 3.6) komt dit neer op een intrekpercentage van 1,3% per dag. Wanneer dezelfde berekening wordt uitgevoerd voor glasaal komt het intrekpercentage bij De Noord uit op 3,9% per dag. Dit is aanzienlijk hoger dan het intrekpercentage van 1,3% per dag voor driedoornige stekelbaars. Het lijkt er hiermee op dat de vismigratievoorziening bij De Noord beter werkt voor glasaal dan voor driedoornige stekelbaars. Eerder was te zien dat de vismigratievoorziening bij Loohoek een beperkt aandeel van de aanwezige glasaal laat passeren (Paragraaf 3.2.1). Voor glasaal ligt het intrekpercentage per dag hier op 1,1%. Op basis hiervan kan worden gesteld dat de vismigratievoorziening bij De Noord, met de berekende intrek van 1,3% per dag voor driedoornige stekelbaars, naar schatting ook een beperkt aandeel van de aanwezige driedoornige stekelbaarzen laat passeren. Hierbij dient wel te worden opgemerkt dat deze benadering aanzienlijk meer onzekerheid geeft dan het bepalen van de Prestatie Index.

3.3 Uitwisseling gemerkte vissen tussen Loohoek en De Noord

Ondanks dat glasaal wel voor een langere periode aangetrokken blijft tot de lokstroom van beide gemalen en de lokstroom van beide vismigratievoorzieningen, raakt een deel na verloop van tijd weer bij de gemalen vandaan. Dit kan een actieve keuze zijn, maar ook passief plaatsvinden (als gevolg van bijvoorbeeld bemalingsactiviteit of wind-/getijdenwerking).

Loohoek > De Noord
Van de 900 gemerkte glasalen die werden uitgezet bij Loohoek werden er 5 (0,56%) teruggevangen in het kruisnet (Figuur B2.11 in Bijlage 2) en 5 (0,56%) in de fuik (Figuur B3.7 in Bijlage 3) bij De Noord. Op basis van de terugvangsten met de fuik, gecorrigeerd voor de efficiëntie van de vispassage (86,3%), zijn naar schatting 6 gemerkte glasalen van Loohoek bij De Noord terecht gekomen. Verrekend met het totaal aantal bij Loohoek uitgezette gemerkte glasalen (900) komt dit neer op een percentage van 0,67%. Dit ligt in dezelfde orde van grootte als de hoeveelheid gemerkte glasalen die naar schatting van de Noord bij Loohoek terecht is gekomen (0,85%). Verrekend met het geschatte seizoensaanbod van ongeveer 33.152 (± 24.091-46.878) glasalen bij Loohoek, kan worden gesteld dat over het gehele seizoen naar schatting 222 (± 169-314) glasalen van Loohoek bij De Noord terecht zijn komen. Vanwege het lage aantal terugvangsten zijn deze aantallen echter onzeker.

Van de 14 gemerkte driedoornige stekelbaarzen die werden uitgezet bij Loohoek werd 14,3% teruggevangen bij De Noord. Het gaat hierbij om 2 individuen die beiden werden teruggevangen met het kruisnet (Figuur B2.12 in Bijlage 2). Dit is relatief veel in vergelijking met de hoeveelheid glasalen afkomstig van Loohoek die werden teruggevangen met het kruisnet bij De Noord (0,56%). Ook voor deze vergelijking geldt een grote onzekerheid vanwege het beperkte aantal terugvangsten.

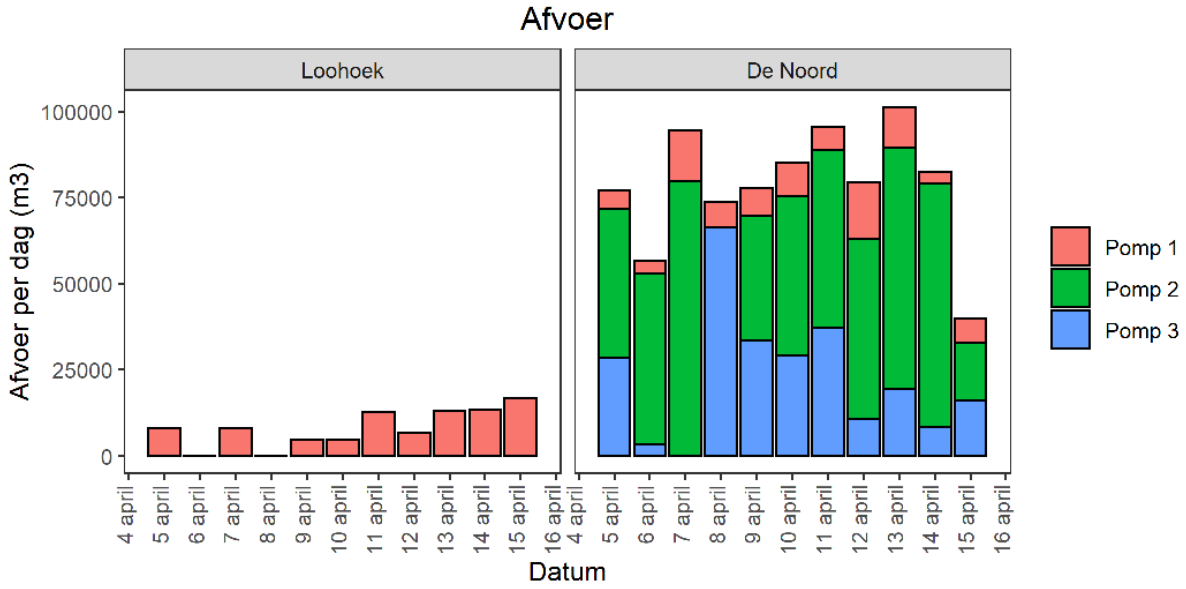
De Noord > Loohoek
Van de 819 gemerkte glasalen die werden uitgezet bij De Noord werd er 1 (0,12%) teruggevangen in de fuik (Figuur B3.7 in Bijlage 3) bij Loohoek. Op basis van deze terugvangst, gecorrigeerd

voor de efficiëntie van de vispassage (13,8%), zijn naar schatting 7 gemerkte glasalen van De Noord bij Loohoek terecht gekomen. Verrekend met het totaal aantal bij De Noord uitgezette gemerkte glasalen (819) komt dit neer op een percentage van 0,85%. Dit ligt in dezelfde orde van grootte als de hoeveelheid gemerkte glasalen die naar schatting van de Loohoek bij De Noord terecht is gekomen (0,67%). Verrekend met het geschatte seizoensaanbod van 69.202 (± 38.439-114.521) glasalen bij De Noord, kan worden gesteld dat op seizoensbasis naar schatting 588 (± 327-973) glasalen van De Noord bij Loohoek terecht zijn gekomen. Vanwege het lage aantal terugvangsten zijn deze aantallen echter onzeker.

Naast dat vissen bij een volgend of eerder intrekpunt terecht komen, verdwijnt een deel van de bij een intrekpunt aanwezige vissen na verloop van tijd ook als gevolg van bijvoorbeeld sterfte, predatie of omdat ze verder stroomopwaarts de zeearm zelf optrekken, bijvoorbeeld richting de Bergse Diepsluis.

3.4 Invloed bemalingsregime

Het bemalen van de gemalen Loohoek en De Noord is tijdens het terugvangen met kruisnetten in stopgezet. Tussen metingen door is er wel bemalen om overtollig water vanuit de achterliggende polders kwijt te raken. De hoeveelheid afvoer gedurende de dagen dat er werd gemeten met kruisnetten aan de voorzijde van beide gemalen is weergegeven in Figuur 3.15.



Figuur 3.15: Afvoer van gemalen Loohoek en De Noord in m³ per dag, apart weergegeven voor de verschillende pompen. Bij de Noord bemaalt pomp 1 het westelijke peilvak (Stavenisse) en pomp 2 en 3 het oostelijke peilvak (Sint-Maartensdijk). Pomp 1 maalt uit in de spuikoker waar de ingang naar de vispassage zich bevindt.

Bij beide gemalen is gedurende nagenoeg de gehele periode sprake van afvoer. Hierbij was de afvoer bij de Noord een aanzienlijk hoger dan bij Loohoek (gemiddeld respectievelijk 54,5 en 5,6 m³/min). Voor zowel gemaal Loohoek als De Noord is er geen duidelijke relatie zichtbaar tussen het geregistreerde bemalingsregime en het gemiddelde aantal glasalen en driedoornige stekelbaarzen per trek in de kruisnetvangsten (Figuur B2.2, B2.4, B2.8 en B2.10 in Bijlage 2). Er is ook geen duidelijke relatie zichtbaar tussen het bemalingsregime bij beide gemalen en het verloop van de intrek van glasaal (Figuur 3.13. en 3.14). De invloed van het bemalingsregime op het algehele onderzoek is beperkt, waardoor de effectiviteit van de vismigratievoorzieningen

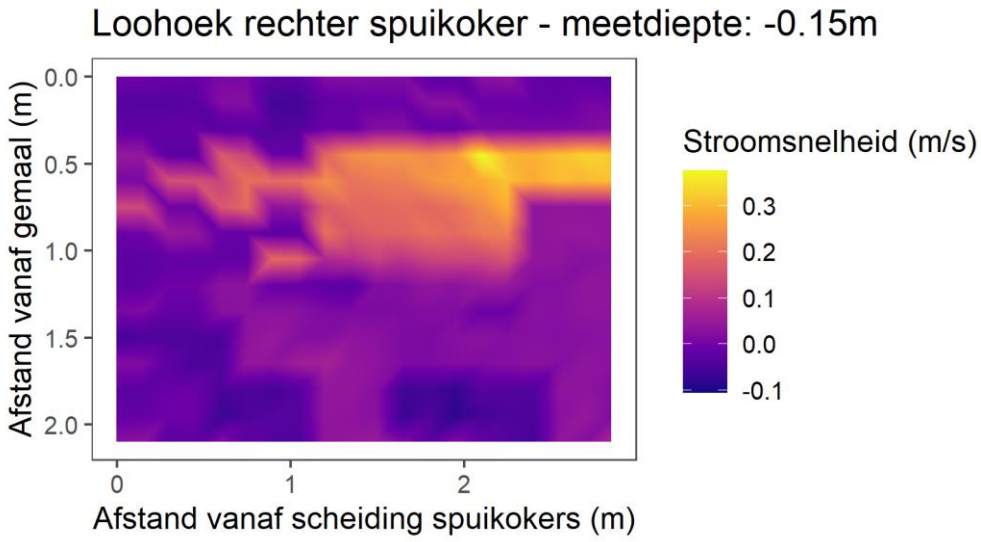
goed in beeld gebracht kon worden. Invloed van het bemalingsregime dient wel te worden meegewogen bij onderzoek naar de effectiviteit van vispassages.

3.5 Stroomsnelheden en gedrag glasaal in en rondom migratievoorzieningen

De effectiviteit van vispassages is voor een groot deel afhankelijk van hoe goed de werking aansluit op het migratiegedrag van de vis. Daarom is op beide locaties het gedrag van glasaal in en rondom de migratievoorziening onderzocht met een onderwatercamera. Bij Loohoek is dit tijdens de Passagecheck in 2018 ook al gedaan. Daarnaast zijn in 2021 de stroomsnelheden gemeten in en rondom de migratievoorzieningen op beide locaties. In combinatie met de resultaten van het merk-terugvangst experiment kan met de videobeelden en stroomsnelheidsmetingen een goed beeld worden gevormd van kansen en knelpunten.

3.5.1 Loohoek

De sterke aantrekkingskracht van de lokstroom van de vismigratievoorziening bij Loohoek, zichtbaar in de kruisnetdata van beide Passagechecks (2018 en 2021), werd in 2018 reeds bevestigd door de videobeelden (Ploegaert et al., 2018). Hierop is een duidelijke concentratie van glasaal en driedoornige stekelbaars bij de uitstroombuis te zien. Ook de beelden van 2021 laten zien dat glasalen aangetrokken worden door de lokstroom van de migratievoorziening. Stroomsnelheidsmetingen in de spuikoker laten duidelijk zien dat op de kruisnetposities waar de hoogste dichtheden glasalen en driedoornige stekelbaarzen werden gevangen (Figuur 3.5 en 3.10), de zoete lokstroom vanuit de vismigratievoorziening het meest prominent aanwezig is (Figuur 3.16).

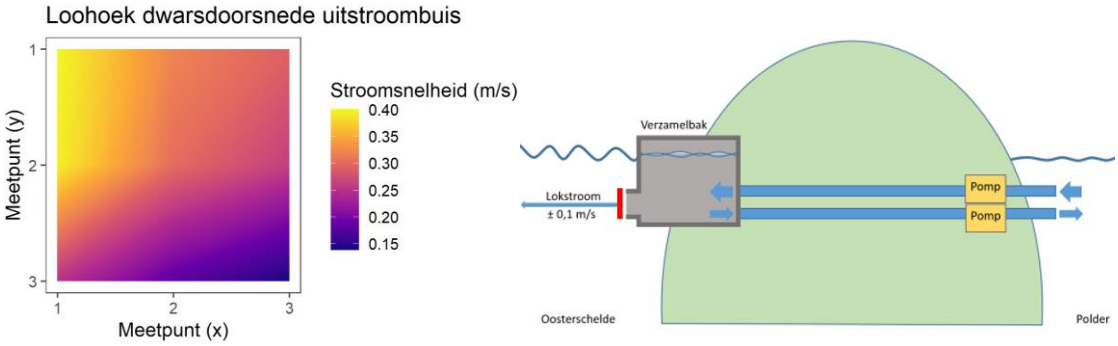


Figuur 3.16: De stroomsnelheid (in meter per seconde) in de rechter spuikoker bij Loohoek (met vismigratievoorziening) als bovenaanzicht gemeten op een diepte van 0,15 meter met de sensor in de richting van de uitstroomopening van de vismigratievoorziening. De zoete lokstroom vanuit de vismigratievoorziening rechts bovenin is duidelijk zichtbaar.

De beelden van 2018 gaven ook een goed beeld hoe de lokstroom fysiek de buis uitstroomde (Ploegaert et al., 2018). Een naar verhouding dunne laag zoeter polderwater stroomde bovenop het zoute water met relatief hoge snelheid naar buiten. Een dikkere laag zout water stroomde gelijktijdig aan de onderzijde van de buis richting de verzamelbak. Door het niet mengen van zoet en zout water leek de beoogde constante netto uitstroom van 0,1 m/s hier niet te heersen.

Bij een stroomsnelheid van ± 0,1 m/s kunnen vissen gemakkelijk tegen de lokstroom in de verzamelbak in zwemmen. Op de beelden van 2018 is ook zichtbaar hoe het merendeel van de glasalen bij de ingang van de buis de zoete lokstroom probeerden te volgen, maar deze te sterk bleek om tegenin te zwemmen. Het gevolg was een concentratie van actief naar beneden zwemmende glasaal vlak boven de buis, waar de zoete lokstroom langs de betonnen wand omhoog stroomde. De glasalen die daadwerkelijk de buis ingingen deden dit via de zoute instromende laag onderin de buis. Door het natuurlijke gedrag om bij een zoete uitstroom tegen de stroomrichting in te zwemmen, werden de glasalen in deze instromende laag achterwaarts richting de verzamelbak getransporteerd. Driedoornige stekelbaars kon wel op eigen kracht de buis in-, maar ook weer uitzwemmen.

In de beelden van 2021 is echter een heel andere situatie zichtbaar. Hierop lijkt de zoete lokstroom over het volledige oppervlak van de opening van de uitstroombuis richting de spuikoker te stromen, en de instroom van zout water langs de onderzijde van de buis volledig te ontbreken. Dit wordt bevestigde door de stroomsnelheidsmetingen. Over het gehele oppervlak van de uitstroomopening stroomt het water vanuit de verzamelbak in de richting van de spuikoker. Stroomsnelheidsmetingen aan de spuikokerzijde laten zien dat hierbij de beoogde constante netto uitstroom van 0,1 m/s niet heerst. De laagst gemeten stroomsnelheid was 0,14 m/s. De maximaal gemeten stroomsnelheid was 0,40 m/s. Het gemiddelde lag op 0,28 m/s (Figuur 3.17). Alhoewel een zoute instromende laag onderin de uitstroombuis ontbreekt, was de uitstroomsnelheid van de lokstroom wel het laagst langs de onderzijde van de uitstroombuis (minimaal: 0,14 m/s, maximaal: 0,25 m/s en gemiddeld: 0,19 m/s), maar nog steeds hoger dan de streefwaarde van 0,1 m/s. De beelden van 2021 laten dan ook zien dat glasaal er niet in slaagt om tegen de lokstroom in de migratievoorziening binnen te zwemmen. Mogelijk fluctueert de stroomsnelheid van de lokstroom (zoals bij De Noord; zie paragraaf 3.5.2), waardoor de lokstroom op bepaalde momenten wel langzaam genoeg stroomt voor glasaal om tegenin te kunnen zwemmen. Stroomsnelheidsmetingen in de spuikoker (met de sensor in de richting van de uitstroomopening) gaven eerder op de dag waarden tot ruim 0,3 m/s direct voor de uitstroomopening. Daarnaast werd zowel tijdens als buiten de onderzoeksperiode om op bepaalde moment en zelfs helemaal geen lokstroom waargenomen. Op basis van de berekeningen van gemiddelde intrekpercentages per dag van driedoornige stekelbaars en glasaal (Paragraaf 3.2.3), lijkt de vismigratievoorziening beter te werken voor driedoornige stekelbaars dan voor glasaal. Mogelijk kan driedoornige stekelbaars beter omgaan met hogere stroomsnelheden van de lokstroom. Zoals eerder beschreven bleek uit de beelden van 2018 dat driedoornige stekelbaars, in tegenstelling tot glasaal, op dat moment wel op eigen kracht de buis in kon zwemmen.

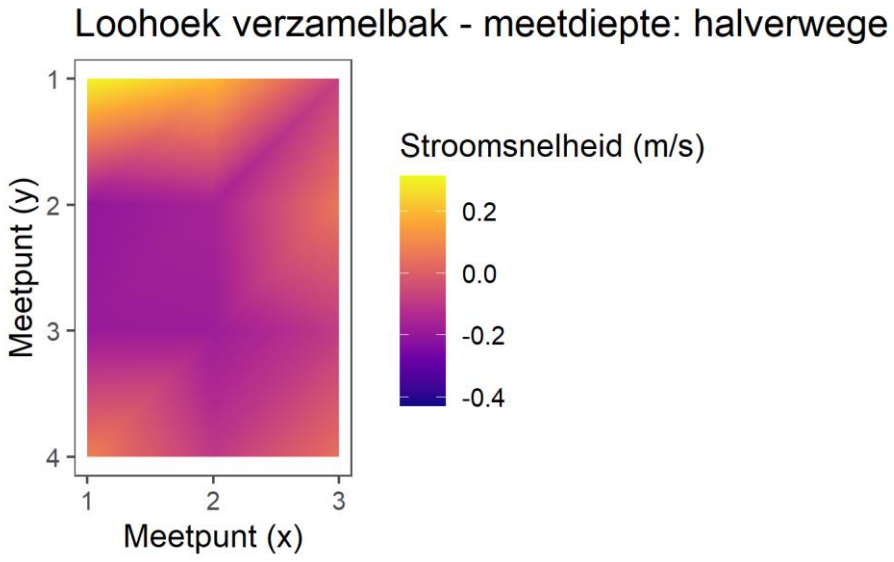


Figuur 3.17: Links: de stroomsnelheid (in meter per seconde) in de opening van de uitstroombuis tussen de verzamelbak en de spuikoker bij Loohoek, gemeten aan de spuikokerzijde. Het is duidelijk te zien dat de stroomsnelheid de streefwaarde van 0,1 m/s

overschrijdt, maar dat stroomsnelheid langs de onderzijde van de buis wel het laagst is. Rechts: schematische weergave van de situatie bij Loohoek met de locatie van de stroomsnelheidsmeting aangegeven in het rood.

Op basis van een eerste blik op de videobeelden en stroomsnelheidsmetingen zijn op 13 april 2021 direct enkele aanpassingen doorgevoerd aan de instellingen van de migratievoorziening. Een van deze aanpassingen was het terugschroeven van de stroomsnelheid van de lokstroom. De intreksnelheid van gemerkte glasalen laat vervolgens echter geen duidelijke toe- of afname zien ten opzichte van de dagen voorafgaand aan de aanpassingen (Figuur 3.12). Het lijkt er daarmee op dat de aanpassingen geen duidelijk effect hebben gehad op de passeerbaarheid van het gemaal.

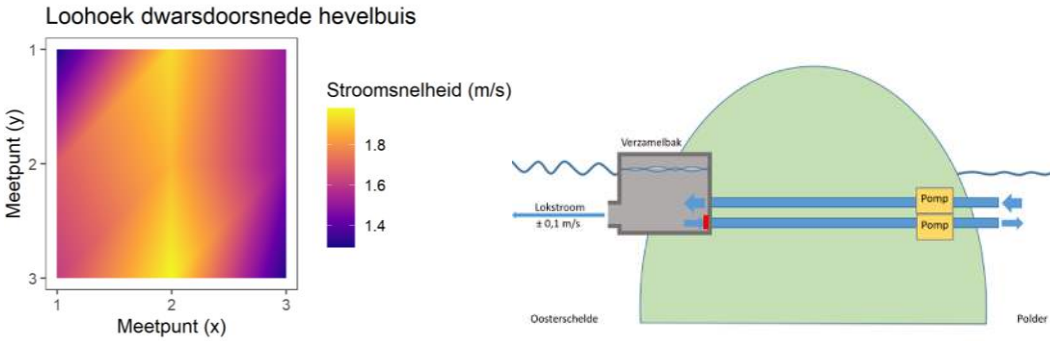
Dat de lokstroom van migratievoorziening vooral langs de bovenzijde van uitstroombuis richting de spuikoker stroomt, wijst er waarschijnlijk op dat het zoete water in de verzamelbak zich vooral in de bovenste waterlaag bevindt. Hierdoor zal glasaal zich vermoedelijk ook concentreren in het bovenste deel van de waterkolom. De ingang van de hevelbuis richting de polder, welke migratie moet faciliteren, bevindt zich echter onderin de verzamelbak. Hierdoor staat deze altijd voldoende onderwater onafhankelijk van het getij. Stroomsnelheidsmetingen in de verzamelbak bij Loohoek laten zien dat de stroming zich hier over het algemeen relatief rustig gedraagt (Figuur 3.18) in vergelijking met de Noord (Figuur 3.25). De meeste turbulentie bij Loohoek werd halverwege de totale hoogte van de verzamelbak gemeten. De hoge turbulentie in de verzamelbak bij De Noord zorgt ervoor dat zoet en zout water beter worden gemengd, resulterend in een minder sterke gelaagdheid van de uitstroom en daarmee rustigere omstandigheden bij de uitstroombuis. Dit bevordert de intrekmogelijkheid naar de verzamelbak. Daarnaast vergroot de hoge turbulentie in de verzamelbak bij De Noord de kans dat glasaal die de verzamelbak binnen weet te komen, uiteindelijk ook langs de ingang van één van de twee aanwezige hevelbuizen wordt gespoeld. Dit bevordert het kansproces om vanuit de verzamelbak richting de polder te worden getransporteerd. Vanwege de relatief beperkte turbulentie in de verzamelbak bij Loohoek, zijn de voorgenoemde effecten hier waarschijnlijk minder uitgesproken aanwezig dan bij De Noord.



Figuur 3.18: De stroomsnelheid (in meter per seconde) in de verzamelbak bij Loohoek, gemeten halverwege de totale hoogte van de verzamelbak met de sensor in de richting van de

spuikoker. Het is duidelijk te zien dat de stroming zich hier erg turbulent gedraagt, met veel variatie in stroomsnelheid en-richting.

Stroomsnelheidsmetingen voor de opening van de hevelbuis in de verzamelbak laten zien dat het water hier met hoge snelheid richting de polder wordt gepompt. De laagst gemeten stroomsnelheid was 1,29 m/s. De maximaal gemeten stroomsnelheid was 1,98 m/s. Het gemiddelde was 1,63 m/s (Figuur 3.19). Dit is vergelijkbaar met de gemeten stroomsnelheden voor de opening van de hevelbuis in de verzamelbak bij De Noord (Figuur 3.26). Videobeelden die zijn gemaakt in de verzamelbak bij De Noord laten zien dat meerdere glasalen, die al dan niet met de stroming mee voor de opening van de hevelbuis richting de polder terecht komen, hier vervolgens effectief in worden gezogen (Paragraaf 3.5.2).



Figuur 3.19: Links: De stroomsnelheid (in meter per seconde) in de opening van de hevelbuis tussen de verzamelbak en de polder bij Loohoek, gemeten aan de verzamelbakzijde. Het is duidelijk te zien dat het water hier met hoge snelheid richting de polder wordt gepompt. Rechts: schematische weergave van de situatie bij Loohoek met de locatie van de stroomsnelheidsmeting aangegeven in het rood.

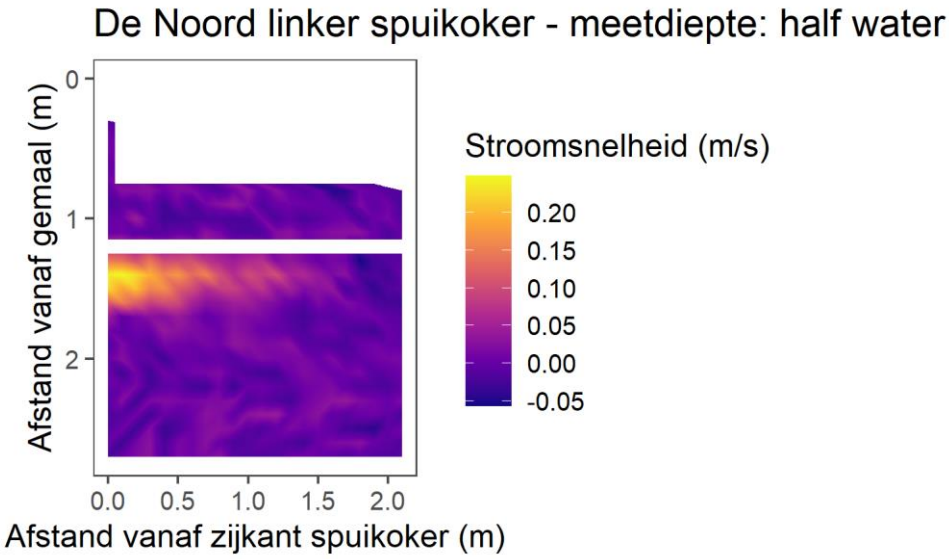
Tijdens de onderzoekperiode waren er indicaties dat er mogelijk lucht in de hevelleiding aanwezig was bij Loohoek. Naast het ontsnappen van lucht uit de leiding, werden er in de fuikvangsten glasalen aangetroffen met luchtbelletjes in hun hoofd (Figuur 3.20). Mogelijk zorgde de aanwezigheid van lucht voor drukverlies in de leiding, waardoor deze niet optimaal functioneerde. De luchtbelletjes in de hoofden van de glasalen zijn mogelijk ontstaan door drukverschillen of door turbulente omstandigheden in de leiding. Om de lucht uit de leiding te krijgen is (tegelijkertijd met het terugschroeven van de stroomsnelheid van de lokstroom) de stroomsnelheid in de hevelleiding opgeschroefd op 13 april 2021. Daarnaast kan de grotere zuigende werking mogelijk door glasaal worden benut om passief mee naar de verzamelbak te bewegen. Zoals eerder beschreven laat de intreksnelheid van gemerkte glasalen echter geen duidelijke toe- of afname zien ten opzichte van de dagen voorafgaand aan deze aanpassingen (Figuur 3.12). Het lijkt er daarmee op dat de aanpassingen geen duidelijk effect hebben gehad op de passeerbaarheid van het gemaal.



Figuur 3.20: Glasalen met luchtbelletjes in hun hoofd, gevangen met de fuik achter de vismigratievoorziening bij Gemaal Loohoek (Foto's: Jorrik Ruis).

3.5.2 De Noord

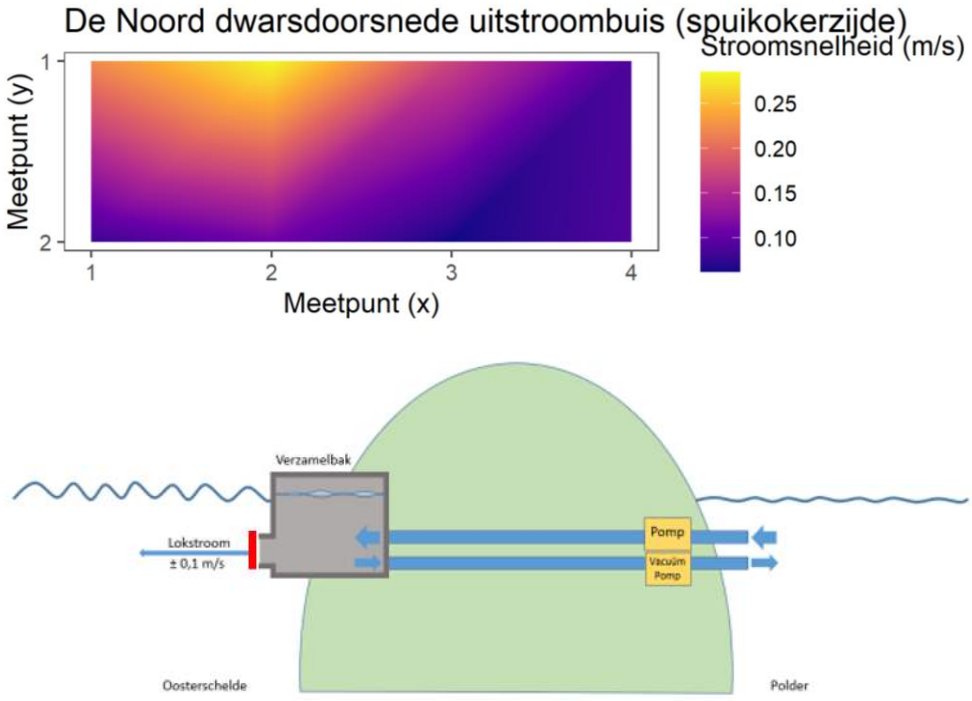
De sterke aantrekkingskracht van de lokstroom van de vismigratievoorziening bij De Noord, zichtbaar in de kruisnetdata, wordt bevestigd door de videobeelden. Hierop is te zien dat glasalen effectief worden aangetrokken door de lokstroom van de vismigratievoorziening. Stroomsnelheidsmetingen in de spuikoker laten duidelijk zien dat op de kruisnetposities waar de hoogste dichtheden glasalen en driedoornige stekelbaarzen werden gevangen (Figuur 3.6 en 3.11), de zoete lokstroom vanuit de vismigratievoorziening het meest prominent aanwezig is (Figuur 3.21).



Figuur 3.21: De stroomsnelheid (in meter per seconde) in de linker spuikoker bij De Noord (met vismigratievoorziening) gemeten op half water met de sensor in de richting van de uitstroomopening van de vismigratievoorziening. De zoete lokstroom vanuit de vismigratievoorziening halverwege aan de linkerkant is duidelijk zichtbaar. Ter hoogte van de witte vlakken waren geen metingen mogelijk, vanwege de aanwezigheid van de stuwklep en de rand van het rooster.

Stroomsnelheidsmetingen aan de onderzijde van de uitstroombuis tussen de spuikoker en de verzamelbak laten zien dat de uitstroomsnelheid van de lokstroom hier, net als bij Loohoek, het laagst is (minimaal 0,06 m/s, maximaal 0,11 m/s en gemiddeld 0,09 m/s) (Figuur 3.22). Over

het algemeen genomen wordt de streefwaarde van 0,1 m/s hier niet overschreden, waardoor zwakke zwemmers zoals glasaal hier in theorie gemakkelijk tegenin kunnen zwemmen. Dit wordt bevestigd door de videobeelden, waarop te zien is dat dat glasalen in hoge frequentie via het substraat langs de onderzijde van de uitstroombuis de verzamelbak weten te betreden. Dit substraat bestaat uit een ophoping van grind en schelpen die schuin afloopt richting de bodem van de spuikoker (Figuur 3.23). De glasalen gebruiken het substraat als het ware als 'stepping stones' om de buis binnen te komen. Op de beelden is echter ook te zien dat een deel van de glasalen er via deze weg niet in slaagt om naar binnen te komen. Daarnaast verlaat een deel van de glasalen die er wel in waren geslaagd om naar binnen te komen de buis ook weer via deze weg. Mogelijk zijn deze glasalen (nog) niet voldoende gemotiveerd om te passeren. Stroomsnelheidsmetingen aan de bovenzijde van de uitstroombuis laten zien dat de uitstroomsnelheid van de lokstroom hier over het algemeen genomen echter wel hoger ligt dan de streefwaarde van 0,1 m/s (minimaal 0,09 m/s, maximaal 0,29 m/s en gemiddeld 0,19 m/s) (Figuur 3.22). Op de videobeelden is te zien dat glasalen die de verzamelbak via de bovenzijde van uitstroombuis proberen te betreden, inderdaad te maken krijgen met een stroming die te sterk blijkt om tegenin te zwemmen. De videobeelden laten echter duidelijk zien dat een aanzienlijk deel van de aanwezige glasalen de verzamelbak via de onderzijde van de uitstroombuis succesvol weet te betreden.

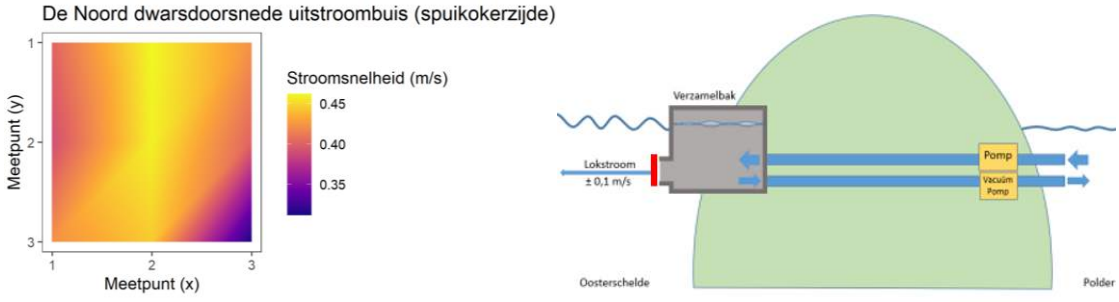


Figuur 3.22: Boven: de stroomsnelheid (in meter per seconde) in de opening van de uitstroombuis tussen de verzamelbak en de spuikoker bij De Noord, gemeten op 2 april 2021. Het is duidelijk te zien dat de stroomsnelheid hier met name rechts onderin de streefwaarde van 0,1 m/s niet overschrijdt. Onder: schematische weergave van de situatie bij De Noord met de locatie van de stroomsnelheidsmeting aangegeven in het rood.



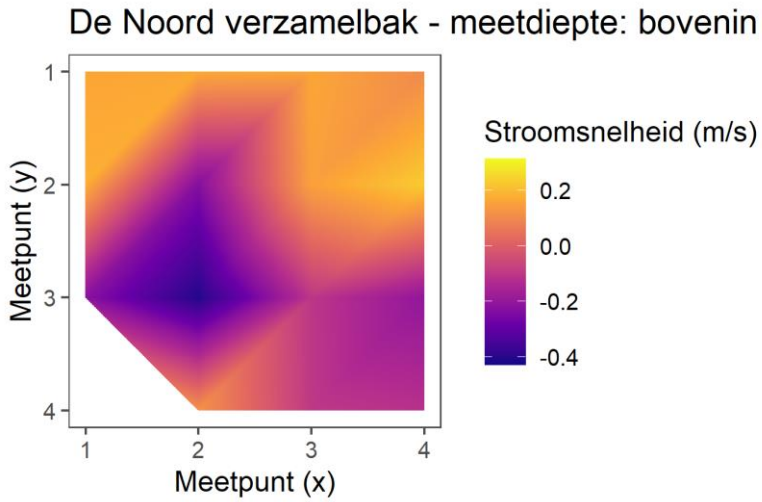
Figuur 3.23: Schuin oplopend substraat tussen de bodem van de spuikoker en de uitstroomopening van de migratievoorziening bij De Noord, bestaande uit grind en schelpen. Op de videobeelden is te zien dat glasalen het substraat als het ware gebruiken als 'stepping stones' om de buis binnen te komen.

Het lijkt er echter wel op dat de stroomsnelheid van de lokstroom, net als bij Loohoek, door de tijd heen fluctueert. Stroomsnelheidsmetingen in de opening van de uitstroombuis richting de spuikoker, genomen op 3 april (Figuur 3.24), gaven een heel ander beeld dan de metingen op 2 april (Figuur 3.22). De streefwaarde van 0,1 m/s wordt over het gehele oppervlak van de opening ruim overschreden (minimaal 0,32 m/s, maximaal 0,46 m/s en gemiddeld 0,41 m/s). Net als tijdens de voorgaande dag was de stroomsnelheid rechts onderin de opening het laagst. Beide meetmomenten in de uitstroomopening vonden plaats rond dezelfde periode in het getij. Het lijkt er daarmee op dat het verschil in stroomsnelheid tussen beide momenten niet wordt veroorzaakt door een andere waterstand als gevolg van het getij.



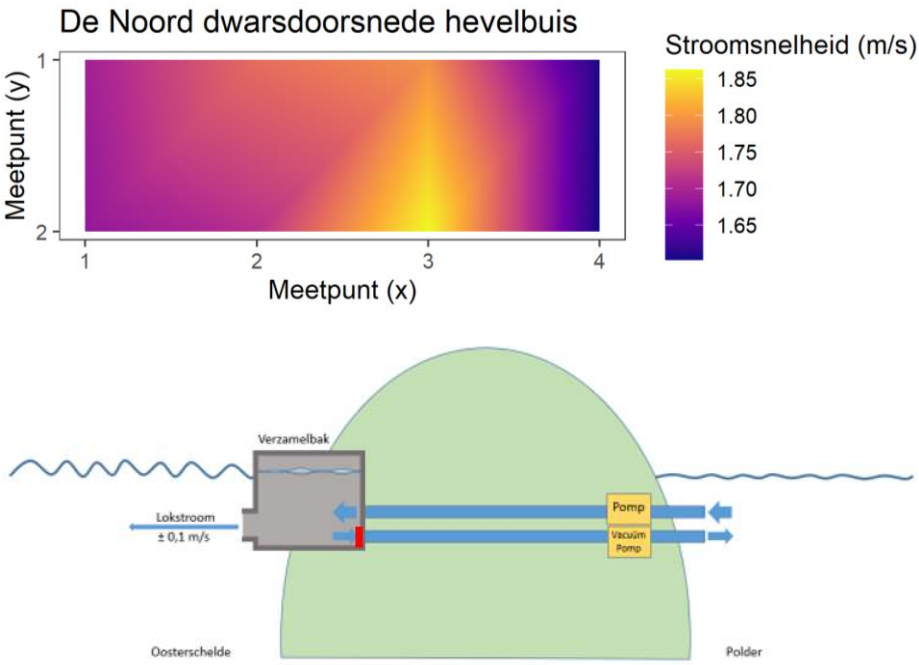
Figuur 3.24: Links: de stroomsnelheid (in meter per seconde) in de opening van de uitstroombuis tussen de verzamelbak en de spuikoker bij De Noord, gemeten op 3 april 2021. Het is duidelijk te zien dat de stroomsnelheid hier overal de streefwaarde van 0,1 m/s overschrijdt. Rechts: schematische weergave van de situatie bij De Noord met de locatie van de stroomsnelheidsmeting aangegeven in het rood.

Stroomsnelheidsmetingen in de verzamelbak laten zien dat de stroming zich hier, in veel sterkere mate dan bij Loohoek, over het algemeen zeer turbulent gedraagt (vooral bovenin de verzamelbak), met veel variatie in stroomsnelheid en-richting (Figuur 3.25). Deze hoge turbulentie zorgt ervoor dat zoet en zout water beter worden gemengd, resulterend in een minder sterke gelaagdheid van de uitstroom en daarmee rustigere omstandigheden bij de uitstroombuis. Dit bevordert de intrekmogelijkheid naar de verzamelbak. Daarnaast vergroot de hoge turbulentie in de verzamelbak de kans dat glasaal die de verzamelbak binnen weet te komen, uiteindelijk ook langs de ingang van één van de twee aanwezige hevelbuizen wordt gespoeld. Dit bevordert het kansproces om vanuit de verzamelbak richting de polder te worden getransporteerd. De openingen van deze buizen bevinden zich naast elkaar onderin de verzamelbak. De videobeelden laten in ieder geval zien dat meerdere glasalen, al dan niet met de stroming mee, voor de opening van één van deze hevelbuizen terecht komen, en hier effectief in worden gezogen richting de polder. Door het natuurlijke gedrag om bij een zoete uitstroom tegen de stroomrichting in te zwemmen, werden de glasalen hierbij achterwaarts richting de polder getransporteerd.



Figuur 3.25: De stroomsnelheid (in meter per seconde) in de verzamelbak bij De Noord, gemeten bovenin de verzamelbak met de sensor in de richting van de spuikoker. Het is duidelijk te zien dat de stroming zich hier erg turbulent gedraagt, met veel variatie in stroomsnelheid en-richting.

Stroomsnelheidsmetingen voor de opening van de hevelbuis richting de polder in de verzamelbak laten zien dat het water hier met hoge snelheid doorheen wordt gepompt. De laagst gemeten stroomsnelheid was 1,60 m/s. De maximaal gemeten stroomsnelheid was 1,86 m/s. Het gemiddelde lag op 1,71 m/s (Figuur 3.26). Dit is vergelijkbaar met de stroomsnelheden die bij Loohoek werden gemeten, voordat de stroming in de hevelbuis hier werd opgeschroefd om de lucht die waarschijnlijk in de hevelbuis aanwezig was kwijt te raken (Figuur 3.19). Ondanks de vergelijkbare stroomsnelheden op beide locaties wordt niet verwacht dat dit bij De Noord een probleem zal zijn, omdat hier in tegenstelling tot Loohoek gebruik wordt gemaakt van een vacuümpomp.



Figuur 3.26: De stroomsnelheid (in meter per seconde) in de opening van de hevelbuis tussen de verzamelbak en de polder bij De Noord, gemeten aan de verzamelbakzijde. Het is duidelijk te zien dat het water hier met hoge snelheid richting de polder wordt gepompt.

4 Conclusies & aanbevelingen

Dit hoofdstuk beschrijft per locatie de conclusies van het onderzoek en de hieruit voortvloeiende aanbevelingen. Hierbij wordt eerst een 'factsheet' gepresenteerd met daarin een opsomming van de belangrijkste conclusies en aanbevelingen, gevolgd door een detailuitwerking van deze informatie.

4.1 Loohoek

Factsheet Loohoek

Aanbod en lokkende werking
- Goede lokkende werking vismigratievoorziening.
- Momentaanbod glasaal in dezelfde orde grootte als bij De Noord (gemiddeld 18.960 glasalen per dag aanwezig).
- Seizoensaanbod naar schatting 33.521 (±24.091-46.878) glasalen (t.o.v. 69.202 (± 38.439-114.521) bij De Noord).
- Relatief laag momentaanbod driedoornige stekelbaars (gemiddeld 127 driedoornige stekelbaarzen per dag aanwezig).
- Seizoensaanbod wordt geschat op ongeveer 220 (±52-274) driedoornige stekelbaarzen (t.o.v. 760 (±196-1.086) bij De Noord).

Efficiëntie vismigratievoorziening glasaal
- Efficiëntie vismigratievoorziening zeer beperkt voor glasaal (Prestatie Index op dag 5: 0,3, dag 10: 1,2, dag 15: 4,6, dag 20: 6,4, dag 27: 8,0).
- Intrek glasaal kwam langzaam op gang en kende een zeer traag verloop gedurende de meetperiode van 27 dagen.
- Beperkt deel van gemerkte glasalen (12,6% in 20 dagen en 13,8% in 27 dagen) passeerde succesvol. Met het uiteindelijke intrekpercentage van 13,8% en een geschat seizoensaanbod van 33.152 (±24.091-46.878) glasalen, hebben 4.575 (±3.325-6.469) glasalen kunnen intrekken in 2021 bij Loohoek.
- Migratievoorziening werkt voor glasaal beduidend minder goed dan 3 jaar geleden (intrekpercentage gemerkte glasalen na 18 dagen in 2021 12,1 % ten opzichte van 45,2% in 2018).

Verblijftijd en migratiebeweging glasaal
- Aan de voorzijde van het kunstwerk vindt ophoping plaats van glasaal. Dit laat in combinatie met de intrek, die over de gehele periode zeer beperkt blijft, zien dat het kunstwerk nog steeds een migratieknelpunt vormt voor deze soort.
- Er vindt uitwisseling plaats van glasaal tussen Loohoek en De Noord. Op basis van terugvangsten is naar schatting op seizoensbasis 0,67% van de glasalen bij Loohoek uiteindelijk bij De Noord terecht gekomen. Andersom geldt een percentage in dezelfde orde grootte van 0,85%. Verrekend met het geschatte seizoensaanbod in 2021 komt dit neer op 222 (± 169-314) glasalen van Loohoek naar De Noord en 588 (± 327-973) van De Noord naar Loohoek.

Efficiëntie vismigratievoorziening driedoornige stekelbaars

- Het gemiddelde dagelijkse intrekpercentage voor driedoornige stekelbaars ligt op 4,7%, ten opzichte van 1,1% voor glasaal. De migratievoorziening lijkt daarmee beter te functioneren voor driedoornige stekelbaars, dan voor glasaal (vanwege het ontbreken van terugvangsten van driedoornige stekelbaarzen in de fuik achter de migratievoorziening, is hier een andere benadering met aanzienlijk meer onzekerheid gebruikt dan de Prestatie Index).

Optimalisatie vismigratievoorziening

- Optimalisatie, structurele monitoring van werking en stroomsnelheid, en duurzame instandhouding van de lokstroom en de stroming in de hevelleiding wordt aanbevolen. Het plaatsen van flowmeters is cruciaal voor een duurzame instandhouding van een goed werkende lokstroom.
- Het wordt aanbevolen om te onderzoeken of met het toepassen van een minder onderhoudsgevoelige vacuümpomp langdurige periodes van storing kunnen worden voorkomen.
- Optimalisatie inrichting verzamelbak en uitstroom wordt aanbevolen om effectief functioneren te kunnen blijven garanderen voor de langere termijn. Een belangrijke optimalisatieslag hierbij is de toepassing van een grotere, vierkante uitstroombuis tussen de verzamelbak en de spuikoker.
- Een weinig ingrijpende en mitigerende maatregel om de intrek van glasaal effectiever te laten verlopen kan het gericht toepassen van substraat in de uitstroombuis zijn.

De resultaten laten een goede lokkende werking van de vismigratievoorziening bij Loohoek zien voor glasaal, waarbij er constant een hoog aanbod was aan de zeezijde in dezelfde orde grootte als bij De Noord (gemiddeld 18.960 glasalen aanwezig). De resultaten laten ook zien dat op een klein schaalniveau vissen effectief worden aangetrokken tot de lokstroom van de vismigratievoorziening, met hogere dichtheden direct voor de uitstroomopening.
De Prestatie Index voor glasaal bij Loohoek (PI dag 20: 6,4%) laat echter zien dat de vismigratievoorziening met een beperkte snelheid een beperkt aandeel van de aanwezige glasaal liet passeren. Daarnaast nam de dichtheid gemerkte glasalen in de kruisnetvangsten aan de voorzijde niet af door de tijd, maar voor een groot deel van de tijd juist toe. Dit betekent dat glasaal wel voor een langere periode aangetrokken blijft tot de lokstroom van het gemaal en de lokstroom van de vismigratievoorziening, maar het laat in combinatie met de intrek, die over de gehele periode zeer beperkt blijft, ook zien dat er ophoping plaatsvindt van glasaal aan de voorzijde. Het kunstwerk vormt daarmee nog steeds een knelpunt voor migratie.

Er zijn verscheidene mogelijke knelpunten in en rondom de vismigratievoorziening geïdentificeerd. Fluctuaties in de stroomsnelheid van de lokstroom zorgen ervoor dat deze in ieder geval op bepaalde momenten afwijkt van de streefwaarde van ±0,1 m/s. Suboptimale omstandigheden ver van de streefwaarde af beperken effectieve en gerichte migratie naar de verzamelbak. Ook waren er indicaties voor de aanwezigheid van lucht in de hevelleiding tussen de verzamelbak en de polder. Dit kan zowel een oorzaak als een gevolg zijn van de fluctuaties in de stroomsnelheid van de lokstroom. Mogelijk zorgde de aanwezigheid van lucht voor drukverlies in de leiding, waardoor deze niet optimaal functioneerde en migratie slechts beperkt mogelijk was. Daarnaast veroorzaakte de lucht in de leiding mogelijk fysieke schade aan passerende glasalen (in de fuikvangsten werden glasalen aangetroffen met luchtbelletjes in het

hoofd). Ook treedt er schade op aan de pomp in de hevelbuis als gevolg van het zoute water en is de migratievoorziening gedurende de afgelopen jaren regelmatig defect geweest. Als gevolg daarvan was de vismigratievoorziening soms maanden buiten werking gedurende het intrekseizoen van glasaal en driedoornige stekelbaars.

Optimalisatie, structurele monitoring van werking en duurzame instandhouding van de lokstroom en de stroming in de hevelleiding wordt sterk aanbevolen. Dit kan met een combinatie van verschillende aanpassingen worden bewerkstelligd. Zo kan er gebruik worden gemaakt van flowmeters in de lokstroom- en hevelleiding tussen de polder en de verzamelbak. Dit maakt het mogelijk om de stromingen door deze leidingen te monitoren en indien nodig het lokstroomdebiet te corrigeren, zodat de streefwaarde van ±0,1 meter per seconde gehandhaafd blijft. Verder kan gebruik worden gemaakt van een grotere, vierkante uitstroombuis tussen de verzamelbak en de spuikoker (in plaats van een ronde), waardoor de uitstroomsnelheid van de zoetere waterlaag afneemt (grotere diameter en groter oppervlak waarover zoet water uitstroomt aan de bovenzijde) en glasaal meer rechtstreeks kan migreren. De bovengenoemde aanpassingen zijn geïmplementeerd in het ontwerp van de migratievoorziening bij De Noord en dragen bij aan het beter functioneren hiervan. Een andere mogelijke aanpassing is het gebruik van een vacuümpomp in de hevelleiding. Dit heeft meerdere voordelen. Het zoute water komt niet in contact met de pomp, waardoor minder snel slijtage optreedt. Hierdoor wordt het risico op regelmatige storingen verkleind en is minder onderhoud nodig. Ook hoeven vissen de pomp niet te passeren onderweg naar de polder, wat de kans op verwonding/sterfte verkleint. Daarnaast zorgt de vacuümpomp ervoor dat de vismigratieleiding altijd volledig met water is gevuld, en er geen lucht in de leiding kan gaan zitten met drukverlies als gevolg.

Het slecht mengen van zoet en zout water bij Loohoek, wat aangevoerd wordt door de twee tegengestelde visveilige pompen, zorgt er waarschijnlijk voor dat het zoete water zich vooral bovenin de verzamelbak bevindt. Hierdoor zal glasaal zich ook in de bovenste waterlaag concentreren, terwijl de ingang van de hevel naar de polder welke migratie moet faciliteren, zich in de onderste waterlaag bevindt. Hierdoor staat deze altijd voldoende onderwater onafhankelijk van het getij. Het is nu voornamelijk glasaal die na verloop van tijd per toeval langs de ingang van de hevelbuis wordt gespoeld die zal migreren. Migratie via de hevel is daarmee meer gebaseerd op kans dan op rechtstreekse gerichte migratie. Volledig zelfstandige, gerichte migratie zou het meest effectief zijn. Echter, in de situatie waarbij glasaal eerst gericht tegen de zoete lokstroom in migreert om de verzamelbak te betreden en direct daarna passief met de stroming mee de dijk over moet, kan het verbeteren van dit kansproces een goede optie zijn. Zo zou aanzuiging van de hevel over een groter deel van de waterkolom het kansproces zeer waarschijnlijk kunnen versnellen. Een andere mogelijkheid zou het creëren van meer turbulentie in de verzamelbak kunnen zijn. Bij De Noord werden aanzienlijk turbulentere omstandigheden gemeten dan in de verzamelbak bij Loohoek. Deze turbulentie vergroot de kans dat glasaal langs de ingang van de hevelbuis onderin de verzamelbak wordt gespoeld. Naast het bevorderen van het kansproces zorgt de hoge turbulentie in de verzamelbak ervoor dat zoet en zout water beter worden gemengd, resulterend in een minder sterke gelaagdheid van de uitstroom en daarmee rustigere omstandigheden bij de uitstroombuis richting de spuikoker. Dit bevordert de intrekmogelijkheid naar de verzamelbak.

Driedoornige stekelbaars heeft daarentegen als sterkere zwemmer mogelijk meer baat bij een situatie waarin meer gerichte migratie gefaciliteerd wordt. Op basis van de fuikvangsten van ongemerkte vissen lijkt de migratievoorziening bij Loohoek beter te functioneren voor driedoornige stekelbaars dan voor glasaal. Bij De Noord is dit precies andersom. Mogelijk is driedoornige stekelbaars daar in het nadeel doordat de verhoudingsgewijs meer turbulente

omstandigheden in de verzamelbak hier minder gerichte migratie vanuit de verzamelbak richting de polder mogelijk maken door deze soort. In plaats van het optimaliseren van het huidige kansproces, zou het dichter bij elkaar brengen van de zoetwaterbron en hevel meer gerichte migratie van zowel glasaal als driedoornige stekelbaars in de verzamelbak kunnen faciliteren. Dit vergt echter een compleet andere aanpak en ander ontwerp van de migratievoorziening, waarbij het uiteindelijke effect nog onduidelijk is vanwege de mogelijkheid op diverse neveneffecten op het vlak van stroming en de kans op problemen met betrekking tot het mengen van zoet en zout water. Deze ingreep wordt daarom niet aanbevolen voor optimalisatie van de migratievoorziening bij Loohoek, maar zou wel overwogen kunnen worden in toekomstige ontwerpen.

Alle bovengenoemde maatregelen vergen grote aanpassingen aan het ontwerp van de migratievoorziening. Mogelijk kan met de toepassing van een mitigerende, gemakkelijker te realiseren maatregel echter al winst op korte termijn worden behaald. Het betreft het aanbrengen van substraat in de uitstroombuis. Toepassing van substraat in uitstroombuis kan glasaal faciliteren om te migreren bij hogere stroomsnelheden. Glasalen gebruiken het substraat dan als het ware als ‘stepping stones’ om de buis binnen te komen. Dit is bijvoorbeeld zichtbaar bij De Noord. Hier is een ophoping van grind en schelpen aanwezig die vanaf de bodem van de spuikoker omhoog loopt in de richting van de uitstroomopening van de migratievoorziening. Videobeelden laten zien dat glasalen in hoge frequentie via dit substraat de verzamelbak weten te betreden. Het substraat bestaat bij voorkeur uit borstelmatten, die zowel aan de boven- als onderzijde over de gehele lengte van de uitstroombuis zijn aangebracht. Hierdoor kan gerichte migratie op de zoete lokstroom, die voornamelijk langs de bovenzijde van de buis uitstroomt, ook beter worden gefaciliteerd. Daarnaast kan de toepassing van substraat in uitstroombuis ervoor zorgen dat zoet en zout water beter mengen, met minder gelaagdheid en rustigere omstandigheden in de uitstroombuis tot gevolg.
Bij toepassing van substraat in de huidige situatie bij Loohoek dient wel een belangrijke kanttekening te worden geplaatst. Het relatief beperkte oppervlak van de opening van de uitstroombuis kan door het substraat nog verder worden beperkt, waardoor de uitstroomsnelheid verder toeneemt. Om dit te compenseren zouden de pompdebieten terug bijgesteld moeten worden. Dit zou opnieuw kunnen leiden tot problemen met lucht in de hevelleiding, zoals het geval was tijdens het begin van de onderzoeksperiode. De eerder genoemde aanbevelingen, waaronder het plaatsen van een grotere, vierkante uitstroombuis, heeft daarom prioriteit. Daarnaast dient bij het toepassen van substraat in de uitstroombuis rekening te worden gehouden met de ontwikkeling van aangroei, waardoor onderhoud altijd een rol speelt. Om onderhoud eenvoudiger te maken, kan bij het toepassen van substraat gebruik worden gemaakt van een uitneembare slede. Wellicht is dit zo eenvoudig in te richten dat, naast medewerkers van het Waterschap, ook de vrijwilligers die betrokken zijn bij de kruisnetmonitoring van ‘Samen voor de Aal’ (Kooiman & Ploegaert, 2020) en die tweemaal per week op locatie zijn tijdens het intrekseizoen, dit systeem kunnen controleren en schoonmaken. Verder kan substraat in de uitstroombuis ervoor zorgen dat zoet en zout water beter mengen, met minder gelaagdheid en rustigere omstandigheden in de uitstroombuis tot gevolg. Daarnaast kan substraat in de uitstroombuis voor extra weerstand zorgen, waardoor de uitstroomsnelheid minstens wordt getemperd. Ten slotte wordt bij de toepassing van kunstmatig substraat geadviseerd om de werking hiervan goed te testen. De toepassing van substraat kan mogelijk leiden tot veranderingen in stroming die om optimalisatie van de instellingen van de migratievoorziening of het substraat vragen. De werking van het substraat kan worden getest door het maken van onderwaterbeelden en het uitvoeren van stroomsnelheidsmetingen, maar vindt bij voorkeur plaats middels Passagechecks voorafgaand en aansluitend aan het aanbrengen van het substraat.

4.2 De Noord

Factsheet De Noord

Aanbod en lokkende werking
- Goede lokkende werking vismigratievoorziening.
- Momentaanbod glasaal in zelfde orde grootte als bij Loohoek (gemiddeld 17.396 glasalen per dag aanwezig).
- Seizoensaanbod naar schatting 69.202 (±38.439-114.521) glasalen (t.o.v. 33.152 (± 24.091-46.878) bij Loohoek).
- Relatief laag momentaanbod driedoornige stekelbaars (gemiddeld 32 driedoornige stekelbaarzen per dag aanwezig).
- Seizoensaanbod wordt geschat op 763 (± 196-1.086) driedoornige stekelbaarzen (t.o.v. 220 (± 52-274) bij Loohoek).

Efficiëntie vismigratievoorziening glasaal
- Effectiviteit aanzienlijk voor glasaal (Prestatie Index op dag 5: 6,6, dag 10: 26,4, dag 15: 37,9, dag 20: 46,9, dag 36: 60,6).
- Intrek verliep zeer snel van ongeveer dag 3 t/m dag 6 en vlakte daarna af, waarna glasalen geleidelijk bleven passeren gedurende de meetperiode van 36 dagen.
- Aanzienlijk deel gemerkte glasalen (75,0% in 20 dagen en 83,6% in 36 dagen) passeerde succesvol. Met het uiteindelijke intrekpercentage van 83,6% en een geschat seizoensaanbod van 69.202 (±38.439-114.521) glasalen, hebben 57.853 (±32.135-95.740) glasalen kunnen intrekken in 2021 bij De Noord.

Verblijftijd en migratiebeweging glasaal
- De dichtheid gemerkte glasalen in de kruisnetvangsten aan de voorzijde van het kunstwerk nam af door de tijd, nadat de intrek substantieel op gang kwam. Dit laat in combinatie met de hoge intrekefficiëntie (Prestatie Index) zien dat de migratievoorziening over het algemeen goed werkt voor deze soort. Er is nog wel ruimte voor optimalisatie.
- Er vindt uitwisseling plaats van glasaal tussen De Noord en Loohoek. Op basis van terugvangsten is naar schatting op seizoensbasis 0,85% van de glasalen bij De Noord uiteindelijk bij Loohoek terecht gekomen. Andersom geldt een percentage in dezelfde orde grootte van 0,67%. Verrekend met het geschatte seizoensaanbod in 2021 komt dit neer op 588 (± 327-973) glasalen van De Noord naar Loohoek en 222 (± 169-314) van Loohoek naar De Noord.

Efficiëntie vismigratievoorziening driedoornige stekelbaars
- Het gemiddelde dagelijkse intrekpercentage voor driedoornige stekelbaars ligt op 1,3%, ten opzichte van 3,9% voor glasaal. De migratievoorziening lijkt daarmee beter te functioneren voor driedoornige stekelbaars, dan voor glasaal (vanwege het ontbreken van terugvangsten van driedoornige stekelbaarzen in de fuik achter de migratievoorziening, is hier een andere benadering met aanzienlijk meer onzekerheid gebruikt dan de Prestatie Index).

Optimalisatie vismigratievoorziening
- Optimalisatie van de afstelling van de stroomsnelheid van de lokstroom strekt tot aanbeveling. Er werden fluctuaties waargenomen in de stroomsnelheid van de lokstroom, waardoor deze in ieder geval op bepaalde momenten afweek van de streefwaarde van 0,1 m/s.
- In stand houden van het huidige natuurlijke substraat of het duurzaam aanbrengen van kunstmatig substraat in de uitstroomkoker wordt aanbevolen. Glasalen gebruiken het huidige substraat effectief als 'stepping stones' om de verzamelbak te betreden.

De resultaten laten een goede lokkende werking van de vismigratievoorziening bij De Noord zien voor glasaal, waarbij er constant een relatief hoog aanbod was aan de zeezijde in dezelfde orde grootte als bij Loohoek (gemiddeld 17.396 glasalen aanwezig). De resultaten laten ook zien dat op een klein schaalniveau vissen effectief worden aangetrokken tot de lokstroom van de vismigratievoorziening, met hogere dichtheden direct voor de uitstroomopening.
De Prestatie Index voor glasaal bij De Noord (PI dag 20: 46,3%) laat zien dat de vismigratievoorziening een substantieel aandeel van de aanwezige glasaal liet passeren binnen een afzienbare tijd, waarvan het grootste aandeel in de eerste 10 dagen (ruim 50%). Zodra de intrek van gemerkte glasaal substantieel op gang kwam, begon de dichtheid gemerkte glasalen in de kruisnetvangsten aan de voorzijde af te nemen. Gedurende de meetperiode van 36 dagen liep het intrekpercentage van glasaal uiteindelijk op tot 83,6%, alvorens de fuik achter de migratievoorziening werd verwijderd. Dit betekent dat glasalen de vismigratievoorziening over het algemeen goed weten te passeren en voor een langere periode aangetrokken blijven tot de lokstroom van het gemaal en de lokstroom van de vismigratievoorziening.

De migratievoorziening bij gemaal De Noord is in essentie een verbeterde versie van de migratievoorziening bij gemaal Loohoek. Zo is, op basis van de resultaten van de Passagecheck in 2018 bij Loohoek (Ploegaert et al., 2018), gekozen voor een vierkante uitstroombuis tussen de verzamelbak en de spuikoker (in plaats van een ronde), waardoor de uitstroomsnelheid van de zoetere waterlaag afneemt (grotere diameter en groter oppervlak waarover zoet water uitstroomt aan de bovenzijde) en glasaal meer rechtstreeks kan migreren (vastgesteld met stroomsnelheidsmetingen en onderwaterbeelden van het migratiegedrag). Daarnaast wordt gebruik gemaakt van een vacuümpomp in de hevelbuis en flowmeters in de lokstroom- en hevelleiding tussen de polder en de verzamelbak. Het gebruik van een vacuümpomp heeft meerdere voordelen. Het zoute water komt niet in contact met de pomp, waardoor minder snel slijtage optreedt. Hierdoor wordt het risico op regelmatige storingen verkleind en is minder onderhoud nodig. Ook hoeven vissen de pomp niet te passeren onderweg naar de polder, wat de kans op verwonding/sterfte verkleint. Daarnaast zorgt de vacuümpomp ervoor dat de vismigratieleiding altijd volledig met water is gevuld, en er geen lucht in de leiding kan gaan zitten met drukverlies als gevolg. De flowmeters in de lokstroom- en hevelleiding maken het mogelijk om de stromingen door deze leidingen te monitoren en het lokstroomdebiet indien nodig automatisch te corrigeren, zodat de streefwaarde van ±0,1 meter per seconde gehandhaafd blijft. De bovengenoemde aanpassingen in het ontwerp dragen bij aan het beter functioneren van de migratievoorziening bij De Noord.

De migratievoorziening bij Loohoek heeft de afgelopen jaren regelmatig te kampen gehad met storingen. Ook tijdens het intrekseizoen van 2021 draaide de migratievoorziening niet optimaal. Tijdens de Passagecheck in 2018 bij Loohoek (Ploegaert et al., 2018) werden daarentegen geen storingen geconstateerd in de werking van de migratievoorziening. Na 18 dagen was toen 45,2%

van de gemerkte glasalen ingetrokken bij Loohoek. Tijdens de onderhavige Passagecheck was na 18 dagen 72,4% van de gemerkte glasalen ingetrokken bij De Noord. Het lijkt er hiermee op dat de migratievoorziening bij De Noord beter werkt dan die bij Loohoek. Het valt echter niet uit te sluiten dat het verschil tussen de intrekpercentages wordt beïnvloedt door afwijkende omgevingsvariabelen tussen 2018 en 2021, zoals watertemperatuur of weersomstandigheden. Deze waren zeer ongunstig in 2021 met plots inzettende vorst, storm en sneeuw tijdens de onderzoeksperiode, waardoor de vangsten sterk terugliepen. Wanneer de migratievoorziening bij Loohoek wel optimaal gedraaid zou hebben in de huidige vorm, zou betere onderlinge vergelijking mogelijk zijn geweest, en was er mogelijk meer inzicht verkregen in de precieze effecten van de aanpassingen die zijn doorgevoerd bij De Noord.

De plaatsing en vormgeving van de uitstroomopening van de lokstroom in de verzamelbak heeft mogelijk ook een positieve invloed op het functioneren van migratievoorziening bij De Noord. Deze bevindt zich als een staande buis met taps uitlopend eindstuk omhoog gericht bovenin de verzamelbak, waardoor deze in ieder geval bij lage waterstanden tot boven het wateroppervlak reikt. Dit zorgt voor een paddenstoelvormige uitstroom, waarna het water omlaag valt, resulterend in turbulente omstandigheden in de verzamelbak. Deze turbulentie zorgt ervoor dat zoet en zout water beter worden gemengd, resulterend in een minder sterke gelaagdheid van de uitstroom en daarmee rustigere omstandigheden bij de uitstroombuis. In combinatie met de grotere uitstroombuis bevordert dit de intrekmogelijkheid naar de verzamelbak. Daarnaast vergroot de hoge turbulentie in de verzamelbak de kans dat glasaal langs de ingang van één van de twee onderin de verzamelbak aanwezige hevelbuizen wordt gespoeld. Dit bevordert het kansproces om vanuit de verzamelbak richting de polder te worden getransporteerd. Aanzuiging over een groter deel van de waterkolom zou dit kansproces zeer waarschijnlijk nog verder kunnen bevorderen. Volledig zelfstandige, gerichte migratie zou het meest effectief zijn. Echter, in de situatie waarbij glasaal eerst gericht tegen de zoete lokstroom in migreert om de verzamelbak te betreden en direct daarna passief met de stroming mee de dijk over moet, kan het verbeteren van dit kansproces een goede optie zijn.

Driedoornige stekelbaars heeft daarentegen als sterkere zwemmer mogelijk meer baat bij een situatie waarin meer gerichte migratie gefaciliteerd wordt. Op basis van de fuikvangsten van ongemerkte vissen lijkt de migratievoorziening bij De Noord minder goed te functioneren voor driedoornige stekelbaars dan voor glasaal. Bij Loohoek is dit precies andersom. Mogelijk is driedoornige stekelbaars daar in het voordeel doordat de verhoudingsgewijs minder turbulente omstandigheden in de verzamelbak hier meer gerichte migratie vanuit de verzamelbak richting de polder mogelijk maken door deze soort. In plaats van het optimaliseren van het huidige kansproces, zou het dichter bij elkaar brengen van de zoetwaterbron en hevel meer gerichte migratie van zowel glasaal als driedoornige stekelbaars in de verzamelbak kunnen faciliteren. Dit vergt echter een compleet andere aanpak en ander ontwerp van de migratievoorziening, waarbij het uiteindelijke effect nog onduidelijk is vanwege de mogelijkheid op diverse neveneffecten op het vlak van stroming en de kans op problemen met betrekking tot het mengen van zoet en zout water. Deze ingreep wordt daarom niet aanbevolen voor optimalisatie van de migratievoorziening bij De Noord, maar zou wel overwogen kunnen worden in toekomstige ontwerpen.

Mogelijk speelt het habitat aan de voorzijde van het gemaal ook een rol in het functioneren van de migratievoorziening. Aan de voorzijde van De Noord ligt een stroomgeul in de aanwezige getijdenplaat. Deze geul vormt een verbinding tussen het gemaal en het open water. Loohoek ligt daarentegen direct aan open water. Mogelijk draagt de geul en het hierin aanwezige substraat bij De Noord bij aan het vasthouden nabij, en het begeleiden van glasaal naar het

intrekpunt. Parallel aan het Passagecheck onderzoek beschreven in dit rapport, is aanvullend onderzoek gedaan naar het habitatgebruik van glasaal in de geul bij De Noord, en de invloed hiervan op de passage efficiëntie. De uitkomsten van dit onderzoek zullen apart worden gepubliceerd en kunnen leiden tot handvatten voor de inrichting van het habitat aan de zeezijde van intrekpunten, waardoor glasaal beter wordt gefaciliteerd tijdens de intrek richting het achterland.

Ondanks dat de vismigratievoorziening een substantieel aandeel van de aanwezige glasaal binnen afzienbare tijd liet passeren, deed een ander deel er echter wel lang over. De intrek curve loopt richting het eind van de onderzoeksperiode van ruim een maand nog steeds geleidelijk op. Daarnaast raakt een deel van de aanwezige glasalen na verloop van tijd bij het gemaal vandaan. Op basis van terugvangsten is naar schatting op seizoensbasis 0,85% van de glasalen bij De Noord bij Loohoek terecht gekomen. Motivatie van individuen tot migreren speelt hierbij uiteraard een rol, maar mogelijk kan de kans op verlies van glasaal aan de voorzijde van het kunstwerk (door bijvoorbeeld predatie, sterfte en wind-/getijdewerking) wel worden verkleind wanneer glasaal sneller wordt gefaciliteerd bij het passeren van de migratievoorziening.

Een mogelijk knelpunt van de migratievoorziening is de stroomsnelheid van de lokstroom. Ondanks de aanwezigheid van flowmeters in de lokstroom- en hevelleiding, die het mede mogelijk maken om het lokstroomdebiet doorlopend te corrigeren, werden fluctuaties in de stroomsnelheid van de lokstroom gemeten, waardoor deze in ieder geval op bepaalde momenten afweek van de streefwaarde van 0,1 m/s. Suboptimale omstandigheden ver van de streefwaarde af beperken effectieve en gerichte migratie naar de verzamelbak. Optimalisatie van de instellingen van de stroomsnelheid van de lokstroom strekt tot aanbeveling.

Bij hogere stroomsnelheden van de lokstroom kan de aanwezigheid van geschikt substraat in de uitstroombuis glasaal faciliteren bij het betreden van de verzamelbak. Tussen de bodem van de spuikoker en de uitstroomopening van de verzamelbak heeft zich nu onbedoeld een ophoping van grind en schelpen gevormd. Op de videobeelden is te zien dat glasalen in hoge frequentie via dit substraat de verzamelbak betreden. De glasalen gebruiken het substraat als ‘stepping stones’ om de verzamelbak binnen te komen. Het in stand houden van dit substraat wordt aanbevolen. Het is dan wel van belang om te controleren of het substraat structureel aanwezig en schoon blijft doordat het steeds opnieuw inspoelt. Wanneer dit niet het geval is kan worden gekozen voor de gerichte toepassing van kunstmatig substraat in de uitstroombuis om de functie van het substraat in zijn huidige vorm structureel te waarborgen en te optimaliseren. Dit substraat bestaat bij voorkeur uit borstelmatten, die zowel aan de boven- als onderzijde over de gehele lengte van de uitstroombuis zijn aangebracht. Hierdoor kan gerichte migratie op de zoete lokstroom, die voornamelijk langs de bovenzijde van de buis uitstroomt, beter worden gefaciliteerd. Tegelijkertijd kan dit de uitstroom over een groter oppervlak van de uitstroombuis garanderen. Een nadeel van het substraat in zijn huidige vorm is dat het oppervlak van de buisopening langs de onderzijde aanzienlijk wordt verkleind, met een hogere stroomsnelheid langs de bovenzijde van de uitstroombuis tot gevolg. Hierdoor komt glasaal die de buis langs de bovenzijde probeert te betreden moeilijker tegen de harde stroming in.

Bij het toepassen van substraat dient wel rekening te worden gehouden met de ontwikkeling van aangroei, waardoor onderhoud altijd een rol speelt. Om onderhoud eenvoudiger te maken, kan bij het toepassen van substraat gebruik worden gemaakt van een uitneembare slede. Wellicht is dit zo eenvoudig in te richten dat, naast medewerkers van het waterschap, ook de vrijwilligers die betrokken zijn bij de kruisnetmonitoring van ‘Samen voor de Aal’ (Kooiman & Ploegaert, 2020) en die tweemaal per week op locatie zijn tijdens het intrekseizoen, dit systeem kunnen

controleren en schoonmaken. Ten slotte wordt bij de toepassing van kunstmatig substraat geadviseerd om de werking hiervan goed te testen. De toepassing van substraat kan mogelijk leiden tot veranderingen in stroming die om optimalisatie van de instellingen van de migratievoorziening of het substraat vragen. De werking van het substraat kan worden getest door het maken van onderwaterbeelden en het uitvoeren van stroomsnelheidsmetingen, maar vindt bij voorkeur plaats middels Passagechecks voorafgaand en aansluitend aan het aanbrengen van het substraat.

Dankwoord

Het uitvoeren de 'Passagecheck' voor de gemalen Loohoek en De Noord was alleen mogelijk door het verzamelen van een grote hoeveelheid gegevens. Een belangrijk deel van deze gegevens werd verzameld door zeer intensief te vissen met kruisnetten. Vrijwilligers, die al betrokken waren bij de kruisnetmonitoring van 'Samen voor de Aal', hebben een cruciale rol gespeeld door tijdens de donkere uren van het voorjaar vele halen met het kruisnet te doen en de gemerkte oplichtende glasaaltjes en driedoornige stekelbaarzen te scheiden van de ongemerkte. Het trotseren van de onstuimige en koude weersomstandigheden bij aanvang van het onderzoek vormde hierbij een extra uitdaging.

Albert van Dijk, Bert van Broekhoven, Frank van der Kraats, Gertjan van den Berg, Harrold van Eijk, Harry Coenders, Huib den Hollander, Marjo Stoutjesdijk, Mark van Schilt, Paul Bevers, Rien Koopman, Rudi Vercruysse en Thomas Baartmans, heel veel dank!

Stagiair(e)s hebben op verschillende wijzen een waardevolle bijdrage geleverd aan het onderzoek. In het bijzonder danken wij hier Celine Dootjes, Jorrik Ruis voor hun enorme inzet! Andere stagiairs die een waardevolle bijdrage hebben geleverd aan het onderzoek zijn Jurg Gons, Luc van Steen, Luuk van der Made, Mitchel Haring en Niels Römgens, waarvoor dank!

Beroepsvisser Peter Kooistra controleerde de vangst in de fuiken, ook midden in de nacht, waarvoor dank!

De analyse van de gegevens is mede mogelijk gemaakt dankzij de deelnemers aan de Nationale Postcode Loterij, waar vanuit het project 'Red Onze Paling' wordt gesteund.

Waterschap Scheldestromen; Ritchie Schelstraete, Wim Verstelle, Robbie Maenhaut, Aart Heijboer, Jacky Ridderhof, Johannes Vuilbrief, en in het bijzonder Bernd van Broekhoven en Marius van Wingerden zet(ten) zich al jaren in voor het verbeteren van vismigratie. Het kritisch kijken naar eigen vismigratievoorzieningen in de vorm van deze 'Passagecheck' verdient waardering en draagt bij aan het verbeteren van huidige vismigratievoorzieningen en het optimaliseren van nog te realiseren voorzieningen in de toekomst.

5 Literatuur

Griffioen, A.B., M.E. Schiphouwer (RAVON), H.V. Winter, & S. Ploegaert (RAVON). Aalonderzoeken Hoogheemraadschap van Delfland: efficiëntie van glasaalintrek bij gemaal Schoute. Wageningen Marine Research Wageningen UR (University & Research centre), Wageningen Marine Research rapport C007/18. 39 blz.

Imbert, H., Beaulaton, L., Rigaud, C., & Elie, P. (2007). Evaluation of visible implant elastomer as a method for tagging small European eels. Journal of Fish Biology, 71(5), 1546-1554.

Kooiman, M. & S.M.A., Ploegaert, 2020. Samen voor de Aal; Kruisnetmonitoring Zeeland 2017-2020. Projectnummer 2020.031. Stichting RAVON, Nijmegen.

Krebs, C.J., (2014). Ecological Methodology, 3rd ed. Part One – Estimation abundance in animal and plant populations (2021 version, https://www.zoology.ubc.ca/~krebs/books.html)

Peters, B., M. Kooiman & S.M.A. Ploegaert, 2022. Samen voor de Aal; Kruisnetmonitoring Zeeland 2017-2022. Projectnummers 2021.044 & 2022.069. Stichting RAVON, Nijmegen, *concept*.

Pike, C., V. Crook, V. & Gollock, M. 2020. Anguilla anguilla. The IUCN Red List of Threatened Species 2020: e.T60344A152845178. https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2020-2.RLTS.T60344A152845178.en. Accessed on 01 March 2022.

Ploegaert, S., M. Groen & M. Schiphouwer, 2018. Samen voor de Aal; Datarapportage Kruisnetmonitoring Zeeland 2018. Projectnummer 2018.051. Stichting RAVON, Nijmegen.

Ploegaert, S.M.A., 2020. Passagecheck Zeeland – 2019. Efficiëntie van zout-zoet vismigratievoorzieningen bij gemalen Schore en Poppekinderen voor glasaal en driedoornige stekelbaars. Stichting RAVON, Nijmegen. Rapportnummer 2019.045.

Ploegaert, S.M.A., F. Smith, M. Schiphouwer & J. Kranenbarg, 2018. Passagecheck Zeeland – 2018. Efficiëntie van zout-zoet vismigratievoorzieningen bij Loohoek en Prommelsluis voor glasaal en driedoornige stekelbaars. Stichting RAVON, Nijmegen. Rapportnummer 2018.039.

Schiphouwer, M.E. & M. Kooiman, 2021. Landinwaartse migratie van aal via de Noord-Hollandse IJsselmeerkust. Onderzoek naar intrek, aanbod en knelpunten. RAVON, Nijmegen. Rapportnummer 2019.053.

Schiphouwer, M., M. Kooiman, T. Kroon, J. van den Ende, S. Ploegaert & B. Peters, 2022. Landinwaartse migratie van glasaal via Scheveningen. Passagecheck complex Keersluis en Gemaal Schoute. Projectnummer 2020.053. RAVON, Nijmegen.

Seber, G.A.F. 1982. The Estimation of Animal Abundance and Related Parameters. 2nd edition. Griffin, London.

Waterschap Scheldestromen, 2017. Vangstregistratie doortrekmetingen vismigratievoorziening Loohoek 2015 & 2017 [Dataset].

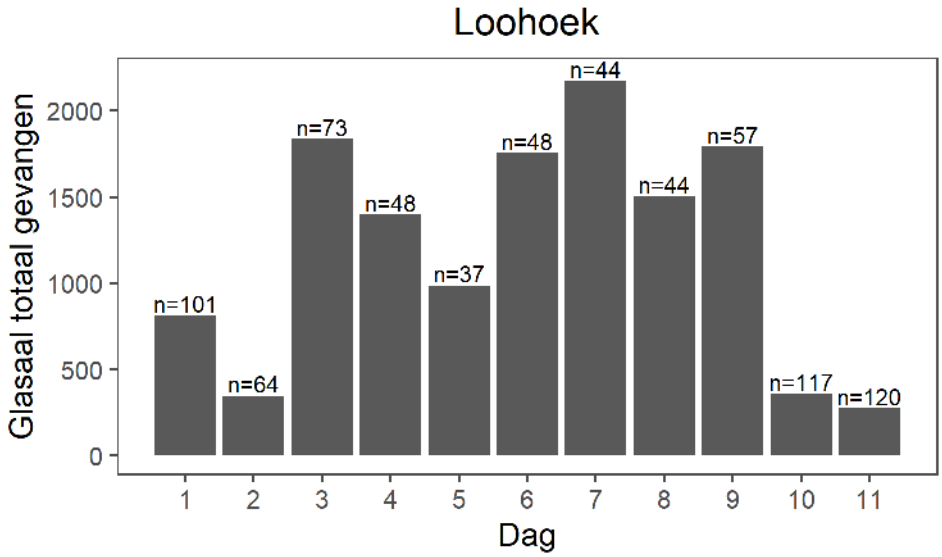
Bijlage 1: Populatieschattingen momentaanbod

Tabel B1.1: Populatieschattingen momentaanbod voor glasaal en driedoornige stekelbaars weergegeven per dag voor locaties Loohoek en De Noord. BI: betrouwbaarheidsinterval.

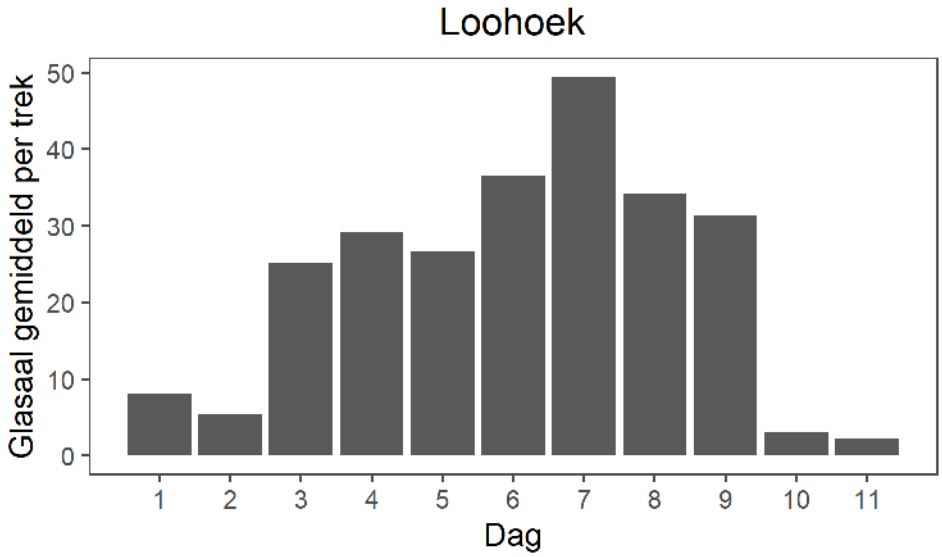
Locatie	Dag	Glasaal (N)	Ondergrens 95% BI	Bovengrens 95% BI	Type BI	Driedoorn (N)	Ondergrens 95% BI	Bovengrens 95% BI	Type BI
De Noord	1	8695	4668	17570	Poisson				
De Noord	2	8338	5380	13578	Poisson	82	33	203	Poisson
De Noord	3	12436	10021	17114	Normal Approximation	89	42	205	Poisson
De Noord	4	10118	7690	13581	Poisson	143	58	355	Poisson
De Noord	5	22088	16696	29837	Poisson	116	47	288	Poisson
De Noord	6	29302	21043	42009	Poisson	121	53	292	Poisson
De Noord	7	30798	20974	47014	Poisson	138	68	303	Poisson
De Noord	8	42092	25781	72960	Poisson	179	54	350	Poisson
De Noord	9	27098	17845	43057	Poisson	155	56	376	Poisson
De Noord	10	46563	28061	82289	Poisson	119	43	289	Poisson
Loohoek	1	6982	4276	12103	Poisson	17	6	42	Poisson
Loohoek	2	31526	22745	44953	Poisson	21	7	51	Poisson
Loohoek	3	23342	18756	32330	Normal Approximation				
Loohoek	4	17118	13720	23844	Normal Approximation	37	10	72	Poisson
Loohoek	5	17579	14816	22124	Normal Approximation				
Loohoek	6	16893	14536	20511	Normal Approximation	44	13	87	Poisson
Loohoek	7	19110	15772	25029	Normal Approximation				
Loohoek	8	14820	12696	18127	Normal Approximation				
Loohoek	9	14702	9771	23104	Poisson	37	10	72	Poisson
Loohoek	10	27530	14780	55631	Poisson	37	10	72	Poisson

Bijlage 2: Aanvullende figuren kruisnetbemonsteringen

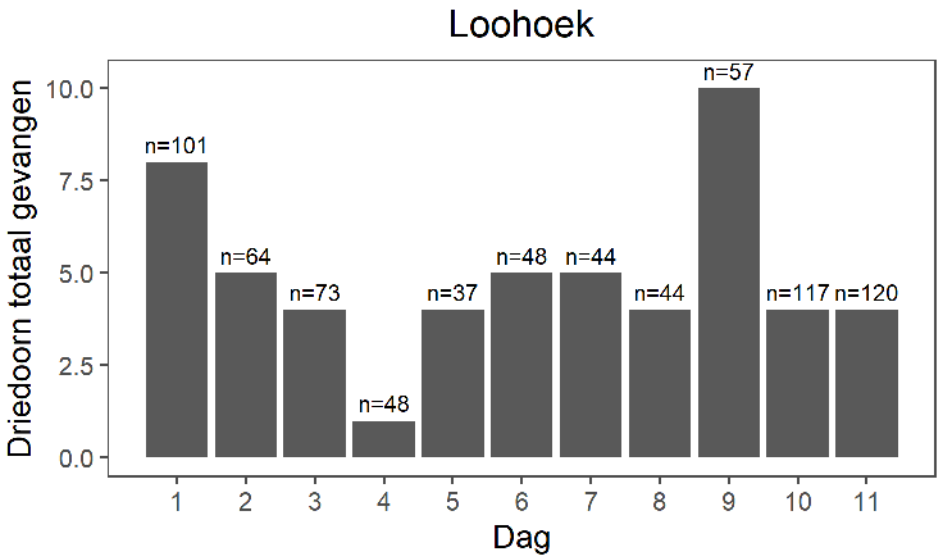
B2.1 Loohoek



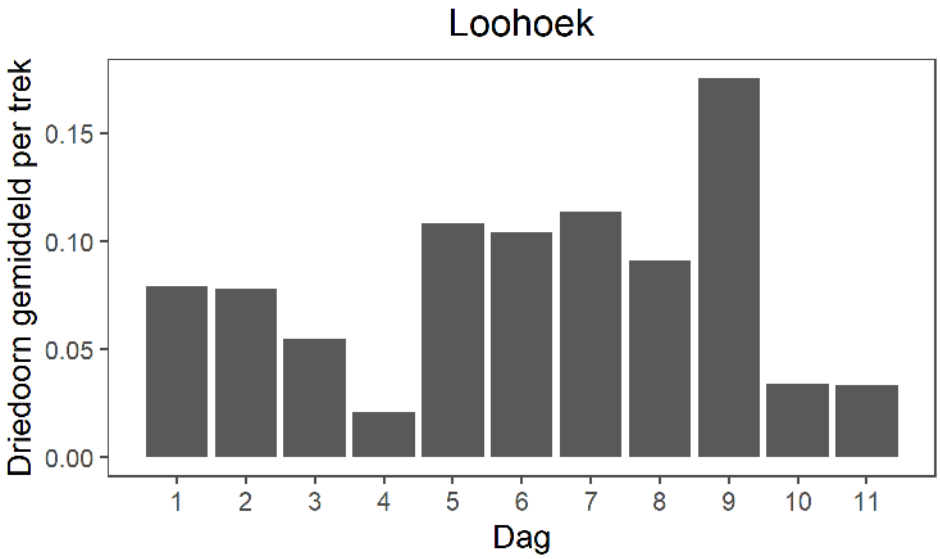
Figuur B2.1: Met kruisnet gevangen glasalen bij gemaal Loohoek weergegeven als totaalvangst per dag (n=aantal trekken).



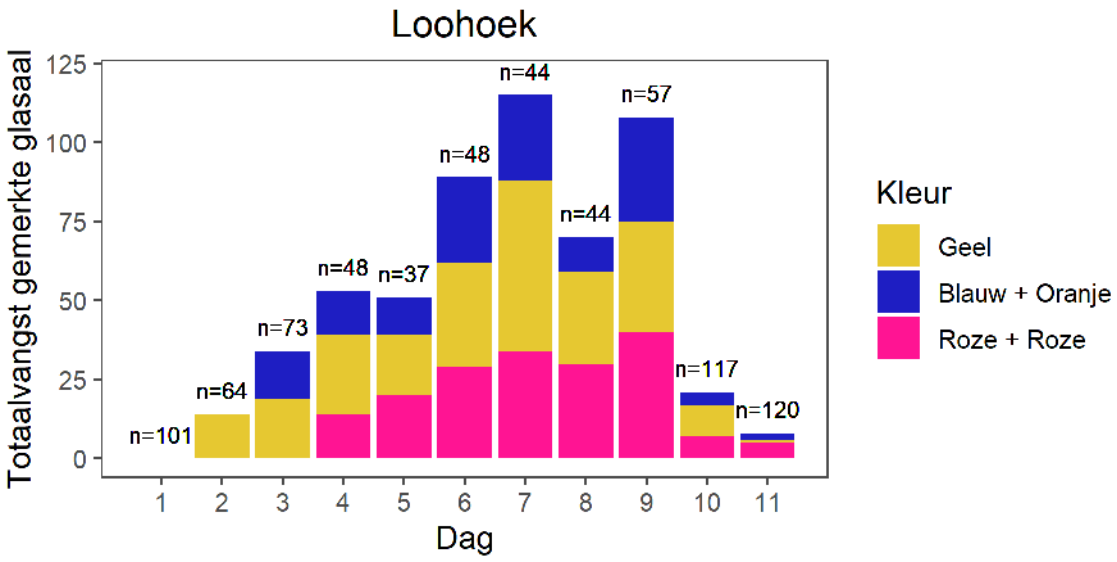
Figuur B2.2: Met kruisnet gevangen glasalen bij gemaal Loohoek weergegeven als gemiddelde per trek.



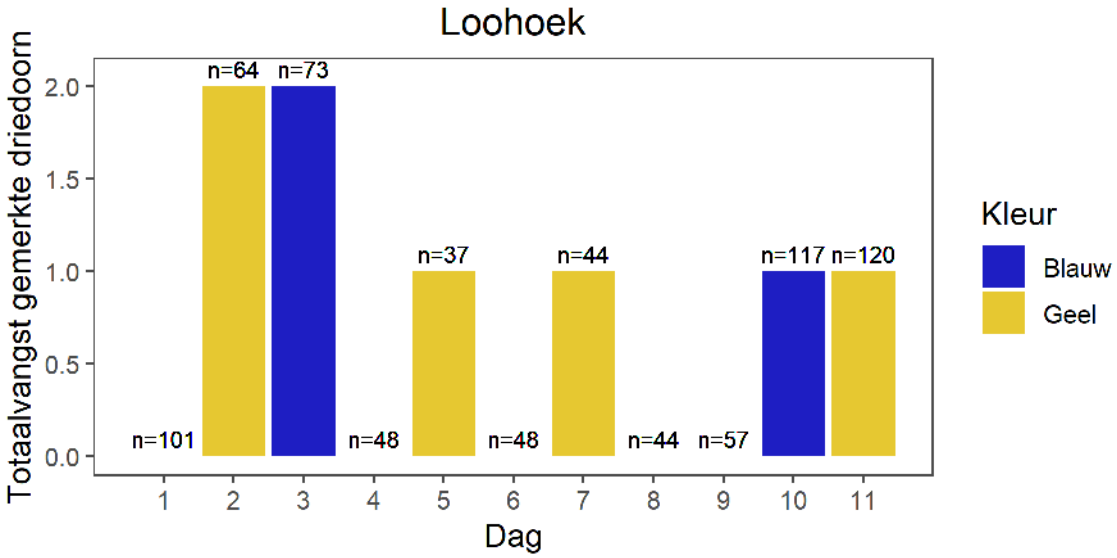
Figuur B2.3: Met kruisnet gevangen driedoornige stekelbaarzen bij gemaal Loohoek weergegeven als totaalvangst per dag (n=aantal trekken).



Figuur B2.4: Met kruisnet gevangen driedoornige stekelbaarzen bij gemaal Loohoek weergegeven als gemiddelde per trek.

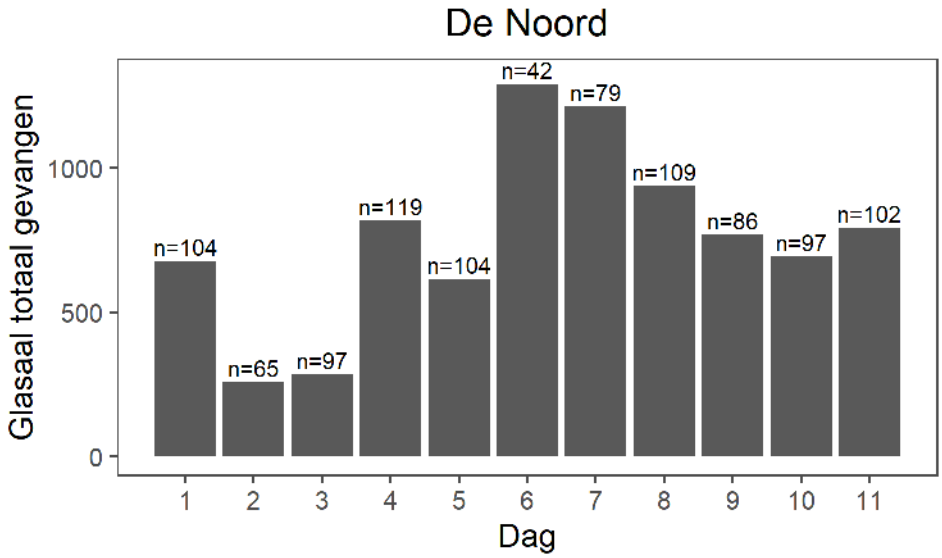


Figuur B2.5: Met kruisnet teruggevangen gemerkte glasalen bij gemaal Loohoek weergegeven als totaalvangst per dag (n=aantal trekken), waarbij met kleuren onderscheid is gemaakt tussen de verschillende groepen.

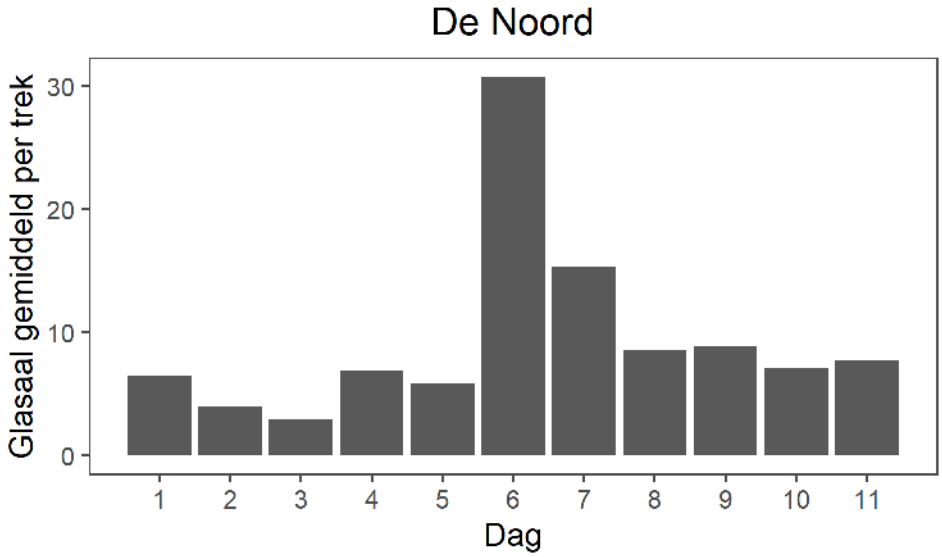


Figuur B2.6: Met kruisnet teruggevangen gemerkte driedoornige stekelbaarzen bij gemaal De Noord weergegeven als totaalvangst per dag (n=aantal trekken), waarbij met kleuren onderscheid is gemaakt tussen de verschillende groepen.

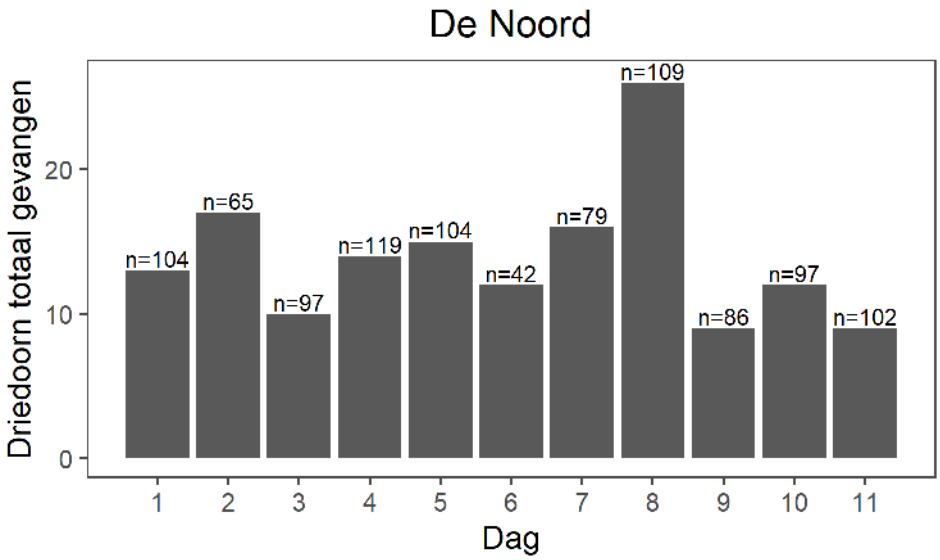
B2.2 De Noord



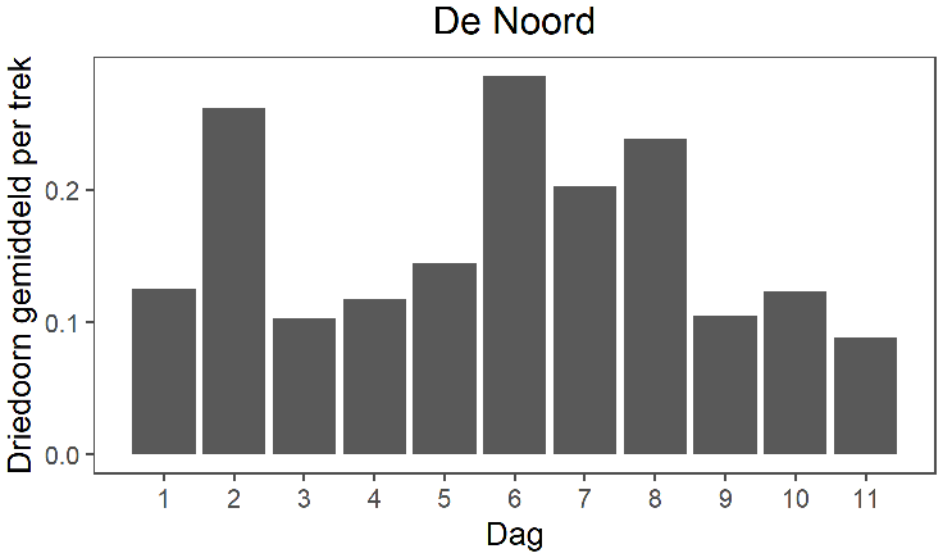
Figuur B2.7: Met kruisnet gevangen glasalen bij gemaal De Noord weergegeven als totaalvangst per dag (n=aantal trekken).



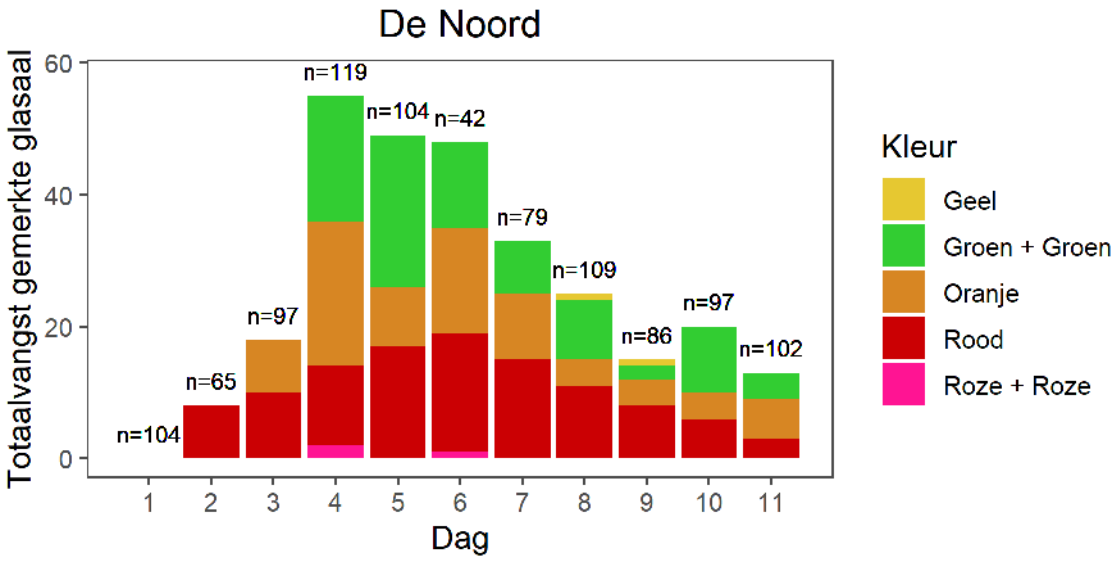
Figuur B2.8: Met kruisnet gevangen glasalen bij gemaal De Noord weergegeven als gemiddelde per trek.



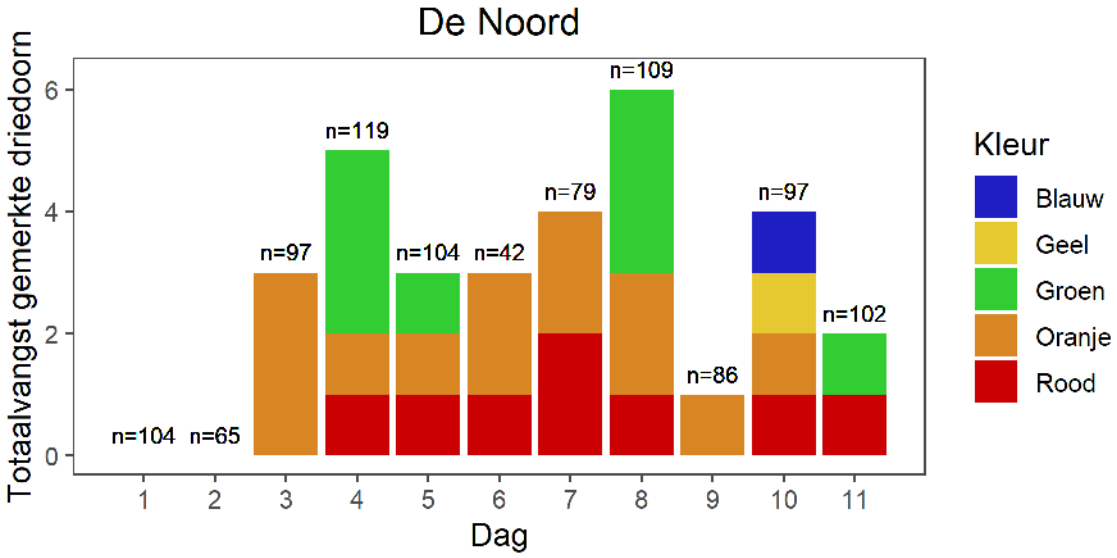
Figuur B2.9: Met kruisnet gevangen driedoornige stekelbaarzen bij gemaal De Noord weergegeven als totaalvangst per dag (n=aantal trekken).



Figuur B2.10: Met kruisnet gevangen driedoornige stekelbaarzen bij gemaal De Noord weergegeven als gemiddelde per trek.



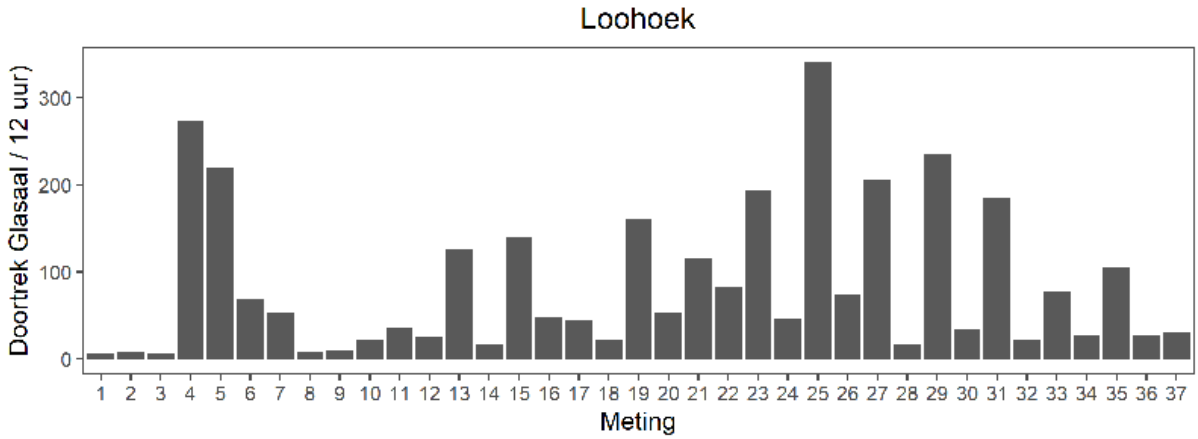
Figuur B2.11: Met kruisnet teruggevangen gemerkte glasalen bij gemaal De Noord weergegeven als totaalvangst per dag (n=aantal trekken), waarbij met kleuren onderscheid is gemaakt tussen de verschillende groepen. De gele en roze + roze groep zijn uitgezet bij Loohoek.



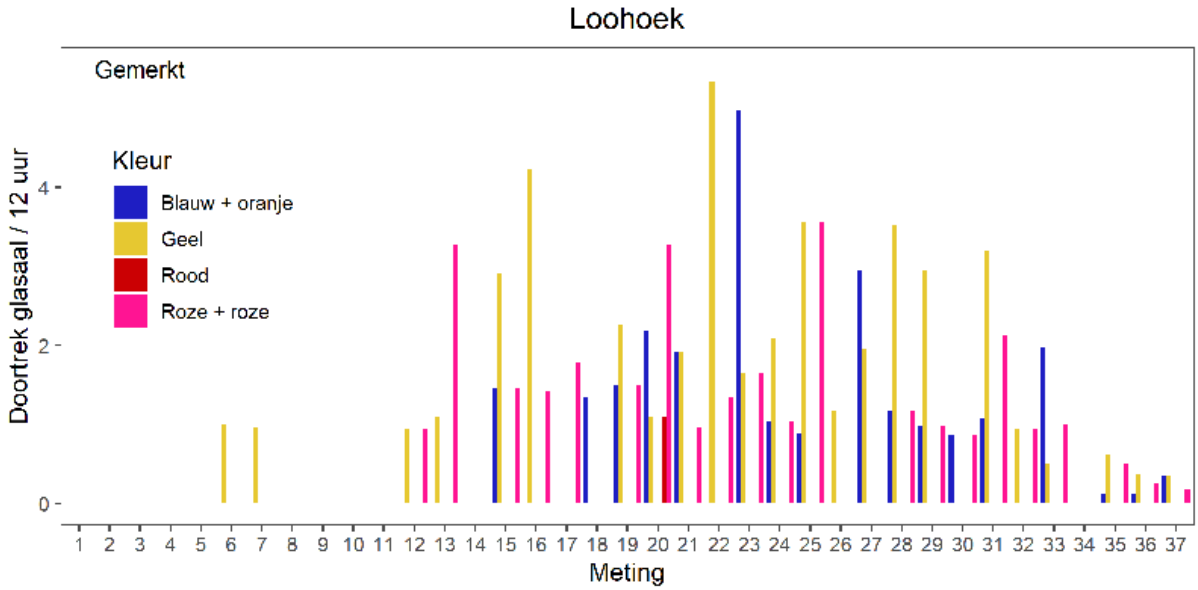
Figuur B2.12: Met kruisnet teruggevangen gemerkte driedoornige stekelbaarzen bij gemaal De Noord weergegeven als totaalvangst per dag (n=aantal trekken), waarbij met kleuren onderscheid is gemaakt tussen de verschillende groepen. De blauwe en gele groep zijn uitgezet bij Loohoek.

Bijlage 3: Aanvullende figuren fuikbemonsteringen

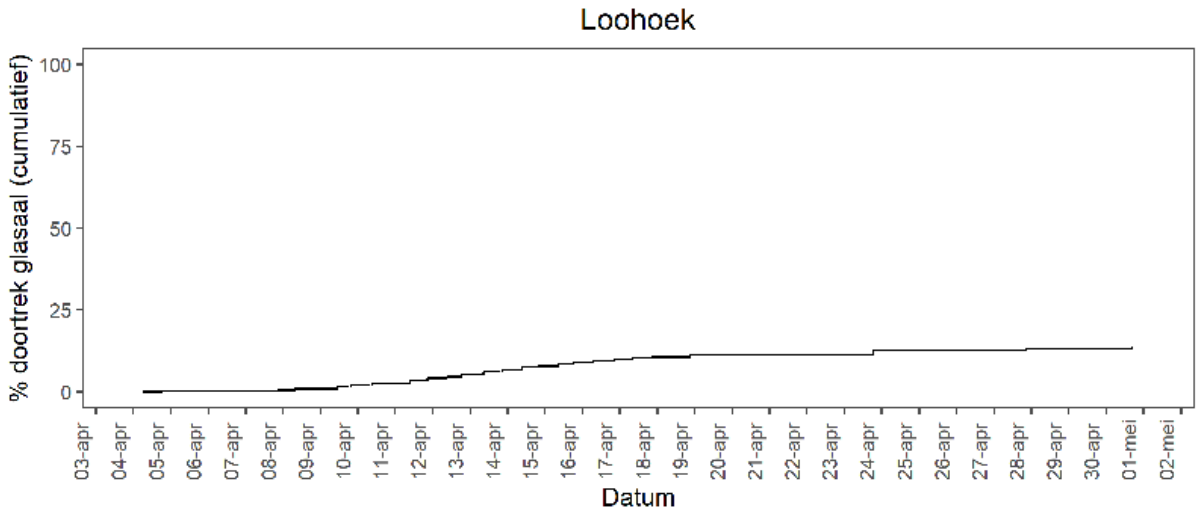
B3.1 Loohoek



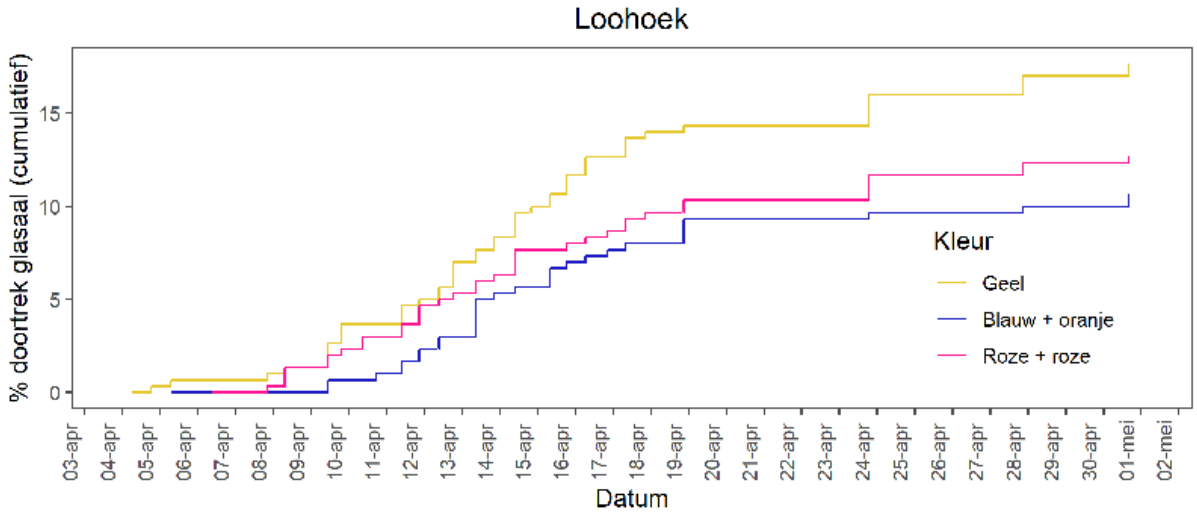
Figuur B3.1: Totaal aantal glasalen gevangen in de intrekmetingen met fijnmazige fuik bij Loohoek, weergegeven per 12 uur. De fuikmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 25 maart t/m 1 mei.



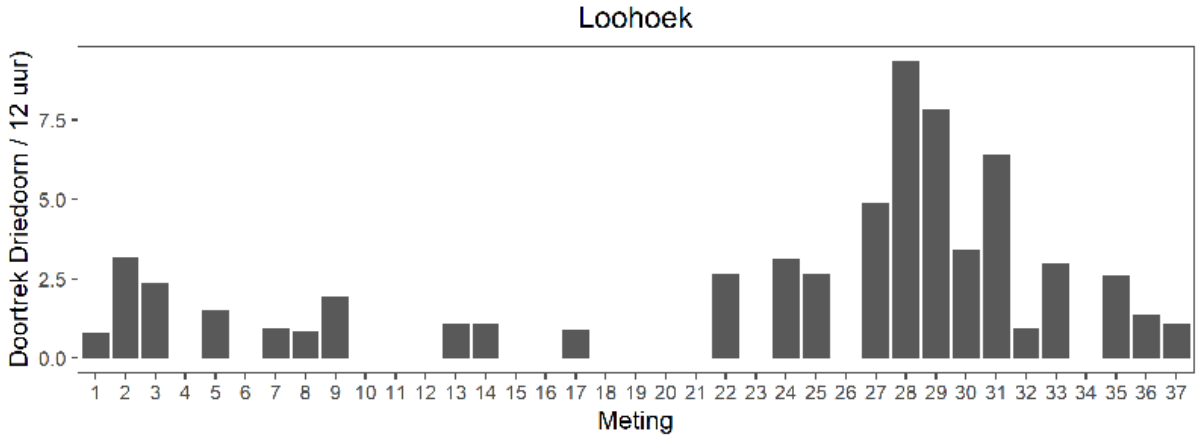
Figuur B3.2: Aantal gemerkte glasalen gevangen in de intrekmetingen met fijnmazige fuik bij Loohoek, weergegeven per 12 uur en per groep. De rode groep is uitgezet bij De Noord. De fuikmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 25 maart t/m 1 mei.



Figuur B3.4: Cumulatief intrekpercentage (aandeel van totaal aantal gemerkt) van glasaal in de fijnmazige fuik bij Loohoek.

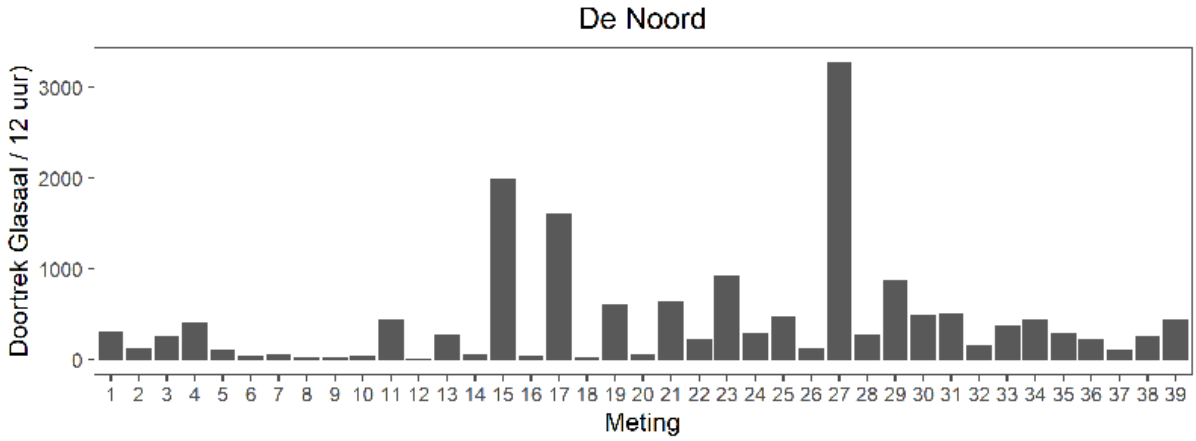


Figuur B3.4: Cumulatief intrekpercentage (aandeel van totaal aantal gemerkt) van glasaal in de fijnmazige fuik bij Loohoek, weergegeven per groep.

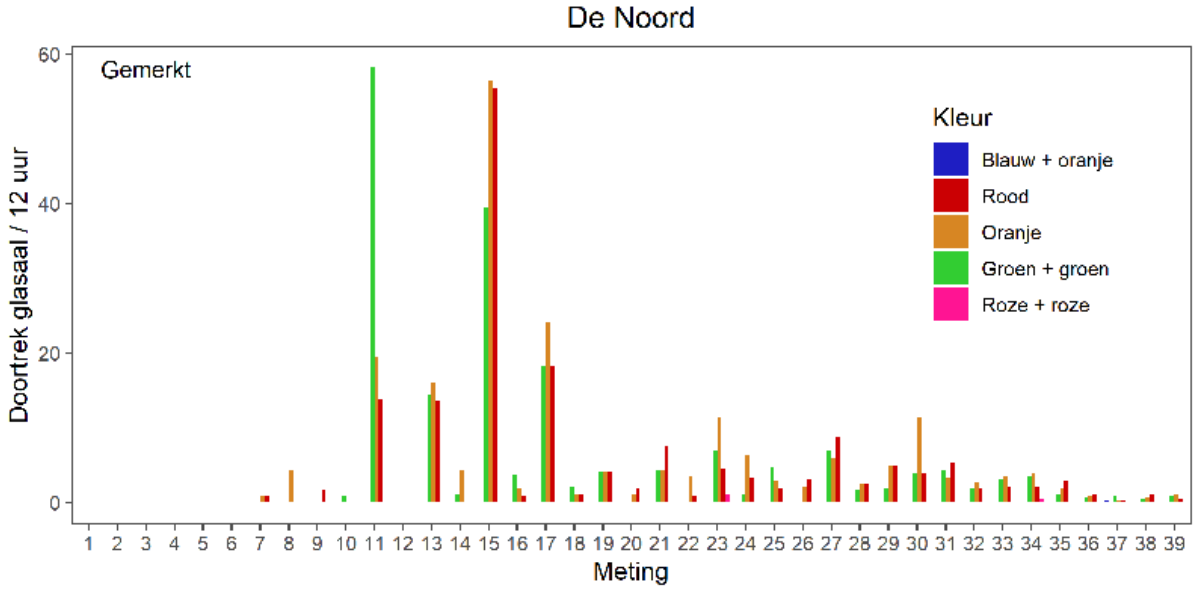


Figuur B3.5: Totaal aantal driedoornige stekelbaarzen gevangen in de intrekmetingen met fijnmazige fuik bij Loohoek, weergegeven per 12 uur. De fuikmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 25 maart t/m 1 mei.

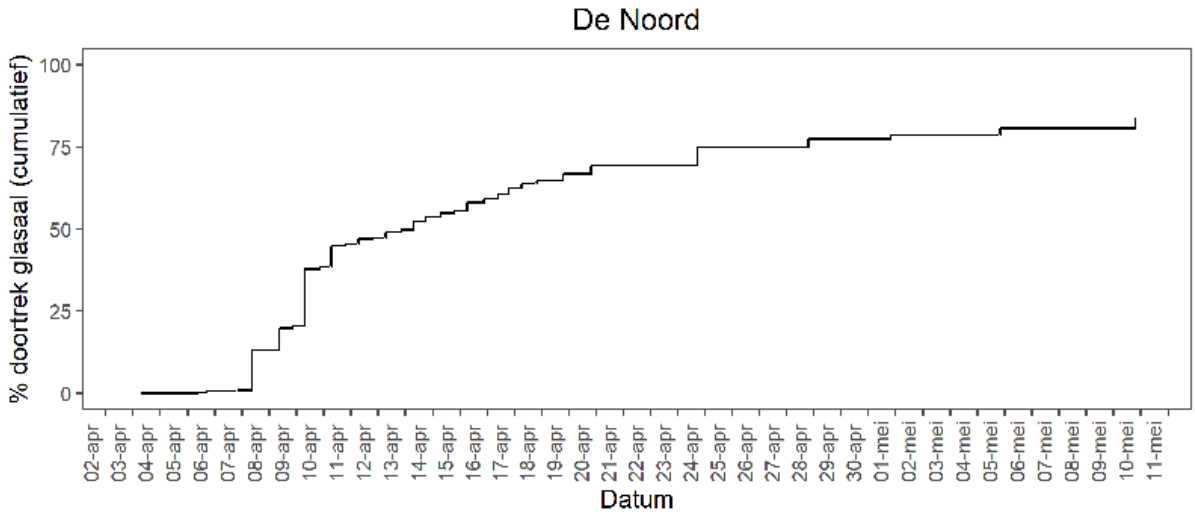
B3.2 De Noord



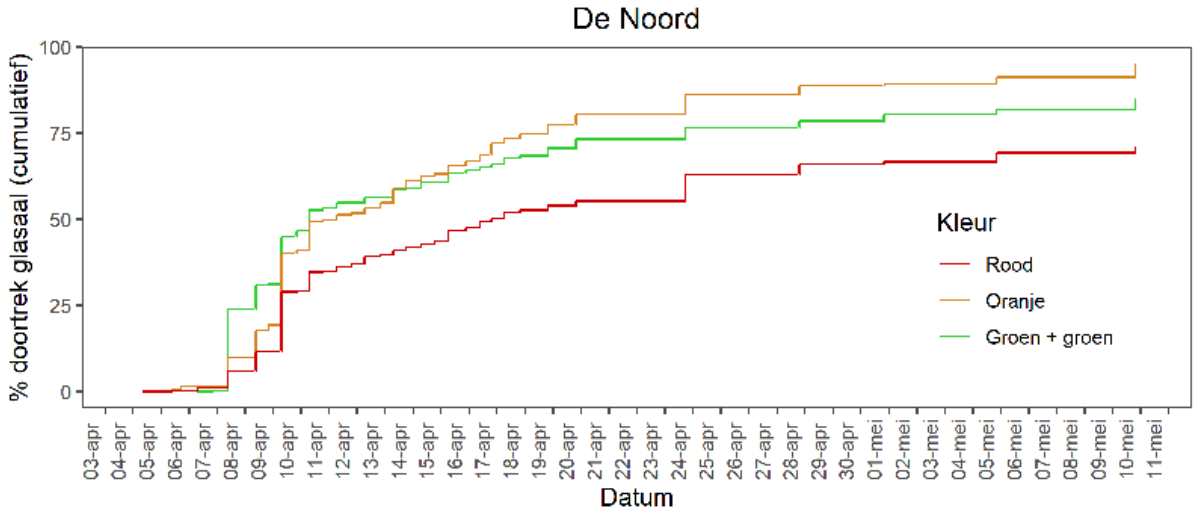
Figuur B3.6: Totaal aantal glasalen gevangen in de intrekmetingen met fijnmazige fuik bij De Noord, weergegeven per 12 uur. De fuikmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 25 maart t/m 10 mei.



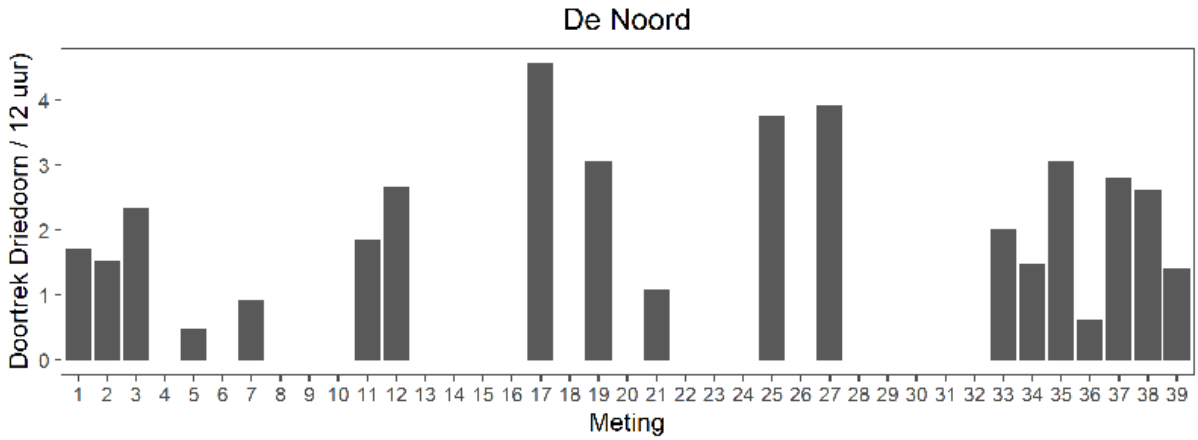
Figuur B3.7: Aantal gemerkte glasalen gevangen in de intrekmetingen met fijnmazige fuik bij De Noord, weergegeven per 12 uur en per groep. De blauw + oranje en roze + roze groepen zijn uitgezet bij Loohoek. De fuikmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 25 maart t/m 10 mei.



Figuur B3.8: Cumulatief intrekpercentage (aandeel van totaal aantal gemerkt) van glasaal in de fijnmazige fuik bij De Noord.



Figuur B3.9: Cumulatief intrekpercentage (aandeel van totaal aantal gemerkt) van glasaal in de fijnmazige fuik bij De Noord, weergegeven per groep.



Figuur B3.10: Totaal aantal driedoornige stekelbaarzen gevangen in de intrekmetingen met fijnmazige fuik bij De Noord, weergegeven per 12 uur. De fuikmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 25 maart t/m 10 mei.

Bijlage 4: Bevindingen Passagecheck Loohoek 2018

Passagecheck Loohoek 2018: resultaten

In 2018 is onderzoek gedaan naar aanbo d en intrek bij gemaal Loohoek middels het Passagecheck concept (Ploegaert et al., 2018). De resultaten lieten een goede lokkende werking van de vismigratievoorziening bij Loohoek zien voor zowel glasaal als driedoornige stekelbaars, waarbij er constant een hoog aanbod is van glasaal aan de zeezijde en vissen effectief naar de uitstroom van de vismigratievoorziening worden aangetrokken. Daarnaast lieten intrekpercentages (45,2% voor glasaal en 10,4% voor driedoornige stekelbaars) en intrektijden zien dat de vismigratievoorziening een substantieel aandeel van de aanwezige glasaal liet passeren binnen een aanzienlijke tijd (18 dagen). De data liet echter ook zien dat glasaal en driedoornige stekelbaars gefragmenteerd passeerde en dagen aanwezig kon zijn alvorens gebruik te maken van de vismigratievoorziening. Motivatie van individuen tot migreren speelt hierbij uiteraard een rol. Het liet echter ook zien dat dit kunstwerk nog steeds een knelpunt vormt (Ploegaert et al., 2018).

Passagecheck Loohoek 2018: (mogelijke) knelpunten voor intrek

Naast het merk-terugvangst experiment is ook het gedrag van glasaal en driedoornige stekelbaars bij de uitstroom van het gemaal en de uitstroom van de vismigratievoorziening onderzocht met een onderwatercamera. De beelden gaven een goed beeld van hoe de lokstroom fysiek de uitstroombuis uitstroomt. Een naar verhouding dunne laag zoeter polderwater stroomde bovenop het zoute water met relatief hoge snelheid naar buiten. Een dikkere laag zout water stroomde gelijktijdig aan de onderzijde van de buis richting de verzamelbak. Door het niet mengen van zoet en zout water leek de beoogde constante netto uitstroom van 0,1 m/s hier niet te heersen. Op de beelden is zichtbaar hoe het merendeel van de glasalen bij de ingang van de buis de zoete lokstroom probeerden te volgen, maar deze te sterk bleek om tegenin te zwemmen. Het gevolg was een concentratie van actief naar beneden zwemmende glasaal vlak boven de buis, waar de zoete lokstroom langs de betonnen wand omhoog stroomde. De glasalen die daadwerkelijk de buis ingingen deden dit via de zoute instromende laag onderin de buis. Door het natuurlijke gedrag om bij een zoete uitstroom tegen de stroomrichting in te zwemmen, werden de glasalen in deze instromende laag achterwaarts richting de verzamelbak getransporteerd. Driedoornige stekelbaars kon echter wel op eigen kracht de buis in-, maar ook weer uitzwemmen. Het slecht mengen van het zoete en zoute water wat aangevoerd wordt door de twee tegengestelde visveilige pompen heeft niet alleen invloed op de lokstroom, maar mogelijk ook op de omstandigheden in de verzamelbak. In de verzamelbak bevindt het zoete water zich ook in de bovenste waterlaag. Hierdoor zal glasaal zich vermoedelijk concentreren in het bovenste deel van de waterkolom. De inlaat van de visvriendelijke pomp richting de polder, welke migratie moet faciliteren, bevindt zich echter onderin de verzamelbak. Hierdoor staat deze altijd voldoende onderwater onafhankelijk van het getij. Het was voornamelijk glasaal die naar verloop van tijd in de zoute instroom naar de verzamelbak terecht kwam en vervolgens na verloop van tijd bij de zoute instroom onderin de verzamelbak terecht kwam die migreerde. Migratie naar de verzamelbak en naar de hevel waren meer gebaseerd op kans dan op rechtstreekse gerichte migratie (Ploegaert et al., 2018).

Passagecheck Loohoek 2018: aanbevelingen

Op basis van dit onderzoek werden de volgende aanbevelingen gedaan. Migratie door de uitstroombuis naar de verzamelbak kan worden verbeterd door meer rekening te houden met het slecht mengen van water met verschillende zoutgehaltes en met het natuurlijke trekgedrag van glasaal en driedoornige stekelbaars. Er wordt aangeraden om bij de aanleg van toekomstige

passages van dit type een ander type uitstroombuis toe te passen waarbij het oppervlak waarover het zoete water uitstroomt wordt vergroot en daarmee de uitstroomsnelheid afneemt. Ook zou door het aanbrengen van structuren zoals borstels of ribbels over de gehele lengte van de uitstroombuis (met name bovenin) het water beter gemengd kunnen worden of minstens de uitstroomsnelheid worden getemperd. Structuren zoals borstels zouden ook als 'stepping stones' kunnen dienen voor naar binnen migrerende glasaal. De plaatsing van de ingang van de hevel naar de polder in de verzamelbak kan mogelijk beter. Deze zit nu in de onderste waterlaag terwijl glasaal zich vermoedelijk in de bovenste zoete waterlaag concentreert. Het onderzoeken van het gedrag van glasaal en driedoornige stekelbaars in de verzamelbak strekt tot aanbeveling (Ploegaert et al., 2018).

Bijlage 5: Berekening populatieschattingen onderzoeksperiode en seizoen

Onderzoeksperiode

De populatieschatting per locatie tijdens de onderzoeksperiode is benaderd op basis van de (terug)vangsten met de fuik. Bij Loohoek gaat het om de periode van 25 maart t/m 1 mei en bij De Noord gaat het om de periode van 25 maart t/m 10 mei. Tijdens deze periodes heeft doorlopend vangstinspanning plaatsgevonden met de fuik. Gemerkte dieren maakten daarbij een bepaalde kans om teruggevangen te worden. Het aantal terugvangsten was afhankelijk van het vangstrendement van de fuik op dat moment en de dynamiek van het aanbod, o.a. de verblijftijd. Op basis van het uiteindelijke terugvangstrendement kan een benadering van de totale populatiegrootte plaatsvinden over de gehele onderzoeksperiode. Voorwaarde voor een goede bepaling van het terugvangstrendement is wel dat aan het eind van de periode waarin terugvangstinspanning plaatsvindt (in dit geval na respectievelijk 27 en 36 dagen fuikvissen bij Loohoek en De Noord) nagenoeg geen terugvangst van gemerkte dieren meer wordt gegenereerd. Doordat met de fuik doorlopend vangstinspanning werd geleverd voor een langere periode zijn een groot aantal terugvangsten gegenereerd. Dit maakt het mogelijk om een betrouwbare inschatting te maken van de populatiegrootte gedurende de onderzoeksperiode.
Net als bij de benadering van het momentaanbod is bij de populatieschattingen over de gehele onderzoeksperiode gebruik gemaakt van de variatie op de eenvoudige Petersen methode, voorgesteld door Seber (1982) om overschatting van de daadwerkelijke populatiegrootte te voorkomen (Krebs, 2014):

$$N = \frac{(M+1)(C+1)}{R+1} - 1$$

Het uitgangspunt van de toepassing van deze methode in deze situatie is dat: de verhouding tussen het totaal aantal gemerkte dieren (M) en de populatiegrootte (N) tijdens de onderzoeksperiode gelijk is aan de verhouding tussen het aantal in de fuik teruggevangen gemerkte dieren (R) en het aantal in de fuik gevangen dieren dat gecontroleerd is op de aanwezigheid van gemerkte dieren (C) tijdens de gehele onderzoeksperiode. Bij de berekening van de 95% betrouwbaarheidsinterval is dezelfde methode gehanteerd als bij het momentaanbod (zie Bijlage 6).

Seizoen

Zowel Loohoek als De Noord maken deel uit van de structurele glasaalmonitoring binnen het project 'Samen voor de Aal Zeeland'. Hierdoor wordt gedurende het volledige intrekseizoen (half februari t/m half juni) structureel tweemaal per week vangstinspanning geleverd met het kruisnet. Gemerkte dieren maakten daarbij een bepaalde kans om teruggevangen te worden. Het aantal terugvangsten was afhankelijk van het vangstrendement van het kruisnet op dat moment en de dynamiek van het aanbod, o.a. de verblijftijd. Door de gemerkte dieren als representatief te beschouwen voor in de omliggende periode aanwezige populatie, kan via het uiteindelijke terugvangstrendement een benadering van de totale populatiegrootte plaatsvinden over het gehele seizoen. Voorwaarde voor deze benadering is wel dat aan het eind van de periode waarin terugvangstinspanning plaatsvindt nagenoeg geen terugvangst van gemerkte dieren meer wordt gegenereerd.

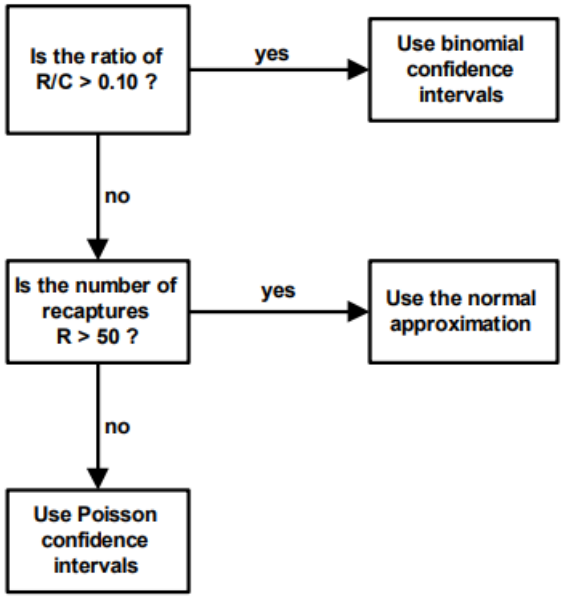
De mate van vangstinspanning met het kruisnet verschilt sterk tussen het intensieve merk-terugvangstonderzoek (11 avonden 3 uur lang vissen met meerdere kruisnetten) en de reguliere monitoring in de omliggende periode (doorgaans 2 avonden per week 5 trekken met 1 kruisnet). De (terug)vangsten zijn daarom eerst gestandaardiseerd. Dit is gedaan door het gemiddelde aantal (gemerkte) dieren per trek per week te berekenen, en deze aantallen te vermenigvuldigen met het aantal trekken dat doorgaans per week plaatsvindt buiten de intensieve onderzoeksperiode om (10 trekken). Vanwege de lage intensiteit van deze terugvangstinspanning is het terugvangstrendement beperkt. De populatieschattingen op basis hiervan kennen dan ook een grote onbetrouwbaarheid.
Net als bij de benadering van het momentaanbod is bij de populatieschattingen over het gehele intrekseizoen gebruik gemaakt van de variatie op de eenvoudige Petersen methode, voorgesteld door Seber (1982) om overschatting van de daadwerkelijke populatiegrootte te voorkomen (Krebs, 2014):

$$N = \frac{(M+1)(C+1)}{R+1} - 1$$

Het uitgangspunt van de toepassing van deze methode in deze situatie is dat: de verhouding tussen het totaal aantal gemerkte dieren (M) en de populatiegrootte (N) tijdens het gehele intrekseizoen gelijk is aan de verhouding tussen de som van het gestandaardiseerde aantal in het kruisnet teruggevangen gemerkte dieren per week (R) en de som van het gestandaardiseerde aantal in het kruisnet gevangen dieren dat gecontroleerd is op de aanwezigheid van gemerkte dieren per week (C) over het gehele intrekseizoen. Bij de berekening van de 95% betrouwbaarheidsinterval is dezelfde methode gehanteerd als bij het momentaanbod (zie Bijlage 6).

Bijlage 6: Berekening betrouwbaarheid populatieschattingen

Om de betrouwbaarheid van de populatieschattingen inzichtelijk te maken is het betrouwbaarheidsinterval van 95% berekend. Er zijn verschillende manieren om een betrouwbaarheidsinterval te berekenen rondom Petersen populatieschattingen. Het is afhankelijk van de data welke manier van toepassing is. Seber (1982) heeft hiervoor een algemene richtlijn opgesteld (Krebs, 2014). Deze is weergegeven in Figuur B6.1.



Figuur B6.1: Algemene richtlijn voor de keuze van een bepaalde betrouwbaarheidsinterval rondom Petersen populatieschattingen zoals voorgesteld door Seber (1982). Overgenomen uit Krebs (2014).

Binnen de onderhavige studie was de verhouding tussen het aantal in de kruisnetten teruggevangen gemerkte dieren (R) en het aantal in de kruisnetten gevangen dieren dat gecontroleerd is op de aanwezigheid van gemerkte dieren (C) nooit groter dan 0.10. Om deze reden zijn alleen de Normal Approximation en Poisson betrouwbaarheidsintervallen toegepast.

Normal Approximation betrouwbaarheidsinterval
De Normal Approximation betrouwbaarheidsinterval kan als volgt worden berekend.

$$\frac{R}{C} \pm \left\{ Z_{\propto} \left[\sqrt{\frac{(1-f)({}^{R}/_{C})(1-{}^{R}/_{C})}{(C-1)}} \right] + \frac{1}{2C} \right\}$$

Waar: $f = {}^{R}/_{M}$

En: $Z_{\propto}$ = standaardnormale deviatie voor de (1-α) mate van betrouwbaarheid (=1.96 bij een 95% betrouwbaarheidsinterval)

Op basis van de bovenstaande formule kunnen de onder- en bovengrens van de 95% betrouwbaarheidsinterval voor (R/C) worden berekend. Met deze limieten kan vervolgens de

95% betrouwbaarheidsinterval bij de geschatte populatiegrootte worden berekend door ze te gebruiken voor R/C in de formule:

$$N = \frac{C\ M}{R}$$

Dit gaat als volgt in zijn werk:

$$Ondergrens\ 95\%\ betrouwbaarheidsinterval\ bij\ N = \left(\frac{1}{x_1}\right) * M$$
$$Bovengrens\ 95\%\ betrouwbaarheidsinterval\ bij\ N = \left(\frac{1}{x_2}\right) * M$$

Waar: x_1 = de bovengrens van de 95% betrouwbaarheidsinterval voor (R/C).
En: x_2 = de ondergrens van de 95% betrouwbaarheidsinterval voor (R/C).

Poisson betrouwbaarheidsinterval
De onder- en bovengrens van de 95% betrouwbaarheidsinterval bij de geschatte populatiegrootte kunnen als volgt worden berekend:

$$Ondergrens\ 95\%\ betrouwbaarheidsinterval\ bij\ N = \frac{(M+1)(C+1)}{(x_1+1)} - 1$$
$$Bovengrens\ 95\%\ betrouwbaarheidsinterval\ bij\ N = \frac{(M+1)(C+1)}{(x_2+1)} - 1$$

Waar: x_1 = de bovengrens van de 95% betrouwbaarheidsinterval voor R.
En: x_2 = de ondergrens van de 95% betrouwbaarheidsinterval voor R.

Voor het bepalen van de bovengenoemde onder- en bovengrens zijn standaard afleestabellen beschikbaar.

RAVON
Reptielen Amfibieën Vissen Onderzoek Nederland

Natuurplaza
Toernooiveld 1 - 6525 ED Nijmegen
Postbus 1413 - 6501 BK Nijmegen

T: 024 - 7 410 600 (alg.)
www.ravon.nl

