

1 **Auteurs:**

2 Stijn Bruneel , David Buysse , Lore Vandamme , Pieterjan Verhelst , Ine Pauwels , Sarah
3 Broos , Nico De Maerteleire , Simon Plaetinck , Diederik Rosseel , Bart De Pauw , Jan Vanden
4 Houten , Johan Coeck 

5 **Reviewers:**

6 Kaat Thienpont 

7 Het INBO is het onafhankelijk onderzoeksinstituut van de Vlaamse overheid dat via toegepast
8 wetenschappelijk onderzoek, data- en kennisontsluiting het biodiversiteitsbeleid en -beheer onderbouwt
9 en evalueert.

10 **Vestiging:**

11 INBO Brussel
12 Herman Teirlinckgebouw, Havenlaan 88, 1000 Brussel
13 vlaanderen.be/inbo

14 **e-mail:**

15 stijn.bruneel@inbo.be

16 **Wijze van citeren:**

17 Bruneel, S., et. al. (2024). Onderzoek naar vispasseerbaarheid van de sluisstuwcomplexen op het
18 Afleidingskanaal van de Leie in Balgerhoeke en Schipdonk. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en
19 Bosonderzoek 2024 (!!!! ONTBREKEND: reportnr !!!!!). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.
20 DOI: !!! missing DOI !!!

21 **!!!! ONTBREKEND: depotnr !!!!!**

22 **Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2024 (!!!! ONTBREKEND: reportnr !!!!!)**

23 **ISSN: 1782-9054**

24 **Verantwoordelijke uitgever:**

25 Hilde Eggermont

26 **Foto cover:**

27 **!!!! ONTBREKEND: coverdescription !!!!!**

28 **Dit onderzoek werd uitgevoerd in opdracht van:**

29 De Vlaamse Waterweg



ONDERZOEK NAAR VISPASSEERBAARHEID VAN DE
SLUISSTUWCOMPLEXEN OP HET AFLEIDINGSKANAAL
VAN DE LEIE IN BALGERHOEKE EN SCHIPDONK

Stijn Bruneel, David Buysse, Lore Vandamme, Pieterjan Verhelst, Ine Pauwels,
Sarah Broos, Nico De Maerteleire, Simon Plaetinck, Diederik Rosseel, Bart De
Pauw, Jan Vanden Houten, Johan Coeck

37 Dankwoord/voorwoord

38 We willen DVW danken voor de vlotte samenwerking en in het bijzonder de mobiele ploeg om er op toe
39 te zien dat we de gegevens op een veilige manier konden verzamelen. Ook een woordje van dank aan de
40 vriendelijke lokale hengelaars die steeds aandachtig toeschouwer waren tijdens het meten en wegen van
41 de visvangst.

43

51

52

59

75

94

88 lijkt het saneren van de knelpunten in dit kanaal voor deze soorten echter iets minder cruciaal dan voor
89 paling, aangezien de meeste van deze soorten hun levenscyclus ook binnen één enkel kanaalpand kun-
90 nen voltooiën. Paairijpe pos en baars werden bijvoorbeeld na ‘merken’ niet hervangen ter hoogte van de
91 barrière wat suggereert dat ze omkeren en meer stroomafwaarts paaën. Daarenboven komen, ondanks
92 de verschillende relatieve aantallen, dezelfde soorten voor stroomop- en stroomafwaarts van de barrière
93 te Balgerhoeke wat aangeeft dat de soortenrijkdom niet tot weinig zou veranderen door een verhoogde
94 connectiviteit. De totale biomassa zou echter waarschijnlijk wel toenemen door een grotere verscheiden-
95 heid aan beschikbare habitats en een meer evenwichtig ecosysteem. Daarnaast geeft de huidige data geen
96 inzicht in het effect van de barrière op het werkelijke paaisucces en de uiteindelijke rekrutering van de
97 geobserveerde soorten. Bovendien zou voor potamodrome soorten in opmars die grotere vereisten stellen
98 in termen van connectiviteit, zoals winde en de diadrome driedoornige stekelbaars, passeerbaarheid van
99 het AKL zeer belangrijk zijn.

100 Saneringsoplossingen

101 Bij de sanering van vismigratieknelpunten wordt algemeen gesteld dat het nastreven van een zo natuurlijk
102 mogelijke dynamiek (en structuurdiversiteit) waarbij de waterloop wordt heringericht met een natuurlijk
103 verhang (zonder constructies) de voorkeur krijgt. Louter vanuit ecologisch perspectief, en ondanks het feit
104 dat het AKL een kunstmatig gegraven waterloop is met een beperkte dynamiek, geniet de verwijdering
105 van barrières in Balgerhoeke en Schipdonk de voorkeur omdat dit de beste manier is om longitudinale
106 connectiviteit te realiseren in functie van zowel vrije stroomopwaartse als stroomafwaartse vismigratie.
107 De functie van de stuwen op het AKL i.f.v. het waterbeheer en van de sluizen (vb. de in onbruik geraakte
108 sluis in Balgerhoeke) moet door de waterbeheerder worden geëvalueerd. Als (gedeeltelijke) verwijdering
109 van de kunstwerken niet haalbaar of wenselijk is, moet worden overgegaan tot de aanleg van migratiebe-
110 vorderende, technische constructies (i.e., vispassages).

111 **Het wordt sterk aangeraden om samen met het Waterbouwkundig Labo (WL) de technische mogelijk-**
112 **heden te bekijken om connectiviteit te bewerkstelligen.** Deze rapportage had als doel om de vispasseer-
113 baarheid te bepalen van de sluiستuwcomplexen te Balgerhoeke en Schipdonk en geeft een aanzet voor
114 saneringsoplossingen, maar een diepgaande analyse van de vereisten (zoals het beschikbare debiet) en de
115 verwachte efficiëntie van een vispassage ter hoogte van Balgerhoeke en Schipdonk ontbreekt. Verwijdering
116 van de barrière te Balgerhoeke geniet de voorkeur vanuit een ecologisch perspectief omdat het de meest
117 natuurlijke situatie nabootst die er te behalen is.

118 Technische vispassages zijn een optie wanneer verwijdering van de barrière niet mogelijk is, maar deze
119 brengen wel verschillende logistieke uitdagingen met zich mee en blijven een uitdaging voor veel vissen
120 om te passeren. Een De Wit-vispassage laat de passage toe van veel soorten maar vereist wel een minimum-
121 debiet om goed te functioneren en om een voldoende sterke lokstroom te voorzien. In de studieperiode lag
122 het gemiddeld debiet hoger dan de minimumvereiste voor een De Wit-vispassage en algemeen zal tijdens
123 het voorjaar en najaar wellicht voldoende water voorhanden zijn om een technische vispassage te
124 doen functioneren. Echter, zoals de naam van het AKL al suggereert speelt het kanaal vooral een rol bij
125 het afleiden of wegvoeren van overtollig water. Huidige debieten zijn daardoor sporadisch en tijdens de
126 zomer mogelijk zelf te laag voor de optimale werking van een vispassage. Een meer continu debiet zou
127 niet alleen de vispassage ten goede komen maar ook de migratie in het pand zelf omwille van het minder
128 gestuwde karakter van het debietverloop. Bovendien zou de meer continue stroming aanleiding geven tot
129 een grotere variatie aan habitats en een algemene toename van de ecologische kwaliteit.

130 Indien noch het verwijderen van de barrières noch de aanleg van een technische vispassage mogelijk
131 blijkt is de palinggoot een derde optie. Een palinggoot heeft lagere hydraulische vereisten en is daardoor
132 wellicht de meest eenvoudige oplossing, maar deze werkt enkel voor stroomopwaarts migrerende jonge
133 paling. Gegeven het potentieel van het AKL voor stroomopwaartse palingmigratie, dankzij het aangepast
134 spuibeheer te Zeebrugge, zouden palinggoten te Balgerhoeke en Schipdonk de minimale vereiste zijn om
135 de barrières “palingpasseerbaar” te maken.

137 De sluisstuwcomplexen op het Afleidingskanaal van de Leie (AKL) te Balgerhoeke en Schipdonk vormen
138 belangrijke barrières voor stroomopwaartse vismigratie. Gelet op de timing van de prioriteitenkaart vismi-
139 gratie (i.e. 'Prioriteit 2', wat betekent dat de sluisstuwcomplexen in Balgerhoeke en Schipdonk ten laatste
140 tegen 2027 vispasseerbaar moeten gemaakt worden) (Benelux-beschikking (M (2009) 1) en de afstemming
141 ervan op de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) dringen saneringsmaatregelen zich op om vismigratie
142 hier mogelijk te maken.

143 Er worden veel middelen geïnvesteerd in het ontwikkelen, bouwen en verfijnen van vispassages om vis-
144 soorten in staat te stellen de migratiebarrières op waterlopen te laten passeren. De wetenschap rond het
145 ontwerp van vispassages omvat tegenwoordig een breed scala aan disciplines, zoals biologie, ecologie,
146 fysiologie, ecohydrologie en 'engineering'. Zo worden de ontwerpen van de vispassages voor DVW op de
147 Bovenschelde, Leie en Dender gerealiseerd op basis van een multidisciplinaire aanpak en met inspraak van
148 experts van o.a. De Vlaamse Waterweg (DVW), het Waterbouwkundig Laboratorium (WL), het Agent-
149 schap voor Natuur en Bos (ANB) en het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO). Meer specifiek
150 staat het WL hierbij in voor technische (voor)ontwerpen, hydraulische modellering, schaalmodel- en CFD
151 studies. Het WL doet dat in nauwe samenwerking met het INBO dat haar kennis deelt over de biologie
152 en ecologie van vissoorten (gedrag, migratiestimuli, voortplanting, habitatvereisten, zwemcapaciteiten,
153 monitorings- en onderzoekstechnieken, ...) en over de biologische en ecologische (rand)voorwaarden waar-
154 aan de ontwerpen moeten voldoen. INBO beveelt dan ook aan om de expertise van het WL in te roepen
155 om tot type-oplossingen te komen in Balgerhoeke en Schipdonk.

156 **Saneringsoplossingen**

157 Om de longitudinale connectiviteit in het kanaal zelf en met het 'Groot Pand' in het bijzonder (i.e. connec-
158 tiviteit met Schelde- en Leiebekken) te vergroten is het louter vanuit ecologisch perspectief wenselijk om
159 het sluisstuwcomplex te Balgerhoeke te verwijderen. Als wegname van het knelpunt niet haalbaar en/of
160 wenselijk is om de longitudinale connectiviteit in het kanaal en met het Groot Pand te vergroten dan is
161 de aanleg van een migratiebevorderende, technische constructie nodig (i.e. een bepaald type vispassage).
162 Stroomopwaartse passage van elvers is prioritair en kan wellicht ook gebeuren m.b.v. een bekkenvistrap,
163 vertical slot vispassage, De-Wit vispassage of palinggoot (maar dit blijft natuurlijk wel een suboptimale
164 oplossing in vergelijking met de complete verwijdering van het sluisstuwcomplex).

165 Indien het mogelijk is om een continue waterstroom te laten ontsnappen langs de kunstwerken van min-
166 stens 0.05 m³/s dan kan deze gebruikt worden voor een debietzuinige technische vispassage zoals een De
167 Wit-vispassage om de stroomopwaartse beweging van meerdere soorten te bewerkstelligen (Coenen *et al.*,
168 2013). De in onbruik geraakte sluis van het complex in Balgerhoeke biedt mogelijk de ruimte voor een een-
169 voudige technische De Wit-vispassage. Tijdens de studieperiode bleek het gemiddelde debiet voldoende
170 maar de variabiliteit van de debieten te groot voor een goed functioneren van een technische vispassage.
171 Onder het huidige beheer wordt de stuw immers slechts een aantal momenten per maand geopend in
172 functie van peilhandhaving in het stroomopwaarts pand. Daarbij wordt de hoeveelheid af te voeren water
173 over een relatief korte tijdspanne geloosd in het stroomafwaartse pand van Balgerhoeke. Dit 'overtollige'
174 debiet zou door of over een debietzuinige vispassage veel langzamer en gespreid in de tijd kunnen geloosd
175 worden in het stroomafwaartse pand. Hierdoor wordt er ter hoogte van de vispassage een langdurigere
176 lokstroom gecreëerd wat de attractiviteit en de passeerbaarheid van het kunstwerk voor de stroomop-
177 waarts migrerende visgemeenschap ten goede komt. Bovendien zal het meer continue debietverloop de
178 migratie van vissen in de panden zelf ten goede komen. Voor de site van Balgerhoeke is dit een potentieel
179 door het WL te toetsen sce

In het geval het verwijderen van de barrières of het voorzien van een technische vispassage niet mogelijk blijkt, dan is een palinggoot (die een lager debiet vereist) een laatste haalbare optie. Stroomopwaartse vismigratie in het AKL t.h.v. Balgerhoeke en Schipdonk moet ten minste voor paling gerealiseerd worden. (EU Palingverordening; EC No. 1100/2007). Een palinggoot zal echter niet leiden tot een hogere habitatdiversiteit en algemene verhoging van de ecologische kwaliteit omdat het stromingspatroon zo goed als ongewijzigd blijft. Daarnaast laat een palinggoot enkel stroomopwaartse migratie toe van één enkele soort, paling. Deze studie toont dan wel aan dat de passeerbaarheid voor de momenteel aanwezige potamodrome vissen, zoals baars, blankvoorn en pos, minder urgent is, dit is niet noodzakelijk zo voor soorten die in de toekomst belangrijk zouden kunnen zijn. Bijvoorbeeld, uit recent, voorlopig nog ongepubliceerd onderzoek naar het bewegingsgedrag van vissen in het stroomgebied van de Leie en de Schelde werd een sterke toename van winde geobserveerd. Deze soort in opmars, bekend vanwege de grote afstanden die ze aflegt (Winter & Fredrich, 2003), zou sterk gebaat zijn bij een hogere connectiviteit. De diadrome drie-doornige stekelbaars, die via het aangepast spuibeheer wordt binnengelaten, zou op termijn eveneens een meer prominente soort kunnen worden in het pand Zeebrugge-Balgerhoeke. Een verhoogde connectiviteit is ook voor deze soort bijzonder relevant. Een palinggoot is daarom een absoluut minimale vereiste om ten minste passage van paling mogelijk te maken. Richtlijnen voor het ontwerp van permanente palinggoten zijn momenteel in opmaak (Vandamme et al., 2025). Ongeacht het type vispassage wordt voorziening van een detectiesysteem aangeraden om de visoptrek op te volgen.

198 Hoewel het beperkte aangepaste spuibeheer en de suboptimale stroming in het pand Zeebrugge-Balgerhoeke
199 jonge paling niet verhinderen om stroomopwaarts tot Balgerhoeke te migreren, zou een frequentere ope-
200 ning van de schuiven in Zeebrugge en een constantere afvoer het migratiesucces bevorderen. Toepassing
201 van het aangepast spuibeheer om glasaal binnen te laten in het AKL in Zeebrugge bleef om een aantal
202 redenen de laatste jaren sterk onderbenut (Vandamme *et al.*, 2024). Het is de bedoeling dat de water-
203 beheerder in de toekomst de toepassing van het aangepast spuibeheer in Zeebrugge optimaliseert door
204 automatisatie en controle van de schuiven op afstand. De intrek van glasaal in Zeebrugge zal daardoor
205 toenemen waardoor de nood aan een vismigratiefaciliteit (i.e. vispassage en/of palinggoot) in Balgerhoeke
206 en Schipdonk alleen nog maar zal toenemen. Dit betekent dat de meerwaarde van een meer frequent
207 aangepast spuibeheer sterk afhankelijk zal zijn van de situatie stroomopwaarts ter hoogte van Balgerhoeke
208 en Schipdonk. Zowel voor het functioneren van een vispassage als voor het migratiegedrag van vissen in
209 de panden zelf, is het huidige debietverloop in het AKL ondermaats en een aangepast beheer met meer
210 continue afvoer wordt daarom sterk aangeraden.

Een vispassage t.h.v. Schipdonk zou stroomopwaarts bewegende vissen toegang geven tot de Bovenschelde en de Leie wat ten eerste aan te raden is aangezien het vele kilometers aan foerageer- en opgroeihabitats aanbiedt. In welke mate jonge paling gebruik zal kunnen maken van een vispassage te Schipdonk (verwijdering van het sluisstuwcomplex is hier beperkt mogelijk omwille van de beschermende rol bij grote afvoerpieken) is afhankelijk van het passagesucces t.h.v. Balgerhoeke en het effect van de omgevingscondities in het pand Balgerhoeke-Schipdonk op de opwaartse migratie van jonge paling. Indien er geen wijziging plaatsvindt in het debietverloop, zal, net als voor Balgerhoeke, de vispassage moeten kunnen omgaan met plotse piekdebieten en dan is een palinggoot mogelijks een meer haalbare optie. Voor stroomopwaarts migrerende paling is een aanpassing aan Schipdonk echter betekenisloos als het niet wordt voorafgegaan door aanpassingen ter hoogte van Balgerhoeke.

Het Afleidingskanaal van de Leie (AKL) heeft een hoge prioriteit om stroomopwaartse vismigratie te bevorderen, maar momenteel verhinderen de sluisstuwcomplexen alle opwaartse vismigratie. Vooral voor paling, en in tweede instantie eventueel voor potamodrome vissoorten, is er nood aan technische aanpassingen zoals het verwijderen van de barrières of installatie van vispassages. We adviseren een bijkomende studie in samenwerking met het Waterbouwkundig Labo (WL) om na te gaan wat de mogelijkheden zijn binnen het huidige beheer en binnen een aantal scenario's van aangepast beheer waarbij het debietverloop centraal staat.

229 The Flemish priority map provides an overview of the most important watercourses with bottlenecks where
230 the removal of these obstacles would benefit fish populations. The priority of the watercourse determines
231 the deadline by which these bottlenecks must be resolved. The new prioritization map considers both the
232 distribution of Habitat Directive species and the recommendations of the eel management plan. Addition-
233 ally, the new 'Benelux-beschikking' also allows for the inclusion of fish species of more regional importance.
234 The **Afleidingskanaal van de Leie (AKL)** has been designated as a priority 2 watercourse, meaning that the
235 **sluice-weir complexes in Balgerhoeke and Schipdonk** must be made passable for fish by 2021 or at the
236 latest by 2027 (Benelux-beschikking(M (2009) 1)).

237 The **objective** of this study was to assess the extent of inland fish migration in the AKL and to determine
238 whether the sluice-weir complexes in Balgerhoeke and Schipdonk are passable for fish in an upstream
239 direction.

240 **Various fishing methods** were used to sample fish populations: In Balgerhoeke, downstream of the sluice-
241 weir complex, fyke nets, substrates, and an eel ladder were used to catch, identify, and mark fish (to
242 determine whether individuals accumulated in front of the barrier or managed to reach Schipdonk). In
243 Schipdonk, downstream of the sluice-weir complex and the siphon, fyke nets and substrates were used to
244 catch and identify fish.

245 Previous research by INBO demonstrated that the implementation of adapted flushing management in
246 Zeebrugge is a highly effective and cost-efficient management measure to allow glass eels to enter the
247 Zeebrugge-Balgerhoeke reach of the Afleidingskanaal van de Leie (Buyse *et al.*, 2015). The capture of
248 numerous young eels (elvers) in Balgerhoeke now also shows that glass eels find suitable nursery habitat
249 in this canal and migrate inland and thus upstream through the Zeebrugge-Balgerhoeke reach up to the first
250 potential barrier: the sluice-weir complex in Balgerhoeke. However, the present study also shows that the
251 **sluice-weir complex in Balgerhoeke forms an absolute barrier to the further upstream migration of young**
252 **eels as well as all other fish species**. No young eels (elvers) were caught at any upstream sampling location,
253 nor were any fish recaptured in Schipdonk that had been previously marked in Balgerhoeke. The results
254 indicate that modifications are necessary to make the sluice-weir complex in Balgerhoeke passable for fish.
255 Since eels could not reach Schipdonk, its passability for eels could not be investigated. The concentration
256 of spawning fish species such as perch and roach downstream of both the Balgerhoeke and Schipdonk
257 complexes suggests that the **Schipdonk complex is also a significant barrier for all fish species**. To ensure
258 connectivity with the 'Groot Pand', both barriers need to be addressed.

259 The **European eel** is classified as a critically endangered fish species on the IUCN Red List. To restore
260 the vulnerable eel population, completing their catadromous life cycle is crucial (EU Eel Regulation; EC
261 No. 1100/2007). Young eels must be able to reach high-quality nursery and feeding areas in the Scheldt
262 river basin as efficiently as possible. Eels must be able to use the AKL to reach the 'Groot Pand' to gain
263 access to habitats in the Scheldt and Leie, which would benefit the population. The results clearly indicate
264 that the AKL serves as an entry route for upstream-migrating eels towards the Scheldt basin. This is also
265 the reason why the AKL was assigned priority 2 on the fish migration priority map, highlighting the need
266 for improved connectivity (Stevens & Coeck, 2009).

267 For **other fish species**, increased connectivity would mean greater availability of different habitats and
268 could provide an escape route in case of temporary local unfavorable or suboptimal conditions (e.g., during
269 prolonged droughts and high atmospheric temperatures, temperature stress and/or oxygen depletion may
270 occur). Considering all factors, the removal of bottlenecks in this canal appears to be slightly less crucial
271 for these species than for eels, as most of them can complete their life cycle within a single canal reach.
272 For example, ripe ruffe and perch were not recaptured at the barrier after being marked, suggesting that

////////////////////////////////////

273 they turn back and spawn further downstream. Furthermore, despite the different relative abundances,
274 the same species occur both upstream and downstream of the Balgerhoeke barrier, indicating that species
275 richness would not change significantly with increased connectivity. However, the total biomass would
276 likely increase due to a greater variety of available habitats and a more balanced ecosystem. Additionally,
277 the current data do not provide insight into the actual spawning success and recruitment of the observed
278 species. Moreover, for expanding potamodromous species with greater connectivity requirements, such
279 as ide and the diadromous three-spined stickleback, passability of the AKL would be highly important.

280 Remediation solutions

281 In addressing fish migration bottlenecks, it is generally preferred to aim for the most natural possible
282 dynamics (and structural diversity) by redesigning the watercourse with a natural gradient (without con-
283 structions). From a purely ecological perspective, and despite the AKL being an artificially dug watercourse
284 with limited dynamics, the removal of barriers in Balgerhoeke and Schipdonk is preferred as this is the best
285 way to achieve longitudinal connectivity for both upstream and downstream fish migration. The function
286 of the weirs in the AKL concerning water management and the function of the sluices (e.g., the disused
287 sluice in Balgerhoeke) must be evaluated by the water manager. If (partial) removal of the structures is not
288 feasible or desirable, migration-enhancing technical structures (fish passages) should be installed.

289 **It is strongly recommended to explore technical options for achieving connectivity in collaboration with**
290 **Flanders Hydraulics (WL: Waterbouwkundig Labo).** This report aimed to assess the passability of the sluice-
291 weir complexes in Balgerhoeke and Schipdonk and provides an initial approach to remediation solutions,
292 but a thorough analysis of the requirements (such as available discharge) and the expected efficiency of
293 a fish passage at Balgerhoeke and Schipdonk is lacking. Removing the barrier in Balgerhoeke is preferred
294 from an ecological perspective as it mimics the most natural achievable situation.

295 Technical fish passages are an option if barrier removal is not possible, but they present various logis-
296 tical challenges and remain a challenge for many fish species to pass through. A De Wit fish passage
297 allows passage for many species but requires a minimum discharge to function properly and to provide
298 a sufficiently strong attraction flow. During the study period, the average discharge was higher than the
299 minimum requirement for a De Wit fish passage, and generally, during spring and autumn, there will
300 likely be sufficient water available for a technical fish passage to function. However, as the name of the
301 AKL suggests, the canal mainly serves to divert or remove excess water. Current discharges are therefore
302 sporadic and may even be too low in summer for optimal fish passage operation. A more continuous
303 discharge would not only benefit the fish passage but also migration within the reach itself due to the
304 less dammed nature of the discharge pattern. Additionally, more continuous flow would create a greater
305 variety of habitats and generally increase ecological quality.

306 If neither the removal of the barriers nor the installation of a technical fish passage is possible, an eel
307 ladder is a third option. An eel ladder has lower hydraulic requirements and is therefore likely the simplest
308 solution, but it only works for upstream-migrating young eels. Given the potential of the AKL for upstream
309 eel migration, thanks to the adapted flushing management in Zeebrugge, eel ladders at Balgerhoeke and
310 Schipdonk would be the minimal requirement to make these barriers “eel-passable.”

1 DOELSTELLING

Door De Vlaamse Waterweg, Afdeling Bovenschelde, werd opdracht gegeven om een onderzoek uit te voeren naar de vispasseerbaarheid van de kunstwerken op het Afleidingskanaal van de Leie (AKL) in Balgerhoeke en Schipdonk. Een monitoring van de migrerende visfauna ter hoogte van deze locaties moet inzicht geven in de migratieroute(s) van landinwaarts migrerende vissen t.h.v. de respectievelijke kunstwerken en toelaten een beoordeling te maken of ze al dan niet een migratieknelpunt vormen voor vismigratie. Het onderzoek moet een antwoord geven op volgende onderzoeksvragen:

- Is er landinwaartse migratie van vissen waarneembaar in het Afleidingskanaal van de Leie (AKL) tussen Zeebrugge en Gent? Met name in de twee meest stroomafwaartse panden van het AKL:
 - Het pand tussen Zeebrugge en Balgerhoeke t.h.v. het stuwsluizencomplex in Balgerhoeke en
 - Het pand tussen Balgerhoeke en Schipdonk t.h.v. het stuwsluizencomplex en de sifon onder het Kanaal Gent-Oostende in Schipdonk ?
- Indien landinwaartse migrerende vissen het bekken van de Gentse kanalen, en bij uitbreiding het Bovenschelde- en Leiebekken, trachten te bereiken via deze kanaalpanden in hoeverre vormen de kunstwerken van Balgerhoeke en Schipdonk dan een obstakel voor stroomopwaarts vismigratie?

326 Inhoudsopgave

327	Dankwoord/voorwoord	1
328	Samenvatting	2
329	Aanbevelingen voor beheer en/of beleid	4
330	English abstract	6
331	1 Doelstelling	8
332	Inhoudsopgave	9
333	Lijst van figuren	10
334	Lijst van tabellen	11
335	2 Inleiding	13
336	2.1 Vismigratie	13
337	2.2 Vismigratiebeheer en beleid in Vlaanderen	18
338	3 Materiaal en methoden	20
339	3.1 Vangstmethoden	21
340	3.2 Studiegebied	22
341	3.3 Studieperiode en meetfrequentie	22
342	3.4 Werkwijze	22
343	4 Resultaten	25
344	4.1 Abiotiek	25
345	4.2 Vissen	27
346	5 Discussie	46
347	5.1 Waarom vormen de barrières in het AKL een probleem?	46
348	5.2 Kunnen de barrières verwijderd worden?	47
349	5.3 Kunnen vispassages voorzien worden?	48
350	5.4 Zullen correct gebouwde vispassages van het AKL een belangrijke vismigratie- route maken?	48
352	6 Conclusie	51
353	Referenties	52

////////////////////////////////////

Lijst van figuren

355	Figuur 2.1	Schematische voorstelling van de onderverdeling van vissoorten volgens hun migratiegedrag	14
356			
357	Figuur 2.2	Functionele eenheden in de levenscyclus van vissen, met aanduiding van de bezochte leefgebieden en dagelijkse en seizoensgebonden verplaatsingen er tussen (uit: Coeck et al. 2000; aangepast naar Northcote 1978)	14
358			
359			
360	Figuur 2.3	De levenscyclus en de belangrijkste ontwikkelingsstadia van paling (Belpaire 2008).	15
361	Figuur 2.4	Ligging van Balgerhoeke en Schipdonk op de prioriteitenkaart voor de Vlaamse waterlopen	19
362			
363	Figuur 3.1	Beperkt overzicht van de migratieperiode van de meest voorkomende soorten in de streek	21
364			
365	Figuur 3.2	Studiegebied (links Balgerhoeke; rechts Schipdonk) met aanduiding van de locaties van de substraten (rode ruitjes), fuiken (gele sterren) en palinggoot (oranje streepje).	23
366			
367	Figuur 4.1	Overzicht van metingen van waterpeil (m), afvoer (m^3/s) en temperatuur ($^{\circ}C$) voor relevante meetstations doorheen de tijd. De stations staan geordend van stroomafwaarts naar stroomopwaarts. De meetstations van Damme en Maldegem liggen in het pand Zeebrugge-Balgerhoeke. De meetstations van Adegem-Balgerhoeke, Zomergem en Merendree Afwaarts liggen in het pand Balgerhoeke-Schipdonk. Het meetstation Merendree Opwaarts ligt stroomopwaarts van Schipdonk. Rode lijnen begrenzen de studieperiode (22 maart 2023 - 25 mei 2023). De groene lijn geeft de gesmoothe trend aan (span=1).	25
368			
369			
370			
371			
372			
373			
374			
375	Figuur 4.2	Overzicht van metingen van waterpeil (m), afvoer (m^3/s) en temperatuur ($^{\circ}C$) voor relevante meetstations doorheen de tijd voor de studieperiode (22 maart 2023 - 25 mei 2023) De stations staan geordend van stroomafwaarts naar stroomopwaarts. De meetstations van Damme en Maldegem liggen in het pand Zeebrugge-Balgerhoeke. De meetstations van Adegem-Balgerhoeke, Zomergem en Merendree Afwaarts liggen in het pand Balgerhoeke-Schipdonk. Het meetstation Merendree Opwaarts ligt stroomopwaarts van Schipdonk. De groene lijn geeft de gesmoothe trend aan (span=1).	26
376			
377			
378			
379			
380			
381			
382	Figuur 4.3	Verdeling van de gemiddelde vangsten per fuikdag en per vissoort in Balgerhoeke, Schipdonk sifon en Schipdonk sluis per maand (rest = overige vissoorten die elk minder dan 5% van de vangsten uitmaken).	30
383			
384			
385	Figuur 4.4	Verdeling van de totale fuikvangsten per vissoort in Balgerhoeke, Schipdonk sifon en Schipdonk sluis per maand (rest = overige vissoorten die elk minder dan 5% van de vangsten uitmaken).	34
386			
387			
388	Figuur 4.5	Principale coördinaten analyse (PCOA, CPUE, vierde-machtswortel transformatie, Bray-Curtis afstanden) met weergave van de verschillende sites (als omkaderingen) en de belangrijkste soorten (weergave als pijlen met lengte pijlen representatief voor bijdrage; $p>0.05$ en $R^2>0.4$) om verschillen in gemeenschapsstructuur te verklaren.	35
389			
390			
391			
392	Figuur 4.6	Lengteverdeling voor de verschillende gevangen soorten voor de hele periode voor Schipdonk en Balgerhoeke. De inverse van de CPUE werd gebruikt als gewicht voor de metingen.	36
393			
394			

395	Figuur 4.7	Boxplots die de gemiddelde lengte van de fuikvangsten voorstellen in functie van de bemonsteringslocatie. Gepaarde wilcoxon ranks sum testen met Bonferroni correctie werden gebruikt. p-waarden werden geclassificeerd als niet-significant of ns (>0.05), * (0.05-0.01), ** (0.01-0.001), *** (0.001-0.0001), **** (0.0001-0).	37
396			
397			
398			
399	Figuur 4.8	Aandeel hervangst op totale fuikvangst per soort. Elk punt geeft de vangst van één dag weer. De grootte van de punten weerspiegelt de totale vangst per soort. Loess smoothing (span=1) werd gebruikt om een eventuele trend te visualiseren (blauwe lijn). Voor deze smoothing krijgen dagen met een grotere vangst een groter gewicht (lineaire verhouding toekenning gewicht). 95% betrouwbaarheidsintervallen van de loess smoothing zijn weergegeven als een grijze band.	38
400			
401			
402			
403			
404			
405	Figuur 4.9	Aandeel niet-gemerkte vissen met paaienmerken op totale fuikvangst per soort. Elk punt geeft de vangst van één dag weer. De grootte van de punten weerspiegelt de totale vangst per soort. Loess smoothing (span=1) werd gebruikt om een eventuele trend te visualiseren (blauwe lijn). Voor deze smoothing krijgen dagen met een grotere vangst een groter gewicht (lineaire verhouding toekenning gewicht). 95% betrouwbaarheidsintervallen van de loess smoothing zijn weergegeven als een grijze band.	40
406			
407			
408			
409			
410			
411	Figuur 4.10	Aandeel gemerkte vissen met paaienmerken op totale fuikvangst per soort. Elk punt geeft de vangst van één dag weer. De grootte van de punten weerspiegelt de totale vangst per soort. Loess smoothing (span=1) werd gebruikt om een eventuele trend te visualiseren (blauwe lijn). Voor deze smoothing krijgen dagen met een grotere vangst een groter gewicht (lineaire verhouding toekenning gewicht). 95% betrouwbaarheidsintervallen van de loess smoothing zijn weergegeven als een grijze band.	41
412			
413			
414			
415			
416			
417	Figuur 4.11	Lengteverdeling van elvers gevangen met de palinggoot in Balgerhoeke voor de hele studieperiode (22 maart 2023 - 25 mei 2023).	42
418			
419	Figuur 4.12	Lengteverdeling van elvers gevangen met de palinggoot in Balgerhoeke voor de drie verschillende maanden van de studieperiode (22 maart 2023 - 25 mei 2023).	42
420			
421	Figuur 4.13	Lengte van elvers gevangen met de palinggoot in Balgerhoeke in functie van de tijd.	43
422	Figuur 4.14	Aantal elvers gevangen met de palinggoot in Balgerhoeke in functie van de tijd.	43
423	Figuur 4.15	Lengteverdeling van elvers gevangen met substraten in Balgerhoeke voor de hele studieperiode (22 maart 2023 - 25 mei 2023).	44
424			
425	Figuur 4.16	Lengteverdeling van elvers gevangen met substraten in Balgerhoeke voor de drie verschillende maanden van de studieperiode (22 maart 2023 - 25 mei 2023).	44
426			
427	Figuur 4.17	Lengte van elvers gevangen met substraten in Balgerhoeke in functie van de tijd.	45
428	Figuur 4.18	Aantal elvers gevangen met de substraten in Balgerhoeke in functie van de tijd.	45

429 Lijst van tabellen

430	Tabel 4.1	Gemiddeld debiet, mediaan debiet en aandeel studieperiode (22 maart 2023 - 25 mei 2023) dat debiet onder een opgegeven waarde lag voor stations te Damme (pand Zeebrugge-Balgerhoeke) en Zomergem (pand Balgerhoeke-Schipdonk).	27
431			
432			

433	Tabel 4.2	Overzicht vangsten per meetplaats en datum. balfuik: hokfuik en schietfuiken linker- oever en rechteroever Balgerhoeke, balgoo: Palinggoot Balgerhoeke, balsgo: Substraat t.h.v. palinggoot Balgerhoeke, balli: Substraat linkeroever Balgerhoeke, balre: Substraat rechteroever Balgerhoeke, balslu: Substraat oude sluis Balgerhoeke, mersif: Schiet- fuik sifon Merendree, merlo: Schietfuik linkeroever sluis Merendree, merro: Schietfuik rechteroever sluis Merendree. De substraten te Schipdonk staan hier niet weergege- ven omdat er nooit paling in werd gevonden.	28
440	Tabel 4.3	Overzicht vangsten per meetplaats en datum. balfuik: hokfuik en schietfuiken linker- oever en rechteroever Balgerhoeke, balgoo: Palinggoot Balgerhoeke, balsgo: Substraat t.h.v. palinggoot Balgerhoeke, balli: Substraat linkeroever Balgerhoeke, balre: Substraat rechteroever Balgerhoeke, balslu: Substraat oude sluis Balgerhoeke, mersif: Schiet- fuik sifon Merendree, merlo: Schietfuik linkeroever sluis Merendree, merro: Schietfuik rechteroever sluis Merendree. De substraten te Schipdonk staan hier niet weergege- ven omdat er nooit paling in werd gevonden.	29
447	Tabel 4.4	Soortensamenstelling en overzicht van de gemiddelde aantallen per fuikdag, per vis- soort en per maand in Balgerhoeke (sampling effort in rekening gebracht)	30
449	Tabel 4.5	Soortensamenstelling en overzicht van de totale fuikvangsten per vissoort en per maand in Balgerhoeke (sampling effort niet in rekening gebracht)	31
451	Tabel 4.6	Soortensamenstelling en overzicht van de gemiddelde aantallen per fuikdag, per vis- soort en per maand in Schipdonk sifon (sampling effort in rekening gebracht)	31
453	Tabel 4.7	Soortensamenstelling en overzicht van de totale fuikvangsten per vissoort en per maand in Schipdonk sifon (sampling effort niet in rekening gebracht)	32
455	Tabel 4.8	Soortensamenstelling en overzicht van de gemiddelde aantallen per fuikdag, per vis- soort en per maand aan de Schipdonk sluizen (sampling effort in rekening gebracht)	32
457	Tabel 4.9	Soortensamenstelling en overzicht van de totale fuikvangsten per vissoort en per maand in Schipdonk sluis (sampling effort niet in rekening gebracht)	33
459	Tabel 4.10	Soortensamenstelling en overzicht van de gemiddelde vangsten per fuikdag, per vis- soort voor de hele periode voor Schipdonk en Balgerhoeke (sampling effort in rekening gebracht)	33
462	Tabel 4.11	Soortensamenstelling en overzicht van de totale fuikvangsten per vissoort voor de hele periode voor Schipdonk en Balgerhoeke (sampling effort niet in rekening gebracht)	34

465
466
467
468
469
470
471
472
473

474
475
476
477
478
479

480
481
482
483
484
485
486

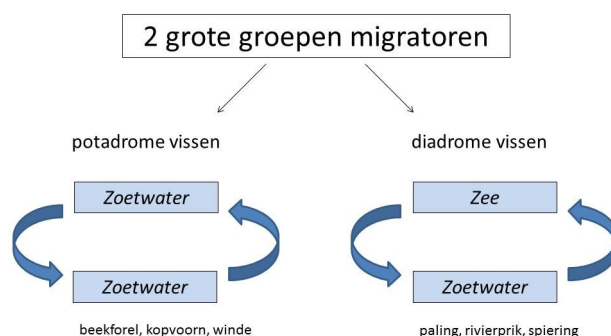
487

488

489
490
491
492
493
494

495
496
497
498
499
500

501
502
503
504

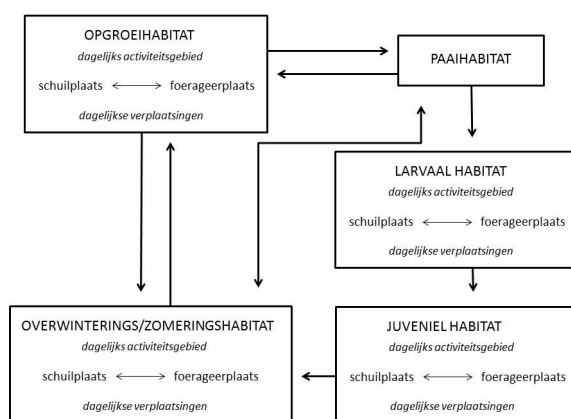


Figuur 2.1: Schematische voorstelling van de onderverdeling van vissoorten volgens hun migratiegedrag

2.1.2 Migratie van zoetwatervissen: potamodrome migratie

Zoals bij de meeste dieren is migratiegedrag van vissen in rivieren - en eigenlijk in elk watertype - het resultaat van een scheiding in tijd en ruimte van optimale biotopen (habitats) die gebruikt worden om te groeien, om te overleven (bescherming te vinden) en om zich voort te planten, en dit tijdens verschillende stadia in de levenscyclus van de soort (Northcote, 1998). Stroomop- en stroomafwaartse migraties in waterlopen worden daarom over het algemeen gekenmerkt door cyclische verplaatsingen tussen minstens twee, maar vaak drie of meer verschillende habitats (Coeck, 2001).

Potamodrome soorten die tussen 2010 en 2018 bij visstandbemonsteringen door het INBO werden aangetroffen in het Afleidingskanaal van de Leie zijn o.a. blankvoorn, gibel, winde, baars, brasem, kolblei, riviergrondel, tiendoornige stekelbaars, rietvoorn, karper, snoekbaars, bittervoorn (INBO, s.d.).



Figuur 2.2: Functionele eenheden in de levenscyclus van vissen, met aanduiding van de bezochte leefgebieden en dagelijkse en seizoensgebonden verplaatsingen er tussen (uit: Coeck et al. 2000; aangepast naar Northcote 1978)

2.1.3 Vismigratie tussen zee en zoetwater: diadrome migratie

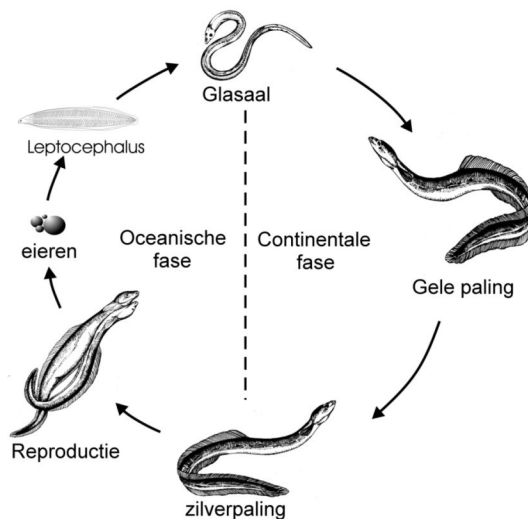
Bij diadrome migratie worden twee types onderscheiden. Vissen die opgroeien in zoetwater en paaien in zee worden katadrome vissen genoemd, vissen die opgroeien in zee maar paaien in zoetwater worden tot de anadrome vissen gerekend. Voorbeelden van anadrome vissen zijn de zalm en, minder goed gekend, ook de driedoornige stekelbaars (trachurus-vorm) terwijl de paling een typisch katadrome vis is.

520 Diadrome vissen zijn goede indicatoren voor landinwaartse migratie en kunnen tevens belangrijke infor-
 521 matie verstrekken omtrent de passeerbaarheid van migratieknelpunten (Buysse, 2003).

522 Diadrome soorten die tussen 2010 en 2018 bij visstandbemonsteringen door het INBO werden aangetrof-
 523 fen in het Afleidingskanaal van de Leie zijn o.a. paling, rivierprik, spiering, bot, dunlipharder en driedoornige
 524 stekelbaars (trachurus-vorm) (INBO, s.d.).

525 2.1.3.1 De ernstig bedreigde paling

526 De Europese paling is een katadrome vissoort: hij groeit op in zoet water en trekt als volwassen vis naar de
 527 zee om zich voort te planten. Hij maakt een complexe levenscyclus door. De voortplantingsplaats situeert
 528 zich in de Sargasso Zee, een gebied in de Atlantische Oceaan nabij Bermuda. In de Sargasso Zee ontluiken
 529 de eieren en de larven (leptocephalus larven) migreren naar het Europese continent, waarbij ze gebruik
 530 maken van de Golfstroom. Voor de Europese kusten ontwikkelen ze zich tot glasaal, een langwerpige
 531 doorschijnende vorm van ongeveer 7 cm. De glasalen pigmenteren, worden elvers, en de meeste zwemmen
 532 onze rivieren en kanalen op, op zoek naar een vaste stek waar ze een groeiperiode doormaken. Dit stadium
 533 van paling wordt gele paling genoemd. Een deel van de populatie blijft voor de kusten of groeit op in
 534 het estuarium. Er zijn duidelijke geslachtsverschillen wat grootte betreft: mannelijke palingen hebben een
 535 tragere groei en blijven duidelijk kleiner (lengte bij metamorfose: 32-46 cm) dan hun vrouwelijke soort-
 536 genoten (lengte bij metamorfose: 45- 86 cm). Na gemiddeld zes (voor de mannelijke palingen) tot negen
 537 jaar (vrouwelijke) vertoont deze gele paling opnieuw een gedaanteverwisseling, ze worden zilverpaling
 538 genoemd (Vollestad, 1992). In onze regio is dat respectievelijk 7 en 10 jaar. Metamorfoserende palingen
 539 krijgen een zilverachtige kleur, hun ogen worden groter, de vinnen veranderen van vorm en de geslachts-
 540 organen beginnen te ontwikkelen. Op dit ogenblik, meestal in het najaar, trekken deze zilverpalingen onze
 541 rivieren en kanalen af en beginnen ze hun paaimigratie met de Sargasso Zee als eindbestemming.



Figuur 2.3: De levenscyclus en de belangrijkste ontwikkelingsstadia van paling (Belpaire 2008).

542 Reeds tientallen jaren wordt een sterke daling van de palingpopulaties waargenomen in Europa (Bon-
 543 hommeau et al., 2008) en de Europese paling (*Anguilla anguilla* L.) wordt nu zelfs beschouwd als zijnde
 544 ernstig bedreigd. Oorzaken voor deze trend zijn de chemische waterkwaliteit, fysische habitatcondities,
 545 migratiebarrières, verhoogde predatie, visserij en klimaatsverandering (Bonhommeau et al., 2008). Om
 546 de Europese paling voor uitsterven te behoeden, heeft de Europese Unie in 2007 de Palingverordening
 547 (EC No. 1100/2007) uitgevaardigd, die het behoud en het herstel van de soort beoogt. Verder vraagt de
 548 verordening een beheersaanpak die de uittrek van 40% van de zilverpalingbiomassa ten opzichte van een
 549 door de mens onverstoordte toestand garandeert.

550 Dankzij de talrijke laaglandrivieren, kanalen, vijvers en kreken wordt Vlaanderen beschouwd als een be-
 551 langrijke regio voor opgroei van paling en de rekrutering van zilverpaling. De laatste jaren verbeterde

Verscheidende auteurs bevestigen dat de stroomopwaartse migratie van juveniele paling (glasalen en elvers), hierna glasaal genoemd, één van de cruciale knelpunten is in het behoud van palingpopulaties (Bult & Dekker, 2007). Deze bereiken vaak hun Europese zoetwaterhabitats niet door migratiebarrières als dammen, stuwen en sluizen. Deze gereduceerde glasaalmigratie kan leiden tot een daling van zilverpalinguittrek en dus resulteren in een vicieuze cirkel die de palingpopulatie verder doet afnemen.

De meeste Europese estuaria hadden vroeger een hoge connectiviteit met een graduele overgang tussen zout en zoet water. Dit liet de glasaal toe om stroomopwaarts te migreren naar zoetwaterhabitats geschikt voor hun groei en ontwikkeling. De meeste rivier- en kanaalmondingen worden nu echter afgesloten ter bescherming tegen overstromingen, vooral in de lager gelegen regio's van Europa zoals Vlaanderen en Nederland. Deze aanpak leidde tot scherpe zoet/zout overgangen en het verdwijnen van een brakke getijdenzone. Hoewel dergelijke abrupte overgangen geen osmoregulatorische problemen stellen voor glasaal (Wilson *et al.*, 2007) en dat sommige glasalen er mogelijks toch in slagen om stroomopwaarts te migreren, kan hun migratie beperkt, en op zijn minst vertraagd, worden. De energieverliezen die hiermee gepaard gaan kunnen gedragsveranderingen inleiden die de verdere stroomopwaartse migratie beperken of zelfs stopzetten (Du Colombier *et al.*, 2007). De Vlaamse waterbeheerders proberen momenteel palingpopulaties te stimuleren door bepoting met glasaal, maar onderzoek toonde aan dat deze aanpak de verspreiding van schadelijke parasieten kan verhogen (Audenaert *et al.*, 2003). Bijgevolg zijn geïntegreerde beheeropties vereist die de stroomopwaartse migratie van lokale glasalen bevorderen.

Indien sanering van de sluisstuwcomplexen in Balgerhoeke en Schipdonk nodig blijkt dan zou een heel groot opgroeigebied beschikbaar gesteld worden en vrije vismigratie gerealiseerd worden tussen het AKL en het Westervak van de Ringvaart, het Kanaal Gent-Oostende, de Coupure, de Leie en de Bovenschelde. De draagkracht van al deze rivieren en kanalen voor paling is vermoedelijk nog sterk onderbenut. Tijdens onderzoek op het nabijgelegen Leopoldkanaal in de periode 2014-2017 werden palingabundanties geschat variërend tussen 5,6 tot 54,1 kg ha⁻¹ (Van Wichelen, 2018) en op een aantal meer stroomopwaarts gelegen locaties in het Leopoldkanaal werden in 2012 met dezelfde methodiek gelijkaardige waarden (6,7-41,3 kg ha⁻¹) bekomen (Vandamme, 2020). Historische densiteiten van gele paling in polderwaterlopen (periode 1925-1936) daarentegen zijn beduidend hoger (bv. IJzer 168 kg/ha, Kanaal Nieuwpoort-Duinkerke 272 kg/ha, Veurne-Ambacht 470 kg/ha, Venepevaart 90 kg/ha) (Vrielynck, 2003).

585 **2.1.3.2 De driedoornige stekelbaars**

Op basis van het aantal en de schikking van de laterale beenplaten kunnen drie types driedoornige stekelbaars onderscheiden worden. Deze drie types worden trachurus, semi-armatus en leiurus genoemd (Wootton, 1992). Soms wordt nog een vierde type onderscheiden: het hologymnurus type dat geen beenplaten bezit. De anadrome trekvorm van de driedoornige stekelbaars trekt in het vroege voorjaar (eind januari – mei) van de zee naar brak en zoetwater en heeft dan een saliniteitsvoorkeur voor zoetwater. Aan het einde van het voortplantingsseizoen (vanaf omstreeks juli) trekken de dieren naar zee en vertonen dan een zoutwatervoorkeur die gedurende de hele winter blijft bestaan tot de aanvang van de voorjaarstrek (Verreycken, 2012). Het leiurustype is een residente zoetwatervorm die in Noordwest-Europa slechts een klein deel uitmaakt van de migrerende stekelbaarspopulaties. Van het semiarmatustype zijn zowel residente als migrerende populaties gekend (Wootton, 1976). Gangsteren van stekelbaarsen in de Schelde ter hoogte van Antwerpen in maart 1998 hadden de volgende samenstelling: 65 % trachurus, 31 % semi-armatus en 4 % leiurus (Vlietinck, 1998). Uit migratie-onderzoek van het INBO in opdracht van DVW aan de sluisstuwcomplexen op de Ringvaart in Evergem en Merelbeke blijkt dat driedoornige stekelbaars vanaf december en vooral in januari en februari stroomopwaarts trekken en zich kunnen concentreren onder migratiekelpunten (Buysse, 2003).

Het is, in tegenstelling tot paling en driedoornige stekelbaars, vooraansnog onduidelijk of het AKL een functie kan hebben als alternatieve migratieroute om bepaalde zoetwaterhabitats (zoals de waterlopen uit het bekken van de Gentse kanalen en het Leie- en Bovenscheldebekken) te bereiken voor andere diadrome soorten zoals rivierprik, spiering, bot en dunlipharder.

Diadrome migraties zijn vaak heel opvallend, maar daarom kan nog geen afbreuk gedaan worden aan het belang van migratieprocessen voor obligate zoetwatervissen (Northcote, 1998). In het belang van ecosystemebiodiversiteit wordt, naast de commercieel en recreatief interessante soorten, nu ook voor de volledige visgemeenschap vismigratie als een belangrijk gedragskenmerk beschouwd (Northcote, 1998). De doorgaans langere migratieafstanden maken diadrome migraties niet belangrijker in functionele termen dan de minder opvallende potamodrome migraties. Gesynchroniseerde seizoenale migraties van een paar honderd meter in rivieren kunnen even belangrijk zijn voor een levenslange goede conditie als langeafstandsmigraties van of naar de zee. Deze korte migraties kunnen als bewegingen tussen habitats beschouwd worden, die nuttig of noodzakelijk zijn voor het vervolledigen van de levenscyclus, ongeacht welke afstand werd afgelegd (Lucas & Baras, 2001).

Dit toont aan dat vrije migratie tussen verschillende habitats en ongeacht de omvang van de bewegingen, van enkele honderden meters tot honderden kilometers, noodzakelijk is voor alle zoetwatervissoorten.

624 Verschillende soorten die in diverse delen van een stroomgebied leven, migreren op verschillende momen-
625 ten in het jaar, waarbij ook de duur en omvang van deze migraties variëren (Lucas & Baras, 2001). Niet enkel
626 paaïmigratie maar ook de migratie naar foerageergebieden en overwinteringsgebieden van juveniele en
627 subadulte vissen kan heel omvangrijk zijn (Buysse, 2003).

De voortplantingsperiode van de meeste karperachtigen is gesitueerd tussen april en mei. De voortplanting geschiedt wanneer de watertemperatuur daartoe gunstig is (bv. blankvoorn 12-15 °C) (Verreycken, 2012). Andere vissoorten zoals driedoornige stekelbaars en snoek ondernemen al veel vroeger voortplantingsmigraties (Buysse & Coeck, 2014) terwijl volgens Holcik de voortplantingsmigratie van rivierprik vanuit zee naar de rivieren zowat het ganse jaar door kan plaatsgrijpen afhankelijk van rivier tot rivier (Holcik, 1986).

In onze contreien vindt glasaalmigratie voornamelijk plaats van februari tot en met mei met een hoogtepunt tussen 15 maart en 15 april (Belpaire, 2008). Nadien kunnen volledig gepigmenteerde palingen (elvers) nog tot en met september verder stroomopwaarts trekken.

Glasalen die de estuaria binnendringen worden aangetrokken door zoetwaterstroming en ermee geassocieerde lokstoffen zoals geosmine (ligt aan de basis van een typische aardgeur) en uitscheidingen van adulte paling (Harrison *et al.*, 2014). Glasalen die het eerst in de estuaria arriveren hebben doorgaans een betere conditie, die ze aanwenden om stroomopwaarts te migreren. Glasalen die later toekomen zijn kleiner, hebben een lager gewicht en zullen vermoedelijk eerder resideren in de estuaria zelf (Harrison *et al.*, 2014). In eerste instantie maken de stroomopwaarts migrerende glasaaltjes gebruik van de getiistroom

om zich doorheen de estuaria naar het zoetwater te verplaatsen. Tijdens vloed laten ze zich voornamelijk
net achter het getijfront passief stroomopwaarts meevoeren met het getij. Tijdens eb daarentegen houden
ze zich nabij of in de bodem schuil om te verhinderen dat ze opnieuw stroomafwaarts zouden worden
afgevoerd. Tijdens de tij-kering en meer stroomopwaarts in de estuaria waar de getij-invloed vermindert,
zullen glasaaltjes actiever stroomopwaarts verplaatsen en dit voornamelijk in scholen langs de kant.

2.2 VISMIGRATIEBEHEER EN BELEID IN VLAANDEREN

650 2.2.1 Herstel van vrije vismigratie

Herstel van vrije vismigratie moet op een gestructureerde en wetenschappelijk onderbouwde manier aan-
gepakt worden. Op 16 juni 2009 werd een nieuwe Benelux-beschikking goedgekeurd. Hiermee verbonden
de lidstaten zich er toe om binnen 12 maanden na de inwerkingtreding van de beschikking, een priori-
teitenkaart op te maken. Naar aanleiding hiervan, werd door het INBO op basis van ecologische criteria
een prioriteitenkaart uitgewerkt (Stevens & Coeck, 2009). Hierop zijn de belangrijkste waterlopen voor het
visbestand aangeduid die dus als eerste knelpuntvrij moeten worden gemaakt.

Bij het opstellen van de prioriteitenkaart werd rekening gehouden met de aanbevelingen van het Pa-
lingbeheerplan, de verspreiding van de Habitatrichtlijnsoorten (de beek- en rivierprik, de kleine en grote
modderkruiper, de rivierdonderpad, de fint, de Atlantische zalm en de bittervoorn) en de stroomminnende
soorten (de serpeling, de kopvoorn en de kwabaal) waarvoor in Vlaanderen een soortherstelprogramma
is uitgewerkt. Het is belangrijk om waterlopen waarin deze doelsoorten voorkomen snel vrij te maken van
migratieknelpunten. Zo kunnen deze zeldzame soorten hun leefgebied uitbreiden of hun voortplantings-
gebieden terug bereiken.

664 **Waterlopen van prioriteit 1 en 2, en aandachtswaterlopen**

Op de prioriteitenkaart staan waterlopen van prioriteit 1 en prioriteit 2 en aandachtswaterlopen aange-
duid. De kaart omvat de waterlopen die ecologisch belangrijk zijn en/of een verbindingfunctie hebben
voor ten minste de Europees beschermde soorten. Voor het wegwerken van de knelpunten op deze wa-
terlopen wordt de timing afgestemd op de EU-KRLW (Kaderrichtlijn Water):

- 90 % van de knelpunten van eerste prioriteit moeten weggewerkt zijn voor 31 december 2015 en de rest van deze knelpunten voor 31 december 2021.
- 50 % van de knelpunten van tweede prioriteit moeten weggewerkt zijn voor 31 december 2015 en de rest van deze knelpunten wordt opgesplitst in twee delen van telkens 25%. Het eerste deel wordt weggewerkt voor 31 december 2021 en het tweede deel voor 31 december 2027.

De aandachtswaterlopen vergroten het potentiële leefgebied van de doelsoorten. Zo zijn veel polderwaterlopen als aandachtswaterloop aangeduid omdat ze dienst doen als opgroeihabitat voor jonge palingen. Het spreekt voor zich dat er op aandachtswaterlopen geen vismigratieknelpunten mogen bijkomen Een timing voor het wegwerken van vismigratieknelpunten op deze waterlopen is er nog niet.

678 Het Afleidingskanaal van de Leie is op de prioriteitenkaart aangeduid als waterloop met prioriteit 2. Dit
679 betekent dat de sluistuwcomplexen in Balgerhoeke en Schipdonk tegen 2021 of ten laatste tegen 2027
680 vispasseerbaar moeten gemaakt worden mocht blijken dat dit nu niet het geval is.

2.2.2 Aangepast spuibeheer in het AKL in Zeebrugge i.f.v. glasaalmigratie

Eén van de belangrijke intrekroutes voor glasaal in Vlaanderen betreft het uitwateringscomplex in de haven van Zeebrugge aan de monding van het Afleidingskanaal van de Leie en van het Leopoldkanaal waar sinds 2014 aangepast sluisbeheer wordt toegepast (Van Wichelen, 2018).

3 MATERIAAL EN METHODEN

Vissen ondernemen tijdens de voortplantingsperiode meestal massaal gerichte stroomopwaartse migraties gedurende een korte periode. Als gevolg hiervan kunnen er zich aanzienlijke concentraties van vissen voordoen stroomafwaarts van barrières, wat doorgaans grotere vangsten in de opgestelde fuiken tot gevolg heeft. Om de migraties van alle vissoorten nauwkeurig te bestuderen zou men praktisch wekelijks moeten vissen. In het kader van dit onderzoek is dergelijke arbeidsintensieve aanpak niet aangewezen en werd ervoor gekozen om te focussen op de voortplantingsmigratie van de meest voorkomende karperachtigen in april en mei in het AKL, o.a. blankvoorn, kolblei en brasem en op de stroomopwaartse migratie van jonge paling (glasaal, elvers en gele paling) 3.1.

Op basis van de onderzoeken naar de vispasseerbaarheid van de sluisstuwcomplexen op de Ringvaart in Evergem en Merelbeke (Buysse et al. 2002 & 2003) werd voor het nagaan van de migratieroutes en vispasseerbaarheid van de sluisstuwcomplexen van Balgerhoeke en Schipdonk gekozen voor een onderzoek met verschillende vangstmethoden. Uit bovenvermelde studies blijkt dat vissen zich concentreren onder kunstwerken die niet vispasseerbaar zijn. De methodiek berust op het principe van het gericht seizoenaal en temporeel monitoren van vissen net stroomafwaarts van kunstwerken zoals sluizen, stuwen en sifons (Buysse et al., 2003; Buysse, 2003). Om de pakkans te verhogen werd ervoor gekozen om verschillende vangsttechnieken aan te wenden. Doortrekkende karperachtigen, gele paling en andere vissoorten werden gevangen met behulp van dubbele schietfuiken en hokfuiken. Doortrekkende glasalen en elvers werden gemonitord met behulp van palinggoten en artificiële substraten ('flottangs').

Concreet werden er substraten en fuiken geplaatst stroomafwaarts van de sluisstuwcomplexen van Balgerhoeke en Schipdonk. De passeerbaarheid van het complex te Balgerhoeke voor stroomopwaartse migratie kon direct ingeschat worden door te bepalen hoeveel van de vissen die stroomafwaarts van Balgerhoeke werden gevangen en gemerkt, verder stroomopwaarts ter hoogte van Schipdonk werden hervangen. Om een inschatting te maken van de passeerbaarheid van het complex te Schipdonk kon deze directe inschatting echter niet gebeuren. Het was immers technisch niet haalbaar om stroomopwaarts van het complex de eventueel succesvol-passerende vissen te vangen. Daarom werd er voor Schipdonk enkel gekeken naar de mate waarin vissen zich concentreerden voor het complex.

Vissoort (levensstadium)	Migratieperiode (stroomopwaarts)												Referenties
	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec	
alver													Coenen et al. 2013 en referenties daarin
alver (juveniel en subadult)													Prchalová et al. 2006
baars													Coenen et al. 2013 en referenties daarin
beekprik													Coenen et al. 2013 en referenties daarin
bempje													Coenen et al. 2013 en referenties daarin
bittervoorn													Coenen et al. 2013 en referenties daarin
blankvoorn													Buyse et al. 2002; Baeyens et al. 2006;
blankvoorn (juveniel en subadult)													Coenen et al. 2013 en referenties daarin
bot (juveniel)													Prchalová et al. 2006; Buyse et al. 2002
driedoornige stekelbaars													Buyse et al. 2002
karper													Buyse et al. 2002 & 2003
kleine modderkruiper													Coenen et al. 2013 en referenties daarin
kolblei													Coenen et al. 2013 en referenties daarin
kolblei (juveniel)													Buyse et al. 2002
kopvoorn													Buyse et al. 2006b & 2006c; Coeck et al. 2000;
paling (glasaal)													Mouton et al. 2011 & 2014;
paling (elver)													Buyse et al. 2012 + niet gepubliceerde data
paling (gele aal)													Depuydt 2011
kwabaal													Buyse et al. 2009
pos													Dillen et al. 2005
rietvoorn													Coenen et al. 2013 en referenties daarin
rivierdonderpad													Coenen et al. 2013 en referenties daarin
riviergrondel													Vandelannoote et al. 1998; Knaepkens et al. 2004
riverprik													Coenen et al. 2013 en referenties daarin
serpeling													Stevens et al. 2009; Buyse et al. 2004;
serpeling (juveniel en subadult)													Maes & Ollevier 2005; Coenen et al. 2013
snoek													Dillen et al. 2006
snoekbaars													Prchalová et al. 2006
spiering													Coenen et al. 2013 en referenties daarin
tiendoornige stekelbaars													Coenen et al. 2013 en referenties daarin
vetje													Coenen et al. 2013 en referenties daarin
winde													Coenen et al. 2013 en referenties daarin
zeelt													Coenen et al. 2013 en referenties daarin
zeeprik													Pauwels et al. (in progress);
													Stevens et al. 2009 en referenties daarin

Figuur 3.1: Beperkt overzicht van de migratieperiode van de meest voorkomende soorten in de streek

3.1 VANGSTMETHODEN

3.1.1 Dubbele schietfuiken

In functie van de migratie van karperachtigen en gele paling werd er gebruik gemaakt van concentratiefuiken (dubbele schietfuiken). De verankering van de dubbele schietfuiken gebeurt door middel van vaste verankeringspunten en zware gewichten. Vaste punten kunnen o.a. zijn: verankeringspunten aan keermuren, bakens voor scheepvaart of zelf geplaatste palen. Fuiken bestaan uit cilindrische of kegelvormige zakken die op ringen of hoepels bevestigd zijn en die volledig omgeven zijn door een netstructuur. Ze worden op de bodem geplaatst en in ondiep water gebruikt. Schietfuiken bevissen meestal slechts de onderste (halve) meter van de waterkolom terwijl bij gewone fuiken het schutnet meestal tot aan de oppervlakte reikt. Gezien de grote variatie in fuiken zullen de efficiënties ook sterk verschillen.

3.1.2 Palinggoten

Palinggoten worden reeds veelvuldig aangewend om de stroomopwaartse trek van glasalen en jonge paling (elvers) rond knelpunten te faciliteren. Ook aan onze kust bleek het gebruik van palinggoten succesvol te zijn in het vangen van glasaal en jonge palingen o.a. ter hoogte van het Veurne-Ambachtgemaal (Van-damme, 2020). De U-vormige goten (ongeveer 4 m x 0,3 m) die zijn bekleed met aan de ene zijde fijne en aan de andere zijde grove borstels waartussen de glasalen naar boven kunnen klauteren, worden met een helling van 30-40° tegen een betonnen zijwand aan de stroomafwaarts zijde van het knelpunt geplaatst. Om de aantrek van glasaal te maximaliseren worden deze goten idealiter bevoeid met water van een andere samenstelling, bijvoorbeeld door water van een locatie stroomopwaarts het knelpunt over te pompen. Alle palingen die via de borstels de goot beklimmen worden bovenaan opgevangen in een opvangreservoir.

744 3.1.3 Kunstmatige substraten

745 Kunstmatige substraten vervaardigd uit kunststof of natuurlijke materialen (houttwijgen) die ofwel worden
746 bevestigd aan vlotter ('flottangs') ofwel nabij de bodem worden geplaatst, kunnen fungeren als schuiloord
747 voor glasaal en elvers. Deze substraten worden gedurende een gestandaardiseerde periode geïnundeerd
748 waarna de zich verschuilende glasaaltjes kunnen worden uitgeschud in een opvangbak. Ondanks het feit
749 dat de vangsten per substraat voornamelijk ter hoogte van migratieknelpunten soms hoog kunnen zijn,
750 worden ze vooral voor monitoringsdoeleinden gebruikt. Ook in het Veurne-Ambachtkanaal bleken artificiële
751 substraten (ijzeren frame van 50x50x20 cm gevuld met Enkamat nylon stabilisatiematten, Foto 10) in
752 staat om significante hoeveelheden glasaal te bemonsteren (Vandamme, 2020).

753 3.2 STUDIEGEBIED

754 Het studiegebied betreft het pand Balgerhoeke-Schipdonk van het Afleidingskanaal van de Leie (AKL) dat
755 begrensd is door de sluisstuwcomplexen van Balgerhoeke en Schipdonk. Wanneer hoge debieten van de
756 Leie tijdig afgevoerd moeten worden, kunnen ter hoogte van Schipdonk de sifons onder het Kanaal Gent-
757 Oostende en de schuifstuw links en rechts van de Schipdonksluis geopend worden. Het water stroomt
758 verder richting de stuwsluis in Balgerhoeke die bestaat uit twee parallelle stuw met een opening voorzien
759 van schotbalken.

760 *Het AKL werd gegraven in de periode 1847-1860 met als voornaamste doel om overstromingen*
761 *in de streek rond Gent te vermijden. Het AKL sluit in Deinze aan op de Leie en wordt hoofdzakelijk*
762 *gevoed door het oppervlaktewater van de Leie en de Poekebeek. Naast deze waterlopen*
763 *sluiten op het kanaal nog de afwateringsgebieden van de Ede en het Zuidervaartje aan. Het*
764 *kanaal loopt noordwaarts doorheen Nevele en kruist op de grens Nevele-Zomergem het kanaal*
765 *van Gent naar Oostende (KGO), daar loopt het kanaal verder op de grens Eeklo-Maldegem*
766 *en vervolgens op de grens Maldegem-Sint Laureins waar het afbuigt in westelijke richting.*
767 *Vandaar loopt het kanaal doorheen Damme en verder op de grens Brugge en Knokke-Heist tot*
768 *aan de zee. Het kanaal is 56 km lang en bestaat uit 3 panden (Deinze-Schipdonk, Schipdonk-*
769 *Balgerhoeke en Balgerhoeke-Zeebrugge). Het pand Deinze-Schipdonk is gelegen in het Bekken*
770 *van de Gentse Kanalen en maakt een rechtstreekse verbinding tussen de Leie (in Deinze)*
771 *en het Kanaal Gent-Brugge (in Schipdonk). Beide hebben dan ook hetzelfde waterniveau van*
772 *5.69m TAW. Op het kanaal zijn tussen Deinze en het kanaal Gent-Brugge vaartuigen toegestaan*
773 *van CEMT-klasse Va (2000-4000 ton). De waterdoorvoer van het Afleidingskanaal van de Leie*
774 *ter hoogte van de kruising met het Kanaal Gent-Oostende kan geregeld worden door een dubbele*
775 *constructie bestaande uit sifons onder het KGO en twee stuw met schotbalken links en*
776 *rechts van de sluis van Schipdonk. De stuwsluis in Balgerhoeke ligt binnen het Bekken van de*
777 *Brugse Polders. Het pand Schipdonk- Balgerhoeke ligt gedeeltelijk binnen het Bekken van de*
778 *Gentse Kanalen. Het waterpeil in het pand Schipdonk-Balgerhoeke ligt normaal slechts zo'n*
779 *0.60m lager (5.00m TAW) dan het bovenstrooms pand. Het afwaartse pand Balgerhoeke-Heist*
780 *(voorhaven van Zeebrugge) heeft als normaal waterpeil 3.30m TAW. Hier is het kanaal enkel*
781 *bevaarbaar voor vaartuigen uit de CEMT-klasse I (250-400 ton). Het ligt tussen dijken zodat het*
782 *pand als buffer kan optreden tijdens de periodes van hoogwater in zee. De afwatering naar zee*
783 *toe gebeurt via het sluisencomplex van Zeebrugge, dat geregelde schuiven bevat.*

784 3.3 STUDIEPERIODE EN MEETFREQUENTIE

785 Het veldwerk liep van maandag 22/03/2023 tot en met donderdag 25/05/2023. Substraten, glasaalgoten
786 en fuiken werden om de één tot drie dagen gelegeerd en opnieuw geplaatst.

787 3.4 WERKWIJZE

////////////////////////////////////

3.4.1 Jonge paling

Om jonge paling te bemonsteren werd gebruik gemaakt van glasaalgoten en substraten. Een palinggoot werd geïnstalleerd stroomafwaarts van de sluizen te Balgerhoeke. Deze is op onderstaande figuur (Figuur 3.2) aangeduid met een oranje streep. Substraten werden geplaatst stroomafwaarts van de stuwen en sluis te Balgerhoeke en stroomafwaarts van de stuwen en sifon te Schipdonk. Deze zijn op onderstaande figuren (Figuur 3.2) aangeduid met rode ruitjes.



Figuur 3.2: Studiegebied (links Balgerhoeke; rechts Schipdonk) met aanduiding van de locaties van de substraten (rode ruitjes), fuiken (gele sterren) en palinggoot (oranje streepje).

De substraten werden onderaan voorzien van een fijnmazig net zodat de kans op ontsnappen bij het opheffen van de substraten minimaal was. Zowel de opvangbak van de palinggoot als de substraten werden geleegd op de oevers. Bij het legen van de substraten werd vijf keer hard geschud boven het opvangnet. De gevangen individuen werden verdoofd met kruidnagelolie en gemeten (lengte en gewicht). In tegenstelling tot de fuikvangsten werden de vangsten van de glasaalgoten en de substraten niet voorzien van een vinkip als merkteken (zie verder). De vangsten van zowel de goten als de substraten werden uitgezet stroomopwaarts van Schipdonk (in het Kanaal Gent-Oostende).

Per locatie werden voor elk staal de lengte van maximum vijftig jonge palingen gemeten en genoteerd. Bij het vangen van een groter aantal, werd een representatief staal van 50 individuen genomen. Hiervoor werden de gevangen glasalen en elvers verdoofd door ze in 1L water te plaatsen waaraan 1.5 ml kruidnagelolie (opgelost in ethanol 96% in verhouding 1/10) was toegevoegd. Bij deze concentratie worden alle individuen binnen de 5 minuten verdoofd waarna ze zonder zichtbare schade binnen de 2 uur na analyse weer bijkomen in een met zuurstof beluchte emmer met water. De lengte werd met een meetlat bepaald tot op 1 mm nauwkeurig.

Bij het bepalen van de lengtefrequenties werden enkel vissen beschouwd waarvan lengtemetingen voor-
handen waren (indien er meer dan 50 vissen waren van een bepaalde soort werd een representatief staal
gemeten en de surplus enkel geteld). Aantallen en gemiddelde lengte werden uitgezet in functie van de
tijd.

812 3.4.2 Fuikvangsten

813 Waar mogelijk werden schietfuike gebruikt. Ter hoogte van Balgerhoeke was het water soms te ondiep,
814 daarom werd ook een hokfuike gebruikt voor deze specifieke locatie (deze hokfuike bleek echter relatief
815 lage vangsten te hebben en werd daarom niet vervangen na diefstal). De locaties van de fuike worden
816 weergegeven in Figuur 3.2 als gele sterren. De gevangen individuen werden verdoofd met kruidnagelolie
817 (zie eerder), gemeten (lengte) en gemerkt a.d.h.v. een knip aan buikvin. Merken gebeurde enkel t.h.v.
818 Balgerhoeke met als doel om na te gaan of (1) vissen t.h.v. de barrière van Balgerhoeke bleven en (2) of ze
819 de barrière kunnen passeren (i.e., thv Schipdonk gevangen worden). Na het meten en merken, werden de

820 vissen stroomafwaarts van het knelpunt uitgezet. De vangst van de verschillende fuiken op een bepaalde
821 dag op een bepaalde site (i.e., Balgerhoeke, Schipdonk sifon of Schipdonk sluizen) werden samen als één
822 staal beschouwd. Om verschillen in het aantal fuiken en aantal dagen tussen ophalen van de vangsten in
823 rekening te brengen werd gewerkt met de aantallen per fuikdag (catch-per-unit-effort = CPUE) tenzij anders
824 aangegeven.

825 De gemeenschapsstructuur werd onderzocht in functie van ruimte en tijd m.b.v.

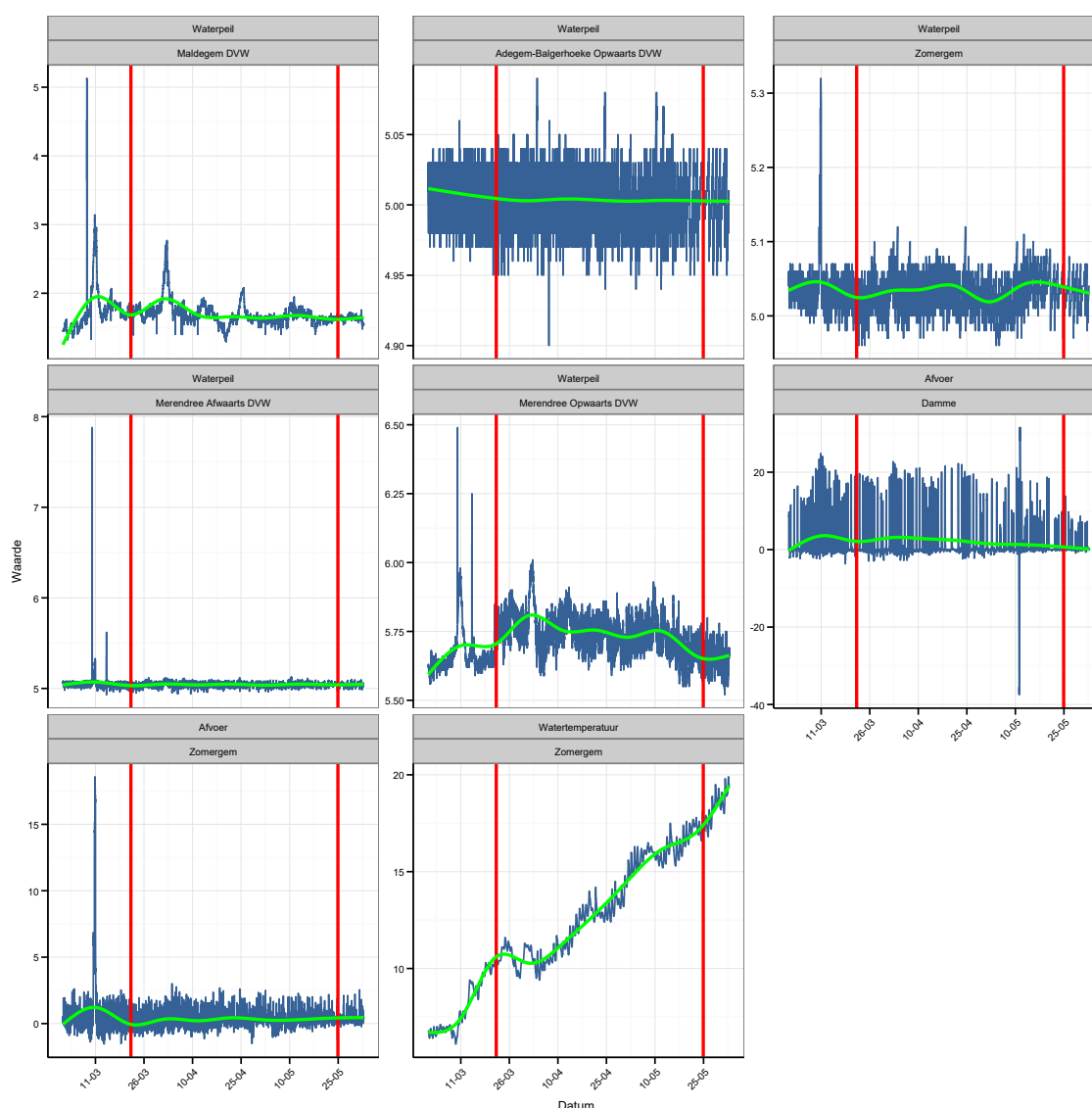
- 826 • Tabellen die aantallen (per fuikdag) per soort weergegeven per site en datum
- 827 • PCOA (Bray-Curtis dissimilariteit van de door de vierdemachtswortel getransformeerde aantallen per
828 fuikdag en per soort) met weergave van de belangrijkste soorten.
- 829 • PERMANOVA met als factoren de datum, site (Balgerhoeke versus Schipdonk) en locatie binnen de
830 site (Bray-Curtis dissimilariteit van de door de vierdemachtswortel getransformeerde aantallen per
831 fuikdag en per soort).

832 Bij het bepalen van de lengtefrequenties werden enkel vissen beschouwd waarvan lengtemetingen voor-
833 handen waren (indien er meer dan 50 vissen waren van een bepaalde soort werd de surplus enkel geteld
834 en niet gemeten). Het aandeel hervangst en vissen met paaikenmerken werd uitgezet in functie van de tijd.

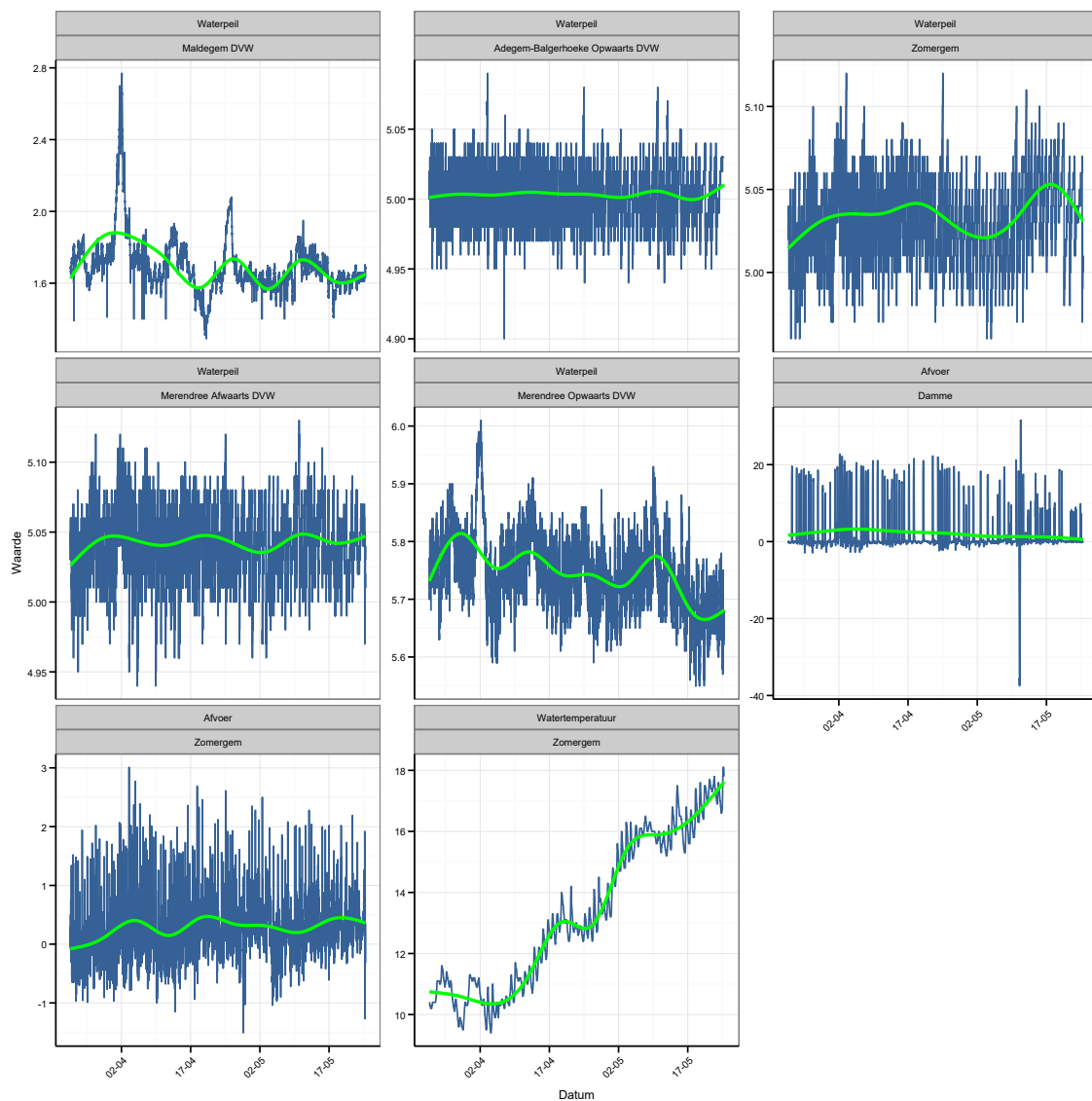
835 4 RESULTATEN

836 4.1 ABIOTIEK

837 Een overzicht van de tijdreeksen van relevante meetstations voor het studiegebied is gegeven in Figuren
838 4.1 en 4.2. Een overzicht van de locaties is beschikbaar via deze [link](#).



Figuur 4.1: Overzicht van metingen van waterpeil (m), afvoer (m³/s) en temperatuur (°C) voor relevante meetstations doorheen de tijd. De stations staan geordend van stroomafwaarts naar stroomopwaarts. De meetstations van Damme en Maldegem liggen in het pand Zeebrugge-Balgerhoeke. De meetstations van Adegem-Balgerhoeke, Zomergem en Merendree Afwaarts liggen in het pand Balgerhoeke-Schipdonk. Het meetstation Merendree Opwaarts ligt stroomopwaarts van Schipdonk. Rode lijnen begrenzen de studieperiode (22 maart 2023 - 25 mei 2023). De groene lijn geeft de gesmoothe trend aan (span=1).



Figuur 4.2: Overzicht van metingen van waterpeil (m), afvoer (m³/s) en temperatuur (°C) voor relevante meetstations doorheen de tijd voor de studieperiode (22 maart 2023 - 25 mei 2023). De stations staan geordend van stroomafwaarts naar stroomopwaarts. De meetstations van Damme en Maldegem liggen in het pand Zeebrugge-Balgerhoeke. De meetstations van Adegem-Balgerhoeke, Zomergem en Merendree Afwaarts liggen in het pand Balgerhoeke-Schipdonk. Het meetstation Merendree Opwaarts ligt stroomopwaarts van Schipdonk. De groene lijn geeft de gesmoothe trend aan (span=1).

De afvoer stroomafwaarts van Balgerhoeke (meetpunt Damme) wordt gekenmerkt door plotse pieken van ongeveer 20 m³ en een gemiddelde afvoer van 2.03 m³/s (Tabel 4.1). Wanneer de piekdebieten niet in rekening worden gebracht bedraagt de gemiddelde afvoer -0.006 m³/s. De stroomopwaartse debieten (i.e. de negatieve waarden) bedragen 49 % van de data en zijn in absolute waarde niet meer dan 2.96 m³/s. De afvoer tussen Balgerhoeke en Schipdonk (meetpunt Zomergem) bedraagt zelden meer dan 2.5 m³/s, is gemiddeld 0.28 m³ en varieert tussen -1.51 m³/s en 3.01 m³/s. De stroomopwaartse debieten bedragen 26 % van de data en zijn in absolute waarde niet meer dan 1.51 m³/s. Ondanks het feit dat dit relatief lage debieten zijn, zijn deze wellicht wel voldoende voor verschillende technische vispassages. Een standaard bekkervispassage en vertical slot vispassage vereisen bijvoorbeeld 0.15 m³/s. Een De Wit-vispassage, een variant op de vertical slot vispassage, is uitermate geschikt voor regio's waar weinig water voorhanden is en waar te weinig afvoer is voor een nevenbeek (Coenen, 2013).

Tabel 4.1: Gemiddeld debiet, mediaan debiet en aandeel studieperiode (22 maart 2023 - 25 mei 2023) dat debiet onder een opgegeven waarde lag voor stations te Damme (pand Zeebrugge-Balgerhoeke) en Zomergem (pand Balgerhoeke-Schipdonk).

Debiet	Damme	Zomergem
med. debiet (m³/s)	0.00	0.27
gem. debiet (m³/s)	2.03	0.28
Aandeel studieperiode < 0.1 m³	0.66	0.33
Aandeel studieperiode < 0.25 m³	0.74	0.47
Aandeel studieperiode < 0.5 m³	0.79	0.71
Aandeel studieperiode < 1 m³	0.81	0.94
Aandeel studieperiode < 2 m³	0.84	0.99
Aandeel studieperiode < 3 m³	0.85	1.00
Aandeel studieperiode < 4 m³	0.86	1.00
Aandeel studieperiode < 5 m³	0.86	1.00
Aandeel studieperiode < 10 m³	0.88	1.00
Aandeel studieperiode < 20 m³	0.98	1.00
Aandeel studieperiode < 30 m³	1.00	1.00

859 4.2 VISSEN

860 4.2.1 Data-overzicht

De fuiken, hokfuik en schietfuiken te Balgerhoeke werden om logistische redenen samengenomen en kregen daarom één meetplaatscode (balfuik) toegekend. In totaal werden 4575 vissen gevangen met de fuiken te Balgerhoeke (Tabel 4.2). In de palinggoot werd ongeveer 5 % gevangen (59 elvers) van wat er gevangen werd met de substraten in Balgerhoeke (1270 elvers) (Tabel 4.3). De substraten t.h.v. de oevers te Balgerhoeke ving in totaal ongeveer 5 tot 10 keer meer dan de substraten t.h.v. de oude sluis en palinggoot respectievelijk. In totaal werden 8524 vissen gevangen met de fuiken te Schipdonk (Tabel 4.2).

867 In totaal werden t.h.v. de sifon meer vissen gevangen dan t.h.v. de sluis van Schipdonk ondanks dat t.h.v.
868 de sluis twee fuiken werden gebruikt en t.h.v. de sifon slechts één.

Tabel 4.2: Overzicht vangsten per meetplaats en datum. balfuik: hokfuik en schietfuiken linkeroever en rechteroever Balgerhoeke, balgoo: Palinggoot Balgerhoeke, balsgo: Substraat t.h.v. palinggoot Balgerhoeke, balli: Substraat linkeroever Balgerhoeke, balre: Substraat rechteroever Balgerhoeke, balslu: Substraat oude sluis Balgerhoeke, mersif: Schietfuik sifon Merendree, merlo: Schietfuik linkeroever sluis Merendree, merro: Schietfuik rechteroever sluis Merendree. De substraten te Schipdonk staan hier niet weergegeven omdat er nooit paling in werd gevonden.

Meetplaatscode	hokfuik	schietfuik	palinggoot	substraat
balfuik	105	4470	0	0
balgoo	0	0	59	0
balli	0	0	0	506
balre	0	0	0	600
balsgo	0	0	0	65
balslu	0	0	0	99
merlo	0	2305	0	0
merro	0	1865	0	0
mersif	0	4354	0	0

Tabel 4.3: Overzicht vangsten per meetplaats en datum. balfuik: hokfuik en schietfuiken linkeroever en rechteroever Balgerhoeke, balgoo: Palinggoot Balgerhoeke, balsgo: Substraat t.h.v. palinggoot Balgerhoeke, balli: Substraat linkeroever Balgerhoeke, balre: Substraat rechteroever Balgerhoeke, balslu: Substraat oude sluis Balgerhoeke, mersif: Schietfuik sifon Merendree, merlo: Schietfuik linkeroever sluis Merendree, merro: Schietfuik rechteroever sluis Merendree. De substraten te Schipdonk staan hier niet weergegeven omdat er nooit paling in werd gevonden.

Datum	balfuik	balgoo	balli	balre	balsgo	balslu	merlo	merro	mersif
2023-03-22	31	0	0	0	0	1	0	0	0
2023-03-24	226	2	1	4	0	3	172	78	436
2023-03-27	240	0	5	1	0	0	145	27	1242
2023-03-29	156	0	0	0	0	0	215	90	639
2023-03-31	465	0	2	3	0	0	33	42	218
2023-04-03	196	0	25	77	13	3	166	139	117
2023-04-05	283	0	3	9	2	0	172	156	142
2023-04-07	252	0	4	0	0	2	124	113	97
2023-04-10	374	0	11	14	2	2	138	77	237
2023-04-12	506	0	2	1	3	0	35	103	117
2023-04-14	107	0	12	16	0	2	59	85	90
2023-04-17	172	3	23	35	7	1	114	81	132
2023-04-19	121	0	10	11	4	4	98	26	70
2023-04-21	134	1	4	10	0	8	104	151	137
2023-04-24	222	0	12	20	2	4	92	81	77
2023-04-26	354	1	9	25	1	1	23	73	141
2023-04-28	150	5	3	6	1	5	95	52	62
2023-05-02	127	5	8	7	10	6	63	137	163
2023-05-05	228	5	43	59	6	10	100	102	65
2023-05-08	97	18	167	67	0	10	85	100	39
2023-05-10	44	3	76	118	0	17	60	51	8
2023-05-12	26	2	47	73	5	7	40	81	35
2023-05-15	35	10	31	32	9	7	99	0	36
2023-05-17	29	4	8	12	0	6	73	20	54

869 4.2.2 Fuiken

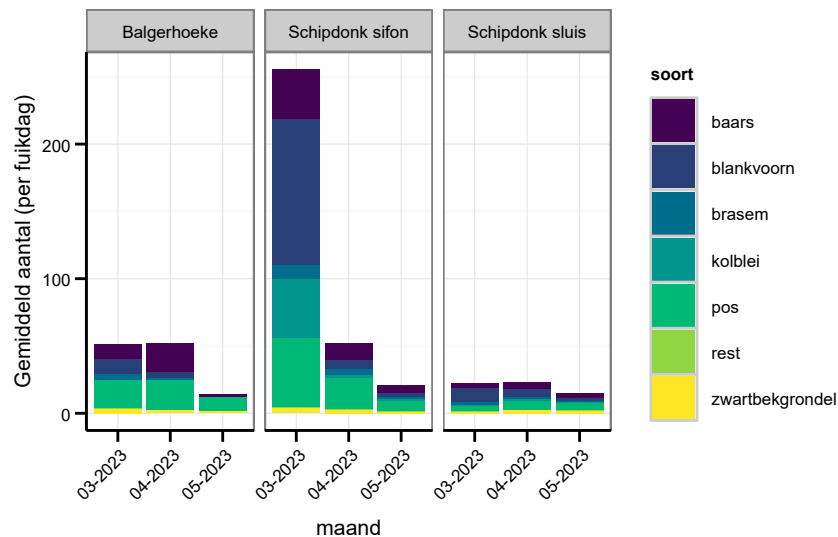
870 4.2.2.1 Gemeenschapsstructuur

Alle geobserveerde soorten (19 in totaal) die werden gevangen in Balgerhoeke werden ook gevangen in Schipdonk (met uitzondering van één driedoornige stekelbaars in Balgerhoeke) (Tabellen 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10 en 4.11). In Balgerhoeke, Schipdonk sifon en Schipdonk sluizen bedroeg de Shannon diversiteit gemiddeld 1.19, 1.43 en 1.45 respectievelijk. Er waren sterke verschillen in de aantallen van sommige soorten. In Balgerhoeke werd in totaal veel meer bittervoorn en snoek en veel minder kolblei en zonnebaars gevangen (Figuren 4.3 en 4.4). In zowel Balgerhoeke als Schipdonk werden relatief grote aantallen baars, blankvoorn en pos aangetroffen in het begin van de paaiperiode. Naar het einde van de paaiperiode van deze soorten, daalden ook hun aantallen stroomafwaarts van de complexen. Dit wijst erop dat voor deze soorten, die de vangsten domineren, de complexen belangrijke barrières zijn. Aantallen en soort werden gebruikt om de gemeenschapsstructuur van de drie sites (Balgerhoeke, Schipdonk sifon en Schipdonk sluis) en drie maanden te vergelijken (PERMANOVA, Bray-curtis afstand, vierde-wortel van de fuikvangsten per fuikdag en per soort). Alle drie sites bleken significant verschillend met de grootste verschillen tussen Balgerhoeke enerzijds en Schipdonk anderzijds (Figuur 4.5). Er werd een significant verschil genoteerd tussen de maanden mei enerzijds en maart en april anderzijds. De variabiliteit in gemeenschapsstructuur was

885 voornamelijk het gevolg van verschillen in voorkomen van pos (vnl. Balgerhoeke), baars (vnl. Balgerhoeke),
886 brasem (vnl. Schipdonk sifon), blankvoorn (vnl. Schipdonk sifon) en kolblei (vnl. Schipdonk sifon).

Tabel 4.4: Soortensamenstelling en overzicht van de gemiddelde aantallen per fuikdag, per vissoort en per maand in Balgerhoeke (sampling effort in rekening gebracht)

soort	03-2023	04-2023	05-2023
baars	11.40	21.89	2.21
bittervoorn	0.50	0.76	0.33
blankvoorn	11.24	4.19	0.25
brasem	3.75	1.45	0
driedoornige stekelbaars	0.25	0	0
hybride	0.25	0	0
kolblei	0.50	0.46	0.21
paling	0.81	0.68	0.76
pos	20.87	21.92	9.83
rietvoorn	0.25	0	0
riviergrondel	1.17	0.51	0
snoek	0.24	0.25	0.18
snoekbaars	0.25	0.46	0.17
zwartbekgrondel	3.05	1.98	1.36
blauwband	0	0.25	0
giebel	0	0.21	0.25
karper	0	0.25	0
zeelt	0	0	0.25
zonnebaars	0	0	0.25



Figuur 4.3: Verdeling van de gemiddelde vangsten per fuikdag en per vissoort in Balgerhoeke, Schipdonk sifon en Schipdonk sluis per maand (rest = overige vissoorten die elk minder dan 5% van de vangsten uitmaken).

Tabel 4.5: Soortensamenstelling en overzicht van de totale fuikvangsten per vissoort en per maand in Balgerhoeke (sampling effort niet in rekening gebracht)

soort	03-2023	04-2023	05-2023
baars	245	1163	92
bittervoorn	4	42	4
blankvoorn	237	221	3
brasem	62	52	0
driedoornige stekelbaars	1	0	0
hybride	1	0	0
kolblei	2	9	2
paling	13	31	25
pos	460	1206	399
rietvoorn	1	0	0
riviergrondel	20	20	0
snoek	3	7	4
snoekbaars	1	9	2
zwartbekgrondel	68	107	50
blauwband	0	1	0
giebel	0	2	1
karper	0	1	0
zeelt	0	0	3
zonnebaars	0	0	1

Tabel 4.6: Soortensamenstelling en overzicht van de gemiddelde aantallen per fuikdag, per vissoort en per maand in Schipdonk sifon (sampling effort in rekening gebracht)

soort	03-2023	04-2023	05-2023
baars	37.32	12.36	6.01
bittervoorn	0.41	0	0
blankvoorn	108.74	6.45	2.92
brasem	9.78	4.97	1.69
hybride	0.45	0.50	0
kolblei	43.67	2.10	1.28
paling	1.19	1.19	0.97
pos	51.84	22.86	7.58
riviergrondel	0.83	0.75	0.62
snoek	0.33	0.33	0.33
snoekbaars	1.35	0.67	0.38
zeelt	0.47	0.42	0.33
zwartbekgrondel	3.61	2.50	0.83
blauwband	0	0.33	0.50
giebel	0	0.42	0
rietvoorn	0	0.50	0
zonnebaars	0	0.67	0.50

Tabel 4.7: Soortensamenstelling en overzicht van de totale fuikvangsten per vissoort en per maand in Schipdonk sifon (sampling effort niet in rekening gebracht)

soort	03-2023	04-2023	05-2023
baars	392	336	117
bittervoorn	1	0	0
blankvoorn	1049	160	60
brasem	65	127	25
hybride	2	1	0
kolblei	448	37	21
paling	9	25	12
pos	524	639	143
riviergrondel	4	8	4
snoek	1	2	1
snoekbaars	12	14	2
zeelt	3	2	1
zwartbekgrondel	25	56	10
blauwband	0	1	1
giebel	0	2	0
rietvoorn	0	1	0
zonnebaars	0	8	3

Tabel 4.8: Soortensamenstelling en overzicht van de gemiddelde aantallen per fuikdag, per vissoort en per maand aan de Schipdonk sluizen (sampling effort in rekening gebracht)

soort	03-2023	04-2023	05-2023
baars	4.03	4.85	3.25
bittervoorn	0.17	0	0
blankvoorn	10.48	5.95	2.58
brasem	1.83	1.33	0.42
kolblei	0.99	2.01	0.83
paling	0.71	0.35	0.34
pos	3.93	6.18	5.56
riviergrondel	0.63	0.36	0.21
snoekbaars	0.84	0.47	0.37
zwartbekgrondel	0.74	2.26	1.66
giebel	0	0.17	0
hybride	0	0.25	0
karper	0	0.21	0
rietvoorn	0	0.17	0
snoek	0	0.17	0
zonnebaars	0	0.31	0.33
blauwband	0	0	0.12
zeelt	0	0	0.12

Tabel 4.9: Soortensamenstelling en overzicht van de totale fuikvangsten per vissoort en per maand in Schipdonk sluis (sampling effort niet in rekening gebracht)

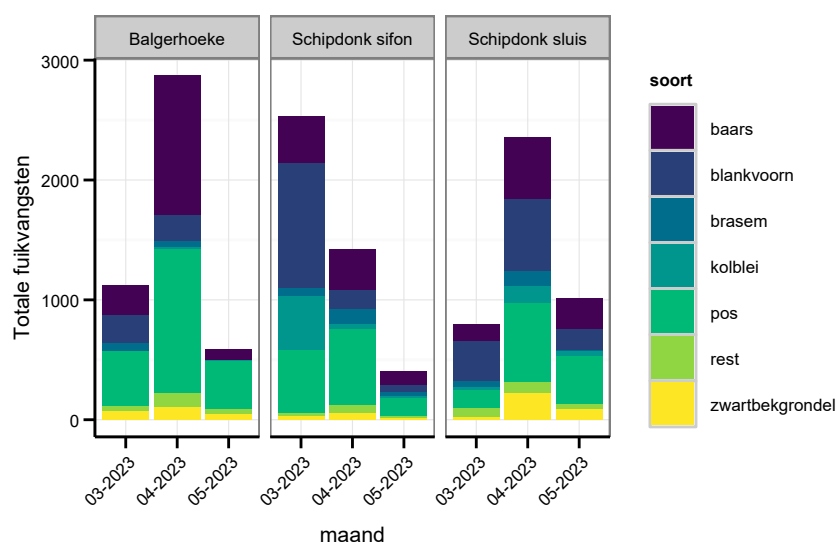
soort	03-2023	04-2023	05-2023
baars	149	514	256
bittervoorn	1	0	0
blankvoorn	333	605	178
brasem	46	127	4
kolblei	28	134	46
paling	28	17	12
pos	150	667	397
riviergrondel	16	19	2
snoekbaars	27	33	18
zwartbekgrondel	24	220	87
giebel	0	1	0
hybride	0	1	0
karper	0	2	0
rietvoorn	0	2	0
snoek	0	2	0
zonnebaars	0	13	9
blauwband	0	0	1
zeelt	0	0	1

Tabel 4.10: Soortensamenstelling en overzicht van de gemiddelde vangsten per fuikdag, per vissoort voor de hele periode voor Schipdonk en Balgerhoeke (sampling effort in rekening gebracht)

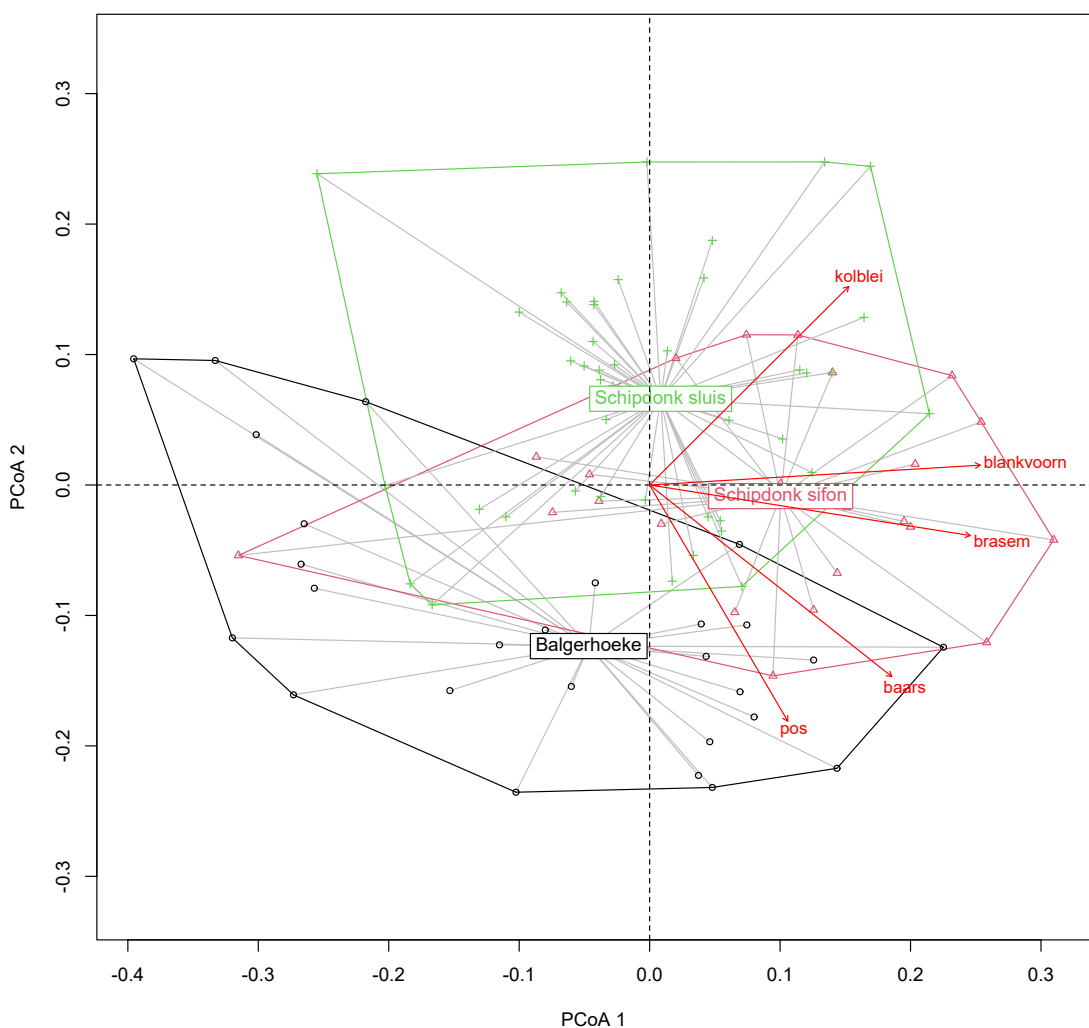
soort	Balgerhoeke	Schipdonk sifon	Schipdonk sluis
baars	13.97	15.17	4.23
bittervoorn	0.67	0.41	0.17
blankvoorn	5.63	23.93	5.67
blauwband	0.25	0.42	0.12
brasem	2.22	5.04	1.37
driedoornige stekelbaars	0.25	0	0
giebel	0.22	0.42	0.17
hybride	0.25	0.47	0.25
karper	0.25	0	0.21
kolblei	0.39	11.64	1.41
paling	0.72	1.12	0.46
pos	18.18	23.25	5.59
rietvoorn	0.25	0.50	0.17
riviergrondel	0.73	0.74	0.43
snoek	0.22	0.33	0.17
snoekbaars	0.35	0.81	0.52
zeelt	0.25	0.43	0.12
zonnebaars	0.25	0.62	0.32
zwartbekgrondel	2.05	2.22	1.84

Tabel 4.11: Soortensamenstelling en overzicht van de totale fuikvangsten per vissoort voor de hele periode voor Schipdonk en Balgerhoeke (sampling effort niet in rekening gebracht)

soort	Balgerhoeke	Schipdonk sifon	Schipdonk sluis
baars	1500	845	919
bittervoorn	50	1	1
blankvoorn	461	1269	1116
blauwband	1	2	1
brasem	114	217	177
driedoornige stekelbaars	1	0	0
giebel	3	2	1
hybride	1	3	1
karper	1	0	2
kolblei	13	506	208
paling	69	46	57
pos	2065	1306	1214
rietvoorn	1	1	2
riviergrondel	40	16	37
snoek	14	4	2
snoekbaars	12	28	78
zeelt	3	6	1
zonnebaars	1	11	22
zwartbekgrondel	225	91	331



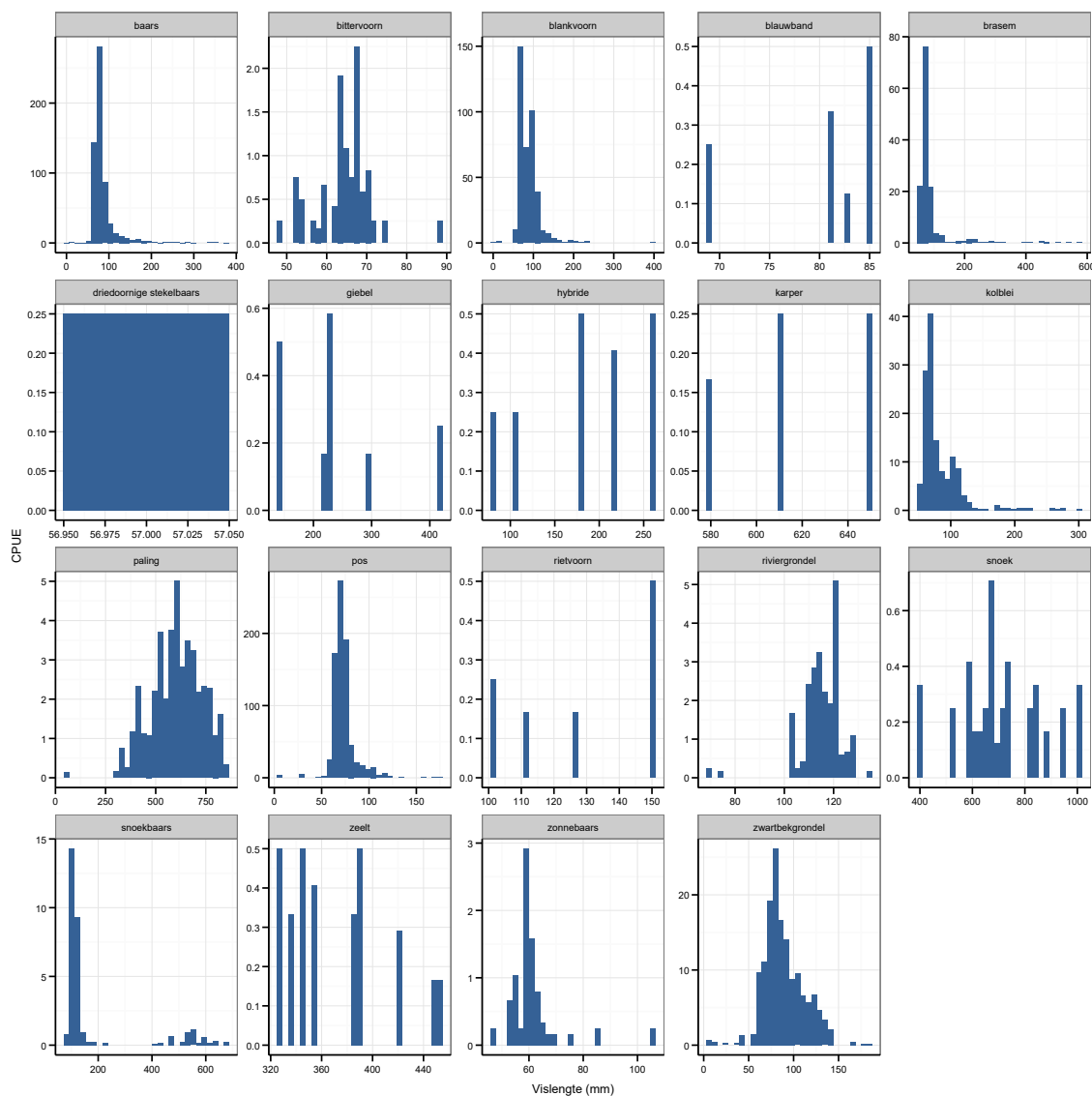
Figuur 4.4: Verdeling van de totale fuikvangsten per vissoort in Balgerhoeke, Schipdonk sifon en Schipdonk sluis per maand (rest = overige vissoorten die elk minder dan 5% van de vangsten uitmaken).



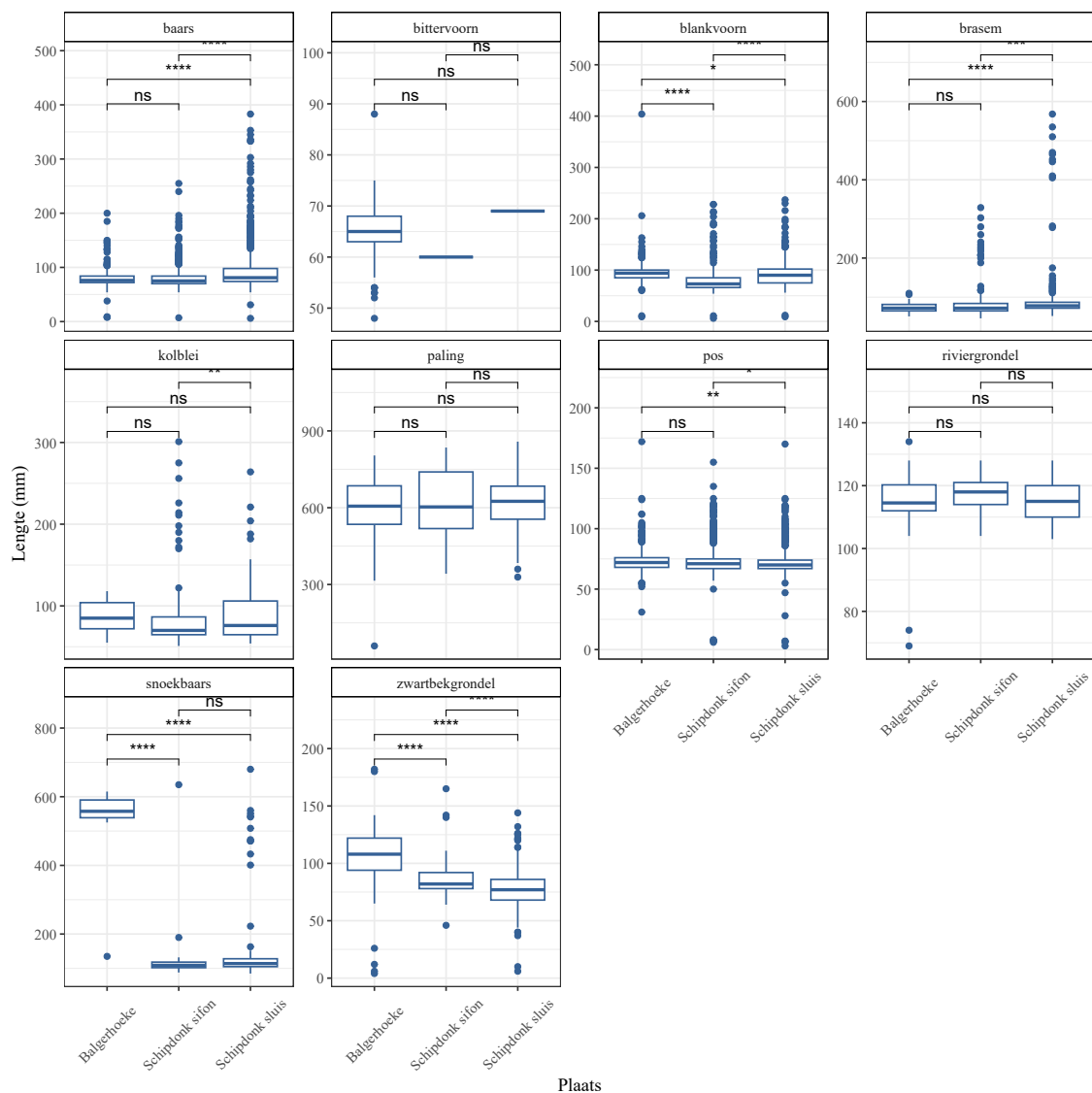
Figuur 4.5: Principale coördinaten analyse (PCOA, CPUE, vierde-machtswortel transformatie, Bray-Curtis afstanden) met weergave van de verschillende sites (als omkaderingen) en de belangrijkste soorten (weergave als pijlen met lengte pijlen representatief voor bijdrage; $p > 0.05$ en $R^2 > 0.4$) om verschillen in gemeenschapsstructuur te verklaren.

4.2.2.2 Lengteverdeling

De lengteverdeling per soort (Figuur 4.6) verschilde in een aantal gevallen tussen de drie locaties (Balgerhoeke, sluisen van Schipdonk en de sifon van Schipdonk). Voor blauwband, driedoornige stekelbaars, gibel, karper, rietvoorn, snoek, en zeelt en zonnebaars waren de aantallen te klein om onderbouwde conclusies te trekken over mogelijke verschillen tussen de locaties. Baars was groter t.h.v. de Schipdonk sluis (Figuur 4.7). Blankvoorn was het grootst t.h.v. Balgerhoeke gevolgd door Schipdonk sluis en sifon. Brasem was groter t.h.v. Schipdonk sluis. Kolblei was groter t.h.v. de Schipdonk sluis dan Schipdonk sifon. Pos was het kleinst t.h.v. Schipdonk sluis. Snoekbaars was veel groter in Balgerhoeke. Zwartbekgrondel was het grootst t.h.v. Balgerhoeke gevolgd door Schipdonk sifon en sluis.



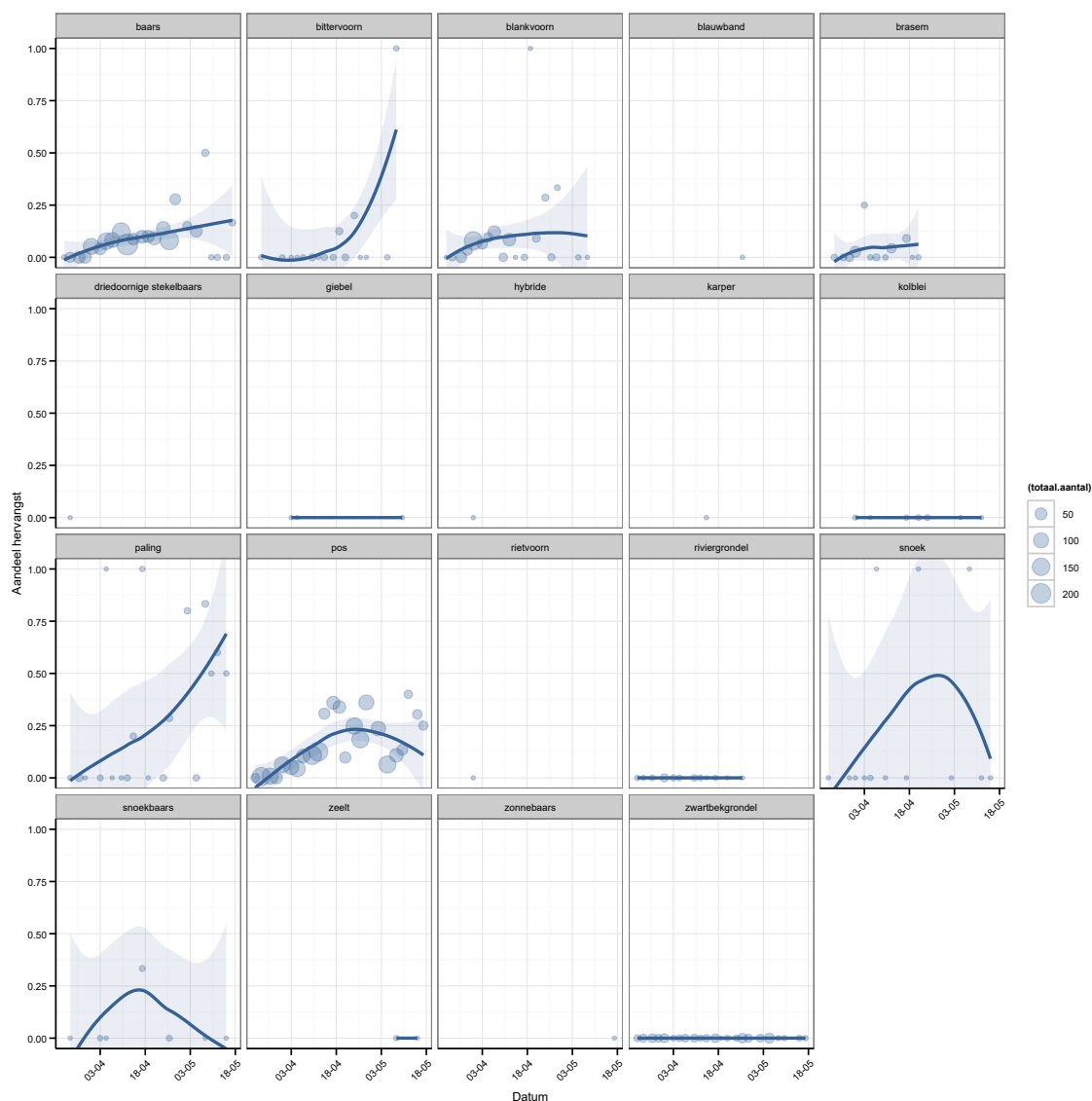
Figuur 4.6: Lengteverdeling voor de verschillende gevangen soorten voor de hele periode voor Schipdonk en Balgerhoeke. De inverse van de CPUE werd gebruikt als gewicht voor de metingen.



Figuur 4.7: Boxplots die de gemiddelde lengte van de fuikvangsten voorstellen in functie van de bemonsteringslocatie. Gepaarde wilcoxon ranks sum testen met Bonferroni correctie werden gebruikt. p-waarden werden geclassificeerd als niet-significant of ns (>0.05), * (0.05-0.01), ** (0.01-0.001), *** (0.001-0.0001), **** (0.0001-0).

4.2.2.3 Hervangst

Enkel in Balgerhoeke werden vissen gemerkt om na te gaan hoeveel vissen zich ophopen ter hoogte van de barrière. Het aandeel hervangst steeg doorheen de tijd licht voor baars, bittervoorn, blankvoorn en brasem en leek sterk te stijgen voor paling (Figuur 4.8). Pos, snoek en snoekbaars kenden aanvankelijk een stijging in hervangst maar deze daalde weer na een zekere periode. Giebel, kolblei en riviergrondel werden nooit opnieuw gevangen. Zwartbekgrondels werden verwijderd bij vangst omdat dit een invasieve exoot is.



Figuur 4.8: Aandeel hervangst op totale fuikvangst per soort. Elk punt geeft de vangst van één dag weer. De grootte van de punten weerspiegelt de totale vangst per soort. Loess smoothing (span=1) werd gebruikt om een eventuele trend te visualiseren (blauwe lijn). Voor deze smoothing krijgen dagen met een grotere vangst een groter gewicht (lineaire verhouding toekenning gewicht). 95% betrouwbaarheidsintervallen van de loess smoothing zijn weergegeven als een grijze band.

4.2.2.4 Reproductie

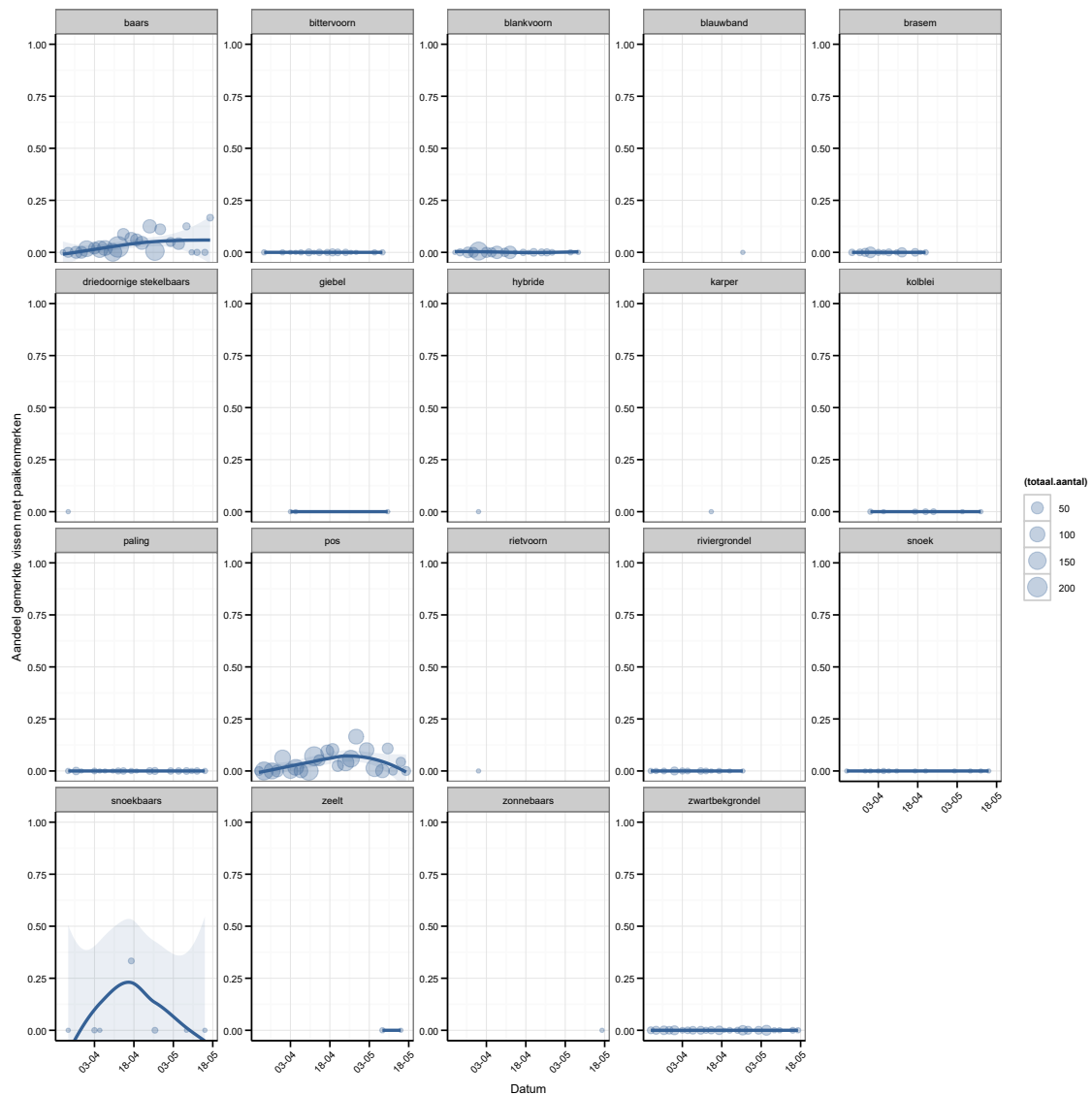
Om zicht te krijgen op het aandeel individuen met paaienmerken, werden hervangsten buiten beschouwing gelaten (Figuur 4.9). Op die manier werd verhinderd dat vissen die zich ophopen ter hoogte van de barrière meerdere keren werden geteld. Van de soorten waarvan er voldoende individuen waren om betrouwbare trends te bekomen, vertoonden vooral baars (25-50%) en pos (15-45%) paaienmerken. De trend doorheen de tijd was voor beide soorten grillig maar leek voor baars eerst te dalen en dan te stijgen

////////////////////////////////////

908 terwijl deze voor pos voornamelijk licht daalde. Blankvoorn vertoonde zelden paaikenmerken (5-10%). Voor
909 brasem, gibel en kolblei werden geen paaikenmerken vastgesteld.

910 Men zou verwachten dat individuen die op het punt staan om te paaïen een grotere drang hebben om
911 te migreren. Dit zou betekenen dat er een grotere kans is om paaikenmerken te observeren bij gemerkte
912 individuen (i.e., individuen die meermaals verbleven t.h.v. de barrière). Wanneer we echter het aandeel
913 vissen met paaikenmerken die slechts één keer werden gevangen (i.e. niet-gemerkte vissen: Figuur 4.9)
914 vergelijken met het aandeel hervangsten met paaikenmerken (i.e. gemerkte vissen: Figuur 4.10) dan zien
915 we bij baars en pos een verlaagde kans op paaikenmerken gegeven dat een individu hervangst is (i.e.,
916 gemerkt is). Dit wordt ook bevestigd door een logistische gam analyse voor baars, blankvoorn, en pos
917 waarbij voor elke soort een model is ontwikkeld met als respons of een individu al dan niet paaikenmerken
918 vertoont en als verklarende factoren de vislengte, of een individu al dan niet hervangst is (i.e., gemerkt
919 is) en de datum (die werd beschouwd als een smooth factor, waarbij we niet zozeer geïnteresseerd zijn in
920 het effect van deze factor maar het effect ervan erkennen en in rekening brengen). Voor baars en pos had
921 datum als smooth factor een significant effect wat te verwachten is gezien het sterk temporeel karakter van
922 paaikenmerken. Voor baars en pos had de aanwezigheid van een merkteken (i.e. hervangst) een significant
923 negatief effect op de aanwezigheid van paaikenmerken. Dit suggereert dat vissen met paaikenmerken zich
924 niet bij de barrière ophoopten. Voor baars was ook de vislengte belangrijk waarbij langere individuen een
925 significant grotere kans hadden om paaikenmerken te vertonen. Voor blankvoorn had geen enkele factor
926 (datum, merkteken of vislengte) een significant effect op de kans op paaikenmerken.

Figuur 4.9: Aandeel niet-gemerkte vissen met paaikenmerken op totale fuikvangst per soort. Elk punt geeft de vangst van één dag weer. De grootte van de punten weerspiegelt de totale vangst per soort. Loess smoothing (span=1) werd gebruikt om een eventuele trend te visualiseren (blauwe lijn). Voor deze smoothing krijgen dagen met een grotere vangst een groter gewicht (lineaire verhouding toekenning gewicht). 95% betrouwbaarheidsintervallen van de loess smoothing zijn weergegeven als een grijze band.

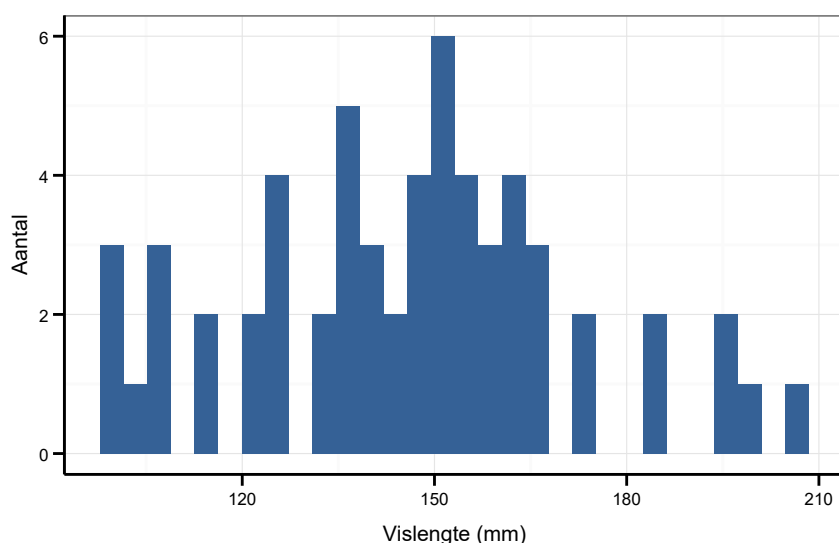


Figuur 4.10: Aandeel gemerkte vissen met paaienmerken op totale fuikvangst per soort. Elk punt geeft de vangst van één dag weer. De grootte van de punten weerspiegelt de totale vangst per soort. Loess smoothing (span=1) werd gebruikt om een eventuele trend te visualiseren (blauwe lijn). Voor deze smoothing krijgen dagen met een grotere vangst een groter gewicht (lineaire verhouding toekenning gewicht). 95% betrouwbaarheidsintervallen van de loess smoothing zijn weergegeven als een grijze band.

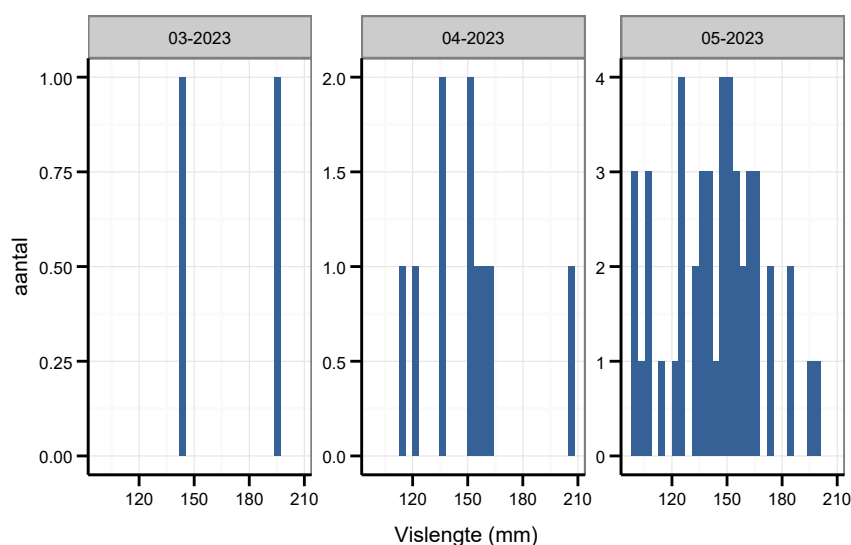
4.2.3 Jonge paling

Op basis van de lengteverdeling (Figuur 4.11 en Figuur 4.15) kunnen we stellen dat de gevangen jonge paling vooral elvers betrof. Er werden enkel elvers gevonden t.h.v. Balgerhoeke. Het feit dat geen elvers gevangen werden in de substraten t.h.v. Schipdonk geeft aan dat elvers niet in staat zijn om de barrière van Balgerhoeke te passeren. In de palinggoot te Balgerhoeke werden tijdens de studieperiode 59 elvers gevangen met een gemiddelde lengte van 146 mm (standaarddeviatie van 25 mm). In de substraten te Balgerhoeke werden in totaal 1268 elvers gevangen met een gemiddelde lengte van 151 mm (standaarddeviatie van 29 mm). De lengtes lijken geen trend te vertonen doorheen de tijd (Figuur 4.13 en Figuur 4.17). Zowel voor de palinggoot als de substraten was er een piek in aantallen rond midden mei. Daarvoor bleven de aantallen nagenoeg constant. Aangepast spuibeheer ter hoogte van Zeebrugge werd toegepast op 18/3, 31/3, 22/4, 27/4, 2/5 en 3/5 voor 270, 255, 450, 285, 450 en 575 minuten respectievelijk.

4.2.3.1 Palinggoot

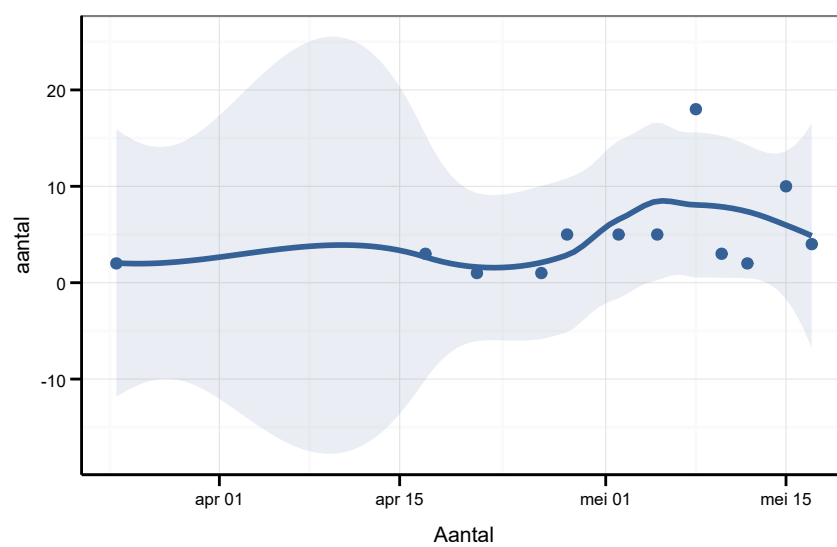


Figuur 4.11: Lengteverdeling van elvers gevangen met de palinggoot in Balgerhoeke voor de hele studieperiode (22 maart 2023 - 25 mei 2023).

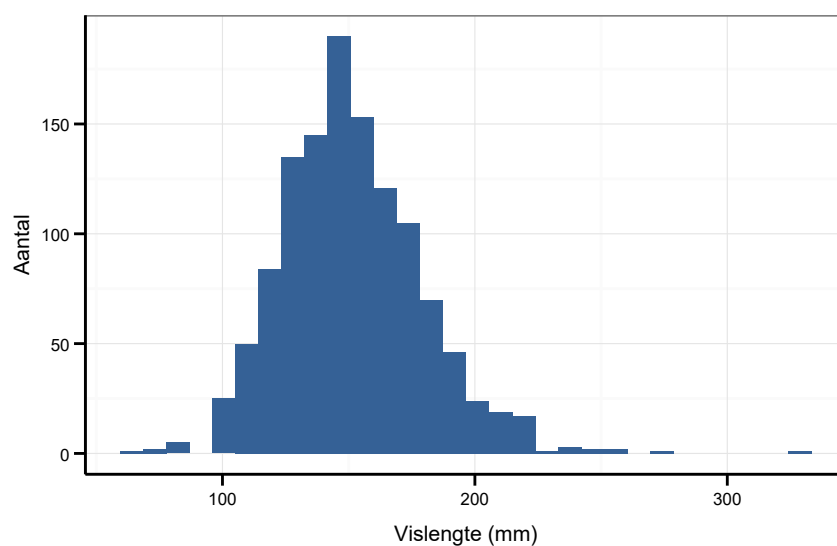


Figuur 4.12: Lengteverdeling van elvers gevangen met de palinggoot in Balgerhoeke voor de drie verschillende maanden van de studieperiode (22 maart 2023 - 25 mei 2023).

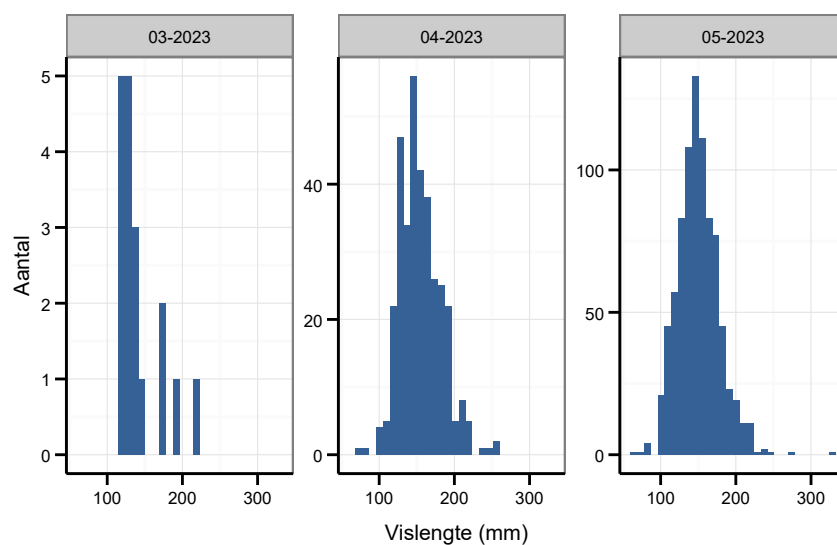
Figuur 4.13: Lengte van elvers gevangen met de palinggoot in Balgerhoeke in functie van de tijd.



Figuur 4.14: Aantal elvers gevangen met de palinggoot in Balgerhoeke in functie van de tijd.



Figuur 4.15: Lengteverdeling van elvers gevangen met substraten in Balgerhoeke voor de hele studieperiode (22 maart 2023 - 25 mei 2023).



Figuur 4.16: Lengteverdeling van elvers gevangen met substraten in Balgerhoeke voor de drie verschillende maanden van de studieperiode (22 maart 2023 - 25 mei 2023).

5 DISCUSSIE

Connectiviteit van de Vlaamse waterlopen is een belangrijk streefpunt voor de bescherming en herstelling van vispopulaties (Belletti *et al.*, 2020). Identificatie van prioritaire barrières en voorstellen ter verbetering zijn daarbij cruciaal. Het sluisstuwcomplex in Balgerhoeke in het Afleidingskanaal van de Leie (AKL) bleek in deze studie een volledige barrière voor stroomopwaartse vismigratie. Er werden namelijk geen glasalen of gemerkte vissen geobserveerd stroomopwaarts van het sluisstuwcomplex. Daarnaast suggereert de hoge concentratie van verschillende paaiende vissoorten zoals baars en blankvoorn stroomafwaarts van de complexen van zowel Balgerhoeke als Schipdonk, dat ook het complex van Schipdonk een belangrijke barrière vormt voor stroomopwaarts migrerende soorten. Om stroomopwaartse beweging van vissen naar het Groot Pand te realiseren moeten daarom de barrières verwijderd worden of moeten er voorzieningen voor vispassage bijgebouwd worden.

5.1 WAAROM VORMEN DE BARRIÈRES IN HET AKL EEN PROBLEEM?

Doordat stroomafwaarts van Balgerhoeke de verbinding met de zee temporeel wordt gerealiseerd door aangepast spuibeheer (Buysse *et al.*, 2015) zou het herstel van de connectiviteit voor het AKL een aanzienlijk effect kunnen hebben op populaties van diadrome soorten zoals paling en rivierprik (Vereecken *et al.*, 2008). Het AKL zou een cruciale migratieroute kunnen vormen naar het stroomgebied van de Leie en Bovenschelde, zeker wanneer het voldoende grote en continue afvoerdebieten ontvangt. De grote aantallen elvers die gevangen werden stroomafwaarts van de barrière te Balgerhoeke en de afwezigheid van elvers stroomopwaarts ervan bevestigen de meerwaarde die een herstelde connectiviteit met zich zou meebrengen voor diadrome soorten die afhankelijk zijn van toegang tot zowel mariene als zoetwaterhabitats.

Voor de momenteel aanwezige brakwater- en zoetwatervissen lijkt de connectiviteit voor de studieperiode (22 maart 2023 - 25 mei 2023) minder urgent op basis van de huidige data. Paairijpe vissen verbleven immers niet lang voor de barrière. Inderdaad, individuen van de soorten die dikwijls paaienmerken vertoonden, i.e., baars en pos, werden namelijk zelden hervangen ter hoogte van de barrière van Balgerhoeke. Meer zelfs, de kans dat een baars of pos paaienmerken vertoonde was significant kleiner wanneer het hervangst betrof, wat erop zou kunnen wijzen dat paairijpe individuen omkeren en stroomafwaarts van de barrière paaien. Na visuele inspectie leken bovendien de habitats net stroomafwaarts van de barrière te Balgerhoeke van goede kwaliteit met voldoende macrofyten en ondiep water waarin paaiende brasem werd geobserveerd (hoe het paaisucces en de rekrutering van de geobserveerde soorten beïnvloed wordt door de absolute barrière van Balgerhoeke kan echter niet met zekerheid bepaald worden met de huidige data). Daarenboven komen, ondanks de verschillende gemeenschapsstructuur, dezelfde soorten voor stroomopwaarts en stroomafwaarts van de barrière te Balgerhoeke, wat aangeeft dat de soortenrijkdom niet tot weinig zou veranderen door een verhoogde connectiviteit.

Wat zou de meerwaarde van een verhoogde connectiviteit voor niet-diadrome soorten dan wel kunnen zijn? Het verschil in gemeenschapsstructuur tussen Schipdonk en Balgerhoeke is voornamelijk het gevolg van een verschil in relatieve aantallen die zich manifesteert in een beduidend hogere biodiversiteit (i.e., shannon diversiteit) juist stroomafwaarts van Schipdonk. Dit zou kunnen wijzen op een meer evenredige verdeling van de verschillende types beschikbaar habitat voor het pand Balgerhoeke-Schipdonk, maar het is belangrijk om hierbij te vermelden dat slechts aan de randen van de panden werd bemonsterd waardoor

deze aanname vrij speculatief is. Eerdere, meer gebiedsdekkende studies van het kanaal gaven echter ook aan hoe het pand Balgerhoeke-Schipdonk wordt gekenmerkt door een relatief hoog ecologisch potentieel met relatief hoge visbiomassa, aantallen en diversiteit in vergelijking met de panden stroomopwaarts (Schipdonk-Deinze) en stroomafwaarts (Balgerhoeke-zee) (Verbeiren, 2008). Toegang tot de potentieel grotere diversiteit aan habitats stroomopwaarts van Balgerhoeke kan individuen stroomafwaarts van Balgerhoeke zeker ten goede komen aangezien verschillende soorten verschillende habitats nodige hebben voor verschillende levensfasen (Blanck *et al.*, 2007). Doordat in de verschillende panden dezelfde soorten voorkomen zal de soortenrijkdom wellicht niet veranderen. Een stijging in totale biomassa is waarschijnlijker doordat de plotse toegang tot paaigebieden volwassen vissen, die daarvoor niet paaiden door gebrek aan geschikte habitat, mogelijkheden bieden tot reproductie. Op die manier wordt een meer evenwichtig ecosysteem nagestreefd met verscheidenheid aan beschikbare habitats. Daarenboven kan een vispassage een belangrijke ontsnappingsroute aanbieden voor meer gevoelige soorten wanneer de omgevingscondities stroomafwaarts suboptimaal evolueren of zelfs tijdelijk ongunstig zijn. Het Afleidingskanaal van de Leie wordt immers beschreven als een ecologisch kwetsbare waterloop (Buyse *et al.*, 2021) waarbij de frequente droogtes in de zomer leiden tot lage debieten en een verhoogde zoutintrusie (Steendam *et al.*, 2021) die nefast kan zijn voor heel wat zoetwatersoorten. Tenslotte is het ook belangrijk om te kijken naar de soorten die momenteel nog ontbreken maar in de toekomst mogelijk belangrijk worden. Bijvoorbeeld, uit recent, voorlopig nog ongepubliceerd onderzoek naar het bewegingsgedrag van vissen in de Boven-schelde werd een sterke toename van winde geobserveerd. Deze soort in opmars, bekend vanwege de grote afstanden die ze aflegt (Winter & Fredrich, 2003), zou sterk gebaat zijn bij een hogere connectiviteit. De diadrome driedoornige stekelbaars, die via het aangepast spuibeheer wordt binnengelaten, zou op termijn eveneens een meer prominente soort kunnen worden in het pand Zeebrugge-Balgerhoeke. Een verhoogde connectiviteit is ook voor deze soort bijzonder relevant. Het is wel belangrijk te noteren dat een verhoogde connectiviteit niet enkel inheemse soorten maar ook invasieve exoten, zoals de zwartbekgron-del en blauwbandgrondel, op de korte termijn ten goede komt (Kerr *et al.*, 2021). Op de lange termijn echter zal een knelpuntenvrij ecosysteem beter functioneren en daardoor beter gewapend zijn tegen invasieve soorten die reeds ingenomen niches willen koloniseren.

1008 5.2 KUNNEN DE BARRIÈRES VERWIJDERD WORDEN?

De barrière te Balgerhoeke scheidt de panden Zeebrugge-Balgerhoeke en Balgerhoeke-Schipdonk. Verwijdering van de barrière zou betekenen dat het waterpeil van het pand Zeebrugge-Balgerhoeke verhoogd dient te worden of dat het waterpeil van het pand Balgerhoeke-Schipdonk verlaagd dient te worden. Een verhoging van het waterpeil te Zeebrugge-Balgerhoeke zou het waterbergend vermogen van het pand verlagen en potentieel een bijkomende druk op de dijken met zich meebrengen terwijl een daling van het waterpeil te Balgerhoeke-Schipdonk de huidige pleziervaart zou beperken. Aangezien de barrière te Schipdonk een belangrijke rol speelt in de afvoer van piekdebieten van de Leie ter bescherming van de regio rond Gent (Vereecken *et al.*, 2008) is de volledige verwijdering van deze barrière moeilijk.

Verwijdering van de sluisstuwcomplexen blijft de voorkeur genieten vanuit een ecologisch perspectief. Gegeven het potentieel van het AKL voor stroomopwaartse migratie van paling en vrije beweging van andere vissoorten, wordt er geadviseerd om de mogelijkheden voor verwijderen van de barrières aandachtig te onderzoeken alvorens over te gaan op meer technische oplossingen zoals vispassages.

Tussenoplossingen waarbij de stuwen periodiek worden geopend om vismigratie te bevorderen lijken weinig haalbaar. Een vismigratiestand zoals toegepast thv stuw 222 in Mechelen en de verschillende spuiconstructies, waarbij sluisdeuren onderaan op een kier worden gezet zou onder de huidige omstandigheden (i.e. stroomopwaarts en stroomafwaarts waterpeil) niet werken. Het huidig verschil tussen stroomopwaarts en stroomafwaarts peil is immers relatief hoog en zou gemiddeld genomen leiden tot stroomsnelheden van 4.45 en 2.22 m/s thv Balgerhoeke en Schipdonk respectievelijk (bij een debietscoëfficiënt van 0.6). Zelfs bij de laagste vervallen in de studieperiode zijn stroomsnelheden hoger dan 1 m/s (i.e. 2.22 en 1.86 m/s respectievelijk). Dit zijn stroomsnelheden die de 'sprintsnelheden' van alle aanwezige vissoorten in het AKL (ver) overschrijden. M.a.w. vissen hebben niet de zwemcapaciteiten om tegen dergelijk hoge

1035 Als (gedeeltelijke) verwijdering van de kunstwerken niet haalbaar of wenselijk is, moet worden overge-
1036 gaan tot de aanleg van migratiebevorderende, technische constructies (vispassages). Welk type vispassage
1037 dient er dan gebouwd te worden? We adviseren een samenwerking met het Waterbouwkundig Labo (WL)
1038 maar vatten hier alvast kort de mogelijkheden samen en voorzien een korte bespreking in functie van de
1039 verzamelde resultaten.

1040 Zoals aangegeven is de passage van diadrome soorten, voornamelijk paling, prioritair. Mogelijkheden daar-
1041 voor zijn een palinggoot of technische vispassage zoals een bekkenvistrap, vertical slot, of De Wit-vispassage.
1042 Een palinggoot is een relatief kleinschalig kunstwerk dat de stroomopwaartse migratie van glasaal en elvers
1043 mogelijk maakt, geen migratie toelaat van andere soorten en maar heel weinig water vereist om goed te
1044 functioneren (Mouton *et al.*, 2009). Naast een palinggoot, is er ook een ruim aanbod aan technische vispas-
1045 sages, waaronder de De Wit-vispassage die voor meerdere soorten stroomopwaartse migratie toelaat, rela-
1046 tief lage eisen stelt voor afvoer en daarom veel wordt geïnstalleerd in regio's waar weinig water voorhanden
1047 is (Coenen *et al.*, 2013). Het sluisstuwcomplex in Balgerhoeke is recent vernieuwd maar de oude sluis is nog
1048 steeds aanwezig. Deze ruimte leent zich tot het bouwen van een technische vispassage. Ter hoogte van
1049 Schipdonk is het verval gemiddeld bijna vijf keer kleiner dan t.h.v. Balgerhoeke wat een aanzienlijk kleinere
1050 opstelling zou vergen om het verschil in waterpeil te overbruggen. Voor al de voorgestelde technieken is het
1051 succes van de passage echter sterk afhankelijk van de locatie, plaatsing en omgevingscondities aangezien
1052 een voldoende waarneembare en continue lokstroom t.h.v. de vispassage cruciaal is.

Een belangrijke overweging, voor zowel de werking van de vispassage als het gedrag van vissen, is het debietverloop. Vispassages vereisen een zeker debiet om vissen aan te trekken (i.e., lokstroom) en de eigenlijke passage (i.e., het hydraulisch functioneren) te realiseren (Elings *et al.*, 2023). Daarenboven hebben zowel volwassen (Verhelst *et al.*, 2018) als jonge Europese paling (Van Wichelen *et al.*, 2021) als verscheidene andere diadrome en potamodrome soorten een voldoende sterke en eenduidige waterstroom nodig om zich te oriënteren en te migreren in de panden zelf. Het AKL wordt momenteel gebruikt als een opvangsysteem voor piekdebieten wat bepalend is voor het debietverloop van haar panden. De stuwen van het complex in Balgerhoeke regelen het waterpeil van het stroomopwaartse pand Schipdonk-Balgerhoeke. Bij peilopzet (t.o.v. het streefpeil) openen de stuwen en voeren ze het overtollige water af naar het stroomafwaartse pand Balgerhoeke-Zeebrugge. Wanneer in het opwaartse pand het peil opnieuw gezakt is tot onder het streefpeil sluiten de stuwen opnieuw. Onder het huidige stuwbeheer heeft het AKL een beperkte en discontinue stroming. De mogelijkheden voor vismigratie, vispassage-efficiëntie en eventueel aangepast beheer moeten in functie van die werking geëvalueerd worden.

Het debietverloop zal de efficiëntie van vispassages deels bepalen doordat het sturend is voor de magnitude van de lokstroom en hydraulisch functioneren van de passage (Williams *et al.*, 2012). Gegeven de eerder vermelde potentiële uitdagingen m.b.t. het voorzien van een continue afvoer voor het AKL is de gevoeligheid van de vispassage voor lage debieten een cruciale parameter om mee te nemen in de selectie

1074 en installatie. Tijdens de studieperiode bleek het gemiddelde debiet van 0.28 m³/s ruim voldoende voor
1075 een bekkenvistrap, vertical-slot en De Wit-vispassage (Coenen *et al.*, 2013), maar een meer gedetailleerde
1076 studie is aangewezen om tot een onderbouwde keuze te komen van de vispassage zelf, het ontwerp, het
1077 beheer en eventuele monitoring.

1078 Aangezien de meeste migratie van elvers en volwassen paling respectievelijk in het voorjaar en najaar
1079 gebeurt en er dan typisch minder uitgesproken watertekorten zijn, zal de waterhoeveelheid voor paling
1080 wellicht geen limiterende factor zijn. Een meer continue verdeling van het debiet over de tijd is echter wel
1081 belangrijk en zou een aangepast beheer vereisen. In plaats van de stuw een paar korte momenten per
1082 maand open te zetten zou het water continu over de vistrap passeren (met de optie om gecombineerd
1083 de stuw in werking te brengen mocht dit nodig zijn). Doordat de vistrap dan eigenlijk de functie over-
1084 neemt van de stuw, zal het voor vissen ook eenvoudiger zijn om de vistrap te lokaliseren aangezien de
1085 stroom over de stuw beperkt of zelfs afwezig is. Een continue stroom langs de vispassage zou niet enkel
1086 de attractie-efficiëntie (aandeel vissen dat wordt aangetrokken door de vispassage) en ingangsefficiëntie
1087 (aandeel vissen dat de vispassage vindt) van stroomopwaarts-bewegende vissen verhogen, het zou ook
1088 stroomafwaarts-bewegende vissen een meer continue richtingaanwijzer kunnen aanbieden dan de spora-
1089 dische stuwwerking. Voor de site van Balgerhoeke is dit een potentieel door het WL te toetsen scenario.
1090 Een specifieke voorstudie waarbij doelstellingen, locatie, plaatsing, omgevingscondities en waterbeheer
1091 worden afgewogen, wordt aangeraden voor het onderbouwd selecteren en plaatsen van een geschikte
1092 vispassage.

1093 5.4.2 Hoe zal het debietverloop het bewegingsgedrag van de vissen 1094 beïnvloeden?

1095 Ongeacht een eventuele wijziging in het debietverloop ter ondersteuning van een potentiële vispassage, is
1096 het zinvol om het effect van het huidige debietverloop op vismigratie in de panden zelf te beschrijven. In het
1097 pand Zeebrugge-Balgerhoeke heerst een zeer sterke discontinue afvoer met plotse pieken die reiken tot 20
1098 m³. Dit is te wijten aan het spuibeheer t.h.v. Zeebrugge (start pand Zeebrugge-Balgerhoeke) en een verder
1099 nagenoeg afwezige stroming (gemiddelde van -0.006 m³). Ondanks de ongeveer evenveel stroomafwaartse
1100 als stroomopwaartse debietwaarden (i.e., positieve en negatieve waarden respectievelijk), blijkt jonge
1101 paling toch in staat om stroomopwaarts te migreren tot de barrière van Balgerhoeke (Griffioen *et al.*,
1102 2024). Aangepast spuibeheer t.h.v. Zeebrugge werd in 2023 toegepast van 18 maart tot 3 mei, maar was
1103 het meest frequent van eind april tot begin mei. Dit zou de piek in elveraantallen in midden mei t.h.v.
1104 Balgerhoeke kunnen verklaren. De migratiesnelheid van elvers in kanalen is echter niet bekend en er is
1105 geen zicht op de parameters die invloed hebben op het aantal jonge paling dat zich ophoopt voor en
1106 beweegt voorbij de schuiven die deels geopend worden bij opkomend tij. Bepalen hoeveel individuen
1107 Balgerhoeke bereiken t.o.v. wat er Zeebrugge binnenkomt (voornamelijk als gevolg van het aangepast
1108 spuibeheer (Buysse *et al.*, 2015)), wat meer context zou kunnen geven bij de geobserveerde aantallen,
1109 is dus bijzonder speculatief. **Desondanks, lijkt het aangepast spuibeheer en het huidige debietverloop in**
1110 **het pand Zeebrugge-Balgerhoeke voldoende voor het aanleveren van aanzienlijke aantallen elvers t.h.v.**
1111 **de barrière te Balgerhoeke.**

1112 In het pand Balgerhoeke-Schipdonk reikt de afvoer zelden hoger dan 1 m³/s. De periodieke hoge afvoerpie-
1113 ken van het pand Zeebrugge-Balgerhoeke, die als gevolg van het spuien te Zeebrugge jonge paling kan aan-
1114 zetten om stroomopwaarts te migreren door het deels nabootsen van de getijdenwerking, ontbreken hier.
1115 Netto is er wel een hogere en meer continue stroomafwaartse stroming in het pand Balgerhoeke-Schipdonk
1116 dan in het pand Zeebrugge-Balgerhoeke wanneer de afvoerpieken worden genegeerd. **Palingmigratie kon**
1117 **in het pand Balgerhoeke-Schipdonk natuurlijk niet onderzocht worden omdat palingen Balgerhoeke niet**
1118 **konden passeren, maar de hogere continue afvoer is wellicht voordelig voor de migratie van paling.** Het
1119 is niet gekend of elvers de periodieke pieken in afvoer effectief gebruiken als richtingaanwijzer en, indien
1120 dit wel het geval is, hoe belangrijk het verdere debietverloop los van de pieken is. In de Maas bijvoorbeeld
1121 blijkt temperatuur een meer belangrijke factor dan debiet wanneer het stroomopwaartse beweging van
1122 gele paling betreft (Matondo & Ovidio, 2016). Desalniettemin blijft voor de stroomopwaartse beweging

1123 van elvers het huidige, bijzonder artificiële debietverloop van beide panden minderwaardig t.o.v. een meer
1124 natuurlijk verloop. Onderzoek naar stroomopwaartse migratie van paling in kanalen is beperkt, daardoor
1125 blijft het onduidelijk welk artificieel debietverloop dan de voorkeur geniet. Het voorstel van een aangepast
1126 beheer waarbij een minder gestuwde (en daardoor meer natuurlijke) afvoer wordt bewerkstelligd om een
1127 eventuele vispassage optimaal te doen werken, zal echter waarschijnlijk ook de vismigratie zelf ten goede
1128 komen ([Welsh et al., 2016](#)). Los van het debietverloop en het effect op het migratiegedrag zouden, mits
1129 installatie van een vispassage te Balgerhoeke, elvers de beschikbare habitats van het pand Balgerhoeke-
1130 Schipdonk wel kunnen gebruiken om te foerageren ([Van Wichelen et al., 2022](#)). Een vispassage t.h.v. Schip-
1131 donk zou pas een meerwaarde hebben voor stroomopwaartse palingmigratie na sanering van het knelpunt
1132 in Balgerhoeke.

1141

- Audenaert V., Huyse T., Goemans G., Belpaire C. & Volckaert F.a.M. (2003). Spatio-temporal dynamics of the parasitic nematode *Anguillicola crassus* in Flanders, Belgium. *Diseases of Aquatic Organisms* 56 (3): 223–233. <https://doi.org/10.3354/dao056223>.
- Belletti B., Garcia de Leaniz C., Jones J., Bizzi S., Börger L., Segura G., Castelletti A., Bund W. van de, Aarestrup K., Barry J., Belka K., Berkhuisen A., Birnie-Gauvin K., Bussetini M., Carolli M., Consuegra S., Dopico E., Feierfeil T., Fernández S., Fernandez Garrido P., Garcia-Vazquez E., Garrido S., Giannico G., Gough P., Jepsen N., Jones P.E., Kemp P., Kerr J., King J., Łapińska M., Lázaro G., Lucas M.C., Marcello L., Martin P., McGinnity P., O’Hanley J., Olivo del Amo R., Parasiewicz P., Pusch M., Rincon G., Rodriguez C., Royte J., Schneider C.T., Tummers J.S., Vallesi S., Vowles A., Verspoor E., Wanningen H., Wantzen K.M., Wildman L. & Zalewski M. (2020). More than one million barriers fragment Europe’s rivers. *Nature* 588 (7838): 436–441. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-3005-2>.
- Belpaire C. (2008). Pollution in eel : a cause of their decline. <https://www.vlaanderen.be/publicaties/pollution-in-eel-a-cause-of-their-decline>.
- Blanck A., Tedesco P.A. & Lamouroux N. (2007). Relationships between life-history strategies of European freshwater fish species and their habitat preferences. *Freshwater Biology* 52 (5): 843–859. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2007.01736.x>.
- Bonhommeau S., Chassot E., Planque B., Rivot E., Knap A. & Le Pape O. (2008). Impact of climate on eel populations of the Northern Hemisphere. *Marine Ecology Progress Series* 373: 71–80. <https://doi.org/10.3354/meps07696>.
- Bult T.P. & Dekker W. (2007). Experimental field study on the migratory behaviour of glass eels (*Anguilla anguilla*) at the interface of fresh and salt water. *ICES Journal of Marine Science* 64 (7): 1396–1401. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsm105>.
- Buyse D. (2003). Onderzoek naar de migratie van vissen tussen Boven-Zeeschelde en.... <https://www.vlaanderen.be/publicaties/onderzoek-naar-de-migratie-van-vissen-tussen-boven-zeeschelde-en-bovenschelde>.
- Buyse D. & Coeck J. (2014). Advies betreffende het concept van temporele vismigratie om vismigratieknelpunten te saneren. <https://pureportal.inbo.be/nl/publications/advies-betreffende-het-concept-van-temporele-vismigratie-om-vismi>.
- Buyse D., Mouton A., Gelaude E., Baeyens R., Maerteleire N.D., Jacobs Y. & Stevens M. (2012). Glasaalmigratie ter hoogte van het sluizencomplex Sas Slijkens (Kanaal Gent-Oostende) in Oostende.
- Buyse D., Verreycken H., Maerteleire N.D., Gelaude E., Baeyens R., Pieters S., Mouton A., Galle L., De N. & Coeck J. (2015). Glasaalmigratie ter hoogte van het uitwateringscomplex in de haven van Zeebrugge.
- Buyse D., Vlietinck K., Martens S., Baeyens R. & Coeck J. (2003). Onderzoek naar vismigratie in de ringvaart aan de sluis van Evergem. Rapporten van het instituut voor natuurbewoud. Instituut voor Natuurbewoud.
- Buyse D., Wichelen J.V., Braeckel A.V., Vermeersch S., Breine J., Ryckegem G.V., Bergh E.V. den & Coeck J. (2021). Advies over de ecologische kwetsbaarheid van bevaarbare waterlopen bij droogte. <https://pureportal.inbo.be/nl/publications/advies-over-de-ecologische-kwetsbaarheid-van-bevaarbare-waterloope>.
- Coeck J. (2001). Herinstructie en herstel van kopvoornpopulaties (*Leuciscus Cephalus*.... <https://www.vlaanderen.be/publicaties/herinstructie-en-herstel-van-kopvoornpopulaties-leuciscus-cephalus-in-het-vlaamse-gewest-wetenschappelijke-opvolging-van-lopemde-projecten-en-onderzoek-naar-de-habitat-binding-in-laaglandrivieren>.
- Coenen J. (2013). Handreiking vispassages in Noord-Brabant.
- Coenen J., Antheunisse M., Beekman J. & Beers M. (2013). Handreiking vispassages in Noord-Brabant | Hydrotheek. <https://library.wur.nl/WebQuery/hydrotheek/2017323>.
- Du Colombier S., Bolliet V., Lambert P. & Bardonnnet A. (2007). Energy and migratory behavior in glass eels (*Anguilla anguilla*). *Physiology & Behavior* 92 (4): 684–690. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2007.05.013>.

- Elings J., Bruneel S., Pauwels I., Schneider M., Kopecki I., Coeck J., Mawer R. & Goethals P. (2023). Finding navigation cues near fishways. *Biological Reviews* 99. <https://doi.org/10.1111/brv.13023>.
- Fullerton A.H., Burnett K.M., Steel E.A., Flitcroft R.L., Pess G.R., Feist B.E., Torgersen C.E., Miller D.J. & Sanderson B.I. (2010). Hydrological connectivity for riverine fish: measurement challenges and research opportunities. *Freshwater Biology* 55 (11): 2215–2237. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2010.02448.x>.
- Greenberg L. & Calles O. (2010). Restoring Ecological Connectivity in Rivers to Improve Conditions for Anadromous Brown Trout (*Salmo trutta*). John Wiley & Sons, Ltd, p. 148–163. <https://doi.org/10.1002/9781444323337.ch6>.
- Griffioen A.B., Wilkes T., Keeken O.A. van, Hammen T. van der, Buijse A.D. & Winter H.V. (2024). Glass eel migration in an urbanized catchment: an integral bottleneck assessment using mark-recapture. *Movement Ecology* 12 (1): 15. <https://doi.org/10.1186/s40462-023-00446-6>.
- Harrison A.J., Walker A.M., Pinder A.C., Briand C. & Aprahamian M.W. (2014). A review of glass eel migratory behaviour, sampling techniques and abundance estimates in estuaries: implications for assessing recruitment, local production and exploitation. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 24 (4): 967–983. <https://doi.org/10.1007/s11160-014-9356-8>.
- Holcik J. (1986). The freshwater fishes of Europe, I. Petromyzontiformes. INBO (s.d.). VIS databank. <https://doi.org/https://vis.inbo.be>.
- Kerr J.R., Vowles A.S., Crabb M.C. & Kemp P.S. (2021). Selective fish passage: Restoring habitat connectivity without facilitating the spread of a non-native species. *Journal of Environmental Management* 279: 110908. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110908>.
- Lucas M.C. & Baras E. (2001). Migration of freshwater fishes. Blackwell Science Ltd.
- Matondo B.N. & Ovidio M. (2016). Dynamics of upstream movements of the European eel *Anguilla anguilla* in an inland area of the River Meuse over the last 20 years. *Environmental Biology of Fishes* 99 (2): 223–235. <https://doi.org/10.1007/s10641-016-0469-x>.
- Mouton A., Gelaude E. & Buysse D. (2009). Onderzoek naar glasaalmigratiemogelijkheden in de Ganzepoot (IJzermonding) in Nieuwpoort.
- Northcote T. (1998). Migratory Behaviour of Fish and its Significance to Movement through Riverine Fish Passage Facilities. *Fish Migration and Fish Bypasses* 3–18. https://scholarworks.umass.edu/fishpassage_book_chapters/89.
- Peter A. (1998). Interruption of the River Continuum by Barriers and the Consequences for Migratory Fish. *Fish Migration and Fish Bypasses* 99–112. https://scholarworks.umass.edu/fishpassage_book_chapters/93.
- Raat A.J.P. (1994). Aspecten van vismigratie in zoetwater in Nederland. Organisatie ter verbetering van de binnenvisserij, Nieuwegein.
- Radinger J., Hölker F., Horký P., Slavík O. & Wolter C. (2018). Improved river continuity facilitates fishes' abilities to track future environmental changes. *Journal of Environmental Management* 208: 169–179. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.12.011>.
- Steendam C., Buysse D., Gelaude E., Broos S., Demaerteleire N., Pieters S. & Coeck J. (2021). Opvolging van de zoutintrusie in de IJzer, het kanaal Gent-Oostende, het Leopoldkanaal en het Afleidingskanaal van de Leie. Aangepast spuibeheer in 2021 in functie van glasaalmigratie.
- Stevens M. & Coeck J. (2009). Wetenschappelijke onderbouwing van een strategische.... <https://www.vlaanderen.be/publicaties/wetenschappelijke-onderbouwing-van-een-strategische-prioriteitenkaart-vismigratie-voor-vlaanderen-benelux-beschikking-m200901>.
- Van Wichelen J. (2018). Opvolging van de palingstand in het Leopoldkanaal als evaluatie van het aangepast sluisbeheer in functie van een verbeterde glasaalmigratie (2014-2017). Eindrapport. <https://doi.org/10.21436/inbor.14216948>.
- Van Wichelen J., Verhelst P., Buysse D., Belpaire C., Vlietinck K. & Coeck J. (2021). Glass eel (*Anguilla anguilla* L.) behaviour after artificial intake by adjusted tidal barrage management. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 249: 107127. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.107127>.

- 1240 Van Wichelen J., Verhelst P., Perneel M., Van Driessche C., Buysse D., Belpaire C., Coeck J. & De Troch M.
1241 (2022). Glass eel (*Anguilla anguilla* L. 1758) feeding behaviour during upstream migration in an artificial
1242 waterway. *Journal of Fish Biology* 101 (4): 1047–1057. <https://doi.org/10.1111/jfb.15171>.
- 1243 Vandamme (2020). Wetenschappelijke onderbouwing en ondersteuning van het visserijbeleid en het vis-
1244 standbeheer. <https://doi.org/10.21436/inbor.28808440>.
- 1245 Vandamme L., Buysse D., De Maerteleire N., Plaetinck S., Rosseel D., Pieters S., Coeck J. & Verhelst P. (2025).
1246 Ontwerpcriteria voor de bouw van een palinggoot in functie van de stroomopwaartse migratie van
1247 jonge paling langs vismigratieknelpunten.
- 1248 Vandamme L., Verhelst P., Labrière A., Buysse D., Bruneel S., Broos S., Pauwels I., Auwerx J., Plaetinck S.,
1249 Rosseel D., De Maerteleire N., Pieters S. & Coeck J. (2024). Wetenschappelijke onderbouwing en on-
1250 dersteuning van het visserijbeleid en het visstandbeheer: Onderzoeksprogramma visserij 2023. <https://doi.org/10.21436/inbor.17042525>.
- 1251
- 1252 Verbeiren M. (2008). Het visbestand in de rivieren en de kanalen in Vlaanderen /.
- 1253 Vereecken H., Peeters P., Ronsyn J., Balduck J. & Mostaert F. (2008). Waterbeheer in Oost- en West-Vlaanderen.
- 1254 Verhelst P., Baeyens R., Reubens J., Benitez J.-P., Coeck J., Goethals P., Ovidio M., Vergeynst J., Moens T. &
1255 Mouton A. (2018). European silver eel (*Anguilla anguilla* L.) migration behaviour in a highly regulated
1256 shipping canal. *Fisheries Research* 206: 176–184. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2018.05.013>.
- 1257 Verreycken H. (2012). De IUCN Rode Lijst van de zoetwatervissen in Vlaanderen. <https://www.vlaanderen.be/publicaties/de-iucn-rode-lijst-van-de-zoetwatervissen-in-vlaanderen>.
- 1258
- 1259 Vlietinck K. (1998). Studie van de visgemeenschap in de Boven-Zeeschelde aan de hand van fuiken.
- 1260 Vollestad L.A. (1992). Geographic Variation in Age and Length at Metamorphosis of Maturing European
1261 Eel: Environmental Effects and Phenotypic Plasticity - NASA/ADS. *Journal of Animal Ecology*. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1992JAnEc..61...41V/abstract>.
- 1262
- 1263 Vrielynck S. (2003). De visbestanden in Vlaanderen anno 1840-1950. <https://www.vlaanderen.be/publicaties/de-visbestanden-in-vlaanderen-anno-1840-1950>.
- 1264
- 1265 Welsh S.A., Aldinger J.L., Braham M.A. & Zimmerman J.L. (2016). Synergistic and singular effects of river
1266 discharge and lunar illumination on dam passage of upstream migrant yellow-phase American eels.
1267 *ICES Journal of Marine Science* 73 (1): 33–42. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsv052>.
- 1268 Williams J.G., Armstrong G., Katopodis C., Larinier M. & Travade F. (2012). THINKING LIKE A FISH: A KEY
1269 INGREDIENT FOR DEVELOPMENT OF EFFECTIVE FISH PASSAGE FACILITIES AT RIVER OBSTRUCTIONS.
1270 *River Research and Applications* 28 (4): 407–417. <https://doi.org/10.1002/rra.1551>.
- 1271 Wilson J.M., Leitão A., Gonçalves A.F., Ferreira C., Reis-Santos P., Fonseca A.-V., Silva J.M. da, Antunes J.C.,
1272 Pereira-Wilson C. & Coimbra J. (2007). Modulation of branchial ion transport protein expression by
1273 salinity in glass eels (*Anguilla anguilla* L.). *Marine Biology* 151 (5): 1633–1645. <https://doi.org/10.1007/s00227-006-0579-7>.
- 1274
- 1275 Winter H.V. & Fredrich F. (2003). Migratory behaviour of ide: a comparison between the lowland rivers
1276 Elbe, Germany, and Vecht, The Netherlands. *Journal of Fish Biology* 63 (4): 871–880. <https://doi.org/10.1046/j.1095-8649.2003.00193.x>.
- 1277
- 1278 Wootton (1992). *Fish ecology*. Chapman; Hall.
- 1279 Wootton R.J. (1976). *A Functional Biology of Sticklebacks*. Academic Press. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4615-8513-8>.
- 1280