



Vlaanderen
is wetenschap

Stroboscooplicht als viswering

Toetsing aan het sluiscomplex Godsheide

Ine Pauwels, Sarah Broos, David Buysse, Nico De Maerteleire, Simon Plaetinck, Diederik Rosseel, Sebastien Pieters, Lore Vandamme en Johan Coeck.

INSTITUUT
NATUUR- EN BOSONDERZOEK

Auteurs:

[Ine Pauwels](#) , [Sarah Broos](#) , [David Buysse](#) , Nico De Maerteleire, Simon Plaetinck, Diederik Rosseel, Sebastien Pieters, Lore Vandamme en Johan Coeck.

Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek

Reviewers:

Isaac Vermeulen

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

Vestiging:

Herman Teirlinckgebouw

INBO Brussel

Havenlaan 88 bus 73, 1000 Brussel

vlaanderen.be/inbo

e-mail:

ine.pauwels@inbo.be

Wijze van citeren:

Ine Pauwels, Sarah Broos, David Buysse, Nico De Maerteleire, Simon Plaetinck, Diederik Rosseel, Sebastien Pieters, Lore Vandamme en Johan Coeck.

(2024). Stroboscooplicht als viswering: toetsing aan het sluiscomplex Godsheide (Albertkanaal, Hasselt).

Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2025 (20). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.

DOI: doi.org/10.21436/inbor.123278641

D/2025/3241/128

Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2025 (20)

ISSN: 1782-9054

Verantwoordelijke uitgever:

Hilde Eggermont

Foto cover:

Sluiscomplex Godsheide

Dit onderzoek werd uitgevoerd in opdracht van:

De Vlaamse Waterweg NV, Havenstraat 44, 3500 Hasselt



Dit werk valt onder een [Creative Commons Naamsvermelding-GelijkDelen 4.0 Internationaal](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)-licentie.

STROBOSCOOPLICHT ALS VISWERING

Toetsing aan het sluiscomplex Godsheide (Albertkanaal, Hasselt)

**Ine Pauwels, Sarah Broos, David Buysse, Nico De Maerteleire, Simon Plaetinck,
Diederik Rosseel, Sebastien Pieters, Lore Vandamme en Johan Coeck.**

doi.org/10.21436/inbor.123278641

Dankwoord/Voorwoord

Gedurende de hele onderzoeksperiode konden we steeds rekenen op de bereidwillige ondersteuning van De Vlaamse Waterweg (DVW). Het inzetten van een kraan en het ad hoc oplossen van problemen; het vormde nooit een probleem. Daarom gaat onze speciale dank uit naar Jolien Driesmans en Stijn Jacobs.

Daarnaast willen we ook Werner Dirckx bedankt voor de opvolging van de waterstanden, het communiceren van de mogelijkheid om te turbineren en dus de mogelijkheid om onze proeven uit te voeren. Ook willen we Kathleen Moësse danken voor de informatie over de installaties te Hasselt. Een grote mate van appreciatie gaat uit naar Wendy Princen voor het loggen van de instellingen van de turbines en de tapschuiven.

Tot slot willen we de studenten en collega's van INBO die ons veldwerk kwamen ondersteunen bedanken.

Ethiek

De zilverpalingen werden gezenderd met behulp van goedgekeurde protocollen door getrainde en individueel gelicentieerde wetenschappers die onder nationaal projectgezag werkten, in overeenstemming met institutionele en nationale proefdierleiders, actieve deelnemers en bijzondere verzorgers voor de verzorging en het gebruik van proefdieren. Deze richtlijnen zijn consistent met de regionale regelgeving voor dierenwelzijn en -behandeling (vergunning van de INBO ethische commissie voor dieproeven: ECD INBO-011).

Samenvatting

Het Albertkanaal, een belangrijke waterweg in Vlaanderen onder beheer van De Vlaamse Waterweg nv (DVW), speelt een cruciale rol in binnenlandse scheepvaart en waterbeheer. De sluizen in Hasselt (België) op dit kanaal huisvesten een waterkrachtcentrale (WKC) die zowel energie opwekt via turbines als water recupereert door te pompen. Met groeiende kennis over de negatieve effecten van pompgemalen en waterkrachtcentrales ontstaat er een sterke vraag naar visafweersystemen.

Stroboscooplampen worden vaak ingezet bij waterkrachtcentrales om vissen af te weren, maar de effectiviteit varieert afhankelijk van diverse factoren. Zo kan de werking onder andere verschillen per vissoort, of afhankelijk zijn van kenmerken van de viswering zelf, zoals bijvoorbeeld het type licht en de flitsfrequentie. En tot slot kunnen ook omgevingscondities, zoals o.a. stroompatronen, seizoenaliteit en watertemperatuur de werking bepalen.

In deze studie onderzochten we hoe goed de stroboscoopverlichting (van FishFlow Innovations) vissen weghoudt uit het omloopkanaal dat naar de waterkrachtcentrale aan de **scheepvaartsluizen van Hasselt, stroomt**. We onderzochten dit in hoofdzaak bij turbinewerking (water stroomt van het scheepvaartkanaal naar de waterkrachtcentrale), maar ook bij pompwerking (water stroomt van de waterkrachtcentrale naar het scheepvaartkanaal). De resultaten van de studie worden in beschouwing genomen bij de installaties van pompen en turbines op de andere sluizencomplexen in het Albertkanaal.

Het doel van het project was specifiek om een kwantitatieve en kwalitatieve evaluatie uit te voeren van de effecten van de werking van de viswering ter hoogte van de uitstroom van het omloopkanaal met het bovenpand in Hasselt. In de eerste plaats was het doel om het effect te testen bij turbinewerking (luik 1 van het onderzoek). Maar daarnaast onderzochten we ook of vissen die bij pompwerking in het omloopkanaal raken, hun weg kunnen vinden naar het bovenpand van het scheepvaart kanaal wanneer de viswering (de stroboscooplampen) aanstaat. De aanwezigheid van de viswering zou dit namelijk kunnen verhinderen, waardoor de vissen gevangen zitten in het omloopkanaal. We onderzochten niet alleen of vissen uit het omloopkanaal konden ontsnappen, maar ook of ze daarbij gebruik maken van de voorziene doorvoeren nabij de stroboscoopverlichting (luik 2 van het onderzoek).

Het effect van stroboscooplampen tijdens turbinewerking (luik 1) onderzochten we m.b.v. visvangsten in een fuik in het omloopkanaal. De vangsten werden uitgevoerd bij werking van de viswering (lampen aan) en bij afwezigheid van viswering (lampen uit), en werden onderling vergeleken. De effectiviteit van de viswering om vissen uit het omloopkanaal te houden werd bijkomend onderzocht in een gedragsstudie van zilverpalingen die de viswering naderden in het scheepvaartkanaal op hun trek naar zee (luik 3 van het onderzoek). Het visgedrag van de zilverpalingen werd onderzocht met behulp van akoestische zenders en ontvangers. Specifiek werd het fijnschalige gedrag onderzocht, en daarmee bedoelen we dat de precieze locatie van ieder dier bepaald werd en dat om de paar seconden. Zo onderzochten we hun reactie op de lichtwering in een zone van een 400 tal meter rond de viswering.

De ontsnappingsmogelijkheid van opgepompte vissen naar het scheepvaartkanaal en de effectiviteit van vispassagebuizen tijdens pompwerking (luik 2), onderzochten we met behulp

De resultaten van onderzoeksluiken 1 en 2 wijzen niet op een effectieve werking van de stroboscooplichtwering. Maar de omstandigheden van de test waren niet optimaal, waardoor de afwezigheid van een effect niet bevestigd kan worden op basis van de visvangsten (zie verder). Op basis van de gedragsstudie met zilverpaling (luik 3) kan wel besloten worden dat de lichten verhinderden dat paling het omloopkanaal inzwom. Bij, op één na, alle momenten waarop een gezenderde zilverpaling in de buurt van de lichtwering kwam, keerde het dier terug en zwom het weg van de lichtwering en dus de instroom van het omloopkanaal. Bij één event kan niet uitgesloten worden of het dier al of niet door de lichtwering zwom.

Een belangrijke kanttekening bij de resultaten uit onderzoeksluiken 1 en 2 is echter een suboptimale studie-setup. In onderzoeksluik 1 was er een afstand van 85 meter tussen de fuikconstructie en de viswering. Deze verhindert dat vissen onmiddellijk na binnenzwemmen in het omloopkanaal doorzwemmen naar de fuikconstructie. De opbouw van het omloopkanaal, met een 90° bocht onmiddellijk na de viswering liet echter niet toe om de fuikconstructie dicht bij de viswering te plaatsen. In onderzoeksluik 2 verhinderde dit op dezelfde manier de plaatsing van een dwarsnet dicht bij de viswering, zodat de uitgezette vissen niet genoeg gedwongen konden worden om de viswering te passeren. Ze konden vrij rondzwemmen in de 85 meter lange zone tussen de viswering en het dwarsnet. Opnieuw kon dit niet vermeden worden bij deze studiesite, en werd de best mogelijke opstelling gepland en succesvol uitgevoerd.

De observaties van het fijnschalige gedrag (luik 3, akoestische telemetrie) toonden wel een effect van de stroboscooplichten op de paling. In deze studieperiode werden alle palingen minstens 3 maanden gevolgd, en binnen deze 3 maanden zagen we geen gewenning optreden. Gewenning op langere termijn hebben we niet onderzocht.

We concluderen op basis van dit onderzoek, aangevuld met bevindingen uit voorgaand onderzoek dat de viswering met stroboscooplichten (flitsfrequentie 1 Hz) effect had op het gedrag van uittrekkende/zoekende zilverpalingen die rechtsonder maakten bij benadering van de viswering. De viswering slaagde erin om deze palingen uit het omloopkanaal en dus de waterkrachtcentrale te houden. Op basis van deze studie leken andere soorten niet beïnvloed door de viswering, maar de studie-setup om dat te testen was suboptimaal. **De buizen die door de viswering steken om vissen uit het omloopkanaal te laten ontsnappen trekken vissen aan, maar ze zwemmen er niet door. We concluderen dat dit komt omdat de buizen te kort zijn en**

Verdere belangrijke aanbevelingen voor beheer en beleid worden gegeven op de volgende pagina op basis van dit onderzoek en de beschikbare wetenschappelijke literatuur.

Aanbevelingen voor beheer en/of beleid

Focus op visveilige turbines en gemalen.

Vanwege de variabele effectiviteit van viswering, in het bijzonder stroboscooplampen is het aan te raden om te investeren in visveilige(re) turbines en gemalen als eerste maatregel, en als tweede maatregel pas te overwegen om viswering toe te passen.

Voorzie een visveilige alternatieve route

Als viswering wordt toegepast, is het ten eerste aan te raden om een alternatieve route, zoals een bypass-kanaal zonder obstructies, te voorzien. Zonder een alternatieve route wordt er een migratieknelpunt gecreëerd, wat negatieve gevolgen heeft voor de vispopulaties. De viswering kan dan worden gebruikt om vissen ook te geleiden naar een alternatieve route in plaats van ze enkel te weren. Belangrijk hierbij is dat de stroomsnelheid van de alternatieve route vergelijkbaar is met die van de hoofdstroom en dat er geen andere antropogene belemmeringen zijn zoals, fysieke obstructies, licht, geluid en een hoge turbulentie.

Wanneer vissen nabij de viswering een alternatieve route kennen om hun migratie of beweging verder te zetten, dan is er ook minder kans dat ze, na een tijd van gewenning, toch door de viswering gaan. In de studies die al uitgevoerd werden naar viswering a.d.h.v. verschillende stimuli (licht, geluid, luchtballen), wordt niet altijd onderzocht of er na een tijd gewenning optreedt. Toch is gewenning een cruciale bepalende factor voor de efficiëntie van een viswering, zeker wanneer er geen alternatieve route is en dieren tijd krijgen om te wennen.

Gebruik viswering op basis van licht niet als een standalone afweringsmechanisme

Hoewel LED-stroboscooplampen als effectieve visafweermiddelen worden beschouwd, stelt de wetenschappelijke literatuur dat de effectiviteit niet absoluut is. Verschillende factoren, zoals lampkenmerken, omgevingsvariabelen en viskarakteristieken kunnen de effectiviteit beïnvloeden. Bovendien kan ook gewinning optreden. Deze variabiliteit betekent dat lichtwering als standalone afweringsmechanisme mogelijk niet voldoende is om (alle) vissoorten af te weren.

Bovendien is de effectiviteit van licht als afweermechanisme direct afhankelijk van de turbiditeit van het water. In troebel water is de effectiviteit lager. Om die reden werd in de jaren '90 bij de inlaat van het koelwater voor de kerncentrale in Doel gekozen voor een afweermechanisme met geluid.

Andere visweringsmechanismen

Van de andere visweringsmechanismen die beschikbaar zijn (gordijnen van luchtbubbel en elektriciteit), lijkt geluid de meest efficiënte te zijn. Er is echter nog slechts zeer weinig bekend over de mogelijke negatieve gevolgen van geluid op het welzijn van de aquatische fauna. Geluid draagt namelijk heel ver, en zou zeker in een reflectieve omgeving (betonnen bakken) die het Albertkanaal is, heel ver kunnen dragen en zo mogelijks vissen negatief beïnvloeden over een groot gebied (ook levensstadia en soorten die niet beïnvloed moeten worden). Bovendien wijst literatuur er momenteel op dat er nog te weinig bekend is over geluid, zijn effect op vis maar

ook hoe vissen geluid in hun dagelijks leven gebruiken en hoe het geluidlandschap van hun omgeving een mogelijke geluidsweringsefficiëntie beïnvloedt.

Onderhoud stroboscooplampen

De goede werking van een viswering met licht gaat sterk achteruit naarmate algen en andere aquatische organismen (vb. zoetwatermossels) zich vasthechten aan de behuizing van de lampen. Wij raden daarom aan om rekening te houden met regelmatig onderhoud van de viswering met licht. Hoe en hoe vaak onderhoud voorzien moet worden, wordt best afgesproken met de fabrikant van de viswering. Sommige fabrikanten voorzien materiaal dat minder snel overgroeit raakt met algen en andere organismen.

Gebruik stroboscooplampen met een frequentie van 3.5 Hz.:

Desondanks een flitsfrequentie soort en levensstadia specifiek is, blijkt een flitsfrequentie groter of gelijk aan 3,5 Hz; ofwel 3,5 lichtflitsen per seconden; het beste te werken voor een wijde range aan soorten inclusief de Europese paling. Al ligt de optimale flitsfrequentie voor palingen veel hoger, namelijk boven de 16,5 Hz (Sheridan *et al.*, 2011a). In deze studie flitsen de lichten op 1 Hertz en waren ze 30 van de 31 keer 100% effectief in het weren van zilverbaling.

Het Albertkanaal als uittrekroute voor de Europese paling

We raden ten sterkste aan dat de Maascommissie en andere werkgroepen die vismigratie behandelen, nadenken over het lot van het Albertkanaal als suboptimale trekroute voor vissen, specifiek de beschermde en bedreigde Europese paling. De stroboscoopviswering bleek effectief in het weren van zilverbaling. Maar daardoor vermindert de kans dat deze stroomafwaarts geraken van het sluizencomplex, wat zowel de kans dat ze de zee bereiken als de kans dat ze die tijdig bereiken mogelijk sterk negatief beïnvloedt. Ook is nog steeds niet bekend of de route langs de scheepvaartsluizen werkelijk veiliger is dan de route langs de waterkrachtcentrale. Vrije, veilige en vlotte migratie langs de sluiscomplexen is echter noodzakelijk voor het deel van de palingpopulatie dat in het Albertkanaal opgroeit of er terecht komt op zijn stroomafwaartse trek vanuit de Maas en de andere Kempense kanalen. De viswering is pas echt nuttig en zeer positief als paling daar naar een veilige, alternatieve route kan geleid worden.

Mogelijke richtingen ter oplossing van het veilig stroomafwaarts brengen van de paling in het Albertkanaal:

- Stroomafwaartse stroming langs een vrije route tijdens de nacht? Is het mogelijk dat vb. tap-constructies iedere nacht in tijden van palingmigratie (overvloedige regen tussen augustus en januari) opengezet worden voor migratie van paling?
- Indien niet, kunnen er andere constructies voorzien worden in een sluizencomplex als die op het Albertkanaal die een veilige stroomafwaartse en makkelijk vindbare route voorzien voor stroomafwaarts migrerende zilverbaling en andere soorten?
- Hoe vaak per jaar kan er een bepaalde hoeveelheid water vrij stroomafwaarts vloeien? Voor paling is het al veel als een veilige stroomafwaartse route met een continue lokstroom in werking is tijdens en kort na dagen van hevige en/of langdurige regenval (neerslagpieken op de jaargemiddelde).

Gezien de uitdagingen om veilige alternatieve routes te voorzien in het Albertkanaal, kan het nuttig zijn om te bekijken of het mogelijk is om te verhinderen dat paling uit de Maas in het

In een vervolgstudie (deskstudie) zullen de inzichten die tot vandaag verworven zijn via wetenschappelijk onderzoek op zilverpaling in en rond het Albertkanaal verwerkt worden om tot concreet advies te komen voor veilige vismigratie in het Albertkanaal.

In een vervolgstudie (deskstudie) zullen de inzichten die tot vandaag verworven zijn via wetenschappelijk onderzoek op zilverpaling in en rond het Albertkanaal verwerkt worden om tot concreet advies te komen voor veilige vismigratie in het Albertkanaal.

English abstract

The Albert canal is an economically crucial shipping canal between the Meuse river and the Port of Antwerp (Scheldt river). Six sluice complexes each bridge a 10 m height difference. To ensure shipping in periods of water scarcity, large Archimedean screw pumps were built on each of the sluice complexes. These pumps can also serve as turbine in periods of water excess. Previously, the impact on fish of these pumps/turbines have been investigated. The results showed that fish damage and mortality (also on the protected, endangered European eel) should further be prevented by keeping fish out of the pump/turbine installation. It was suggested that a fish deterrence system could keep fish and also downstream migrating European eel (silvering stage) out of the bypass channel leading to the turbine. Following this study, the shipping canal operator (The Flemish Waterway NV (DVW)) therefore installed stroboscope lights (1 Hz flash frequency) at the pump/turbine installation of the city of Hasselt.

Stroboscope lights deterrence systems have been installed previously at hydropower stations and with varying success in deterring fishes. The efficiency may vary, depending of factors such as the fish species, but also characteristics of the system itself such as the type of light used, the light colour and the flash frequency. Lastly, also environmental conditions can affect the efficiency, such as stream patterns, seasonality and water temperature.

In this study we investigated the efficiency of the stroboscope light fish deterrence system at the pump/turbine installation of Hasselt. We studied how well fish were deterred from the bypass channel leading to the turbine, but also if they could escape from the bypass channel to the shipping canal in case they passed the installation during pumping operation. To enable fish to escape, the manufacturer of the deterrence system had foreseen tubes running through the deterrence system that could be used by fish to pass the lights.

To evaluate the efficiency to keep fish out of the bypass channel, we did two tests. In a first test we caught fish in the bypass channel with a large fyke net spanning the width of the bypass channel. We performed 15 catch events of each 23 hours duration. We alternated a 23h measurement with strobe lights on with a 23h measurement with strobe lights off. The catches with lights on were compared to the catches with lights off in terms of number of fishes, number of species, number of species per fish and length classes. In the second test we evaluated the fine scale movement behaviour of 30 silvering eels near the deterrence system to see if they were deterred and how they behaved around the lights. We investigated this with acoustic telemetry in two dimensions, meaning that the eels were precisely (up to 1 m on average) positioned every few seconds.

To evaluate the efficiency of the tubes that need to facilitate fish escapement from the bypass channel to the shipping canal, we performed fyke net fishing with large fyke nets. The nets were installed directly near the fish deterrence system, spanning the opening of the exit (for pumped fish) of the bypass channel. Besides, 500 hatched roach were tagged with PIT tags (Passive Integrated Transponders) to evaluate if they use the tubes to escape the bypass channel passed the strobo lights. The PIT antennas were installed in the tubes to evaluate fish presence. For one week we fished with the fyke nets and evaluated the presence in the tubes. The first two days of the week the lights were off, the last three days of the week, the lights were on. During the weekend the PIT antennas were still recording fish presences.

Based on the fyke net fishings we could not find any significant difference in numbers of fishes, species, number of fish per species and fish length in situations with lights on versus lights off.

eels. At each sluice complex, the eels are searching to escape, risking to not find any option to go downstream or risking to go downstream passed a hazardous route. If they reach the sea, it will be with a bad timing and the chance is high they are not reaching the sea at all, as also proven in previous studies on silvering eel downstream migration in the shipping canal (Vergeynst *et al.*, 2019, 2020; Verhelst *et al.*, 2018a).

Inhoudstafel

Inhoud

1	Inleiding en Doelstellingen	26
1.1	Kader	26
1.2	Pompen en waterkrachtcentrales op het Albertkanaal	28
1.3	Viswering noodzakelijk	29
1.4	Literatuurstudie naar de effectiviteit van viswering met gedragsbarrières, voornamelijk met licht en geluid	29
1.4.1	Algemeen	29
1.4.2	Lichtwering	30
1.4.3	Geluidswering	34
1.5	Invloed van vizels en viswering op het gedrag van Europese palingen	35
1.6	Doel van deze Studie	36
2	Materiaal en Methode	38
2.1	Studiegebied	38
2.1.1	Het Albertkanaal	38
2.1.2	De pompinstallatie en waterkrachtcentrale in Hasselt	39
2.1.3	De viswering o.b.v. stroboscooplampen	41
2.2	Onderzoeksluik 1: Turbineproef	46
2.2.1	Fuikconstructie	46
2.2.2	Meetfrequentie en timing	47
2.2.3	Data-analyse	49
2.3	Onderzoeksluik 2: Pompproef	50
2.3.1	Fuikconstructie	50
2.3.2	PIT-telemetry	51
2.3.3	Meetfrequentie en timing	53
2.3.4	Data-analyse	54
2.4	Onderzoeksluik 3: Zilverpalinggedrag bij viswering tijdens turbineren	54
2.4.1	Opstelling	54
2.4.2	Fijnschalige positionering van vissen met akoestische telemetry	54
2.4.3	Meetfrequentie en timing	64
2.4.4	Data-analyse	64
3	Resultaten	67
3.1	Onderzoeksluik 1: Turbineproef	67

Lijst van figuren

Figuur 1	Afhankelijk van het debiet is het aan te raden om de lichtwering anders te positioneren. Als er evenveel debiet langs de bypass als het gemaal gaat kan de lichtwering tegen het krooshek geplaatst worden (rechts). Als de hoofdstroming langsheen het gemaal gaat is het aan te raden om de lichtwering diagonaal langsheen het krooshek te plaatsen om de vissen als het ware te leiden naar de bypass (links) (Kroes & de Boer, 2013a).	32
Figuur 2	Situering Albertkanaal met aanduiding sluiscomplexen (zwarte pijlen) (Bron: (Baeyens <i>et al.</i> , 2019)).	38
Figuur 3	Luchtfoto studiesite met aanduiding van de Waterkrachtcentrale (WKC; linksonder op de luchtfoto), het omloopkanaal naar de WKC en de locatie van de visafwering met stroboscooplampen. Daarnaast staan ook de drie sluizen aangeduid. Een omheining sluit het sluiscomplex af voor bezoekers (gele stippellijn).	39
Figuur 4	Pompinstallatie en waterkrachtcentrale van Hasselt met drie open Archimedesschroeven die zowel water kunnen pompen als turbineren. Respectievelijk pompen ze water van kanaalpand Ham-Hasselt (Scheldekant) naar kanaalpand Diepenbeek-Hasselt (Maaskant), en turbineren ze het water in de omgekeerde richting. Foto (a) werd getrokken aan de Scheldekant, dus stroomafwaarts van het sluiscomplex en de pompinstallatie en waterkrachtcentrale. Foto (b) werd getrokken vanaf het sluiscomplex (bron INBO).	40
Figuur 5	Foto van het omloopkanaal in Hasselt dat water van het scheepvaartkanaal van en naar respectievelijk de pompinstallatie en waterkrachtcentrale brengt. Het omloopkanaal loopt parallel aan het sluiscomplex (Figuur 3).	41
Figuur 6	Stroboscooplampen FishFlow Innovations te Hasselt Links: Omhoog getakeld bij daglicht (a). En de werking van de stroboscooplampen in het donker met zichtbaarheid van het kroosheksen dat voor de lichten zit (b).	42
Figuur 7	De locatie van de viswering in de in-/uitstroom (in het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt (Maaskant)) van het omloopkanaal dat water naar van- en naar de pompinstallatie/waterkrachtcentrale van Hasselt voert (a). Deze in-/uitstroom bestaat uit 3 in-/uitstroomopeningen (b). In elke opening zit een viswering (stroboscooplampen) achter een kroosheksen (c). (Bron INBO)	43
Figuur 8	Foto's van de buis waarlangs vis uit het omloopkanaal moet zwemmen om de stroboscooplampen te passeren. De buis heeft een diameter van 300 mm, en is gemaakt uit Flowtite type Amiantit: GRP: Glass Fiber reinforced Plastic.	44
Figuur 9	Schema's visafweersysteem (bron: DVW). (a) vuilrooster aan de uitstroomopening van het omloopkanaal voor de stroboscooplampen. (b) Detail van de oorspronkelijke planning van de buis waarlangs vis uit het omloopkanaal de stroboscooplampen zouden moeten passeren naar het scheepvaartkanaal toe. (c) Detail van de uiteindelijke uitwerking van de buis waar vis moet doorzwemmen om de stroboscooplampen te passeren ter hoogte van de stroboscooplampen in het rechtse van drie uitstroomopeningen, en plaats van het vuilrooster, afgebeeld voor het middelste van de drie uitstroomopeningen van het omloopkanaal.	45

Figuur 38 **Tweedimensionaal gedrag (a)** in de 2D-array van ontvangers vlakbij de sluizen en de viswering, en **ééndimensionaal gedrag (b)** in het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt tijdens de studieperiode voor **paling met zender ID 3626**. De kleuren in de legende bij (a) tonen het uur van de respectievelijke dag (datum in titel van iedere plot) waarop de paling op een bepaalde locatie was. De kleuren in de legende bij (b) tonen in welke zone van het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt het dier zich bevond op een bepaalde dag. De 2D-zone wordt in de plot weergegeven door detecties op drie verschillende ontvangers (oranje bolletjes), terwijl de andere zones weergegeven worden door de detecties op telkens één ontvanger (ander kleuren)..... 106

Figuur 39 **Tweedimensionaal gedrag (a)** in de 2D-array van ontvangers vlakbij de sluizen en de viswering, en **ééndimensionaal gedrag (b)** in het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt tijdens de studieperiode voor **paling met zender ID 3627**. De kleuren in de legende bij (a) tonen het uur van de respectievelijke dag (datum in titel van iedere plot) waarop de paling op een bepaalde locatie was. De kleuren in de legende bij (b) tonen in welke zone van het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt het dier zich bevond op een bepaalde dag. De 2D-zone wordt in de plot weergegeven door detecties op drie verschillende ontvangers (oranje bolletjes), terwijl de andere zones weergegeven worden door de detecties op telkens één ontvanger (ander kleuren)..... 107

Figuur 40 **Tweedimensionaal gedrag (a)** in de 2D-array van ontvangers vlakbij de sluizen en de viswering, en **ééndimensionaal gedrag (b)** in het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt tijdens de studieperiode voor **paling met zender ID 3628**. De kleuren in de legende bij (a) tonen het uur van de respectievelijke dag (datum in titel van iedere plot) waarop de paling op een bepaalde locatie was. De kleuren in de legende bij (b) tonen in welke zone van het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt het dier zich bevond op een bepaalde dag. De 2D-zone wordt in de plot weergegeven door detecties op drie verschillende ontvangers (oranje bolletjes), terwijl de andere zones weergegeven worden door de detecties op telkens één ontvanger (ander kleuren)..... 109

Figuur 41 **Tweedimensionaal gedrag (a)** in de 2D-array van ontvangers vlakbij de sluizen en de viswering, en **ééndimensionaal gedrag (b)** in het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt tijdens de studieperiode voor **paling met zender ID 3629**. De kleuren in de legende bij (a) tonen het uur van de respectievelijke dag (datum in titel van iedere plot) waarop de paling op een bepaalde locatie was. De kleuren in de legende bij (b) tonen in welke zone van het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt het dier zich bevond op een bepaalde dag. De 2D-zone wordt in de plot weergegeven door detecties op drie verschillende ontvangers (oranje bolletjes), terwijl de andere zones weergegeven worden door de detecties op telkens één ontvanger (ander kleuren)..... 111

Figuur 52 **Tweedimensionaal gedrag (a)** in de 2D-array van ontvangers vlakbij de sluizen en de viswering, en **ééndimensionaal gedrag (b)** in het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt tijdens de studieperiode voor **paling met zender ID 3641**. De kleuren in de legende bij (a) tonen het uur van de respectievelijke dag (datum in titel van iedere plot) waarop de paling op een bepaalde locatie was. De kleuren in de legende bij (b) tonen in welke zone van het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt het dier zich bevond op een bepaalde dag. De 2D-zone wordt in de plot weergegeven door detecties op drie verschillende ontvangers (oranje bolletjes), terwijl de andere zones weergegeven worden door de detecties op telkens één ontvanger (ander kleuren)..... 137

Figuur 53 **Tweedimensionaal gedrag (a)** in de 2D-array van ontvangers vlakbij de sluizen en de viswering, en **ééndimensionaal gedrag (b)** in het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt tijdens de studieperiode voor **paling met zender ID 3642**. De kleuren in de legende bij (a) tonen het uur van de respectievelijke dag (datum in titel van iedere plot) waarop de paling op een bepaalde locatie was. De kleuren in de legende bij (b) tonen in welke zone van het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt het dier zich bevond op een bepaalde dag. De 2D-zone wordt in de plot weergegeven door detecties op drie verschillende ontvangers (oranje bolletjes), terwijl de andere zones weergegeven worden door de detecties op telkens één ontvanger (ander kleuren)..... 139

Figuur 54 **Tweedimensionaal gedrag (a)** in de 2D-array van ontvangers vlakbij de sluizen en de viswering, en **ééndimensionaal gedrag (b)** in het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt tijdens de studieperiode voor **paling met zender ID 3643**. De kleuren in de legende bij (a) tonen het uur van de respectievelijke dag (datum in titel van iedere plot) waarop de paling op een bepaalde locatie was. De kleuren in de legende bij (b) tonen in welke zone van het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt het dier zich bevond op een bepaalde dag. De 2D-zone wordt in de plot weergegeven door detecties op drie verschillende ontvangers (oranje bolletjes), terwijl de andere zones weergegeven worden door de detecties op telkens één ontvanger (ander kleuren)..... 142

Figuur 55 **Tweedimensionaal gedrag (a)** in de 2D-array van ontvangers vlakbij de sluizen en de viswering, en **ééndimensionaal gedrag (b)** in het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt tijdens de studieperiode voor **paling met zender ID 3644**. De kleuren in de legende bij (a) tonen het uur van de respectievelijke dag (datum in titel van iedere plot) waarop de paling op een bepaalde locatie was. De kleuren in de legende bij (b) tonen in welke zone van het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt het dier zich bevond op een bepaalde dag. De 2D-zone wordt in de plot weergegeven door detecties op drie verschillende ontvangers (oranje bolletjes), terwijl de andere zones weergegeven worden door de detecties op telkens één ontvanger (ander kleuren)..... 143

Figuur 56 **Tweedimensionaal gedrag (a)** in de 2D-array van ontvangers vlakbij de sluizen en de viswering, en **ééndimensionaal gedrag (b)** in het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt tijdens de studieperiode voor **paling met zender ID 3645**. De kleuren in de legende bij (a) tonen het uur van de respectievelijke dag (datum in titel van iedere plot) waarop de paling op een bepaalde locatie was. De kleuren in de legende bij (b) tonen in welke zone van het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt het dier zich bevond op een bepaalde dag. De 2D-zone

Figuur 57 **Tweedimensionaal gedrag (a)** in de 2D-array van ontvangers vlakbij de sluizen en de viswering, en **ééndimensionaal gedrag (b)** in het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt tijdens de studieperiode voor **paling met zender ID 3646**. De kleuren in de legende bij (a) tonen het uur van de respectievelijke dag (datum in titel van iedere plot) waarop de paling op een bepaalde locatie was. De kleuren in de legende bij (b) tonen in welke zone van het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt het dier zich bevond op een bepaalde dag. De 2D-zone wordt in de plot weergegeven door detecties op drie verschillende ontvangers (oranje bolletjes), terwijl de andere zones weergegeven worden door de detecties op telkens één ontvanger (ander kleuren)..... 146

Figuur 58 **Tweedimensionaal gedrag (a)** in de 2D-array van ontvangers vlakbij de sluizen en de viswering, en **ééndimensionaal gedrag (b)** in het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt tijdens de studieperiode voor **paling met zender ID 3647**. De kleuren in de legende bij (a) tonen het uur van de respectievelijke dag (datum in titel van iedere plot) waarop de paling op een bepaalde locatie was. De kleuren in de legende bij (b) tonen in welke zone van het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt het dier zich bevond op een bepaalde dag. De 2D-zone wordt in de plot weergegeven door detecties op drie verschillende ontvangers (oranje bolletjes), terwijl de andere zones weergegeven worden door de detecties op telkens één ontvanger (ander kleuren)..... 151

Figuur 59 **Tweedimensionaal gedrag (a)** in de 2D-array van ontvangers vlakbij de sluizen en de viswering, en **ééndimensionaal gedrag (b)** in het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt tijdens de studieperiode voor **paling met zender ID 3648**. De kleuren in de legende bij (a) tonen het uur van de respectievelijke dag (datum in titel van iedere plot) waarop de paling op een bepaalde locatie was. De kleuren in de legende bij (b) tonen in welke zone van het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt het dier zich bevond op een bepaalde dag. De 2D-zone wordt in de plot weergegeven door detecties op drie verschillende ontvangers (oranje bolletjes), terwijl de andere zones weergegeven worden door de detecties op telkens één ontvanger (ander kleuren)..... 154

Figuur 60 **Tweedimensionaal gedrag (a)** in de 2D-array van ontvangers vlakbij de sluizen en de viswering, en **ééndimensionaal gedrag (b)** in het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt tijdens de studieperiode voor **paling met zender ID 3649**. De kleuren in de legende bij (a) tonen het uur van de respectievelijke dag (datum in titel van iedere plot) waarop de paling op een bepaalde locatie was. De kleuren in de legende bij (b) tonen in welke zone van het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt het dier zich bevond op een bepaalde dag. De 2D-zone wordt in de plot weergegeven door detecties op drie verschillende ontvangers (oranje bolletjes), terwijl de andere zones weergegeven worden door de detecties op telkens één ontvanger (ander kleuren)..... 156

Figuur 61 **Tweedimensionaal gedrag (a)** in de 2D-array van ontvangers vlakbij de sluizen en de viswering, en **ééndimensionaal gedrag (b)** in het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt tijdens de studieperiode voor **paling met zender ID 3650**. De kleuren in de legende bij (a) tonen het uur van de respectievelijke dag

Figuur 63 **Tweedimensionaal gedrag (a)** in de 2D-array van ontvangers vlakbij de sluizen en de viswering, en **ééndimensionaal gedrag (b)** in het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt tijdens de studieperiode voor **paling met zender ID 3652**. De kleuren in de legende bij (a) tonen het uur van de respectievelijke dag (datum in titel van iedere plot) waarop de paling op een bepaalde locatie was. De kleuren in de legende bij (b) tonen in welke zone van het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt het dier zich bevond op een bepaalde dag. De 2D-zone wordt in de plot weergegeven door detecties op drie verschillende ontvangers (oranje bolletjes), terwijl de andere zones weergegeven worden door de detecties op telkens één ontvanger (ander kleuren)..... 161

Lijst van tabellen

Tabel 1	Kenmerken van de viswering met stroboscooplampen te Hasselt (bron: https://fishflowinnovations.nl ; mondelinge mededeling).....	44
Tabel 2	Overzicht van de dagen waarop staalnames werden uitgevoerd. Op 1 december was het net van de fuikconstructie gescheurd, hierom omvat staalname 2 maar één i.p.v. twee metingen. Staalname 2 werd dan ook niet gebruikt in de verdere analyses.	48
Tabel 3	Kenmerken van de 30 gevangen en gezenderde wilde palingen. Op één na (paling met zender ID 3651) werden alle palingen volgens de criteria van Durif et al. (2005) geklasseerd als zilverpaling (schieraal). Dat zijn dieren die in het migratorisch stadium zitten (aangeduid met FIV en FV). Paling 3651 zat op moment van vangst nog in het pre-migratorisch stadium (aangeduid met FIII). Het migratorisch stadium is het levensstadium waarin paling verondersteld wordt klaar te zijn voor de voortplanting en de lange weg daar naartoe: naar zee en door de oceaan naar de Sargasso zee. Om tot deze classificatie te komen werden de grootte van het oog in horizontale en verticale richting gemeten, en werd ook de grootte van de borstvin gemeten. De studiedieren werden allemaal op dezelfde locatie uitgezet (hier: Lat/Long: 50.93977, 5.38079) op de dag dat ze uit de fuik gehaald werden en geopereerd werden.	61
Tabel 4	Aankomst- en vertrektijd van de 10 gezenderde palingen die de schepvaartsluizen van Hasselt passeerden richting Antwerpen tijdens de studieperiode (nov 2022 – apr 2023). Eén paling passeerde de schepvaartsluizen na sterfte (aangeduid met ‘dood’ in kolom 1).	76
Tabel 5	Het aantal dagen dat een gezenderde paling (eerste kolom) in de tweedimensionale array van ontvangers was over de hele studieperiode (tweede kolom), en per maand (eerste sub-kolom van kolommen drie tot en met zeven); en het aantal keer van die dagen dat het respectievelijke dier ook effectief tot aan of dichtbij de sluizen zwom. Tot slot het aantal keer dat elk dier de viswering naderde tot vlakbij, en in welke maand. In december waren nog slechts de helft van de studiedieren gezenderd. Vanaf half januari waren alle 30 dieren gevangen en gezenderd. De arcering visualiseert de grootte van de aantallen. Hoe grijzer, hoe hoger het getal en vanaf het getal 6 staat alles in het donkerste grijs.	79

1 INLEIDING EN DOELSTELLINGEN

1.1 KADER

Het Albertkanaal is het kanaal dat Luik verbindt met Antwerpen, en de Maas met de Schelde. In Vlaanderen beheert De Vlaamse Waterweg nv (DVW, voorheen NV De Scheepvaart) het kanaal. Het is 129 km lang en wordt gevoed met Maaswater dat onttrokken wordt in Luik en Maastricht. Het totale verval van het Albertkanaal tussen Luik en Antwerpen bedraagt 56 meter en het wordt opgevangen door 6 sluiscomplexen (Genk, Diepenbeek, Hasselt, Ham, Olen en Wijnegem). Alle complexen overbruggen 10 meter hoogteverschil, behalve Wijnegem, dat de resterende 6 meter opvangt. Met bijna 40 miljoen ton vervoerde goederen per jaar is het Albertkanaal de belangrijkste waterweg in Vlaanderen. Vooral het containervervoer nam het voorbij decennium nog sterk toe.

Het Albertkanaal en de Kempense kanalen worden bijna volledig **gevoed met Maaswater**. De voeding van het Albertkanaal vindt plaats te Luik (Monsin) waar het kanaal in open verbinding staat met de Maas. Het opwaartse kanaalpand van het Albertkanaal wordt op constant peil gehouden door de stuw van Monsin. Een deel van het onttrokken water wordt op Waals grondgebied terug naar de Maas afgevoerd via de sluizen van Monsin, Visé en Lanaye (Ternaaien). Het resterende deel wordt gebruikt voor de voeding van het Vlaamse deel van het Albertkanaal en in beperkte mate van de Zuid-Willemsvaart via het kanaal Briegden-Neerharen. Over de toegestane waterafname in functie van het beschikbare Maasdebiet sloot Vlaanderen met Nederland het Maasafvoeroverdrag af (17 januari 1995). Het verdrag bepaalt de verdeling van het Maaswater bij lage Maasafvoeren over enerzijds de Nederlandse en Vlaamse kanalen en anderzijds de gemeenschappelijke Maas en stelt een gelijke verdeling op bij lagere Maasafvoeren.

Het Vlaamse watergebruik wordt aangewend voor verschillende functies, zoals scheepvaart, irrigatie van landbouwpercelen, ruwwaterbron voor drinkwater, proceswater voor industrie, enz.. Bij een lage afvoer van de Maas is het netto gebruik van water voor scheepvaart, industrie, drinkwater, irrigatie en koelwater in Vlaanderen echter groter dan het totaal toegelaten af te nemen debiet. Tijdens droogteperiodes wordt het beschikbare onttrekkingsdebiet uit de Maas door het Maasafvoeroverdrag beperkt. Het gevolg hiervan is dat, indien onvoldoende water beschikbaar is om het Albertkanaal te voeden, een diepgangbeperking voor de scheepvaart kan worden ingesteld. Dit gebeurde reeds eind oktober 2005 en juli 2011 gedurende enkele dagen op het Albertkanaal opwaarts Genk, omdat wegens een te beperkte wateraanvoer het waterpeil in dit pand sterk was gedaald. Deze diepgangbeperkingen zijn sterk negatief voor de binnenscheepvaart en de bedrijvigheid rond het kanaal. Bevoorradingen en afvoer van goederen komen in het gedrang, wat deze locaties minder aantrekkelijk maakt voor bedrijven. Dit is sterk in contrast met het gevoerde beleid om de binnenvaart te promoten en de watergebonden industrie rondom het Albertkanaal te versterken.

Om in periodes van lage afvoeren te kunnen voldoen aan de bepalingen van het Maasafvoeroverdrag, is een **laagwaterstrategie voor het Albertkanaal en de Kempische Kanalen** opgesteld. Op basis van deze strategieën kon geconcludeerd worden dat de verwachte schade ten gevolge van het effectief in de praktijk brengen van maatregelen uit de laagwaterstrategie, sterk kon gereduceerd worden door het in gebruik nemen van **pompinstallaties op de sluizencomplexen**. Zonder deze pompinstallaties kan de verwachte financieel-economische

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

Deze pompinstallaties moeten in staat zijn om het debiet dat ontstaat door het verschutten van schepen terug te pompen naar het opwaartse kanaalpand, zodat het netto debiet ten behoeve van de scheepvaart kan dalen en het totale Vlaamse watergebruik eveneens sterk gereduceerd kan worden. Deze pompinstallaties kunnen in omgekeerde zin werken als waterkrachtcentrales. Naar Vlaamse normen is er een vrij groot potentieel van groene stroom uit waterkracht aanwezig ten gevolge van het vrij groot verval aan de sluizencomplexen op het Albertkanaal en het relatief grote en constante debiet. Met uitzondering van de periodes met lage Maasafvoeren kan binnen de contouren van het Maasafvoeroverdrag extra water afgevoerd worden via het Albertkanaal, dat deze waterkrachtcentrales dan kan voeden. De Vlaamse Waterweg nv wil dit potentieel benutten en op die manier bijdragen tot het realiseren van de Vlaamse doelstellingen met betrekking tot de productie van duurzame energie op basis van hernieuwbare energiebronnen.

Paling en zalm zijn twee **voorbeelden** van vissoorten die voor hun succesvolle overleving eens per jaar een **grote migratietocht** ondernemen. Paling plant zich voort op zee en groeit op in zoet water. De jonge dieren komen als glasaal toe aan de monding van onze rivieren, zwemmen deze op als juveniel en groeien verder op als “rode paling” in zoet (en brak) water. Na enkele jaren, wanneer ze geslachtsrijp zijn, ondergaan ze een transformatie naar schieraal en trekken ze met de stroming mee terug stroomafwaarts naar zee om zich voor te planten in het mariene milieu. Bij zalm gaat het net omgekeerd. Deze vis leeft als volwassen dier in het mariene milieu en trekt het binnenland in als geslachtsrijpe adult. Zalm plant zich voort in zoet water en de jonge zalmen (juvenielen, ook zalmsmolts genoemd) maken een grote trek stroomafwaarts vanuit het binnenland terug naar zee. Beide soorten, evenals andere vissoorten die er een gelijkaardige levenswijze op na houden, zijn zeer gevoelig aan vertragingen en obstructies op hun grote trek doorheen onze rivieren van en naar zee. Dergelijke vertragingen en obstructies, soms met directe sterfte tot gevolg, worden veroorzaakt ter hoogte van menselijke constructies zoals o.a. sluizen, stuwen, dammen en waterkrachtcentrales. Vertraging en sterfte aan deze constructies moet zoveel mogelijk vermeden worden om de succesvolle overleving van deze soorten te garanderen.

De Vlaamse Waterweg nv kiest dan ook voor de **toepassing van vooruitstrevende en ecologisch verantwoorde technologie om eventuele schade aan het visbestand in de kanalen tot een absoluut minimum te beperken**. Een uitgebreid milieueffectrapport werd dan ook opgesteld, dat de effecten van de geplande installaties op het visbestand in beeld bracht (2018, Tractebel). Het gevolg was dat de geplande pompinstallaties en waterkrachtcentrales visvriendelijk moesten worden ingericht en geïnstalleerd om schade aan het aanwezige visbestand te beperken tot aanvaardbare grenzen.

1.2 POMPEN EN WATERKRACHTCENTRALES OP HET ALBERTKANAAL

De Vlaamse Waterweg nv heeft in een uitgebreid MER de effecten van de aanleg en het gebruik van de pomp- en waterkrachtinstallaties op het milieu onderzocht. Om te voldoen aan het Maasafvoercontract en op basis van de besluiten van het MER onderzoek heeft De Vlaamse Waterweg nv op het sluizencomplex van Ham de volgende configuratie gebouwd:

- open Archimedesvijzels, elk met een capaciteit van 5 m³/s. Aan de schoepen van de vijzels zijn aanpassingen aangebracht om de visvriendelijkheid verder te verhogen. Deze open vijzels kunnen zowel als pomp dan als turbine functioneren.
- 1 gesloten Archimedesvijzel met een capaciteit van 2 m³/s. Deze gesloten vijzel kan enkel als pomp werken.

Op de andere sluizencomplexen (Olen, Hasselt, Diepenbeek en Genk) bestaat de configuratie telkens uit 3 open Archimedesvijzels (Figuur 4 in sectie 2.1.2).

De pompinstallaties zijn regelbaar, d.w.z. dat de pompcapaciteit in functie van de noodzaak tot het invoeren van waterbesparende maatregelen kan ingesteld worden met stappen van 1 m³/s (tussen 3 en 5 m³/s). De installaties zijn gebouwd afwaarts het sluizencomplex. Via een nieuw omloopkanaal zijn de installaties verbonden met het opwaarts pand van het scheepvaartkanaal. De installatie op het sluizencomplex van Ham is in 2013 voltooid, die in Olen in 2014 en in Hasselt in 2019. De start van de bouw in Diepenbeek is voorzien in de loop van 2020 en in Genk in de loop van 2022. De Vlaamse Waterweg nv (toenmalig nv De Scheepvaart) heeft de effecten van de werking van de installatie te Ham op het visbestand, zowel in de pompmodus als bij turbinewerking, laten evalueren (Baeyens et al. 2019, Pauwels et al. 2020). Het resultaat hiervan was dat in pompmodus de schade aan de vissen beperkt bleef en dat er bijkomende voorzieningen nodig waren. Bij turbinewerking is de schade te groot en dient er een viswering te worden geplaatst zodat de vissen niet langer door de vijzels gaan bij turbineren.

In het onderzoek van INBO (Baeyens et al. 2019) werd ook het stroomafwaartse migratiegedrag van paling (*Anguilla anguilla*; zilverpaling) en zalm (*Salmo salar*, smolt stadium) onderzocht om te bepalen wat de kans is dat deze in de waterkrachtcentrale terecht komen bij hun stroomafwaartse migratie door het Albertkanaal. De studie toonde aan dat 18% van de bestudeerde zilverpaling door de waterkrachtcentrale ging ter hoogte van een sluiscomplex. Cumulatief over de zes sluiscomplexen die een zilverpaling op weg naar zee vanuit de Maas moet passeren, leidt dit tot een groot verlies. En dat van een soort die kritisch bedreigd is (IUCN red list of species), en momenteel nog verder achteruitgaat.

1.3 VISWERING NOODZAKELIJK

Er is steeds meer kennis beschikbaar over de **negatieve gevolgen van antropogene interventies op rivieren, waaronder pompgemalen en waterkrachtcentrales**. Onder impuls van bovengenoemde wetgeving en door de toenemende kennis over de negatieve gevolgen is er een grote vraag ontstaan naar **methodes om de gevolgen te minimaliseren** (Jesus *et al.*, 2021a; Kruitwagen, 2011; Travade *et al.*, 2010). Voor vissen ligt de focus van mitigatie van deze negatieve gevolgen vaak op het aanbieden van **alternatieve routes** om de barrière heen. Denk bijvoorbeeld aan vispassages. Om routekeuzes van vissen te beïnvloeden naar veiligere varianten en/of om de intrede in dodelijke en schadelijke infrastructuur te vermijden, probeert men soms vissen te weren door middel van **fysieke of gedragsbarrières** (Electric Power Research Institute (EPRI), 2017; Jesus *et al.*, 2021a; Kim & Mandrak, 2017; Kroes & de Boer, 2013a).

Een **fysieke barrière** is een constructie waarbij vissen worden geweerd doordat het fysiek onmogelijk is om de barrière te passeren. Een voorbeeld van een fysieke barrière is een krooshek waarvan de afstand tussen de spijlen te klein is om het lichaam van de vis door te laten (Electric Power Research Institute (EPRI), 2017; Jesus *et al.*, 2021a; Kroes & de Boer, 2013a). Een **gedragsbarrière** maakt gebruik van een stimulus die de vis afweert. Zo een stimulus kan een bubbelgordijn, akoestisch signaal of lichtsignaal zijn (Jesus *et al.*, 2021a; Noatch & Suski, 2012a).

In **Hasselt** is deze viswering gerealiseerd onder de vorm van **stroboscooplampen** (Fishflow Innovations). De stroboscooplampen van Fishflow Innovations moeten vissen weghouden uit het omloopkanaal dat hen naar de waterkrachtcentrale zou leiden. Dat is van een opwaarts naar een afwaarts pand (Figuur 2 en 3). De bedoeling is om vissen zo naar een alternatieve passageroute te leiden om zo vissterfte door de waterkrachtcentrale te verminderen.

Op vraag van de Vlaamse Waterweg nv werden de effecten van de viswering (stroboscooplampen, FishFlow Innovations) in het Albertkanaal te Hasselt geëvalueerd. In het rapport hieronder wordt eerst een literatuurstudie gedaan naar de effectiviteit van viswering (focus op viswering met behulp van licht). Daarop volgt een duidelijke formulering van het precieze doel van de studie. Vervolgens wordt de methodiek van de studie uitgelegd. Daaronder worden de resultaten beschreven en bediscussieerd in relatie tot kennis uit andere wetenschappelijke studies. De aanbevelingen die uit deze studie volgen, staan in sectie 'Aanbevelingen voor beheer en/of beleid' bovenaan in dit rapport.

1.4 LITERATUURSTUDIE NAAR DE EFFECTIVITEIT VAN VISWERING MET GEDRAGSBARRIÈRES, VOORNAMELIJK MET LICHT EN GELUID

1.4.1 Algemeen

De effectiviteit en de efficiëntie van gedragsbarrières wordt algemeen bepaald door een breed scala aan factoren. De voornaamste zijn de vissoorten en de kenmerken van de “natuurlijke” omgeving waarin de viswering in werking is, maar ook kenmerken van elke gedragsbarrière (viswering) op zich kan een grote invloed hebben op de uiteindelijke effectiviteit en efficiëntie ervan. Dit geldt zowel voor gedragsbarrières op basis van licht en geluid als voor gordijnen van luchtballen en elektriciteit. Over alle factoren die de effectiviteit en efficiëntie bepalen is

specifieke kennis nodig. Denk maar aan specifieke kennis over hoe elke vissoort licht, geluid, elektriciteit en luchtbellen ervaart. Hiervoor is kennis over het zicht, het gehoor en het gevoel van de vissen noodzakelijk, maar lang niet altijd beschikbaar. Of denk aan het effect van omgevingslicht of omgevingsgeluid op de werking van licht- en geluidsbarrières, respectievelijk. Men kan verwachten dat licht vissen minder goed weert overdag dan 's nachts, maar tegelijk ook beter in helder water 's nachts en minder goed in helder water overdag. Hetzelfde geldt voor geluid in een "stille" rivier versus een rivier waar veel ander (on)natuurlijk omgevingsgeluid is. Bovendien kunnen ook sterktes van geluid, licht en elektriciteit, maar evengoed frequenties van pulsen van alle drie een ander effect hebben. En dan hebben we het nog niet over het al dan niet beschikbaar zijn van een alternatieve route in de buurt van een viswering, evenals de stroompatronen en sterktes rond de viswering die rechtstreeks invloed hebben op het gedrag en de beweging van de vissen nabij de viswering. Kennis over al deze aspecten moet opgebouwd worden in talrijke afzonderlijke onderzoeken, zowel in het veld als in een labo, die bij voorkeur onderling vergelijkbaar zijn. Tot op heden is het beschikbare onderzoek nog onvoldoende om duidelijkheid te scheppen over welke efficiëntie we kunnen verwachten. Laat staan om gericht advies te kunnen geven over de best toepasbare techniek of combinatie van technieken in een specifieke situatie in het veld en voor alle aanwezige, natuurlijke, inheemse soorten.

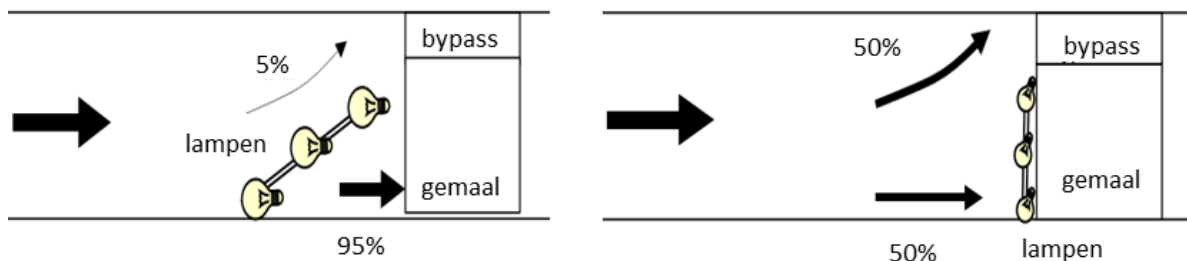
In bestaand onderzoek werd voornamelijk de effectiviteit van licht getest (zie sectie 1.4.2). Ook zijn er studies beschikbaar over geluid als weringsmechanisme en dat werd uitgebreid samengevat in een goede review van Popper *et al.* (2020) (en zie sectie 1.4.3). In vergelijking met licht en geluid, werd de effectiviteit en efficiëntie als viswering van gordijnen van luchtbellen en elektriciteit veel minder onderzocht. Mogelijk komt dit doordat de studies die beschikbaar waren, een lagere effectiviteit aantoonden (Dawson *et al.*, 2006; Feely & Sorensen, 2023; Leander *et al.*, 2021; Sager *et al.*, 1987). Al zouden luchtbellen op zalmsmolts en karpers wel een werend effect kunnen hebben of althans ingezet kunnen worden om ze naar een alternatieve route te leiden. In de studie op de zalmsmolts was er echter een alternatieve migratieroute en werd het gordijn gebruikt om ze naar die alternatieve route te leiden. Wanneer een viswering als barrière dient zonder geleidende functie naar een alternatieve route, kan de effectiviteit heel anders uitdraaien. Bovendien merkte men in de studie dat de luchtbellen zichtbaar moesten zijn voor de vissen. In het donker werkt deze techniek dus een pak minder goed.

Algemeen kan in elk geval aangenomen worden dat licht en geluid effectiever zouden zijn dan luchtbellen en elektriciteit in het weren van vissen. Maar geluid, omdat het verder (en veel verder dan licht) draagt in water, is nog te weinig onderzocht op potentiële negatieve effecten op de rest van een gebied en de aquatische fauna. Daarnaast brengt het gebruik van elektriciteit gevaar met zich mee voor de mens. Hieronder geven we meer inzicht in de beschikbare kennis over licht en geluid als gedragsbarrières (en weringsmechanismen) voor vissen.

1.4.2 Lichtwering

De kennis over het effect van licht op visgedrag werd in 2021 gereviewed door Jesus *et al.*. Tegenwoordig worden voor viswering met behulp van licht voornamelijk LED-stroboscooplampen gebruikt. LED staat bekend voor zijn energiezuinigheid en is daarom alomtegenwoordig ((Electric Power Research Institute (EPRI), 2017). Een ander groot voordeel aan LED-verlichting is dat het de volledige range van golflengtes van het zichtbaar licht kan uitzenden ((Electric Power Research Institute (EPRI), 2017). De LED wordt toegepast in stroboscooplampen. Dat zijn lampen die aan en afschakelen aan een bepaalde frequentie, uitgedrukt in hertz. Het aantal hertz wijst op het aantal keer dat een lamp van aan naar af gaat (of omgekeerd) per seconde. Stroboscooplampen worden verkozen boven continu verlichten

mag voor paling de stroomsnelheid niet groter zijn dan 1 m/s. Bij hogere stroomsnelheden kan de paling geen vluchtreactie vertonen, omdat ze niet meer tegen de stroming in kan zwemmen en mee wordt gezogen met de stroming (Behrmann-Godel & Eckmann, 2003). Kroes & de Boer (2013a) adviseerde om de stroomsnelheid naar de impactvolle constructie toe lager dan 0,5 m/s te houden bij lichtwering. Door de stroboscooplampen niet vlak voor het krooshek maar diagonaal voor het krooshek te plaatsen, worden vissen richting de alternatieve route geleid (Figuur 1). Op deze manier beperkte de plaatsing van de lichtwering de tekortkoming van stroomsnelheid van een installatie (Kroes & de Boer, 2013a).



Figuur 1 Afhankelijk van het debiet is het aan te raden om de lichtwering anders te positioneren. Als er evenveel debiet langs de bypass als het gemaal gaat kan de lichtwering tegen het krooshek geplaatst worden (rechts). Als de hoofdstroming langsheen het gemaal gaat is het aan te raden om de lichtwering diagonaal langsheen het krooshek te plaatsen om de vissen als het ware te leiden naar de bypass (links) (Kroes & de Boer, 2013a).

De tweede reden waarom stroomsnelheid een bepalende factor is voor de effectiviteit van lichtwering is dat de stroomsnelheid de turbiditeit beïnvloedt. Een hoge turbiditeit heeft een negatief effect op de effectiviteit van lichtwering (Electric Power Research Institute (EPRI), 2017; Jesus *et al.*, 2021a; Kim & Mandrak, 2017; Kroes & de Boer, 2013a; Noatch & Suski, 2012a). De reden hiervoor is dat deeltjes in zoetwater, welke meer aanwezig zijn bij een hoge turbiditeit, korte golflengtes van licht absorberen, waardoor de doorzichtigheid vermindert en voornamelijk de langere golflengtes van licht aanwezig zijn in de waterkolom (Kusmic & Gualtieri, 2000; Noatch & Suski, 2012a). Dit wil zeggen dat blauw licht sneller afzwakt dan rood licht, met als gevolg dat een blauwe LED-lamp helderder moet schijnen om over dezelfde afstand als een rode LED-lamp te schijnen (Noatch & Suski, 2012a). Er wordt geadviseerd om een doorzicht van 0,5 a 0,7 m te hebben op locaties waar een lichtwering zou geplaatst worden (Kroes & de Boer, 2013a).

De waar te nemen helderheid van het uitgezonden licht wordt ook mee bepaald door het omgevingslicht. Zo wordt er door verschillende studies vastgesteld dat stroboscooplampen ineffectief zijn gedurende de dag en effectief gedurende de nacht (Noatch & Suski, 2012a). Daarom wordt afgeraden om lichtwering als een standalone afweringsmechanisme te gebruiken (Electric Power Research Institute (EPRI), 2017; Jesus *et al.*, 2021a; Noatch & Suski, 2012a).

De resultaten van Kroes & de Boer (2013a) tonen aan dat de effectiviteit van gedragsbarrières locatie-afhankelijk is. Vanwege deze complexiteit is een grondige studie naar de plaatsingen van lichtwering sterk aan te raden om te onderzoeken of dit type viswering wel functioneel kan zijn op de betreffende locatie.

1.4.2.3 Karakteristieken van de vis

Aangezien lichtwering een gedragsbarrière en geen fysieke barrière is, is het belangrijk om te weten hoe vissoorten reageren op een gegeven stimulus, zoals een lichtflits (Electric Power Research Institute (EPRI), 2017; Jesus *et al.*, 2021a; Kim & Mandrak, 2017; Kroes & de Boer,

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

De morfologische veranderingen van het palingoog zouden vermoedelijk een adaptatie zijn aan de habitat waarin de verschillende levensstadia zich bevinden (Bowmaker *et al.*, 2008; Kusmic & Gualtieri, 2000). Het zoetwatermilieu waarin de glasaal toekomt en de jonge gele paling opgroeit is onderhevig aan grotere lichtvariaties dan het mariene milieu, door de hogere concentraties aan organische en minerale stoffen in suspensie en oplossing. Hierdoor zal in het zoetwatermilieu blauw licht sneller afzakken dan rood licht, wat een shift richting het rode licht veroorzaakt (voor meer info zie omgevingsvariabelen). In het mariene milieu vindt er een shift in transmissie richting blauwe golflengtes plaats. De inzichten in de werking van een palingoog zijn cruciaal om de effectiviteit van lichtwering voor palingen te kunnen begrijpen en uiteindelijk te optimaliseren (Jesus *et al.*, 2021a).

om vissen effectief, maar ook op een veilige, efficiënte manier te weren en te leiden naar alternatieve, veilige routes.

Eén van de studies waarnaar ze refereren, is een Belgische studie naar de effectiviteit van de geluidswering aan de kerncentrale van Doel in de Westerschelde (Maes *et al.*, 2004). In die studie, waarin ook 15 evaluaties uitgevoerd werden met en zonder geluidswering op opeenvolgende dagen (dag met geluid aan, dag met geluid af), vond men slechts een effect op ongeveer de helft van de soorten. De vissen met een zwemblaas, en specifiek haring en sprat, werden wel significant geweerd, terwijl de vissen zonder zwemblaas niet significant beïnvloed werden.

1.5 INVLOED VAN VIJZELS EN VISWERING OP HET GEDRAG VAN EUROPESE PALINGEN

In verscheidene telemetriestudies die het gedrag van trekkende zilverpaling in de buurt van turbines van waterkrachtcentrales in kaart brachten, konden twee algemene gedragspatronen onderscheiden worden. Enerzijds zijn er palingen die zonder aarzelen en zoeken direct richting de waterkrachtcentrale zwemmen en erdoor gaan. Anderzijds zijn er palingen die stroomopwaarts blijven en zoekgedrag vertonen. Ze vertonen dit zoekgedrag wanneer ze de turbine naderen. Ze draaien zich dan om en kunnen tot wel een kilometer terug stroomopwaarts zwemmen, weg van de waterkrachtcentrale of pompinstallatie. Daarna kunnen ze een tweede poging ondernemen en opnieuw van de pomp- of waterkrachtcentrale wegzwemmen (Behrmann-Godel & Eckmann, 2003; Piper *et al.*, 2018; Travade *et al.*, 2010; Vergeynst *et al.*, 2020).

De palingen die zoekgedrag vertonen doen er minstens twee keer zo lang over dan palingen die direct langs de waterkrachtcentrale passeren (Piper *et al.*, 2018). Onderzoek wees uit dat de vluchtreactie enkel plaatsvond bij stroomsnelheden lager dan 1 m/s. Bij hogere stroomsnelheden lijken de dieren niet in staat om tegen de stroom in te zwemmen en gaan ze met de stroom mee doorheen de centrale, eventueel na een al dan niet schadelijke passage langs het krooshekken (Behrmann-Godel & Eckmann, 2003; Piper *et al.*, 2018; Travade *et al.*, 2010).

Behrmann-Godel & Eckmann (2003) veronderstelden dat vluchtgedrag mogelijk wordt geïnitieerd doordat de paling contact maakt met een krooshek of door het geluid van de turbine. Verder suggereerde Travade *et al.* (2010) dat het zoekgedrag een manier is om alternatieve routes te verkennen, terwijl Behrmann-Godel & Eckmann (2003) en Piper *et al.* (2018) benadrukken dat de palingen dezelfde route opnieuw blijven uitproberen. Dit typerend gedrag is weinig beschreven in de wetenschappelijke literatuur, toch is het wel goed bekend bij de professionele vissers die met fuiken palingen vangen in de Moezel. Zij zetten hun fuiken zo dicht als toegestaan bij de turbines met de opening in de stroomafwaartse richting (Behrmann-Godel & Eckmann, 2003).

In het onderzoek van Kruiwagen (2011) naar het gedrag van palingen bij pompstations met stroboscooplampen werd aangetoond dat er een duidelijk verschil is in het aantal palingen voor het krooshek afhankelijk van de werking van de lichtwering (lampen aan of uit). Specifiek vonden ze 0,8 palingen per uur bij verlichting en 11,9 palingen per uur bij afwezigheid van licht.

Het is daarom ten eerste aan te raden om vertragingen tijdens de stroomafwaartse migratie van zilverpaling en andere diadrome vissoorten te vermijden. Als een knelpunt of barrière niet verwijderd kan worden, dan is de installatie van een alternatieve route, zoals een bypass-kanaal, noodzakelijk. Viswering kan vervolgens zorgen dat de dieren de meer optimale, alternatieve route vinden (Jesus *et al.*, 2021a; Kroes & de Boer, 2013a). In de studie van Piper *et al.* (2019) werden de vissen onsuccesvol geweerd i.p.v. geleid naar de alternatieve route. Vermoedelijk was de oorzaak voor het uitblijven van een succesvolle wering de stroming, waarbij de hoofdstroom doorheen de waterkrachtcentrale ging en de alternatieve route een te zwakke stroomsnelheid had (Piper *et al.*, 2019). Deze bevindingen duiden er nog eens op hoe de stroomsnelheid de effectiviteit van viswering en alternatieve routes kan beïnvloeden.

De Vlaamse Waterweg nv (DVW) wenst de effecten van de werking van de viswering (stroboscoopverlichting, FishFlow Innovations) in Hasselt op het visbestand te evalueren. Dit in hoofdzaak bij turbinewerking. De resultaten van deze evaluatiestudie zullen in beschouwing genomen worden voor de installaties op de andere sluizencomplexen (zowel de reeds gebouwde als nog te bouwen installaties).

In onderzoeksluiken 1 en 3 wordt de effectiviteit van de viswering onderzocht bij turbinewerking. De onderzoeksdoelen voor deze luiken zijn:

In onderzoeksluik 2 wordt de effectiviteit onderzocht bij pompwerking. Specifiek is het doel voor dit luik om te evalueren of vissen die bij pompwerking van de turbines in het omloopkanaal terecht zijn gekomen, naar het scheepvaartkanaal kunnen migreren via de voorziene vispassagebuizen nabij de stroboscooplampen. De specifieke onderzoeksvragen van luik twee zijn dus:

- kunnen opgepompte vissen het omloopkanaal verlaten als de stroboscooplampen aanstaan?
- maken de vissen hierbij gebruik van de buizen die hiervoor geïnstalleerd werden in de viswering?

Als de lichtwering goed werkt verwachten we een weerspiegeling van de bevindingen in de wetenschappelijke literatuur te zien, wat wil zeggen dat er wordt verwacht dat baarsachtigen en palingen effectief zullen worden afgeweerd en de afwering minder effectief zal zijn bij jonge vissen en bentische vissoorten. Gezien er meerdere onderzoeksvragen zijn werd dit project in drie onderzoeksluiken opgedeeld.

Samenvatting aanpak onderzoeksluik 1 (effectiviteit viswering bij turbinewerking):

Voor de kwantitatieve evaluatie van de effectiviteit om vissen uit het omloopkanaal te houden, vergeleken we het aantal wilde vissen en de soorten die het omloopkanaal inzwommen tijdens werking van de viswering (lampen aan) met het aantal wilde vissen en de soorten wanneer de viswering af stond (lampen uit).

Samenvatting aanpak onderzoeksluik 2 (effectiviteit viswering bij pompwerking):

De betreffende onderzoeksvragen werden onderzocht met behulp van kweekvissen die vrijgelaten werden in het omloopkanaal. Deze vissen werden bovendien uitgerust met een PIT-zender zodat elke vis individueel gedetecteerd kon worden in de buizen, wanneer de vis zich in de buis bevond. Van deze kweekvissen werd enerzijds het percentage bepaald dat teruggevangen werd voorbij de stroboscooplampen in het Albertkanaal. Anderzijds werd de passage van de vissen bepaald met behulp van PIT-antennes in de buizen die vissen door de lichtwering moeten leiden.

Samenvatting aanpak onderzoeksluik 3 (gedrag van zilverpaling in het scheepvaartkanaal nabij de viswering):

De betreffende onderzoeksvraag werd onderzocht met behulp van akoestische telemetrie. Daarbij werden 30 wilde zilverpalingen voorzien van een zender en getraceerd in een netwerk van akoestische ontvangers in het Albertkanaal. Daarmee kon het zwemgedrag van paling in kaart gebracht worden door elke paar seconden de locatie van de dieren te bepalen tot op één tot twee meter nauwkeurig in de zone rond de viswering, direct stroomopwaarts van de scheepvaartsluizen (tweedimensionale, fijnschalige telemetrie). Op een grotere schaal werd het gedrag ook bepaald in de stroomafwaartse helft van heel het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt (eendimensionale telemetrie).

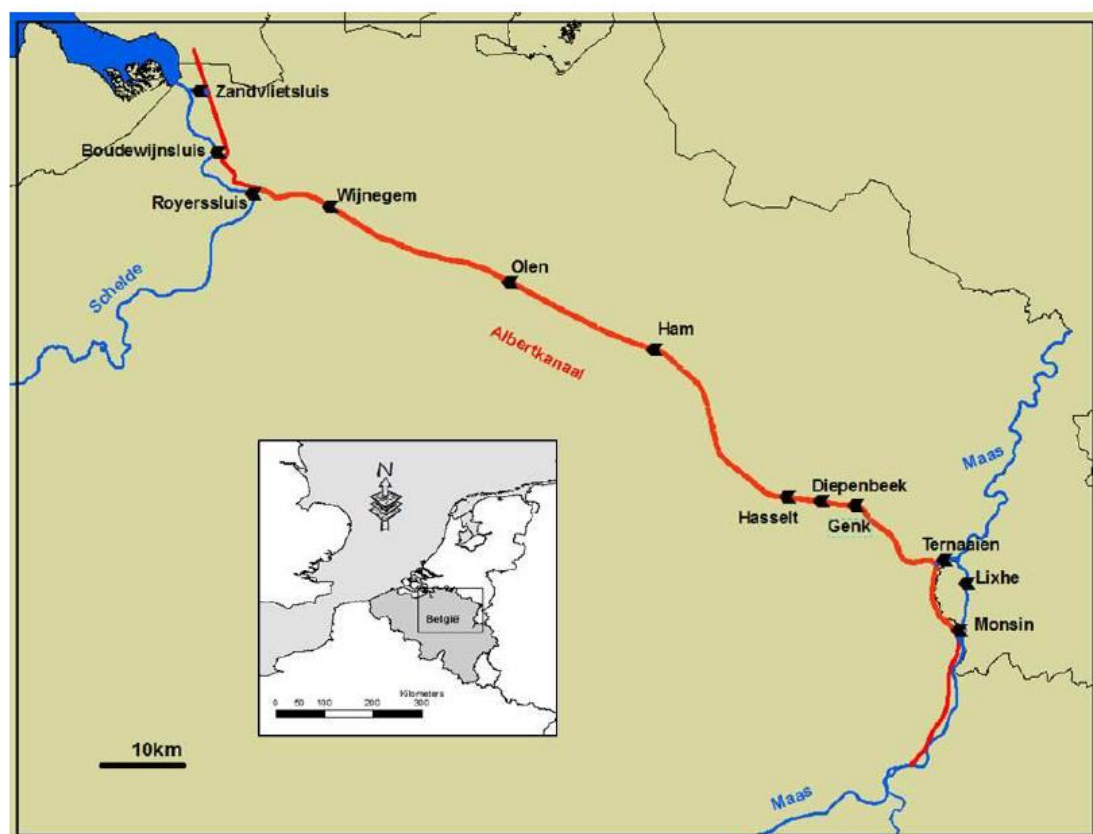
2 MATERIAAL EN METHODE

2.1 STUDIEGEBIED

2.1.1 Het Albertkanaal

De studie werd uitgevoerd aan het sluiscomplex van Hasselt op het Albertkanaal (Figuur 2). Het Albertkanaal, dat de Maas met de Schelde verbindt, is de belangrijkste economische waterweg in Vlaanderen. Met een totaal verval van 56 meter tussen Luik en Antwerpen, worden deze hoogteverschillen overbrugd door 6 sluiscomplexen: Genk, Diepenbeek, Hasselt, Ham, Olen en Wijnegem (Figuur 2). Elk complex overbrugt 10 meter hoogteverschil, behalve Wijnegem, dat de resterende 6 meter opvangt. Bijkomende informatie over het Albertkanaal, zoals het economische belang en de regeling van het debiet, werd beschreven in de inleiding van dit rapport (ga naar sectie 1.1 Kader).

Het sluiscomplex van Hasselt op het Albertkanaal is uitgerust met een pompinstallatie en waterkrachtcentrale (zie ook sectie 1.1 Kader) die naast het sluiscomplex ligt. Een omloopkanaal brengt water van het scheepvaartkanaal naar de pomp- en waterkrachtinstallatie (zie volgende sectie 2.1.2). De viswering die in deze studie geëvalueerd wordt, is geïnstalleerd aan de ingang/uitgang van dit omloopkanaal, waar het in het scheepvaartkanaal komt in het pand Diepenbeek-Hasselt (zie sectie 2.1.3).

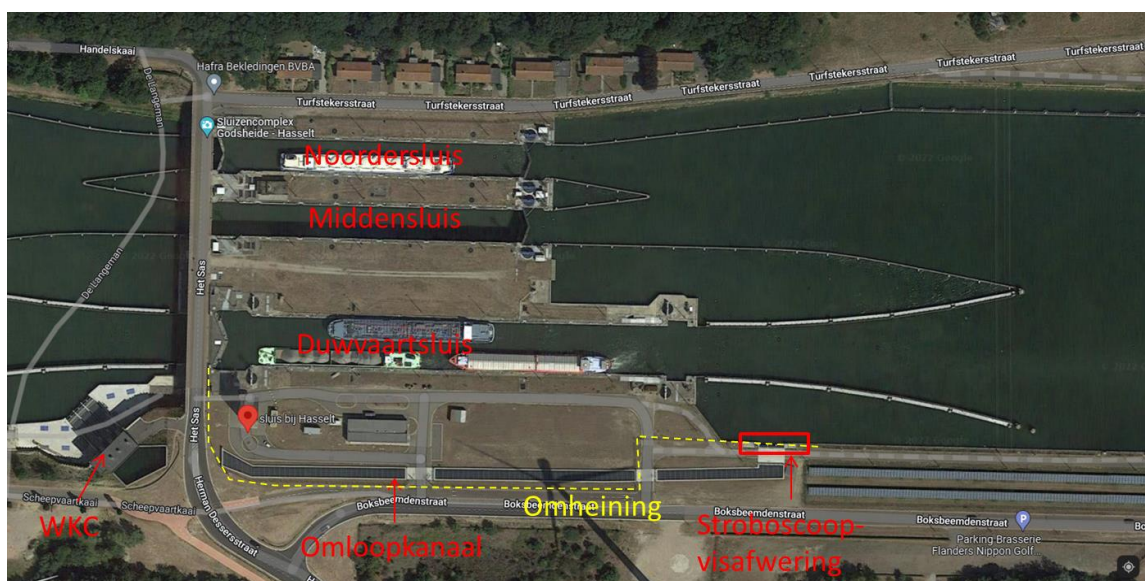


Figuur 2 Situering Albertkanaal met aanduiding sluiscomplexen (zwarte pijlen) (Bron: (Baeyens *et al.*, 2019))

2.1.2 De pompinstallatie en waterkrachtcentrale in Hasselt

De pompinstallatie en waterkrachtcentrale in Hasselt ligt naast het sluiscomplex op L inkeroever (Figuur 3). De installatie bestaat uit 3 open Archimedeschroeven (Figuur 4; en zie ook sectie 1.1). Een omloopkanaal parallel aan het sluiscomplex voert bij turbinewerking water aan vanuit het bovenliggende kanaalpand Diepenbeek-Ham (Maaskant) door de turbine naar het benedenstroomse kanaalpand Ham-Hasselt (Scheldekant; Figuur 3). Bij pompwerking gaat het water in de tegenovergestelde richting door dit omloopkanaal (van pand Ham-Hasselt (Schelde) naar pand Diepenbeek-Hasselt (Maas)).

De drie open Archimedesschroeven fungeren zowel als pomp als turbine. Bij pompwerking wordt elektrische energie gebruikt om de schroeven aan te drijven en bij turbinewerking wordt waterkracht gebruikt om de schroeven te doen draaien. Via een generator aan de draaiende schroefas wordt elektriciteit opgewekt. De Archimedesschroeven in Hasselt kunnen elk een debiet van 3, 4 en 5 m³/s pompen of turbineren.



Figuur 3 Luchtfoto studiesite met aanduiding van de Waterkrachtcentrale (WKC; linksonder op de luchtfoto), het omloopkanaal naar de WKC en de locatie van de visafwering met stroboscooplampen. Daarnaast staan ook de drie sluizen aangeduid. Een omheining sluit het sluiscomplex af voor bezoekers (gele stippellijn).



(a)

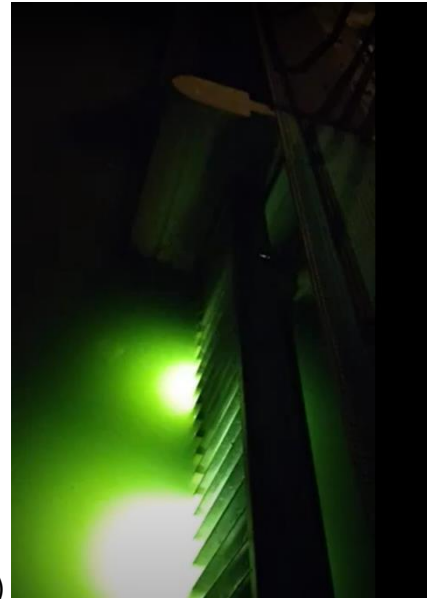


(b)

Figuur 4 Pompinstallatie en waterkrachtcentrale van Hasselt met drie open Archimedes-schroeven die zowel water kunnen pompen als turbineren. Respectievelijk pompen ze water van kanaalpand Ham-Hasselt (Scheldekant) naar kanaalpand Diepenbeek-Hasselt (Maaskant), en turbineren ze het water in de omgekeerde richting. Foto (a) werd getrokken aan de Scheldekant, dus stroomafwaarts van het sluiscomplex en de pompinstallatie en waterkrachtcentrale. Foto (b) werd getrokken vanaf het sluiscomplex (bron INBO).



(a)

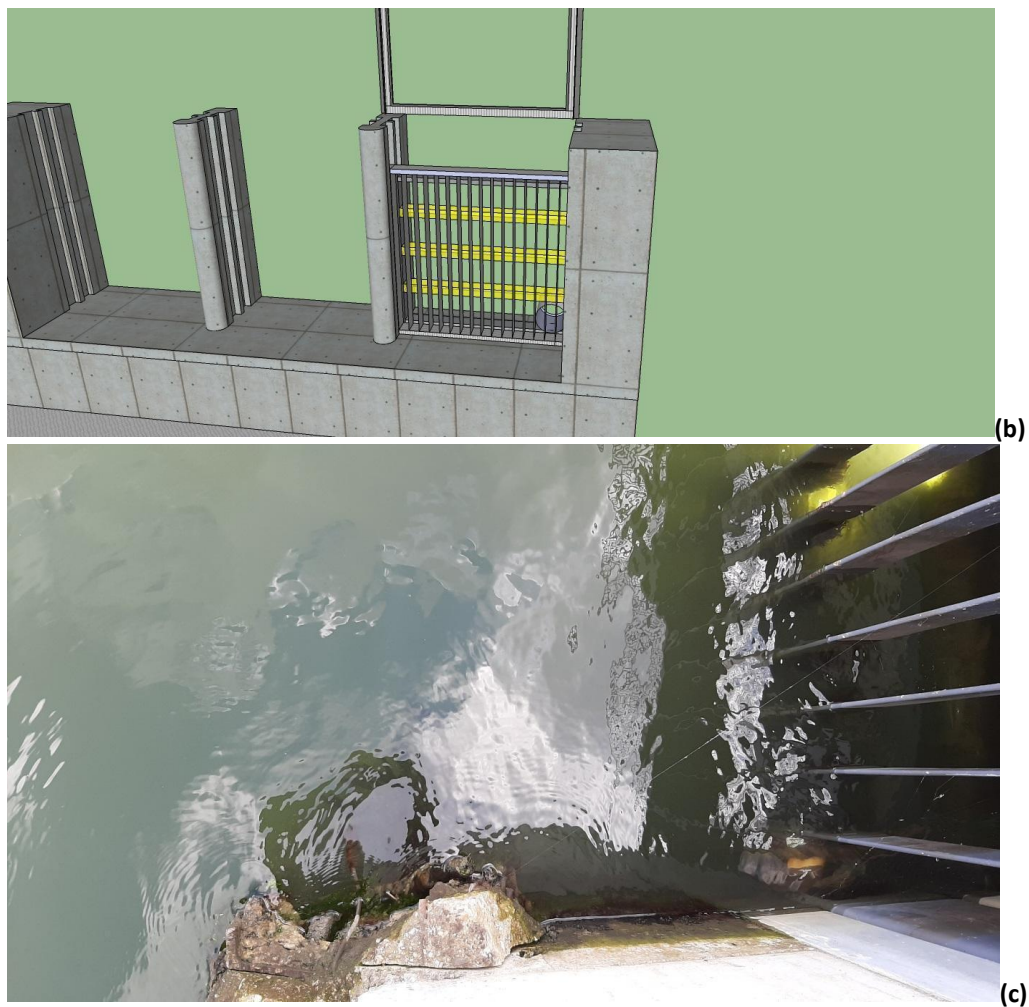


(b)

Figuur 6 Stroboscooplampen FishFlow Innovations te Hasselt Links: Omhoog getakeld bij daglicht (a). En de werking van de stroboscooplampen in het donker met zichtbaarheid van het krooshekken dat voor de lichten zit (b).



(a)



Tabel 1 Kenmerken van de viswering met stroboscooplampen te Hasselt (bron: <https://fishflowinnovations.nl>; mondelinge mededeling).

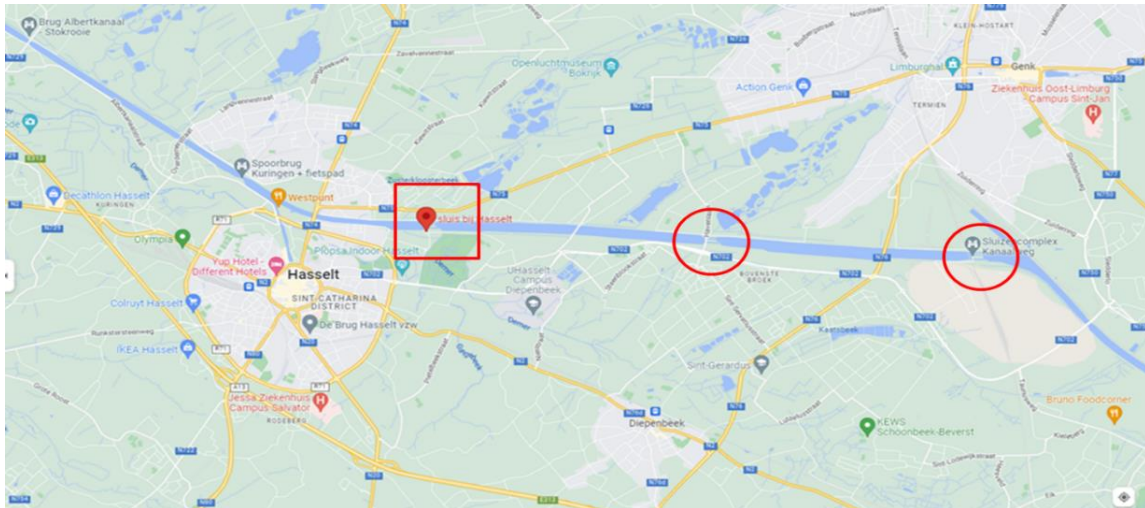
Type LED	FFI-12-I
Flitsenergie	300 W/s
Flitsfrequentie	1 Hz
Lichtkleur	Niet gekend*
Afmetingen	190x120x80mm

De stroboscoopverlichting schijnt in stroomopwaartse richting (Figuur 6). In principe staat de stroboscoopverlichting permanent aan omdat er op dit moment geen automatische sturing van de viswering is voorzien voor het aan- en uitzetten in functie van de turbinewerking en de pompwerking van de vijzels. Tevens heeft de permanente werking van de viswering tot doel om te vermijden dat vissen vanuit het bovenpand in het omloopkanaal zouden zwemmen en dit niet enkel bij turbinewerking. Wanneer de Archimedesvijzels immers overschakelen naar pompen (er zit altijd een bepaalde periode tussen het omschakelen), of wanneer ze niet draaien (ten gevolge van onderhoud of problemen met de installatie of omwille van het kanaalpeil), zwemmen er mogelijk toch vissen in het omloopkanaal en wanneer men dan begint te turbineren, komen de vissen in de vijzels terecht met mogelijke schade tot gevolg.

Tevens kunnen er bij pompwerking ook vissen vanuit het stroomafwaartse pand in het omloopkanaal terecht komen. Wanneer deze vissen in het omloopkanaal terechtkomen, moeten deze vissen het bovenpand kunnen bereiken terwijl de viswering in werking is. Via een buis kunnen deze vissen naar het bovenpand zwemmen (Figuur 8, Figuur 9). Deze buizen waren in het ontwerp voorzien om door het krooshekken te lopen en een bocht te maken weg van de lichtwering. Het was technisch uiteindelijk niet mogelijk om een doorsteek door het krooshekken te realiseren waardoor de buizen nu eindigen in de lichtzone van de viswering (Figuur 9).



Figuur 8 Foto's van de buis waarlangs vis uit het omloopkanaal moet zwemmen om de stroboscooplampen te passeren. De buis heeft een diameter van 300 mm, en is gemaakt uit Flowtite type Amiantit: GRP: Glass Fiber reinforced Plastic.



Figuur 10 Situering van het Albertkanaal in Hasselt t.o.v. de sluiscomplexen in Diepenbeek en Genk. Rood vierkant: Sluiscomplex Hasselt. Rode cirkels: links: sluiscomplex Diepenbeek, rechts: sluiscomplex Genk.

2.2 ONDERZOEKSLUIK 1: TURBINEPROEF

2.2.1 Fuikconstructie

Om te testen of vissen uit het omloopkanaal geweerd worden door de stroboscooplampen, werden vissen die het omloopkanaal inzwommen opgevangen in een fuikconstructie. Deze constructie werd geïnstalleerd op 85m van de stroboscooplampen in het omloopkanaal (Figuur 11). De fuik kon niet dicht genoeg bij de viswering geïnstalleerd worden omdat het omloopkanaal onmiddellijk na de viswering een bocht van 90° maakt.

De constructie bestaat uit een in het omloopkanaal passend metalen frame-box en een net die hieraan bevestigd wordt. De fuikconstructie heeft een opening van ongeveer 3,5 x 5 m en een maaswijdte van 10 mm. Achteraan (i.e. stroomafwaarts) werd de fuik voorzien van een Noors leefnet (i.e. een leefnet waarin de vissen vrij en ruim kunnen rondzwemmen). Het Noors leefnet werd bevestigd op een drijvend aluminium frame met vlotters, van waaruit de vissen na elke meting geïncubateerden. Voor het welzijn van de vissen is het Noors leefnet knooploos, wat ervoor zorgt dat vissen niet beschadigd werden door wrijving/schuren tegen het net (Foto 4). De plaatsing van de fuik gebeurt op de eerste en tweede meetdag. De fuik staat altijd in het omloopkanaal. Het legen van de fuik gebeurt altijd 23 uur na het plaatsen van de fuik, en dus op de tweede en derde meetdag.

vergelijkbaar waren tussen de viswering met lichten aan en viswering met lichten uit. Bovendien werd vermeden dat er zo een verschil in aanbod van vis per toestand was (t_0 of t_1). De trek van schieraal en andere vissen is namelijk geen constante, maar gebeurt in piekperiodes. Op die manier werden omgevingsvariabelen zoveel mogelijk constant gehouden en de invloed van potentiële randeffecten vermeden. Wanneer er niet gevestigd werd, werd de fuikconstructie omhoog getakeld.

De vangsten werden gestandaardiseerd door het aantal te delen door de gevestigde tijd zodoende een catch per unit effort (CPUE) te bekomen. Dit werd gedaan omdat twee meetcampagnes afweken van de 23 uur duurtijd. Eén keer was er een campagne van 20 uur en één keer van 22 uur duurtijd. Om alle metingen vergelijkbaar te maken, werden de aantallen dus bijkomend herrekend naar een standaardmaat van een aantal vissen per uur (CPUE) door het totaal aantal te delen door de duurtijd (in uren) van de meetcampagne. CPUE is een algemeen toegepaste maat voor het standaardiseren van visvangsten. Vervolgens werden de CPUE's van het aantal vissen en het aantal soorten vergeleken tussen stroboscooplampen aan en uit. Om het effect van de lampen op deze parameters te bepalen werd een gepaarde t-test gebruikt wanneer de parameter normaal verdeeld was voor zowel lichten aan als uit en de data homogene varianties had. Wanneer niet aan deze voorwaarden werd voldaan, werd het effect van de lampen op de parameter geanalyseerd met een gepaarde Wilcoxon rank-sum test.

Omdat viswering zeer soort-specifiek is, werd voor abundant gevangen soorten het effect van de stroboscooplampen op het aantal ook per soort onderzocht. Hiervoor werd op dezelfde manier te werk gegaan als voor het totaal aantal. Bovendien werd voor deze soorten de lengteklassen tussen lampen aan en uit vergeleken, door lengtefrequentie plots op te stellen en de lengtes te analyseren op dezelfde manier als hierboven beschreven werd.

Als bepaalde vissoorten effectief geweerd worden door de viswering zou men een minder diverse visgemeenschap (aantal vissen per soort en aantal soorten) vaststellen bij lampen aan in vergelijking met lampen uit. Om veranderingen in de visgemeenschappen vast te stellen, werd multivariate statistiek toegepast. Hiervoor werd de relatieve abundantie berekend waarna de Bray-Curtis dissimilariteitsmatrix werd geconstrueerd. Niet-metrische multidimensionale schaling (NMDS) werd toegepast om patronen van dissimilariteit in de visgemeenschap tussen stroboscooplampen aan en uit te visualiseren en te evalueren. Om te testen of de viswering een significant verschillende visgemeenschap veroorzaakt in het omloopkanaal, werd een permutatiele multivariate variantieanalyse (PERMANOVA) gebruikt. De p-waarde werd verkregen uit 999 permutaties.

2.3 ONDERZOEKSLUIK 2: POMPPROEF

2.3.1 Fuikconstructie

Om te testen of vissen uit het omloopkanaal kunnen ontsnappen naar het scheepvaartkanaal door de viswering, werden drie fuiken geïnstalleerd aan de uitstroomopening (bij pompen) van het omloopkanaal. Het omloopkanaal heeft aan het uiteinde drie naast elkaar gelegen in-/uitstroomopeningen (Figuur 9). In de drie openingen zijn langs beide kanten sponningen aanwezig waarin de drie lichtschermen en roosters werden geschoven. Om het volledig verpompte debiet op te vangen werd voor elk van de drie openingen een net/fuikconstructie voorzien (Figuur 13).

De constructie bestaat uit drie metalen geleidingskaders, en een net dat aan elk van deze kaders bevestigd werd. Het net had een maaswijdte van 10mm. Elk van de drie geleidingskaders werd

De uitgezette, gezenderde vissen die de viswering passeerden, werden terug opgevangen in een van de drie fuikconstructies die aan een van de drie uitstromingen van het omloopkanaal in het Albertkanaal werden geplaatst.

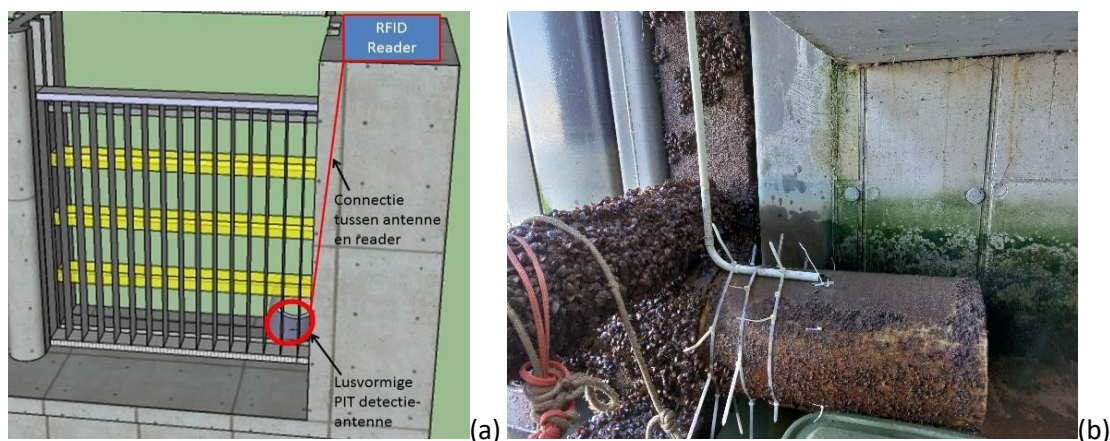
Gedurende de gehele proef werd gepompt met een constant debiet van 5m³/s. De eerste helft van de week stonden de stroboscooplampen aan. De tweede helft van de week stonden de lampen uit. De fuiken werden 23u na het uitzetten van de gekweekte, gezenderde vis gelegeerd en de vangst gecontroleerd met een draagbare PIT-antenne die de unieke ID van de zender registreert en zo de vis identificeert.

2.3.2.1 Installatie van de PIT-antennes op de passagebuizen

Met een kraan werden de stroboscooplampen omhoog getild zodat de vispassagebuizen konden worden voorzien van lusvormige PIT-antennes. De lusvormige antennes hadden dezelfde diameter als van de vispassagebuizen, namelijk 30 cm. De antennes zijn stroomkabels met een diameter van ongeveer 0.36mm. Deze PIT-antennes werden aan de binnenkant van de vispassagebuizen bevestigd (Figuur 14). Deze antennes bleven ter plaatse geïnstalleerd over de gehele meetperiode, inclusief het weekend volgend op de meetcampagne.

De 'reader' registreert de unieke codes van vissen met een zendertje (PIT-tag) wanneer die doorheen een lusvormige antenne zwommen (Figuur 14). Voor het functioneren van de reader was een stroombron van 12 tot 18 volt vereist. In dit onderzoek werd gebruikgemaakt van een herlaadbare batterij. Door de batterij via een adapter op het elektriciteitsnetwerk aan te sluiten werd de batterij permanent bijgeladen. Via een interne datalogger konden de registraties opgeslagen worden op een interne geheugenkaart.

Na de installatie van de antennes en de reader werd de installatie getest door handmatig een PIT zender langs de antennes te laten passeren. Als de PIT-tag niet geregistreerd werd, werden de antennes via de antenne-tuner verder afgesteld totdat de PIT-tag bij passage geregistreerd werd.



Figuur 14 Op het uiteinde van beide 'visbuizen' (i.e. linker- en rechteroever van het omloopkanaal) wordt een lusvormige PIT-detectie-antenne gemonteerd die de gezenderde vissen detecteert die via de buizen uit het omloopkanaal zwemmen. (a)Schematische weergave van de locatie van de PIT-antenne op de buis. (b)Foto van de geïnstalleerde PIT-antenne. De antenne-lus zelf zit in de buis en is op de foto niet te zien. Wel is het pvc-gootje te zien die de antenne tot in de buis brengt.

2.3.4 Data-analyse

In dit onderzoeksluik werd uitsluitend gebruik gemaakt van beschrijvende statistiek aangezien er onvoldoende aantal herhalingen werden uitgevoerd voor statistische analyses zoals de t-toets en de Wilcoxon-test. Voor de evaluatie van de vangstaantallen van gezenderde vissen werden de percentages van teruggevangen individuen berekend en vergeleken tussen situaties waarin de stroboscooplampen aan en uit stonden. Diverse vissoorten die als bijvangst werden gevangen, werden op dezelfde manier vergeleken.

Het gebruik van de vispassagebuizen door gezenderde vissen werd onderzocht door het percentage te berekenen van het aantal teruggevangen gezenderde vissen dat de vispassagebuis had gebruikt. Bovendien werd ook nagegaan of vissen in de buis verbleven zonder de viswering te passeren, en of dit verschilde tussen een toestand met lampen aan (t1) en met lampen uit (t0).

2.4 ONDERZOEKSLUIK 3: ZILVERPALINGGEDRAG BIJ VISWERING TIJDENS TURBINEREN

2.4.1 Opstelling

De effectiviteit van de viswering werd (zoals eerder aangegeven in sectie 1.6 Doel van de studie) ook geëvalueerd met een gedragsstudie van wilde zilverpaling in de nabijheid van de stroboscooplichtwering. Het gedrag werd onderzocht met akoestische telemetrie. Daarbij werd een akoestische zender in de buikholte van 30 zilverpalingsen geplaatst, die gevangen werden in het scheepvaartkanaal stroomopwaarts van de sluiscomplexen van Diepenbeek en Genk (zie ook sectie 2.4.2). De ID van de zender werd gedetecteerd en gelogd door akoestische ontvangers (zie volgende sectie 2.4.2.1), en de detecties werden omgerekend naar visposities met een precisie van ongeveer een meter.

De gezenderde vissen werden in het scheepvaartkanaal uitgezet aan dezelfde oever als waar de viswering zich bevindt (rechteroever), ongeveer 600 m stroomopwaarts in het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt (Figuur 17).

Wanneer paling stroomafwaarts trekt richting zee, zwemt hij met de stroming mee. Bij turbinewerking is de kans dan ook groter dat ze in het omloopkanaal terecht komen. Om deze situatie zoveel mogelijk na te bootsen tijdens de studie, werd in de periode tussen de uitzetting van de eerste gezenderde tot de laatste gezenderde paling zoveel mogelijk geturbineerd aan een constant debiet van $5\text{m}^3/\text{s}$. Zo werd een constante stroming gecreëerd naar de viswering toe (en dus van het scheepvaartkanaal in het omloopkanaal).

2.4.2 Fijnschalige positionering van vissen met akoestische telemetrie

Akoestische telemetrie in de aquatische omgeving is net als spreken en luisteren onder water. De spreker is de akoestische zender, die met een bepaalde frequentie zijn unieke ID uitzendt (Figuur 16). De luisteraars zijn de akoestische ontvangers. Akoestische ontvangers zijn toestellen met een antenne (Figuur 16). De antenne kan de ID van de akoestische zenders detecteren. De ontvanger logt deze detecties en de precieze timing van de detectie op basis van een interne klok.

Rond elke ontvanger-antenne is er een sferische zone waarbinnen de zenders gehoord kunnen worden, dat wordt de detectiezone genoemd. De grootte van die zone wordt de detectierange genoemd en de grootte van deze zone is onderhevig aan omgevingsvariabelen en de sterkte van

www.vlaanderen.be/inbo doi.org/10.21436/inbor.123278641 Pagina 55 van 161



www.vlaanderen.be/inbo doi.org/10.21436/inbor.123278641 Pagina 55 van 161

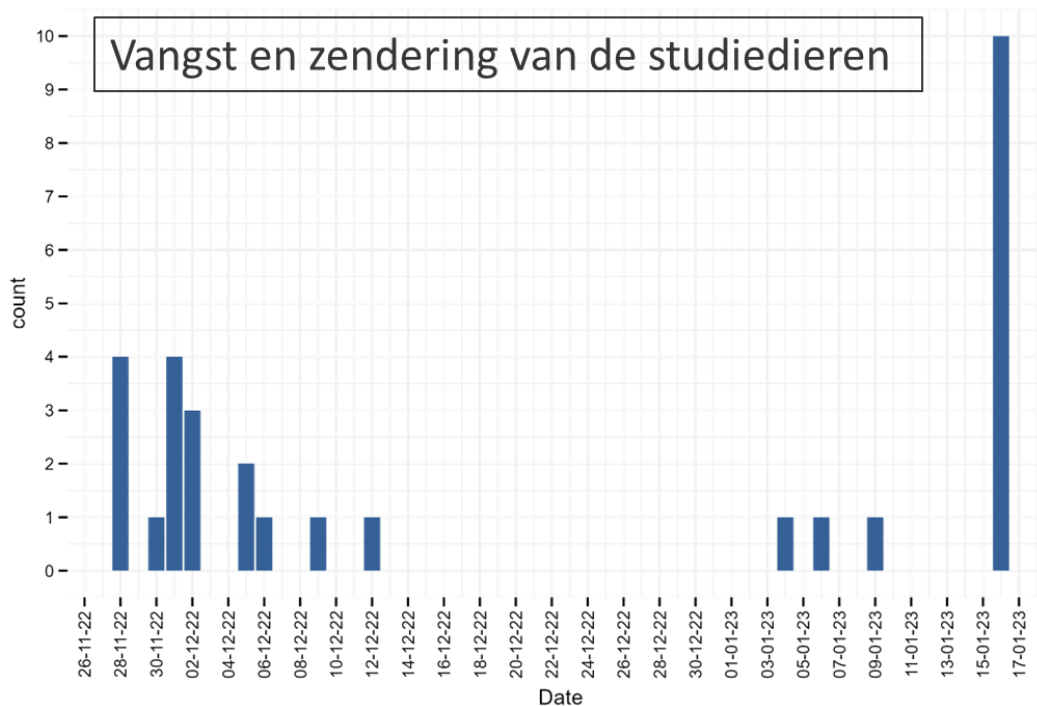
gehoord/gedetecteerd worden door de ontvanger. (c) Schematische weergave van de werking van **fijnschalige telemetrie (ook tweedimensionale telemetrie genoemd)**, waarbij door middel van de detectie van een zender op minstens drie ontvangers tegelijk en trilateratie berekeningen, de precieze positie bepaald kan worden van de zender in het netwerk van ontvangers.

Omdat de vissen met deze techniek toch redelijk nauwkeurig en ook aan een frequentie van enkele seconden gepositioneerd kunnen worden, spreken we van fijnschalige telemetrie. Het onderscheidt zich van evaluaties waarbij detectiezones van ontvangers niet overlappen en men bijgevolg enkel de aanwezigheid kan bepalen in de buurt van een ontvanger en niet de precieze locatie. Deze laatste manier noemt men ook wel **ééndimensionale telemetrie**, omdat men beweging van aquatische soorten slechts in één dimensie kan bepalen (aan- of afwezigheid op een bepaalde plek). In deze studie werden de **palingen fijnschalig getraceerd in de zone nabij het sluiscomplex** en de viswering, maar werden ze bovendien ééndimensionaal getraceerd in de rest van het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt. Deze 1D-telemetrie geeft inzicht in het algemene migratiegedrag van de 30 bestudeerde zilverbalingen in het scheepvaartkanaal tussen de sluiscomplexen van Hasselt en Diepenbeek. Bovendien werd 1D-telemetrie toegepast om te evalueren of de palingen het sluiscomplex van Hasselt gepasseerd waren of niet. Dat gebeurde via de detectie op 2 ontvangers stroomafwaarts van het sluiscomplex in het pand Ham-Hasselt (Figuur 17).

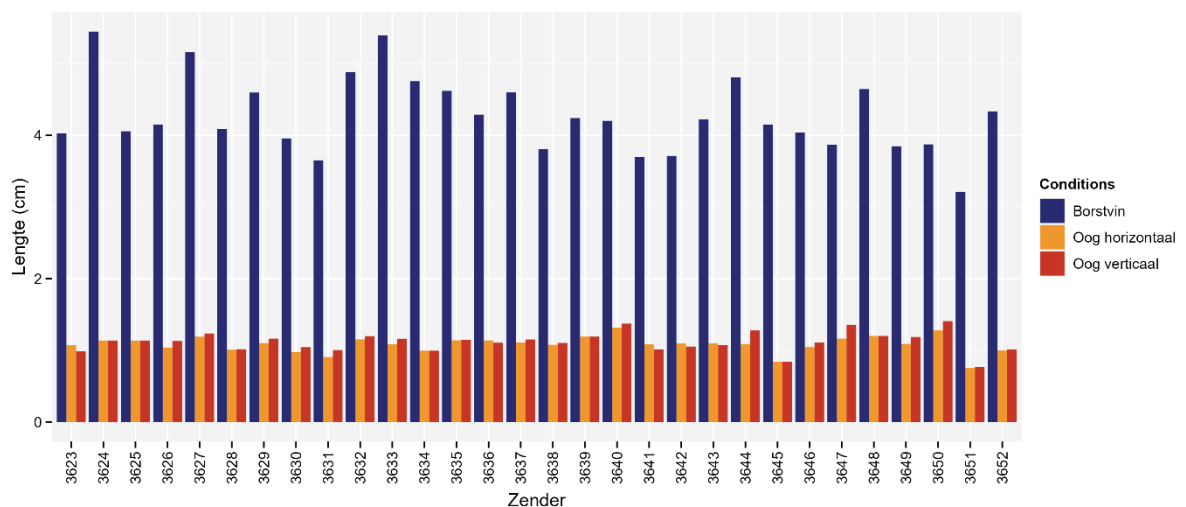
2.4.2.1 Plaatsing van ontvangers

Om de precieze posities te kunnen bepalen van de gezenderde zilverbalingen werd een netwerk van akoestische ontvangers opgesteld in een zone van **170 x 400 meter rond de viswering** net stroomopwaarts van het sluiscomplex (Figuur 17). De detectiezones van deze ontvangers overlaptten zodat de vissen hier **fijnschalig getraceerd** konden worden. Specifiek werden in deze zone 10 ontvangers opgesteld na een grondige test-opstelling waarin de werking van het systeem werd nagegaan (Figuur 17). De precieze locatie van deze ontvangers werd opgemeten met zeer nauwkeurige gps-toestellen van de universiteit van Tallinn (Centre for Biorobotics; prof. Jeffrey Tuhtan). De precisie van de lokalisatie van deze toestellen is bepalend voor de precisie van de uiteindelijke visposities. Daarom werd geopteerd voor een gps-meettoestel dat tot op de centimeter nauwkeurig meet.

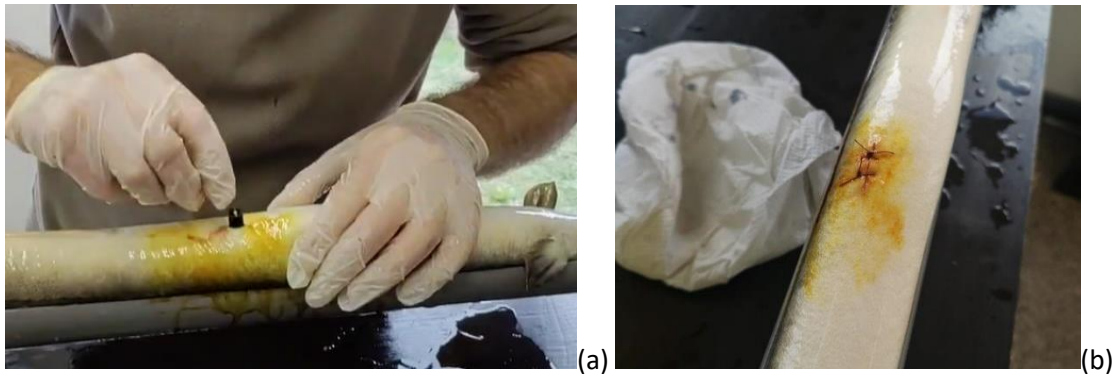
Enkele andere ontvangers werden verder uit elkaar geplaatst (niet overlappende detectiezones) om algemeen de aan- of afwezigheid in bepaalde zones van het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt te bepalen. Twee ontvangers werden stroomafwaarts van het sluiscomplex van Hasselt geplaatst om de aan- of afwezigheid in het kanaalpand Ham-Hasselt na te gaan (en zo passage van het sluiscomplex). Deze twee ontvangers coverden met hun detectiezones samen de breedte van het scheepvaartkanaal, zodat gezenderde paling niet zonder detectie kon passeren (Figuur 17).



Figuur 18 Aantal (count) wilde zilverpalingen per vangstdatum (Date), gevangen met dubbele schietfuisen direct stroomopwaarts van de scheepvaartsluizen in Genk of Diepenbeek.



Figuur 19 Biometrische data van de 30 gezenderde palingen (unieke zender-ID van ieder individu in de x-as). De biometrische data (lengte borstvin en diameter van het oog) werden gebruikt om het levensstadium van de palingen te bepalen volgens Durif et al. 2005. Voor deze studie was het noodzakelijk om enkel paling te zenderen die zich in het migratorisch stadium bevonden (FIV en FV, zie Tabel 3 en [Durif et al., 2005](#)). Enkel paling 3651 bevond zich nog niet in het migratorisch stadium, maar in het pre-migratorisch stadium (FIII stadium) door de kleinere oogdiameter en lengte van de borstvin.



Figuur 21 Zendering van zilverpaling. (a) plaatsing van de zender in de buikholte na een kleine incisie in de spierlaag en buikwand. (b) hechting van de snede na het inbrengen van de zender in de buikholte.

De detectiefiles van de (geselecteerde) ontvanger in iedere zone werden geanalyseerd in de software R (R Core Team, 2024) met behulp van het R package Actel (Flávio & Baktoft, 2021). In het Actel-package werden de volgende zaken opgehelderd op basis van de detecties op de ontvangers in de verschillende zones van het kanaal (ééndimensionaal):

- in welke zone van het kanaal elk dier zich bevond per dag en het traject per gezenderde paling werd weergegeven in een grafiek;
- of een dier uittrok en (indien wel) wanneer;
- wanneer de palingen algemeen actief waren, door te kijken naar de momenten waarop de detecties wisselden van de ene naar een andere zone in het kanaal. En deze analyse werd zowel gedaan voor heel de studieperiode om te kijken of de palingen in sommige weken of maanden meer actief waren, als over een etmaal om te kijken of de palingen nachtactief waren.

2.4.4.2 Tweedimensionale gedragsanalyse

Het tweedimensionale gedrag werd geëvalueerd zoals uitgelegd in de sectie over de fijschalige telemetrie (sectie 2.4.2). Het fijschalige gedrag gaf ons antwoorden op de vragen hoe vaak een gezenderde paling in de buurt van de viswering kwam en hoe hij zich daar gedroeg.

De berekening van de precieze locatie van ieder gezenderdier om de paar seconden is complex. Ze werden uitbesteed aan SJE Ecohydraulics, een ingenieursbureau gespecialiseerd in ecohydrologisch onderzoek in rivieren. Dr. Ir. Ianina Kopecki ontwikkelde een methode om met behulp van trilateratie de posities te bepalen, en er ook de precisie aan toe te kennen. De lokalisatie gebeurt op basis van de detecties van de palingzenders op de ontvangsttoestellen in het tweedimensionale netwerk direct stroomopwaarts van het sluiscomplex en rond de viswering. De methode wordt op het moment van schrijven van dit rapport nog neergeschreven ter publicatie in een A1 wetenschappelijk tijdschrift.

2.4.4.2.1 Analyse van het fijschalige gedrag

De locaties werden door SJE Ecohydraulics (Ianina Kopecki) aangeleverd in QGIS. In die software werden ze vervolgens door INBO geanalyseerd. Elke locatie heeft een specifiek tijdstip. Met behulp van een tijdsschuifbalk in QGIS analyseerden we het gezwommen traject van de palingen in de zone direct stroomopwaarts van de scheepvaartsluizen en rond de viswering. We duiden het gezwommen traject nabij de viswering aan met een handmatig getekende lijn om de beweging van de gezenderde palingen te verduidelijken (zie resultaten).

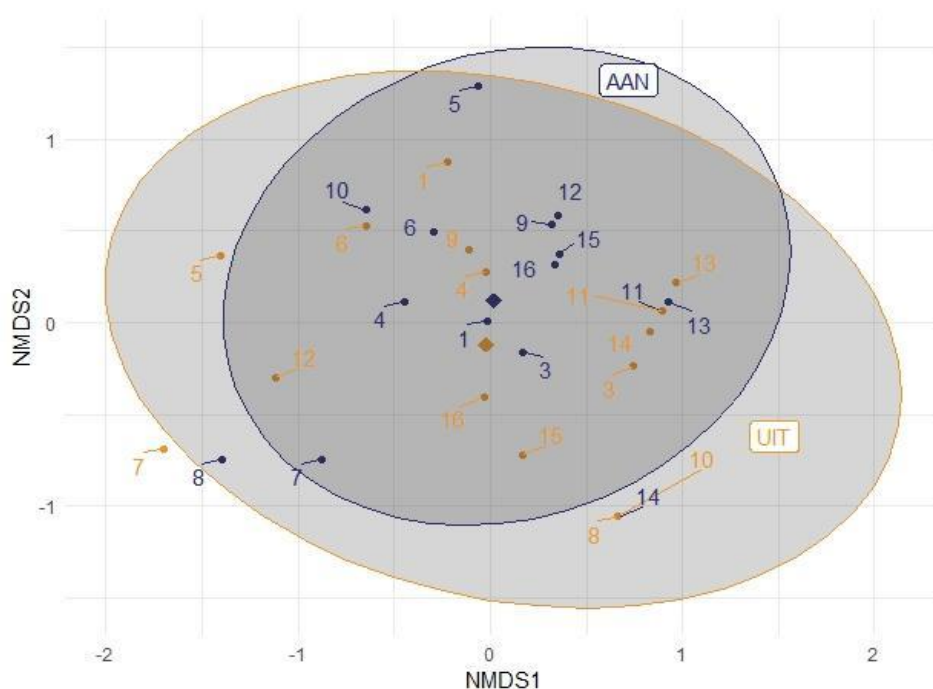
Tot slot zetten we de momenten dat een paling de viswering naderde uit op een grafiek waarop we ook het debiet tonen en de toestand van de viswering (aan- of uit).

3 RESULTATEN

3.1 ONDERZOEKSLUIK 1: TURBINEPROEF

3.1.1 Effect van stroboscooplampen op de visgemeenschap in het omloopkanaal

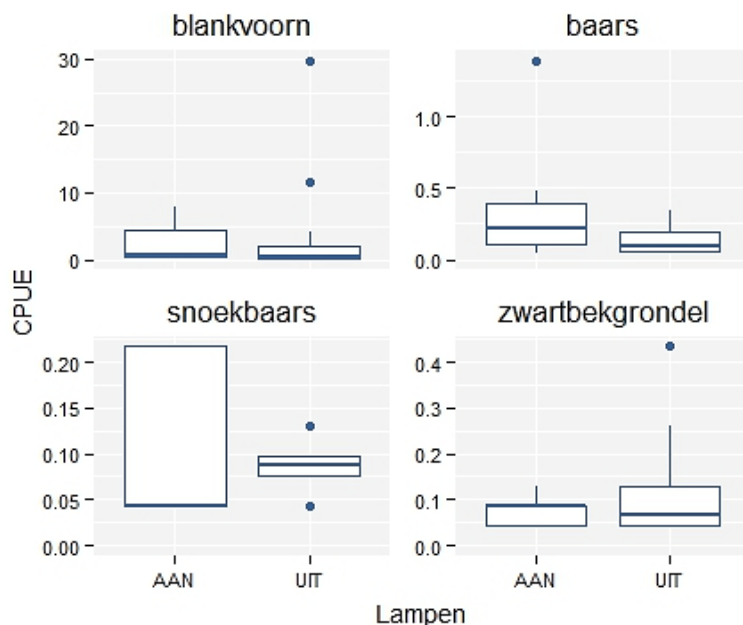
De PERMANOVA uitgevoerd op de Bray-Curtis dissimilariteitsmatrix van de visgemeenschaps-samenstelling bij stroboscooplampen aan en uit is niet significant verschillend ($p = 0,136$; Globale $R^2 = 0,73$). Zoals geïllustreerd wordt door de clusters die werden gevormd in de verkregen NMDS-plot (stress = 13%), overlappen de gemeenschappen. Bovendien geeft deze NMDS-plot ook de hoge variabiliteit weer binnen elk scenario. Deze variabiliteit wordt mede veroorzaakt door de staalnamen en dus de periode waarin metingen plaatsvonden ($p = 0,001$, $R^2 = 0,69$) (Figuur 23).



Figuur 23 NMDS-plot van de visgemeenschappen (cirkels). De gele en paarse ruit geeft de gemiddelde samenstelling van de bijhorende gemeenschap weer. De gele en paarse punten (met bijhorende cijfers) geven de staalnamen weer in blauw en geel voor respectievelijk stroboscooplampen aan en uit.

Echter overlappen de gemeenschappen niet volledig, wat wil zeggen dat er een aantal (niet-significante) verschillen zijn tussen de twee gemeenschappen. Figuur 24 met de absolute abundantie per soort vat de verschillen in soortensamenstelling samen. In deze figuur valt meteen op dat blankvoorn (*R. rutilus*) het meest abundant is bij zowel lampen aan (n = 832) als uit (n = 1205), maar het vaakst voorkomt bij lampen uit. Ook zwartbekgrondel (*Neogobius melanostomus*) werd vaker gevangen als de lampen uit stonden (aan n = 12; uit n = 24). Er waren ook soorten die vaker werden gevangen wanneer de stroboscooplampen aan stonden, namelijk:

0,1; range: 0,4 – 0,2), wat vergelijkbaar was met het scenario waarin de lampen uit waren, met een gemiddelde van 0,1 vissen per uur (SD: 0,04; range: 0,1 – 0,13) (Figuur 26: linksonder). Bij zwartbekgrondel bedroeg het gemiddelde CPUE bij ingeschakelde lampen 0,07 vissen per uur (SD: 0,03; range: 0,04– 0,13), wat vergelijkbaar was met het scenario waarin de lampen uit waren, met een gemiddelde van 0,13 vissen per uur (SD: 0,14; range: 0,04– 0,4) (Figuur 26: rechtsonder).



Figuur 26 Boxplot van de vergelijking tussen stroboscooplampen aan en uit voor het aantal vissen per uur per soort. CPUE betekent Catch Per Unit Effort en geeft het aantal gevangen vissen, maar rekening houdend met het aantal uren dat er gevangen werd. Het is een manier om de vangstinspanningen die afwijken van de vooropgestelde 23 uur (vb. test over 22 uur of test over 24 uur) te standaardiseren en vergelijkbaar te maken.

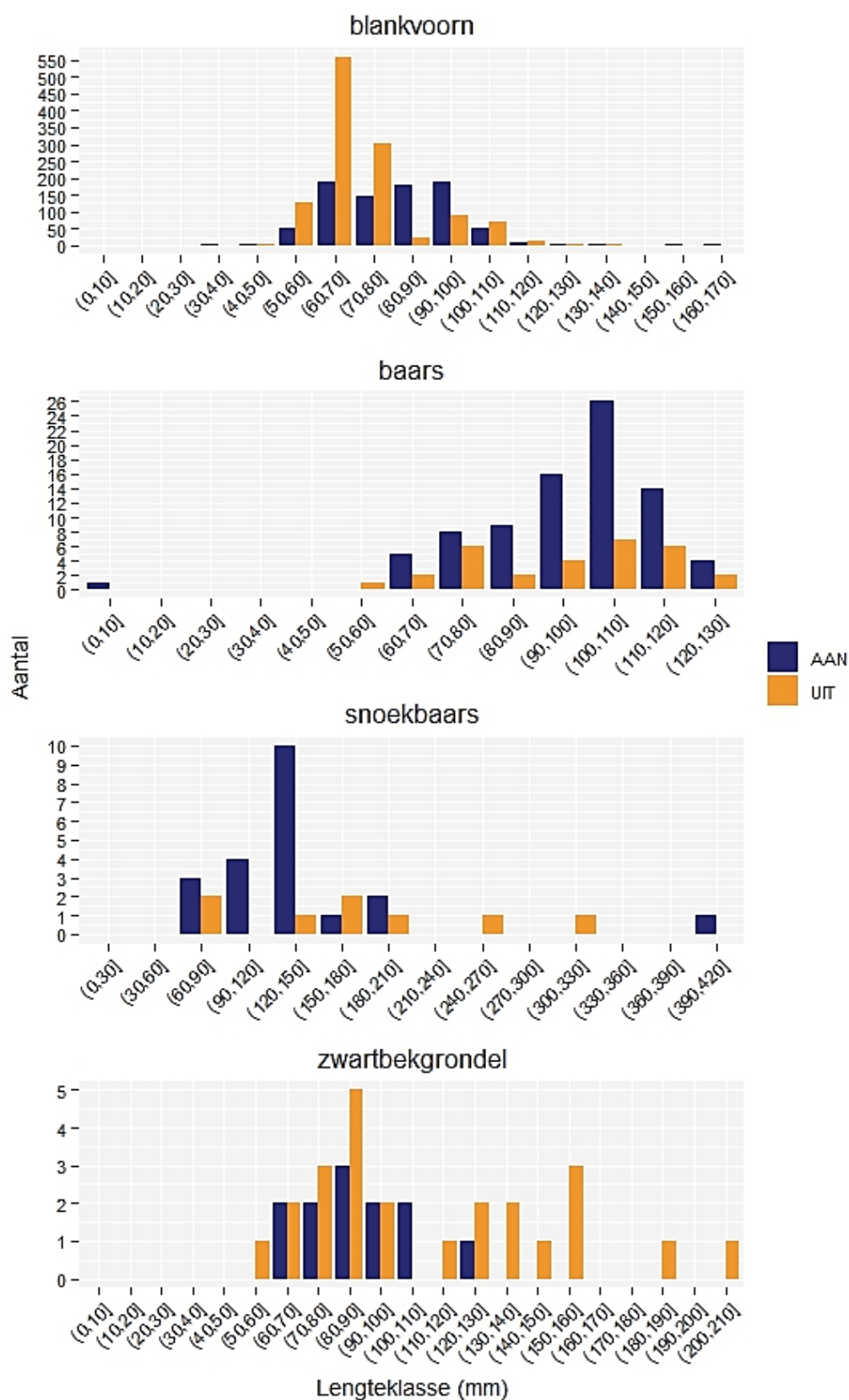
3.1.3 Lengte-specifieke effectiviteit van stroboscooplampen bij turbinewerking

De lichtwering kan niet alleen soort-specifiek werken, maar ook lengte-specifiek. Kleinere of grotere vissen kunnen een verschillende reactie vertonen op de lichtwering als gevolg van verschillen in hun gezichtsvermogen of bijvoorbeeld leergedrag. Daarom analyseerden we ook verschillen in lengte-klassen per soort tussen de situatie met lampen aan en lampen uit. Figuur 27 toont deze lengteverdeling per soort bij stroboscooplampen aan en uit. Van blankvoorn werden meer vissen gevangen van een kleinere lengteklasse wanneer de stroboscooplampen uit stonden, en dat werd ook weerspiegeld in de gemiddelde lengtes. Zo bedroeg de gemiddelde lengte voor blankvoorn 81 mm (SD: 16; range: 7 – 165) wanneer de stroboscooplampen aan stonden, en 72 mm (SD: 15; range: 14,5 – 158) wanneer ze uitstonden. De gemiddelde lengte bij stroboscooplampen uit was significant groter dan bij lampen aan (Wilcoxon-test, $p = 2.2 \times 10^{-16}$).

Van baars werden meer grote individuen gevangen bij stroboscooplampen aan. Echter, de gemiddelde lengte is vergelijkbaar tussen stroboscooplampen aan en uit (Wilcoxon-test, $p = 0,90$) met respectievelijk 97 mm (SD: 18; range: 8– 127) en 97 mm (SD: 18; range: 57– 128). De uitschieter met een lengteklassen van [0,10] (Figuur 27) heeft geen invloed op het resultaat aangezien bij verwijdering van deze uitschieter het verschil ook niet significant is (Wilcoxon-test, $p = 0,91$).

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

Van zwartbekgrondel werden er grotere individuen gevangen bij stroboscooplampen uit (in tegenstelling tot blankvoorn) (Figuur 27). Echter, de gemiddelde lengte is niet significant verschillend tussen stroboscooplampen aan en uit (Wilcoxon-test, $p = 0,20$) met respectievelijk 90 mm (SD: 19; range: 63–129) en 112 mm (SD: 40; range: 60–203).



Figuur 27 Lengtefrequentieverdeling bij stroboscooplampen aan en uit voor de soorten waarvan n>8.

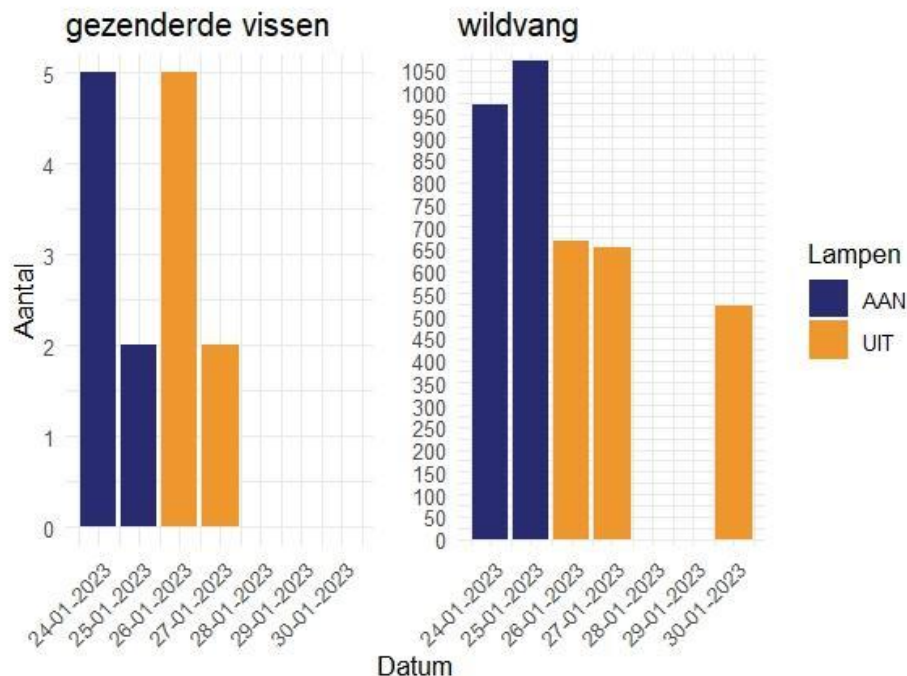
3.2 ONDERZOEKSLUIK 2: POMPPROEF

3.2.1 Effect van stroboscooplampen op stroomopwaartse vismigratie richting het Albertkanaal

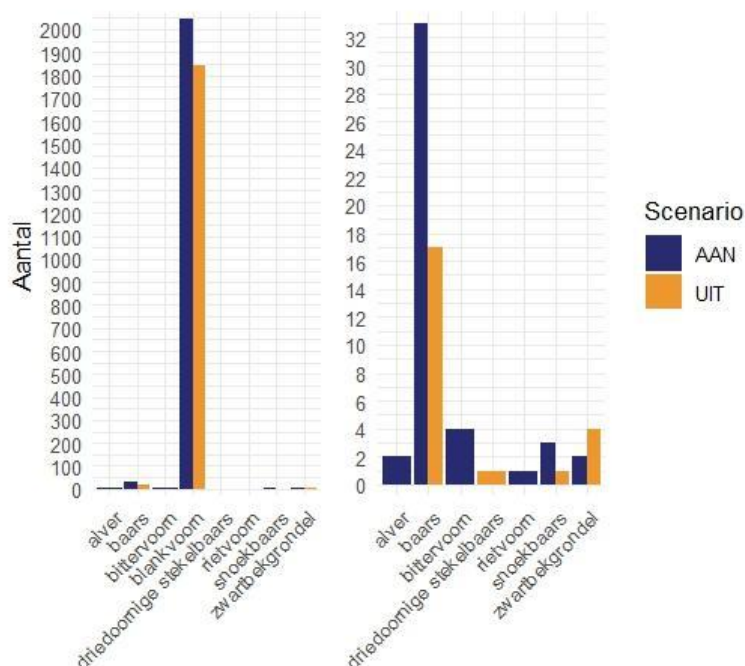
Van de 500 gezenderde vissen werden er maar 14 (0.03%) teruggevangen. Voor zowel stroboscooplampen aan als uit werden er 7 gezenderde individuen teruggevangen. Er kon dus geen verschil in vangstaantallen worden waargenomen tussen lampen aan of uit (Figuur 28: links).

Figuur 29 geeft een overzicht van de abundantie per soort die werden gevangen als bijvangst (i.e.: niet gezenderde vissen die van nature in het kanaal zitten). In deze figuur valt meteen op dat blankvoorn het abundantste is bij zowel lampen aan ($n = 2044$) als uit ($n = 1844$), maar het vaakst voorkomt bij lampen aan. Ook baars (aan $n = 33$; uit $n = 17$) en snoekbaars (aan $n = 3$; uit $n = 1$) werden vaker gevangen als de lampen aan stonden. Er was ook een soort die vaker werd gevangen wanneer de stroboscooplampen aan stonden, namelijk: zwartbekgrondel (aan $n = 4$; uit $n = 2$). De soorten alver ($n = 2$), bittervoorn ($n = 4$) en rietvoorn ($n = 1$) werden enkel gevangen wanneer de stroboscooplampen aan stonden. Driedoornige stekelbaars ($n = 1$) daarentegen werden enkel gevangen wanneer de stroboscooplampen uit stonden.

Ondanks de aanzienlijke aantallen blankvoorns als bijvangst, kan op basis van deze dataset geen vergelijkende statistische analyse worden uitgevoerd. Dit komt doordat het aantal herhalingen bij het gebruik van stroboscooplampen ($n = 2$) en zonder ($n = 3$) te laag is ($n < 5$) (Figuur 28: links). Vanwege dit beperkte aantal herhalingen konden de vereiste assumptietoetsen voor een t-toets niet worden uitgevoerd, en was het ook niet mogelijk om een betrouwbare Wilcoxon-test uit te voeren.



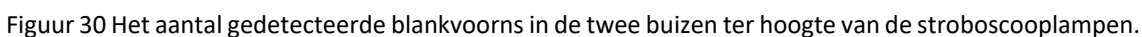
Figuur 28 Overzicht van de vangstaantallen voor blankvoorn bij pompwerking met stroboscooplampen aan en uit. Links: weergaven van terugvangst van gezenderde blankvoorns. Rechts: weergaven van wildvang van blankvoorns.



Figuur 29 Overzicht van de vangstaantallen per soort bij pompwerking met stroboscooplampen aan en uit. Links: weergaven met blankvoorn. Rechts: weergaven zonder blankvoorn

3.2.1.1 Vispassagebuizen bij stroboscooplampen

Geen van de veertien (0%) teruggevangen, gezenderde vissen maakte gebruik van de buizen om van het omloopkanaal voorbij de lichtwering in het Albertkanaal te geraken. Desalniettemin dient te worden opgemerkt dat er wel gezenderde blankvoorns in de buizen gedetecteerd zijn, maar deze vissen zijn niet in de netten gevangen. Dat betekent dat ze de buizen vermoedelijk gebruiken als schuilplaats, want ze zwommen er met zekerheid niet doorheen. Bovendien werden er meer individuen in de buizen aangetroffen wanneer de lampen aanstonden, wat deze hypothese verder onderbouwt. Figuur 30 biedt een samenvatting van de hoeveelheid verschillende blankvoorns die in de buizen werden gedetecteerd. Het is opmerkelijk dat de detecties hoger zijn wanneer stroboscooplampen aanstaan.



3.3.1 Eéndimensionaal (algemeen) gedrag

De negen palingen die de scheepvaartsluizen konden passeren deden dat op verschillende momenten tijdens de studieperiode en werden op de ontvangers stroomafwaarts slechts kort gedetecteerd (Tabel 4). Uit de detecties en verblijftijd stroomafwaarts van de scheepvaartsluizen in Hasselt is niet op te maken of de dieren dood of levend waren ten gevolge van de sluispassage. Bij ingang in de sluizen waren ze allemaal levend.

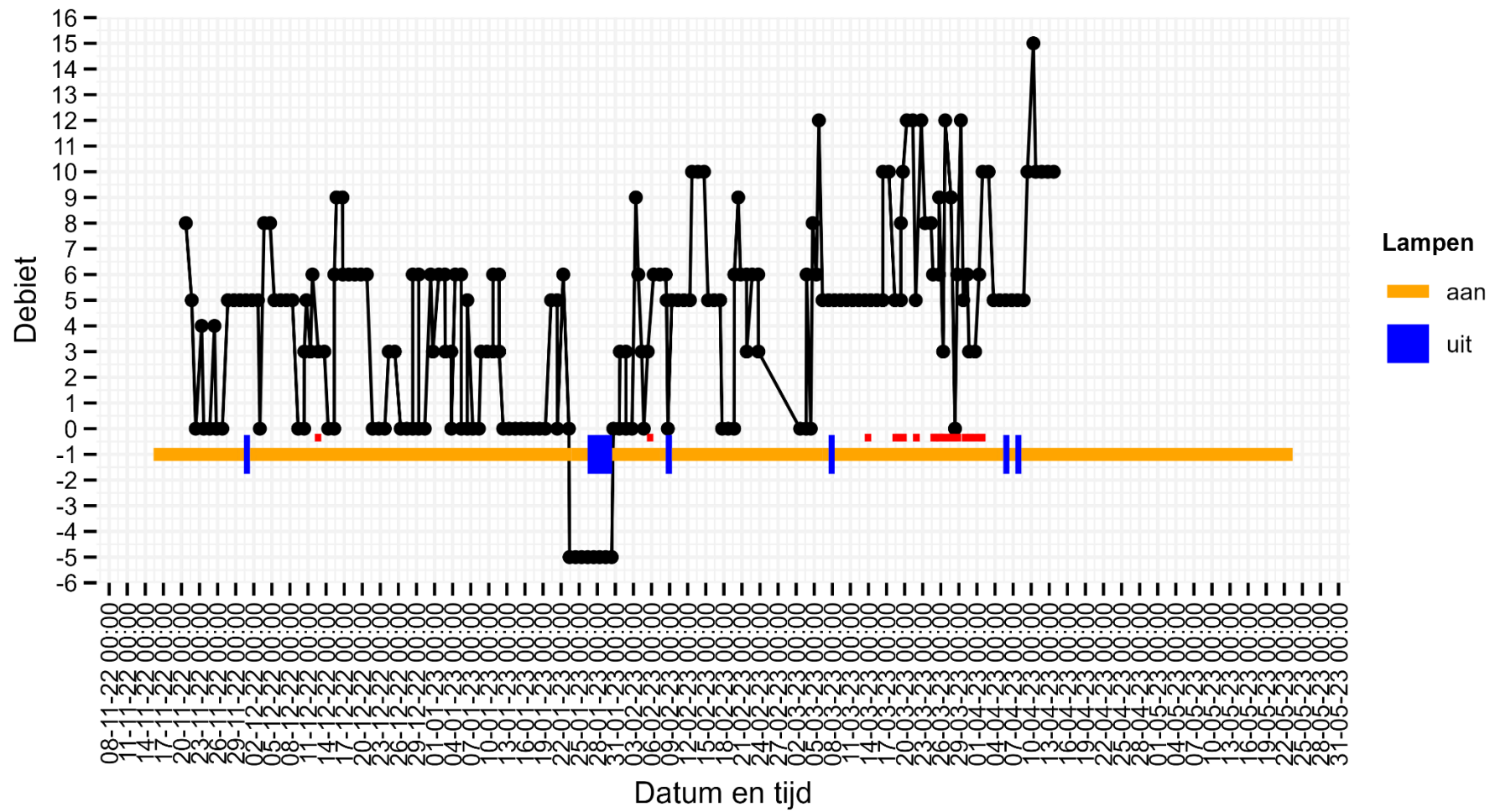
3.3.2 Tweedimensionaal (fijnschalig) gedrag

De timing van de benadermomenten kwam ook voornamelijk overeen met deze langdurige regenperiode in maart. Slechts twee van de 31 keer zwom een paling vóór maart naar de viswering toe. Deze observatie gold niet alleen voor het benaderen van de viswering, maar voor het zwemgedrag van de palingen in de 2D-array van ontvangers algemeen (Tabel 5). Hoewel de dieren op 16 januari allemaal gezenderd waren, trad het meeste zoekgedrag in de 2D-array pas op in maart. Wanneer gezenderde palingen in december, januari en/of februari in de 2D-array verschenen was dat meestal in de dagen na hun vrijlating. De locatie van vrijlating na zending bevond zich 650 m stroomopwaarts van de viswering aan dezelfde oever (linker oever; dat is in zone SO 2 van het studiegebied; Figuur 17 en Figuur 22).

Vijf daarvan zijn er uiteindelijk in geslaagd om voorbij de scheepvaartsluizen te geraken richting Antwerpen. Vier van deze vijf vissen deden elk één poging om langs het omloopkanaal stroomafwaarts te gaan. Eén dier deed vier pogingen en naderde de viswering vier keer tot op ongeveer twee tot vier meter. Ze werden alle vijf succesvol verhinderd om stroomafwaarts te gaan langs de WKC (Tabel 4, Tabel 5 en Figuur 35 tot en met Figuur 63 in de bijlage).

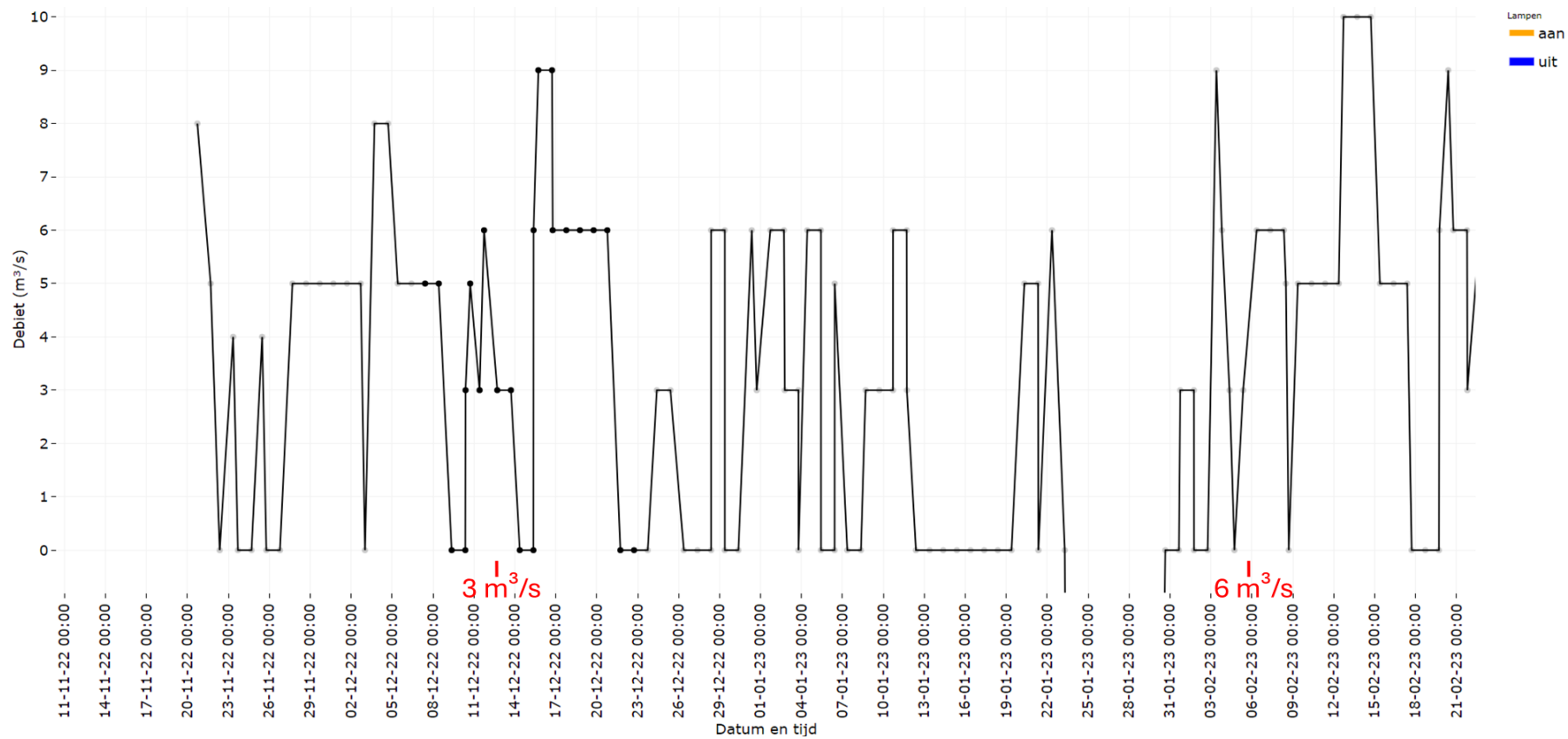
De andere 8 dieren die de viswering benaderd hebben tijdens de studieperiode, geraakten niet stroomafwaarts voorbij de scheepvaartsluizen en zaten op 6 april 2023 nog allemaal in het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt. Van deze acht dieren waren er slechts twee die slechts één keer de viswering genaderd zijn. De overige zes zijn meerdere keren (tot 3, 4 en 8 keer) de viswering genaderd tijdens hun zoektocht stroomafwaarts in de array van ontvangers (Tabel 5). Op één dier na werden ook al deze zilverbalingen afgeschrikt door de stroboscooplichten. Die ene baling kan door de viswering gezwommen zijn, maar dat konden we niet verifiëren op basis van de ontvanger die in het omloopkanaal geïnstalleerd werd, omdat deze defect bleek te zijn (Figuur 35 tot en met Figuur 63 in de bijlage).

3638 (6 dec)	4	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3639 (5 dec)	3	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0
3640 (5 dec)	16	2	2	2	1	3	0	9	8	0	0	3 (maart)
3641 (2 dec)	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3642 (2 dec)	7	0	0	0	0	2	1	5	4	0	0	4 (1 februari, 3 maart)
3643 (2 dec)	15	1	0	0	0	2	0	12	12	0	0	3 (maart)
3644 (28 nov)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3645 (28 nov)	3	0	0	0	0	0	0	4	2	0	0	2 (maart)
3646 (30 nov)	2	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	1 (februari)
3647 (1 dec)	25	0	0	0	0	5	4	17	17	3	2	8 (2 april, 6 maart)
3648 (1 dec)	6	2	0	1	0	0	0	3	3	0	0	0
3649 (1 dec)	5	5	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3650 (1 dec)	6	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3651 (28 nov)	4	2	2	0	0	0	0	1	1	1	1	1 (april)
3652 (28 nov)	2	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0



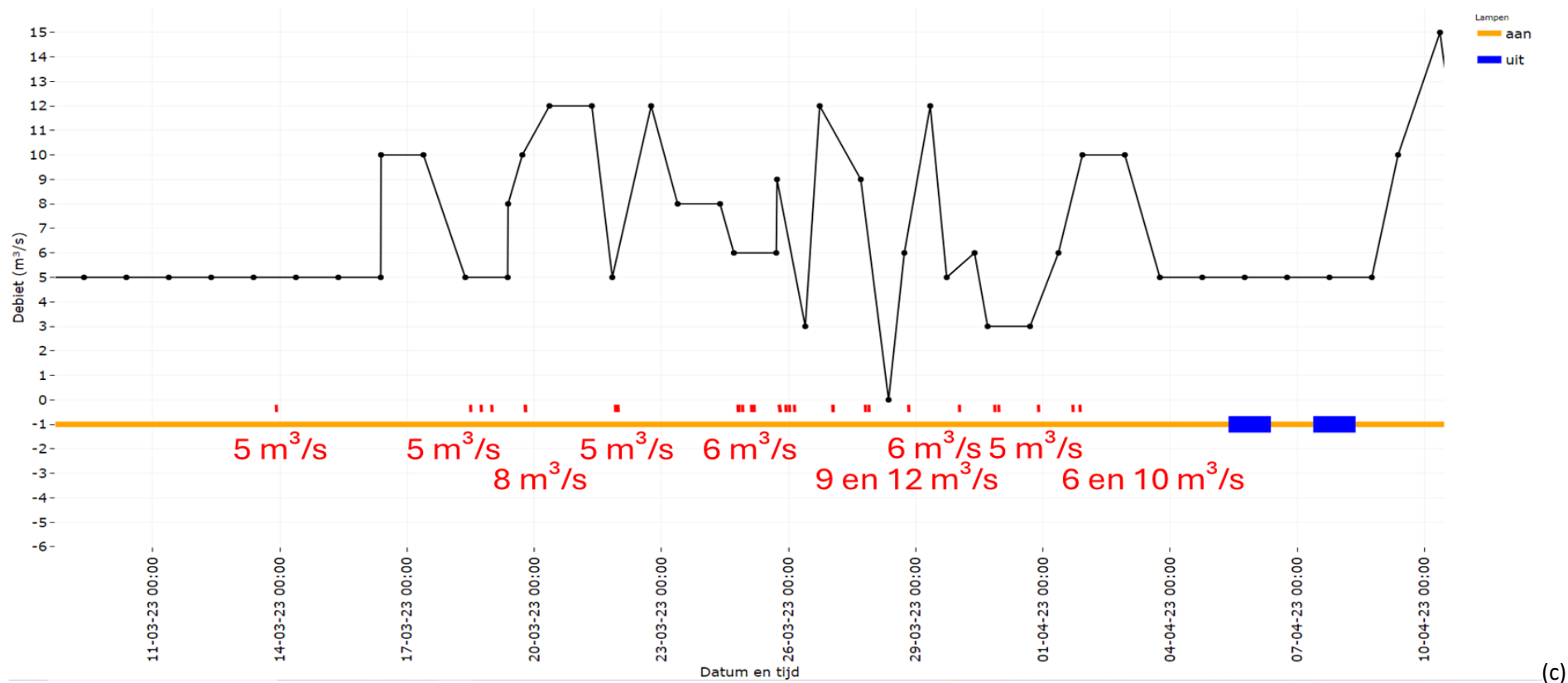
(a)

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



(b)

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



(c)

Figuur 32 Debiet door de viswering in de instroomopening van het kanaal naar de pomp- en waterkrachtcentrale (WKC; zwarte stippen en lijn), en de momenten waarop een gezenderde zilverpaling de viswering tot slechts 2 à 3 meter afstand naderde (rode blokjes); voor de volledige studieperiode (grafiek a), en ingezoomd op de twee benadermomenten in november en februari (grafiek b), en de overige 29 benadermomenten in het voorjaar (grafiek c). De gele lijn wijst op het aanstaan van de stroboscooplampen van de viswering, de blauwe vlakken wijzen op het uitstaan van de lampen.

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

4 DISCUSSIE

4.1 EFFECTIVITEIT VAN STROBOSCOOPLAMPEN ALS VISWERING

Er werden in deze studie geen noemenswaardige verschillen aangetoond tussen visvangsten bij een toestand van de viswering met lampen aan en een toestand met lampen uit. In onderzoeksluik 2 werden te weinig vissen teruggevangen om bovendien statistisch significante verschillen te testen. In onderzoeksluik 1 werden de t0- (lampen uit) en t1- (lampen aan) metingen wel statistisch getest op verschillen in aantal vissen, aantal soorten en aantal vissen per soort, maar er werden geen significante verschillen geobserveerd. Enkel voor blankvoorn werden significant meer kleinere individuen waargenomen bij t0-metingen dan bij t1. Eerdere studies toonden ook een effect op leeftijd, maar in die studies werden jongere vissen net minder geweerd door stroboscooplicht (Kroes & de Boer, 2013b). Het verschil in gemiddelde lengte in onze studie bedroeg echter slechts 9 mm, wat niet noodzakelijk betekent dat de vissen in leeftijd verschilden. De evaluatie naar een lengte-specifiek effect van de viswering bij de andere soorten leverde geen significante verschillen op.

We concluderen op basis van de testen met fuiknet-bevissingen dat de viswering met stroboscooplichten (flitsfrequentie van 1 Hz) niet effectief was in het weren van vissen. Maar er moet wel opgemerkt worden dat de opstelling van het fuiknet centraal in het omloopkanaal suboptimaal was (zie verder). Deze conclusie moet dus voorzichtig geïnterpreteerd worden. Bovendien wezen de resultaten van telemetrie op zilverpaling wel op een efficiënte werking (zie sectie 3.3), terwijl er in de fuikvangsten slechts één keer een adulte paling gevangen werd.

De resultaten uit onderzoeksluik 3 (gedragsonderzoek met telemetrie in één en twee dimensies) toonden dat zilverpalingen die de viswering naderden er opnieuw van wegzwommen. Geen enkel dier dat stroomafwaarts van het sluizencomplex geraakte, deed dat via de waterkrachtcentrale. Dat is in contrast met de 12 tot 13% (5 van 40 dieren) die met telemetrie geëvalueerd werden in een vorige studie nabij de WKC en scheepvaartsluizen van Kwaadmechelen, waar geen lichtwering geïnstalleerd en actief was (Vergeynst *et al.*, 2019).

De resultaten van de PIT-telemetrie in onderzoeksluik 2 wezen ook niet op een goede werking van de geleidingsbuizen waarlangs vissen uit het omloopkanaal zouden moeten kunnen ontsnappen naar het scheepvaartkanaal. Hoewel vissen werden gedetecteerd in de vispassagebuizen, werden deze niet gebruikt als migratieroute. Het lijkt erop dat ze de buizen wel gebruikten als schuilplaats. De effectiviteit van de buizen zou daarom verbeterd kunnen worden door de buizen door de viswering te laten doorlopen tot in het scheepvaartkanaal zoals oorspronkelijk gepland. In de huidige uitvoering flitst er licht aan het uiteinde van de buis, wat mogelijks verhindert dat vissen doorzwemmen. De enkele vissen die door de viswering zwommen naar het scheepvaartkanaal, gebruikten de buizen niet.

Een belangrijke kanttekening bij de resultaten uit onderzoeksluiken 1 en 2 is echter een suboptimale studie-setup. In onderzoeksluik 1 was er een afstand van 85 meter tussen de fuikconstructie en de viswering. Deze verhindert dat vissen onmiddellijk na binnenzwemmen in het omloopkanaal doorzwemmen naar de fuikconstructie. De opbouw van het omloopkanaal, met een 90° bocht onmiddellijk na de viswering, liet niet toe om de fuikconstructie dicht bij de viswering te plaatsen. In onderzoeksluik 2 verhinderde dit op dezelfde manier de plaatsing van een dwarsnet dicht bij de viswering, zodat de uitgezette vissen vrij konden rondzwemmen in de

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

De totale aantallen gevangen vissen in de vangstproeven bij turbineren (onderzoeksluik 1) waren niet klein, maar vergeleken met de vangsten van wilde vissen in onderzoeksluik 2 waren ze wel kleiner. Dat bevestigt de tekortkoming van de locatie van de fuik op 85 meter. In onderzoeksluik 2 stond de fuik wel vlakbij de viswering.

Desondanks de tekortkomingen in de studie-setup (de locatie van de fuik) in onderzoeksluiken 1 en 2 van deze studie, wezen ook eerdere studies naar de effectiviteit van stroboscooplampen van FishFlow Innovations slechts op een wisselende effectiviteit van deze lampen als viswering (Kroes & de Boer, 2013a). Bovendien bleek ook daar de locatie o.a. een sterk bepalende factor te zijn. Kroes en De Boer (2013) onderzochten de viswering bij verscheidene pompgemalen. Bij de kleinere gemalen, gemaal Lange Weide en gemaal Schanserbrug, bleken de lampen niet in staat om vissen te weren, er werden zelfs meer vissen aangetrokken naar de pomp. Dit kon te wijten zijn aan de aanwezigheid van schuilplaatsen in de gemalen en de schrikreactie van vissen op de lampen. Bij het grotere gemaal Meerweg waren de lampen daarentegen wel effectief in het weren/geleiden van vissen. Bij dit gemaal resulteerde het gebruik van stroboscooplampen, in combinatie met een alternatieve migratieroute, in een lager percentage beschadigde schubvis en geen doorgang van palingen door de pompen.

Ondanks de populariteit van stroboscooplampen als gedragsbarrière zijn er dus nog veel tegenstrijdigheden en onduidelijkheden in de wetenschappelijke literatuur over deze vorm van lichtwering. Daarnaast weten we dat ook andere factoren invloed kunnen hebben op het al dan niet aantonen van een effect (Jesus *et al.*, 2021a; Kroes & de Boer, 2013a), zoals o.a. soort-specifieke kenmerken en de stroompatronen rond de viswering. Dat maakt het onderling vergelijken van verschillende studies niet makkelijk. Er is daarom niet alleen nood aan meer onderzoek (Kim & Mandrak, 2017), maar ook nood aan een gestandaardiseerde manier van onderzoeken en rapporteren over deze studies en de specifieke studie omgeving.

4.2 EFFECTIVITEIT VAN VISPASSAGEBUIZEN OM LICHTWERING TE PASSEREN BIJ POMPWERKING VAN DE WKC

De resultaten van deze studie, waarbij 500 gekweekte blankvoorns uitgezet werden met een PIT-zender, tonen aan dat de buizen niet effectief waren in het naar buiten leiden van vissen langs de werkende viswering. Alle vissen die de viswering passeerden, deden dit zonder gebruik te maken van de buizen. Al is enige voorzichtigheid nodig bij de interpretatie van dit resultaat, gezien slechts 14 van de 500 uitgezette dieren teruggevangen werden, ook wanneer de lichtwering af stond. Mogelijk was de duurtijd van deze studie te kort om een aanwezig effect aan te tonen (enerzijds van de lichtwering, anderzijds van de buizen als effectief middel om vissen voorbij een werkende viswering te loodsen).

De buizen werden wel door gezenderde vissen gebruikt als schuilplaats. Deze vissen werden niet teruggevangen in de fuikconstructie en zijn de viswering dus niet gepasseerd. Deze waarneming wijst erop dat de oorspronkelijke planning om de buizen door de viswering en het krooshekken tot in het kanaal te verlengen, de effectiviteit als passageroute door de viswering zou kunnen verbeteren. Vermoedelijk hield nu de aanwezigheid van lichtflitsen aan het einde van de buis de 23 schuilende vissen tegen om verder door te trekken naar het scheepvaartkanaal.

Hoewel de effectiviteit van de buizen in deze studie enkel onderzocht werd voor blankvoorn, kunnen we op basis van onze expertkennis meegeven dat rekening kan/moet gehouden worden met mogelijke verschillen in de neiging van vissen om schuilmogelijkheden op te zoeken. Sommige soorten of levensstadia kunnen meer pelagisch van aard zijn en hebben mogelijk minder de neiging om zich te verstoppen op een donkere plek. Daarnaast speelt ook de waarneming van licht en het opvallen van donkere plekken een rol tussen verschillende soorten. Het is mogelijk dat sommige soorten de buis gemakkelijker opmerken dan andere.

De analyse van niet- gezenderde, wilde soorten en individuen gaf geen aantoonbaar effect van de viswering op de ontsnapping van vissen uit het omloopkanaal. Dit is in lijn met de waarnemingen in onderzoeksluik 1 (visvangsten bij turbinewerking) dat er geen aantoonbare effectiviteit is van de stroboscooplampen (op 1Hz) als viswering, maar dan voor niet-paling.

4.3 INVLOED VAN STROBOSCOOPLAMPEN OP PALING GEDRAG.

In onderzoeksluik drie werden 30 zilverpalingen gezenderd en werd het fijnschalig gedrag (2D) geëvalueerd ter hoogte van de viswering. Van de 31 keer dat een zilverpaling tot vlakbij de viswering zwom vertoonde hij 30 keer met zekerheid terugkeergedrag en werd hij geweerd uit het omloopkanaal. Eén keer kon niet met zekerheid uitgesloten worden dat hij door de viswering zwom. Op basis van deze resultaten concluderen we dat de stroboscooplichten de zilverpaling effectief uit het omloopkanaal weerden en dus een effect blijken te hebben op het gedrag van de dieren. Ook in eerder onderzoek bleek licht het meest effectieve weringsmechanisme voor

Dat een efficiënte viswering voor paling ze bijkomend verhindert om de zee te bereiken door vertraging aan de sluiscomplexen te vergroten, komt omdat er dichtbij de viswering geen goede alternatieve route stroomafwaarts is. De dichtstbijzijnde alternatieve route is een vulling van de duwvaartsluis of een openstaande duwvaartsluis. De continuïteit van deze vullingen is onvoldoende om palingen vlot te laten passeren. Bovendien is er onzekerheid over het veiligheidsgehalte van deze route. Zoals Vergeynst *et al.* (2019) aanhalen, is de route langs de vulopeningen van de sluizen vermoedelijk schadelijk voor de vissen, misschien wel met gelijkaardige verwondings- of sterftekansen als die van de waterkrachtcentrale, of erger. In de sluizen zelf hebben de dieren dan weer een grotere kans om in aanraking te komen met scheepsschroeven.

De tegenstrijdigheden in de literatuur veroorzaakt door de vele variabelen die de werking van lichtwering beïnvloeden, zorgen ervoor dat er nog veel vragen onopgelost zijn over de gedragsrespons van palingen op lichtwering. Maar in deze studie zagen we wel dat de dieren van de 31 keer dat ze naar het licht toe zwommen, ze er 30 keer onmiddellijk van wegzwommen. Belangrijk bij verdere studies en gesprekken naar optimalisatie van de viswering in het Albertkanaal is echter om toch ook abiotische factoren zoals de turbiditeit van het kanaal te evalueren. Zo kunnen de optimale lichtsterktes en ook lichtkleuren gekozen worden. Bijkomend, maar heel belangrijk, wordt ook aandacht geschonken aan het onderhoud van de lampen. Men moet vermijden dat ze overgroeien met algen, die de lichtsterkte en efficiëntie verminderen.

5 CONCLUSIE

Hoewel er in eerdere onderzoeken effectiviteit is aangetoond van viswering met stroboscooplicht bij specifieke locaties en omstandigheden, konden we dat in deze studie enkel aantonen voor zilverpaling en enkel op basis van onderzoek naar hun fijnschalig gedrag m.b.v. telemetrie. De fuikbevissingen konden geen onderscheid maken in aantallen vissen, aantal soorten en aantal vissen per soort, noch lengteklassen tussen dagen met stroboscooplampen aan- en dagen met lampen uit. De resultaten bij turbineren en pompen waren gelijkaardig wat de fuikvangsten betrof. Een belangrijke kanttekening bij de resultaten uit de onderzoeksluiken met fuikvangsten (luiken 1 en 2) is echter een suboptimale studie-setup waarbij de fuikconstructie te ver van de viswering werd geplaatst.

Het gedragsonderzoek met telemetrie op paling wees op een effectieve werking van de stroboscooplampen wat zilverpaling betreft. Van de 31 keer dat een paling de viswering benaderde vertoonde hij met zekerheid terugkeergedrag, weg van de viswering. Maar de efficiënte viswering veroorzaakte wel nog meer zoekgedrag en vertraging van dieren aan de scheepvaartsluizen. Uiteindelijk kon slechts 1/3^e stroomafwaarts geraken in ruim drie maanden tijd. Hoewel dus hun sterftekansen mogelijks verlaagd worden (tenzij de waterkrachtcentrale een veiligere stroomafwaartse route is dan de scheepvaartsluizen, dat is nog ongekend), wordt hun kans om vlot en tijdig de zee te bereiken verlaagd. Enkel het creëren van veilige, alternatieve routes stroomafwaarts langs het sluiscomplex kunnen hieraan verhelpen en de palingen tijdig en veilig naar zee helpen. Zolang deze niet verwezenlijkt kunnen worden, kan paling beter uit het Albertkanaal geweerd worden.

Deze studie, en voornamelijk de beschikbare literatuur, benadrukt de complexiteit van het effect van licht op het weren van vissen. Bovendien bevestigt specifiek deze studie de uitdagingen die met fuikvangsten gepaard gaan, en de noodzakelijke aanvulling met gedragsstudies. Zowel de literatuur als deze studie onderstrepen bovendien de behoefte aan meer onderzoek en gestandaardiseerde methodologieën om de effectiviteit van stroboscooplampen nauwkeuriger te evalueren.

In deze studie vonden we ook geen aantoonbaar effect van de vispassagebuizen bij pompwerking van de waterkrachtcentrale. Ondanks detectie van vissen in de buizen, werden ze niet gebruikt als migratieroute naar het Albertkanaal. Deze bevindingen suggereren dat de buizen mogelijk niet optimaal functioneren als vispassage. Het gebruik als schuilplaats i.p.v. passageroute suggereert dat de effectiviteit van de buizen verbeterd kan worden door ze te verlengen voorbij de viswering tot in het scheepvaartkanaal, zoals oorspronkelijk gepland was. Er is echter voorzichtigheid geboden bij het interpreteren van de vangstgegevens, omdat deze aan de lage kant waren, vermoedelijk door een te korte duurtijd van dit luik van de studie.

Vanwege de variabele effectiviteit van lichtwering is het aan te raden om te investeren in visveilige(re) turbines en gemalen als eerste maatregel, en als tweede maatregel pas te overwegen om viswering toe te passen. Zowel de literatuur als de bevindingen in deze studie bevestigen bovendien dat lichtwering geen ‘stand-alone’ oplossing kan zijn. De meest efficiënte (in termen van afwering) aanvulling op lichtwering voor de omloopkanalen op het Albertkanaal is geluidswering. Maar kennis ontbreekt nog om ook geluidswering helemaal efficiënt te maken.

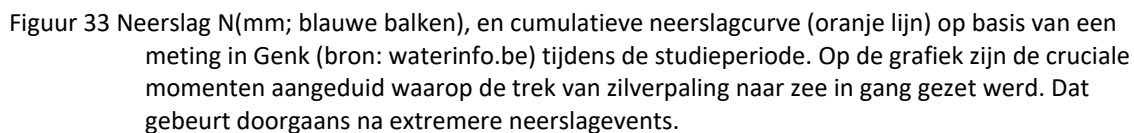
In een vervolgstudie (deskstudie) worden de inzichten die verworven werden in dit en voorgaand wetenschappelijk onderzoek naar het gedrag en de migratie van zilverpaling (in het Albertkanaal) verwerkt in samenspraak met de beheerder van het kanaal om tot een finaal advies te komen over de beste van de haalbare acties die genomen kunnen worden om zilverpaling, die ernstig bedreigd is (IUCN red list), veilig en tijdig vanuit het Albertkanaal en de Maas in zee te krijgen.

6 REFERENCES

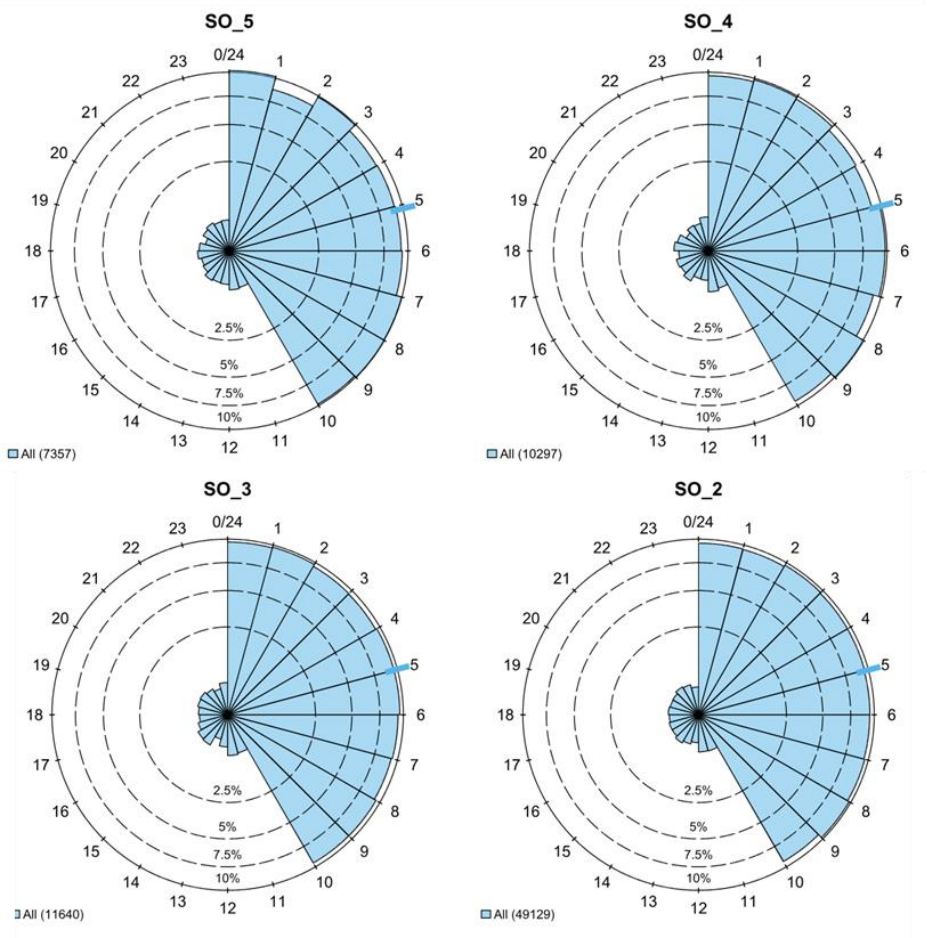
- Baeyens R., Pauwels I., Buyse D., Mouton A., Vergeynst J., Papadopoulos I., De Maerteleire N., Pieters S., Gelaude E., Robberechts K., Verhelst P., Vermeersch S., Vandamme L. & Coeck J. (2019). Monitoring van de effecten van de pompinstallatie en waterkrachtcentrale te Ham op het visbestand in het Albertkanaal. Brussel, 1-147 p. <https://doi.org/10.21436/inbor.15830647>.
- Behrmann-Godel J. & Eckmann R. (2003). A preliminary telemetry study of the migration of silver European eel (*Anguilla anguilla* L.) in the River Mosel, Germany. *Ecology of Freshwater Fish* 12: 192-202.
- Bowmaker J.K., Semo M., Hunt D.M. & Jeffery G. (2008). Eel visual pigments revisited: The fate of retinal cones during metamorphosis. *Visual Neuroscience* 25 (3): 249-255. <https://doi.org/10.1017/S0952523808080152>.
- Cottrill P.B., Davies W.L., Semo M., Bowmaker J.K., Hunt D.M. & Jeffery G. (2009). Developmental dynamics of cone photoreceptors in the eel. *BMC Developmental Biology* 9 (1): 1-9. <https://doi.org/10.1186/1471-213X-9-71/FIGURES/5>.
- Damjanović I., Byzov A.L., Bowmaker J.K., Gačić Z., Utina I.A., Maximova E.M., Mićković B. & Andjus R.K. (2005). Photopic Vision in Eels: Evidence of Color Discrimination. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1048 (1): 69-84. <https://doi.org/10.1196/ANNALS.1342.007>.
- Dawson H.A., Reinhardt U.G. & Savino J.F. (2006). Use of Electric or Bubble Barriers to Limit the Movement of Eurasian Ruffe (*Gymnocephalus cernuus*). *Journal of Great Lakes Research* 32 (1): 40-49. [https://doi.org/10.3394/0380-1330\(2006\)32\[40:UOE0BB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.3394/0380-1330(2006)32[40:UOE0BB]2.0.CO;2).
- Durif C., Dufour S. & Elie P. (2005). The silvering process of *Anguilla anguilla*: a new classification from the yellow resident to the silver migrating stage. *Journal of Fish Biology* 66 (4): 1025-1043. <https://doi.org/10.1111/j.0022-1112.2005.00662.x>.
- Electric Power Research Institute (EPRI) (2017). Recent Research on the Effect of Light on Outmigrating Eels and Recent Advancements in Lighting Technology. Palo Alto, CA, 1-134 p.
- Elvidge C.K., Ford M.I., Pratt T.C., Smokorowski K.E., Sills M., Patrick P.H. & Cooke S.J. (2018a). Behavioural guidance of yellow-stage American eel *Anguilla rostrata* with a light-emitting diode device. *Endangered Species Research* 35: 159-168. <https://doi.org/10.3354/esr00884>.
- Elvidge C.K., Ford M.I., Pratt T.C., Smokorowski K.E., Sills M., Patrick P.H. & Cooke S.J. (2018b). Behavioural guidance of yellow-stage American eel *Anguilla rostrata* with a light-emitting diode device. *Endangered Species Research* 35: 159-168. <https://doi.org/10.3354/esr00884>.
- Feely J.R. & Sorensen P.W. (2023). Effects of an ensounded bubble curtain and a cyclic sound on blocking 10 species of fishes including 4 invasive carps in a laboratory flume. *Biological Invasions* 25 (6): 1973-1989. <https://doi.org/10.1007/S10530-023-03022-6/FIGURES/4>.
- Flávio H. & Baktoft H. (2021). actel: Standardised analysis of acoustic telemetry data from animals moving through receiver arrays. *Methods in Ecology and Evolution* 12 (1): 196-203. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13503>.

Anguilla anguilla). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 43 (10): 1909-1916. <https://doi.org/10.1139/f86-236>.

7.1 NEERSLAG TIJDENS DE STUDIEPERIODE

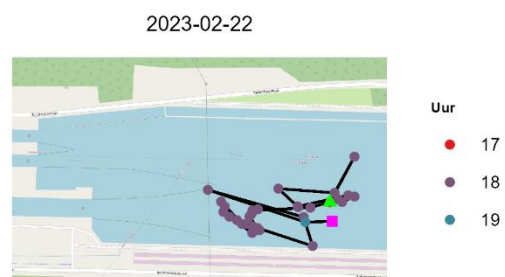
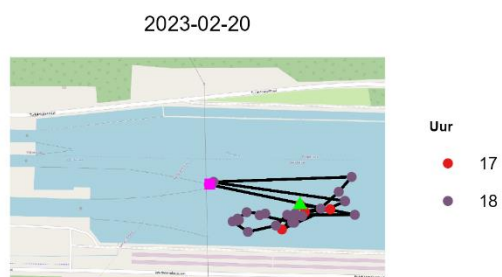
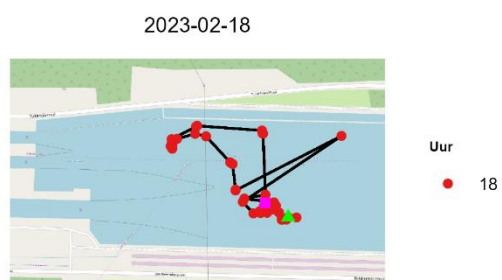
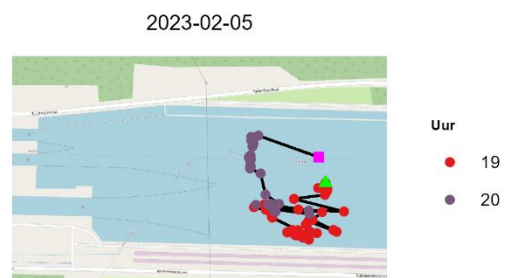
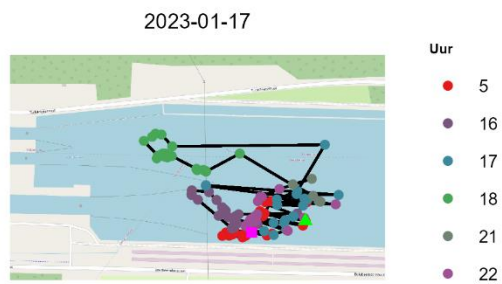


7.2 NACHTELIJK PALINGGEDRAG OP BASIS VAN DE EÉNDIMENSIONALE TRACKING



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

waarbij 17u het vroegste uur is overdag waarop hij daar rondzwom. Alle andere tijden waren 's nachts of 's avonds.



Uur

●	17
●	18

Uur

●	18
●	23

A map showing a network of red nodes connected by black lines, representing a path or network structure overlaid on a geographical area.

Uur

●	18
●	19

Uur

● 18

Uur

18
19
20

Uur

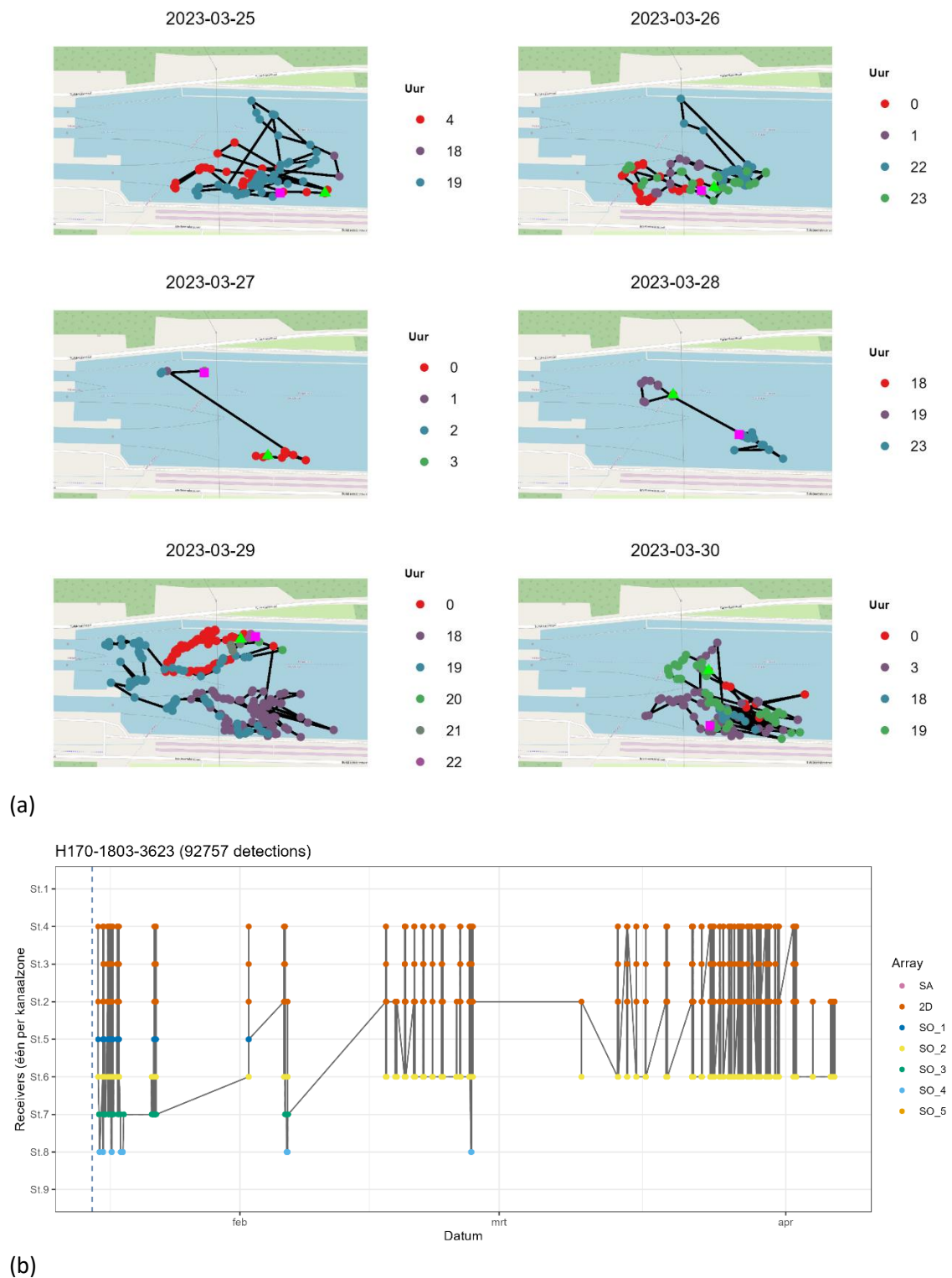
●	19
●	20

Uur

18
19
20
21
23

Uur

0
1
2
3
18
19

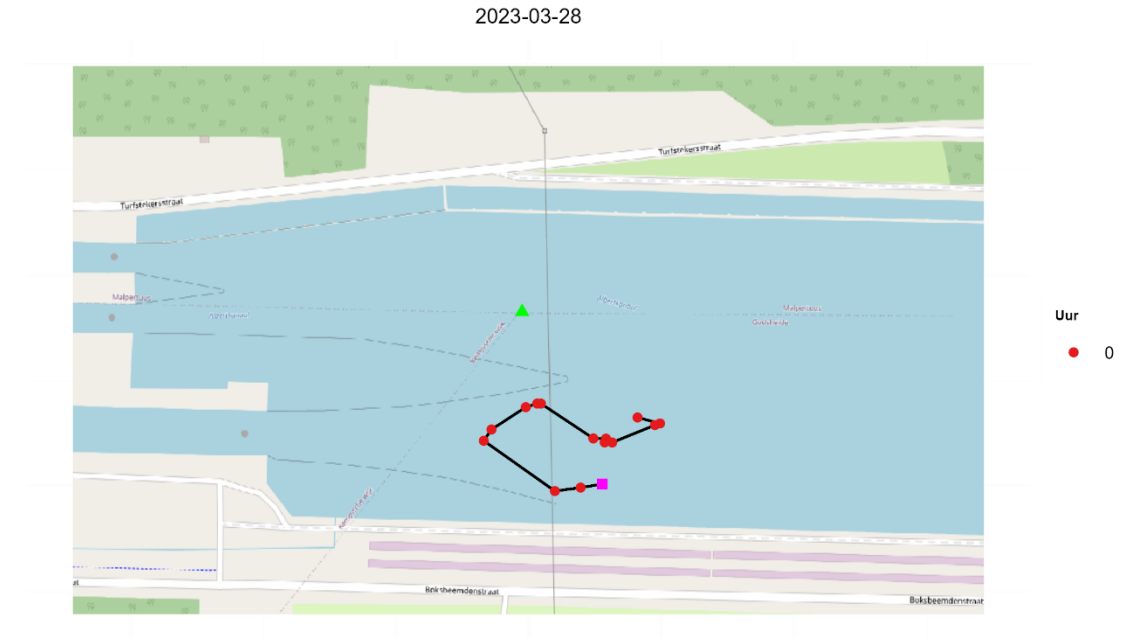
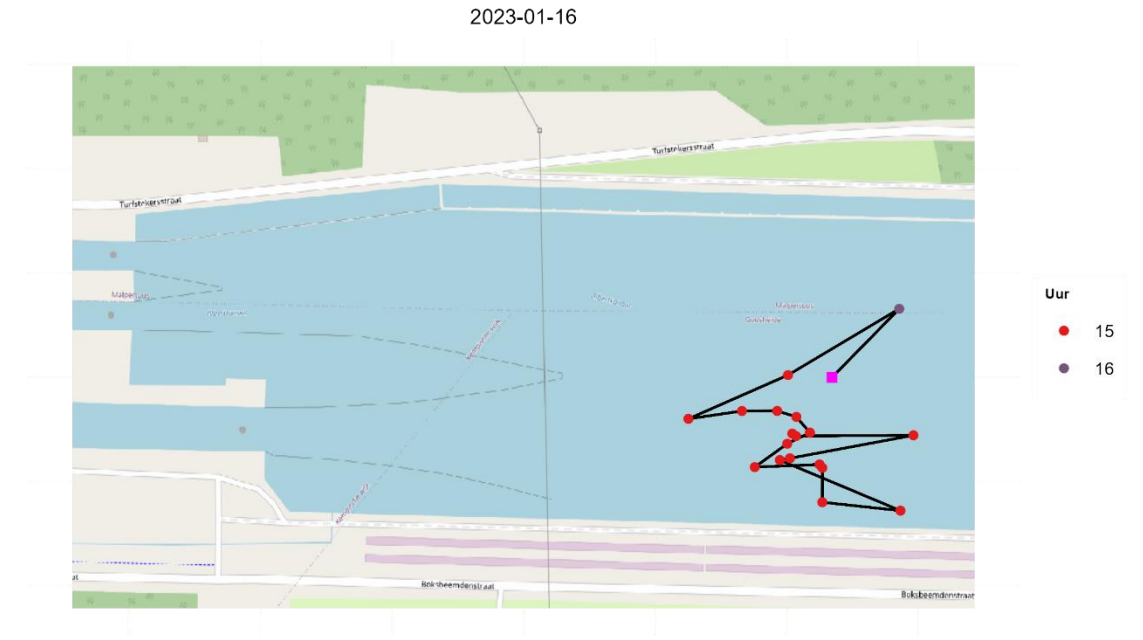


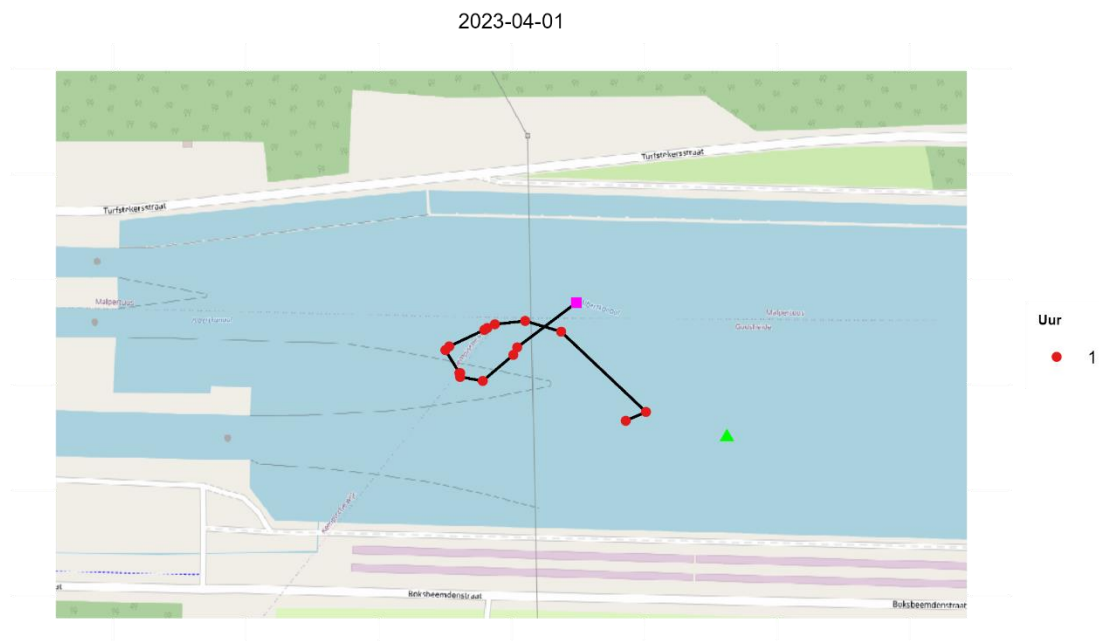
Figuur 35 **Tweedimensionaal gedrag (a)** in de 2D-array van ontvangers vlakbij de sluizen en de viswering, en **ééndimensionaal gedrag (b)** in het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt tijdens de studieperiode voor **paling met zender ID 3623**. De kleuren in de legende bij (a) tonen het uur van de respectievelijke dag (datum in titel van iedere plot) waarop de paling op een bepaalde locatie was. De kleuren in de legende bij (b) tonen in welke zone van het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt het dier zich bevond op een bepaalde dag. De 2D-zone wordt in de plot weergegeven door detecties op drie verschillende ontvangers (oranje

Paling met zender ID 3624

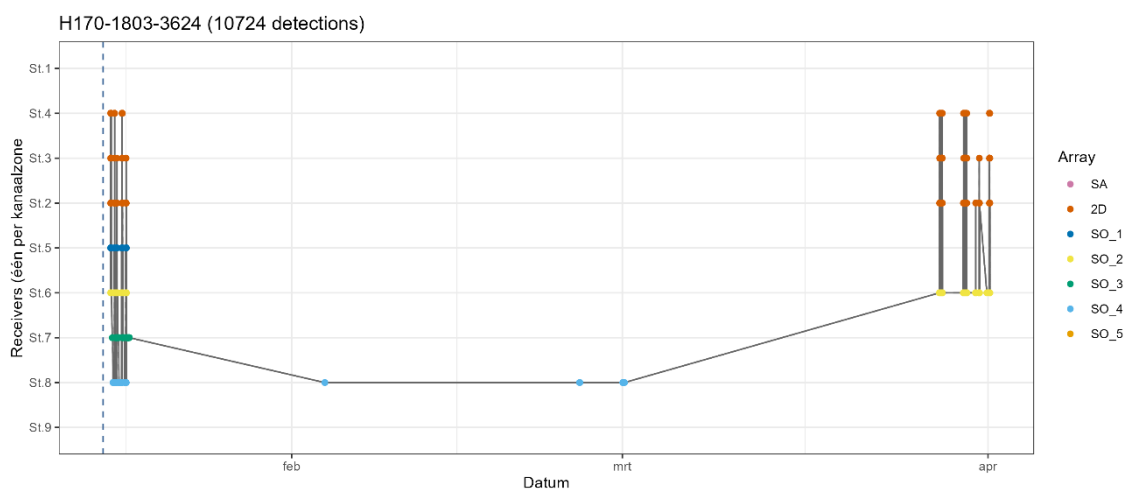
Deze paling is slechts 3 dagen in de 2D array geweest. Altijd slechts heel kort. Twee keer tijdens de nacht, en 1 keer overdag in de namiddag. Het dier is nooit nabij de viswering geweest.

Deze paling is slechts 3 dagen in de 2D array geweest. Altijd slechts heel kort. Twee keer tijdens de nacht, en 1 keer overdag in de namiddag. Het dier is nooit nabij de viswering geweest.





(a)

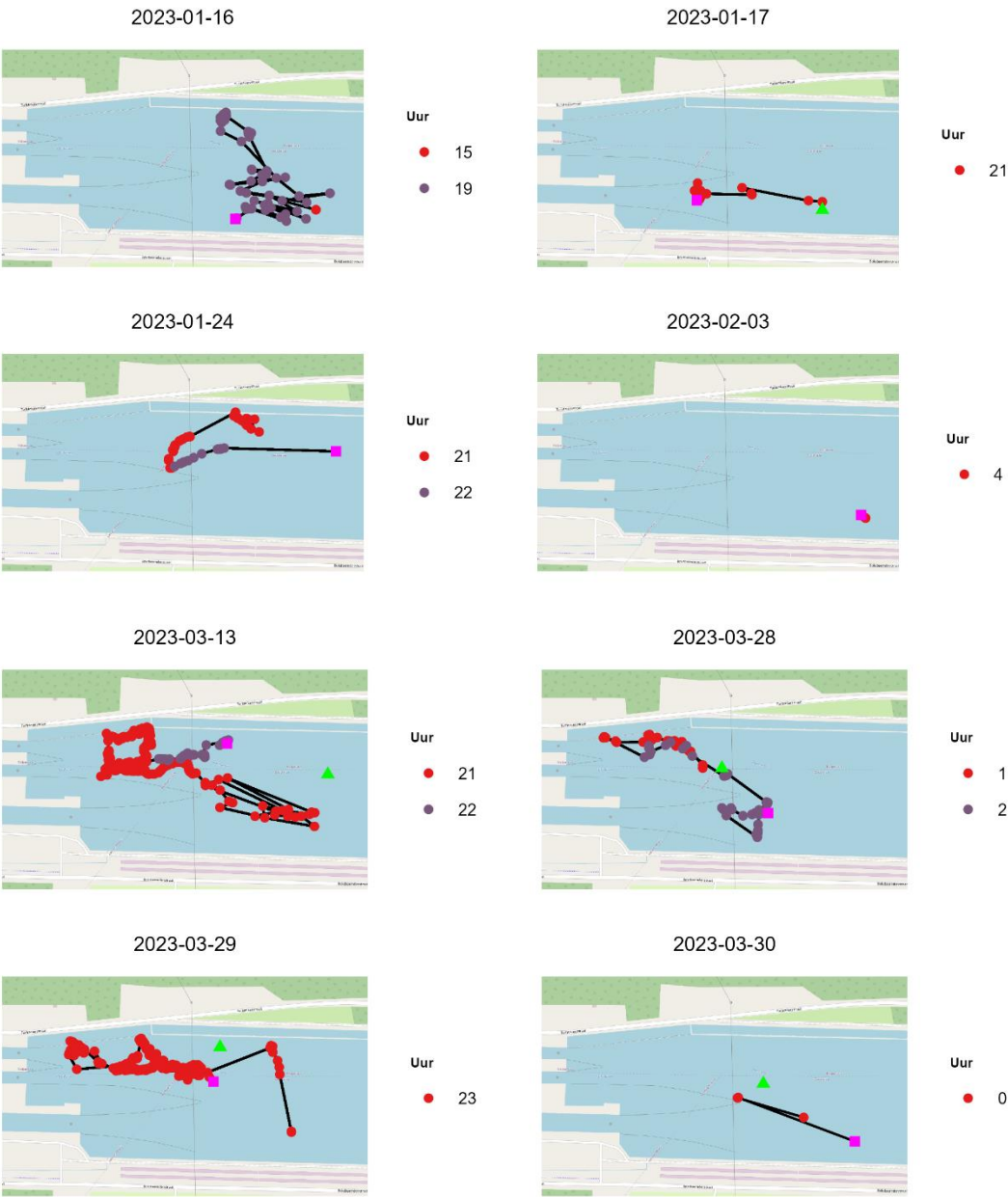


(b)

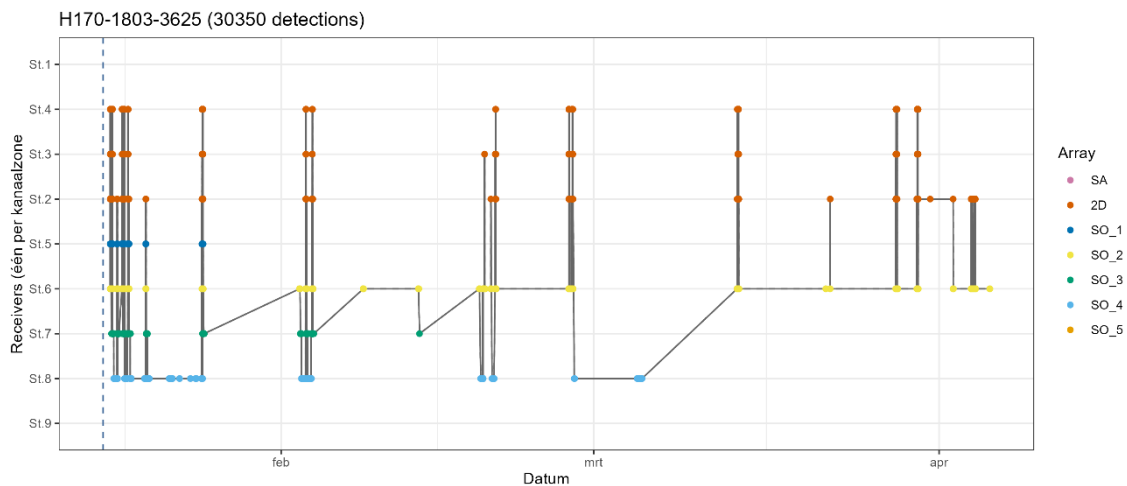
Figuur 36 **Tweedimensionaal gedrag (a)** in de 2D-array van ontvangers vlakbij de sluizen en de viswering, en **ééndimensionaal gedrag (b)** in het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt tijdens de studieperiode voor **paling met zender ID 3624**. De kleuren in de legende bij (a) tonen het uur van de respectievelijke dag (datum in titel van iedere plot) waarop de paling op een bepaalde locatie was. De kleuren in de legende bij (b) tonen in welke zone van het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt het dier zich bevond op een bepaalde dag. De 2D-zone wordt in de plot weergegeven door detecties op drie verschillende ontvangers (oranje bolletjes), terwijl de andere zones weergegeven worden door de detecties op telkens één ontvanger (ander kleuren).

Paling met zender ID 3625

Deze paling is op 8 verschillende dagen in de 2D-array van ontvangers geweest. Hij zwom nooit tot vlakbij de viswering. Hij vertoonde wel telkens zoekgedrag voor een aantal uren, telkens 's nachts of 's avonds in het donker. Hij deed in maart twee keer een poging om langs de scheepvaartsluizen te ontsnappen, maar was daarin niet succesvol.



(a)



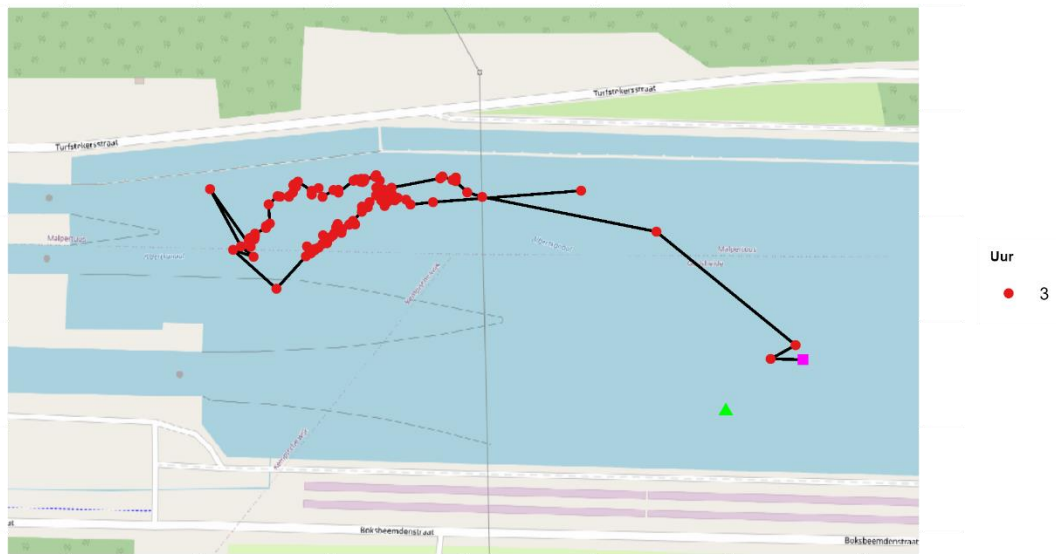
(b)

Figuur 37 **Tweedimensionaal gedrag (a)** in de 2D-array van ontvangers vlakbij de sluizen en de viswering, en **ééndimensionaal gedrag (b)** in het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt tijdens de studieperiode voor **paling met zender ID 3625**. De kleuren in de legende bij (a) tonen het uur van de respectievelijke dag (datum in titel van iedere plot) waarop de paling op een bepaalde locatie was. De kleuren in de legende bij (b) tonen in welke zone van het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt het dier zich bevond op een bepaalde dag. De 2D-zone wordt in de plot weergegeven door detecties op drie verschillende ontvangers (oranje bolletjes), terwijl de andere zones weergegeven worden door de detecties op telkens één ontvanger (ander kleuren).

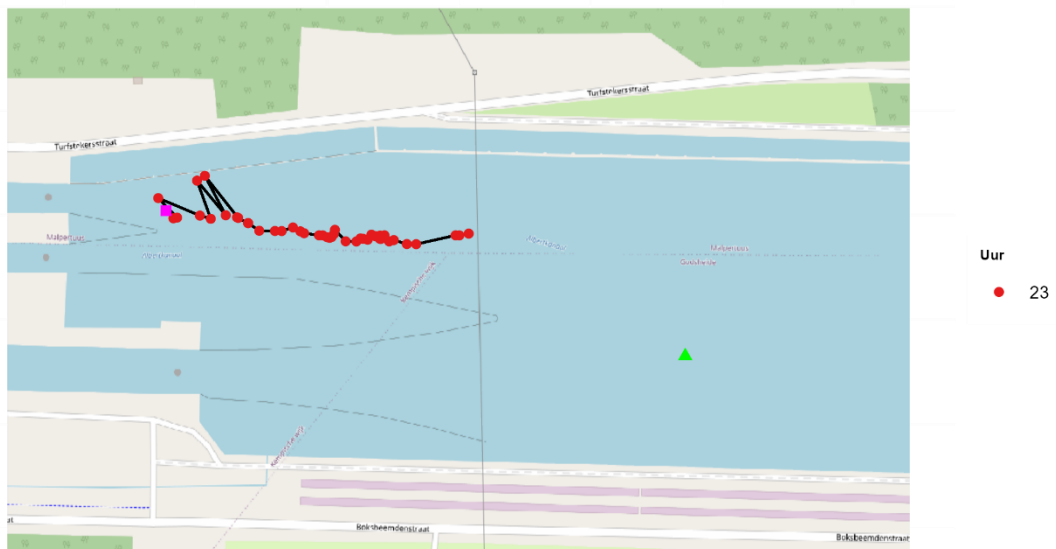
Paling met zender ID 3626

Deze paling kwam voor de eerste keer in de 2D-array van ontvangers in januari, maar kon toen de sluizen niet passeren. In februari vertoonde het dier opnieuw zoekgedrag aan de sluizen. Het is toen wel het sluiscomplex kunnen passeren. Het werd een laatste keer gedetecteerd stroomopwaarts van de sluizen ter hoogte van de Noordersluis op 24 februari. Op 25 februari werd het dier stroomafwaarts van het sluizencomplex van Hasselt gedetecteerd. Het is het sluizencomplex dus vermoedelijk gepasseerd via de Noordersluis, maar we weten niet of het via de vulopeningen of door de sluisdeuren ging, want de laatste detectie in de 2D-array van ontvangers is te ver van de Noordersluis af om uitsluitsel te kunnen geven. Dit dier is nooit in de buurt van de viswering geweest.

2023-01-17

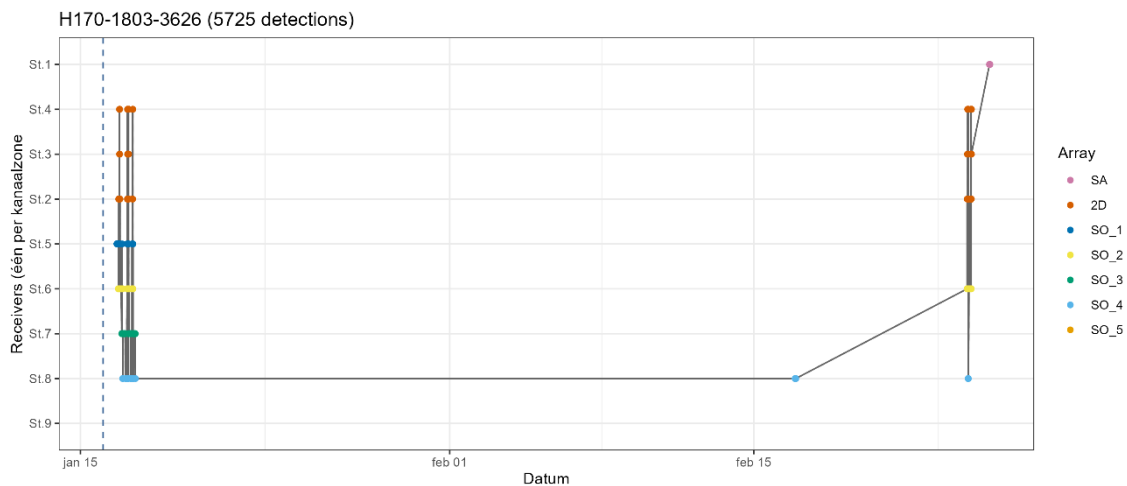


2023-02-24



(a)

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



(b)

Figuur 38 **Tweedimensionaal gedrag (a)** in de 2D-array van ontvangers vlakbij de sluizen en de viswering, en **ééndimensionaal gedrag (b)** in het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt tijdens de studieperiode voor **paling met zender ID 3626**. De kleuren in de legende bij (a) tonen het uur van de respectievelijke dag (datum in titel van iedere plot) waarop de paling op een bepaalde locatie was. De kleuren in de legende bij (b) tonen in welke zone van het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt het dier zich bevond op een bepaalde dag. De 2D-zone wordt in de plot weergegeven door detecties op drie verschillende ontvangers (oranje bolletjes), terwijl de andere zones weergegeven worden door de detecties op telkens één ontvanger (ander kleuren).

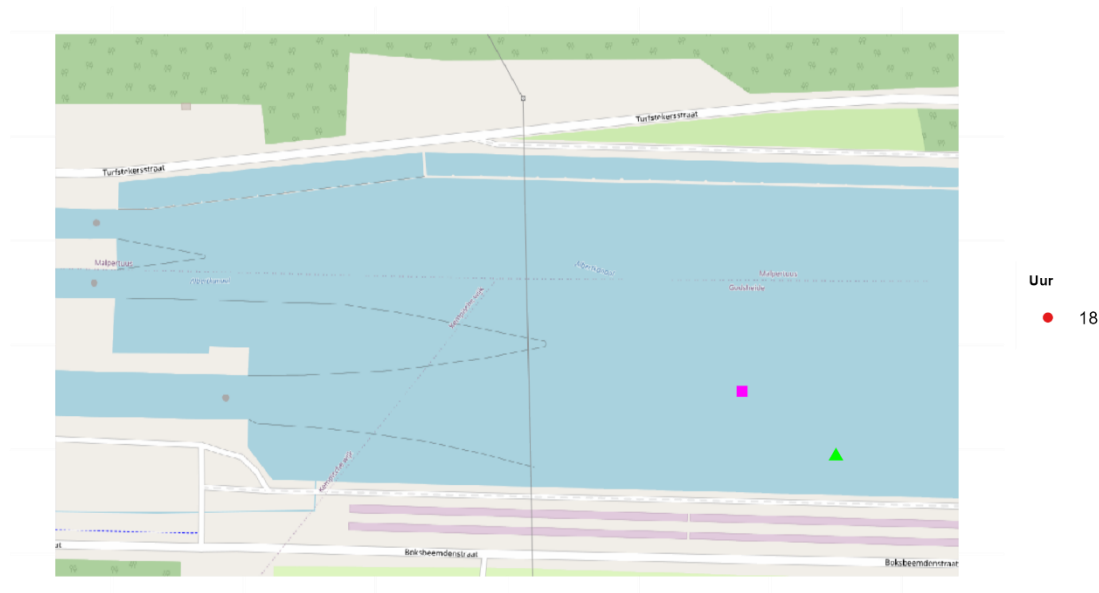
Paling met zender ID 3627

Deze paling was achtereenvolgens vier dagen in de 2D-array van ontvangers aanwezig, meer bepaald van 26 tot 29 maart. Op 28 maart naderde het dier de viswering. Het zwom er van weg, stroomopwaarts het scheepvaartkanaal in en ging niet in het bypass kanaal. Het naderde de viswering rond 20u 's avonds, toen het dus al donker was. Uiteindelijk is het dier de dag nadien terug in de 2D-array van ontvangers opgedoken, 's nachts. Tegen de vroege namiddag zwom het richting de Noorder of Middensluis. Het dier wist het sluizencomplex te passeren, vermoedelijk via één van die sluizen. Rond 16u op 29 maart werd deze paling stroomafwaarts van het sluiscomplex van Hasselt gedetecteerd.

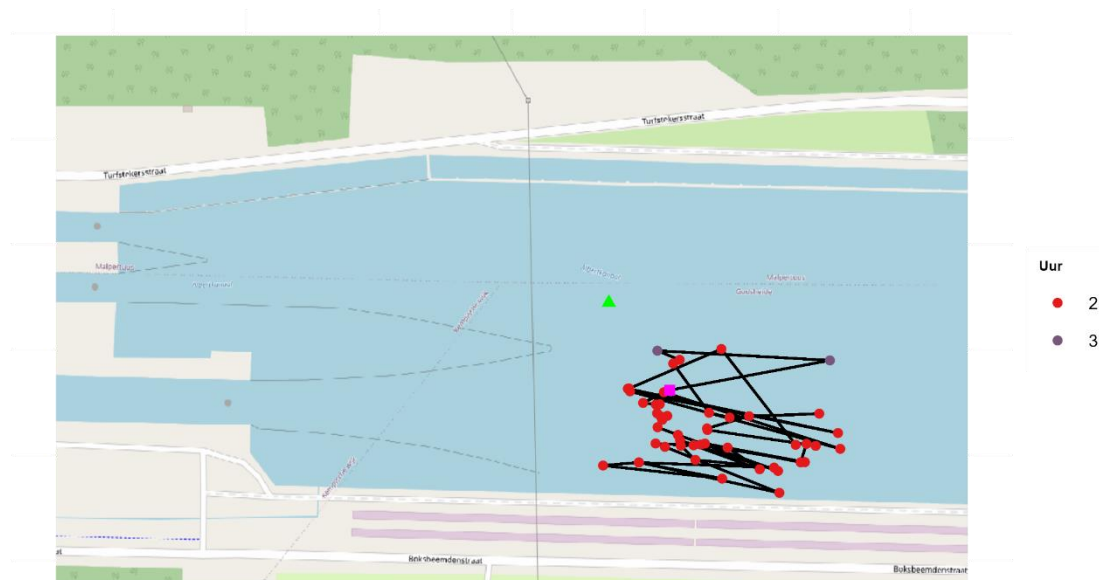
Paling met zender ID 3628

Deze paling kwam drie keer tot aan de stroomopwaartse kant van de 2D-array, maar leek nooit tot aan de scheepvaartsluizen te willen zwemmen. Hij kon de sluizen niet passeren en zat op 6 april nog steeds in het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt. Het dier kwam nooit in de buurt van de viswering.

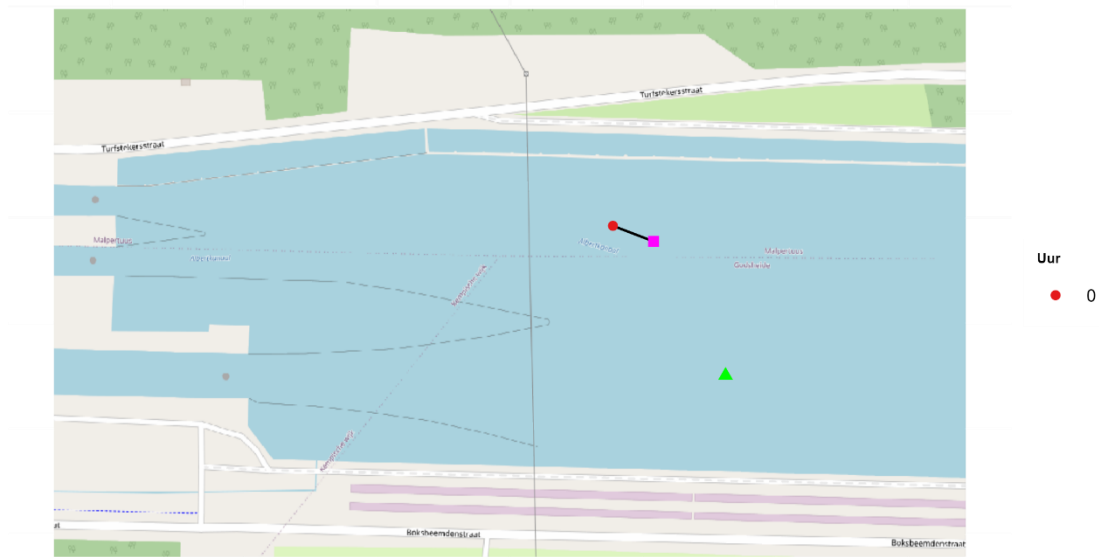
2023-03-25



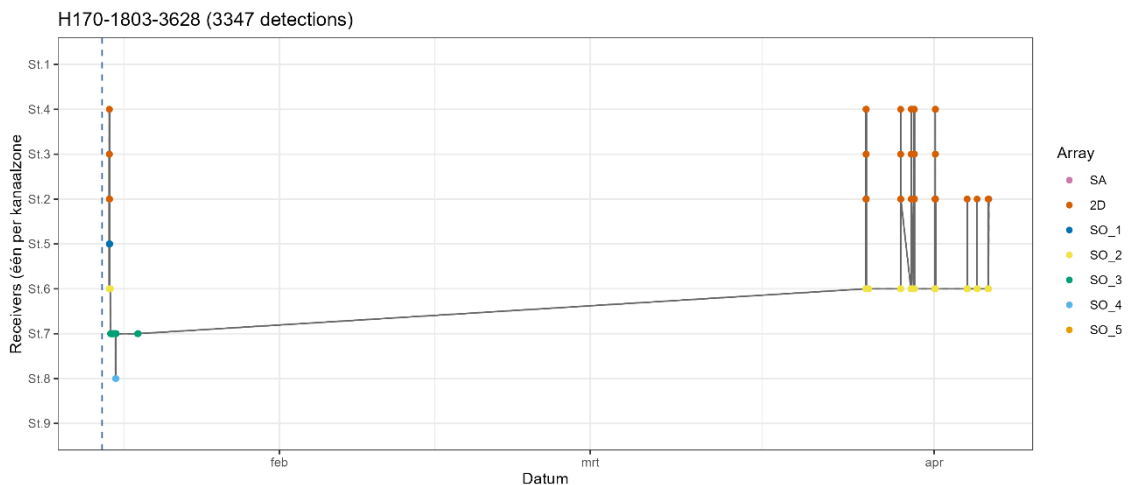
2023-03-30



2023-04-01



(a)

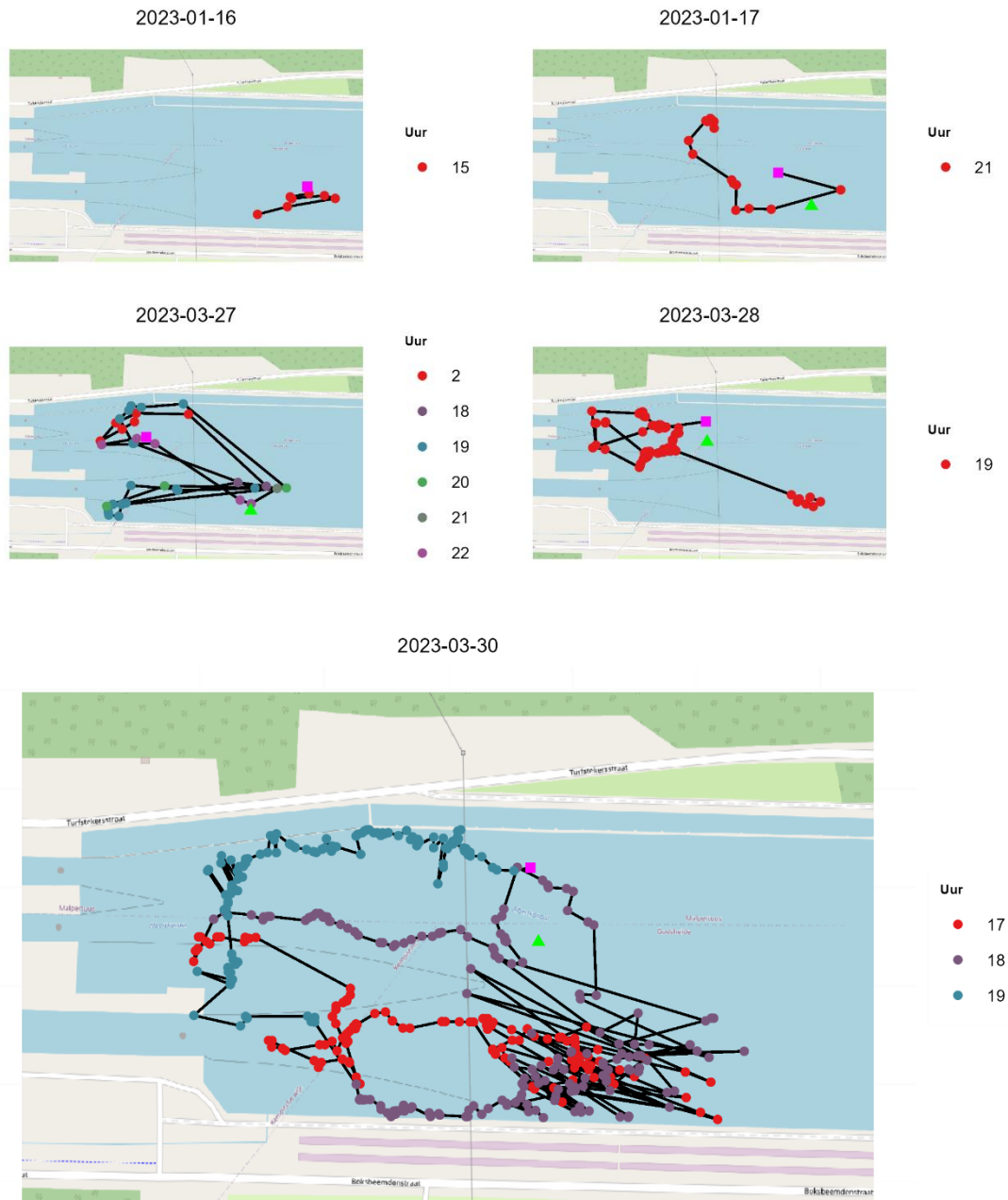


(b)

Figuur 40 **Tweedimensionaal gedrag (a)** in de 2D-array van ontvangers vlakbij de sluizen en de viswering, en **ééndimensionaal gedrag (b)** in het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt tijdens de studieperiode voor **paling met zender ID 3628**. De kleuren in de legende bij (a) tonen het uur van de respectievelijke dag (datum in titel van iedere plot) waarop de paling op een bepaalde locatie was. De kleuren in de legende bij (b) tonen in welke zone van het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt het dier zich bevond op een bepaalde dag. De 2D-zone wordt in de plot weergegeven door detecties op drie verschillende ontvangers (oranje bolletjes), terwijl de andere zones weergegeven worden door de detecties op telkens één ontvanger (ander kleuren).

Paling met zender ID 3629

Deze paling is in totaal op vijf verschillende dagen gedetecteerd geweest in de 2D-array. In januari reikte het eventuele zoekgedrag slechts tot de stroomopwaartse kant van de 2D-zone en zwom het dier niet tot aan de sluizen. Vanaf maart begon de paling wel te zoeken naar een weg stroomafwaarts. Op 27 maart naderde hij de viswering en zwam er meteen terug van weg. Het dier werd dus succesvol uit het bypass kanaal geweerd. Vervolgens is het dier nog tweemaal dichtbij de sluizen geweest, maar het kon deze niet passeren. Op 6 april zat deze paling nog steeds in het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt.



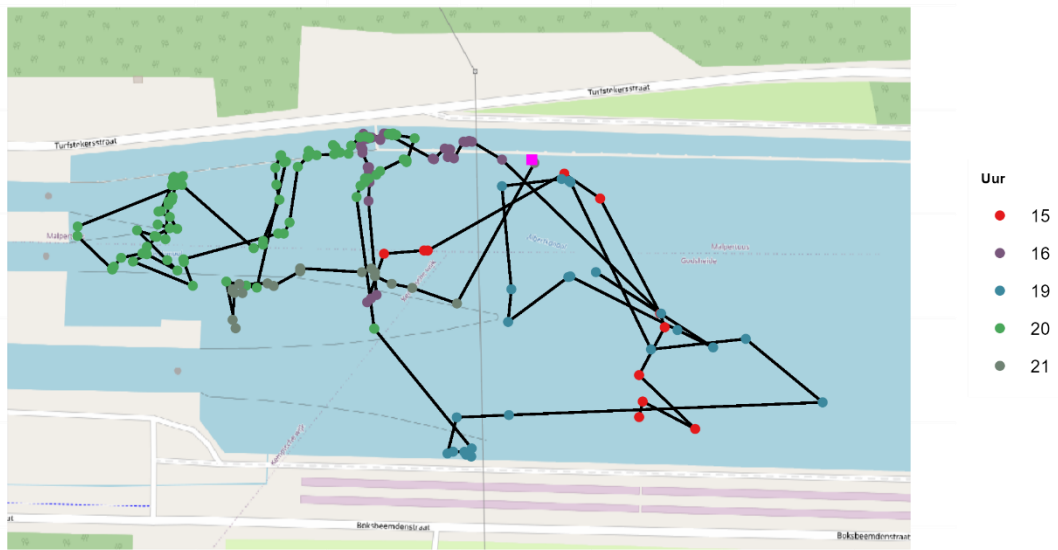
(a)



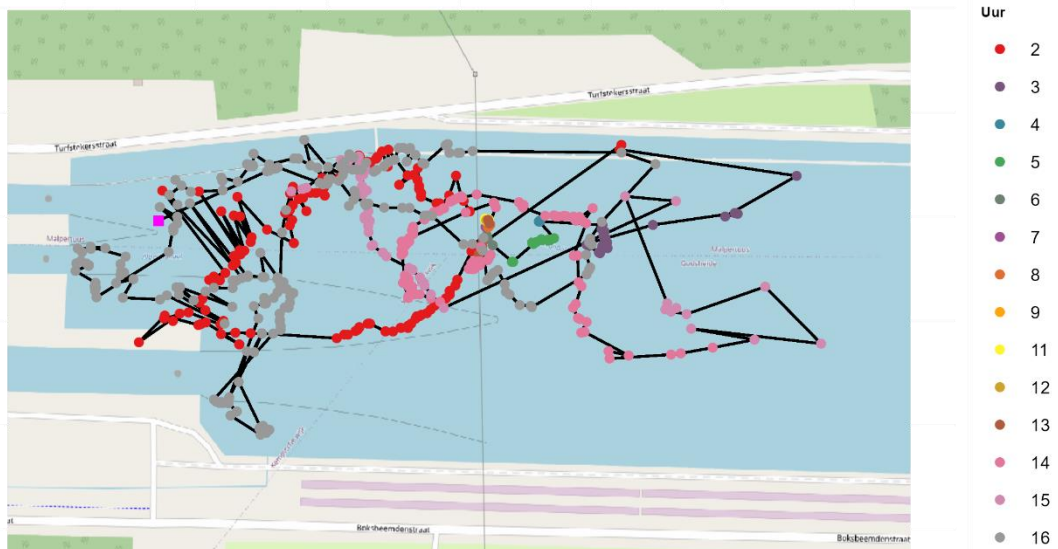
Paling met zender ID 3630

Deze paling werd gevangen en gezenderd op 12 december. Bijna meteen na zijn vrijlaten zwemt het dier naar de sluizen en vertoont daar zoekgedrag. Het zwemt daarbij tot aan de vulopeningen van de Midden/Noordersluis, maar passeert de sluizen (nog) niet. De dag erna, op 13 december, vertoont het dier nog steeds zoekgedrag en zwemt regelmatig tot aan de sluizen. Het zwemt ook richting de viswering, maar nadert die slechts tot op 10 a 15 meter afstand. Het dier keert om en passeert uiteindelijk de sluizen. Vermoedelijk via de Midden- of de Noordersluis. In tegenstelling tot verschillende andere dieren die steeds 's avonds of 's nachts in de 2D-array van ontvangers zwemmen, zwemt dit dier daar ook overdag (in de namiddag) rond.

2022-12-12

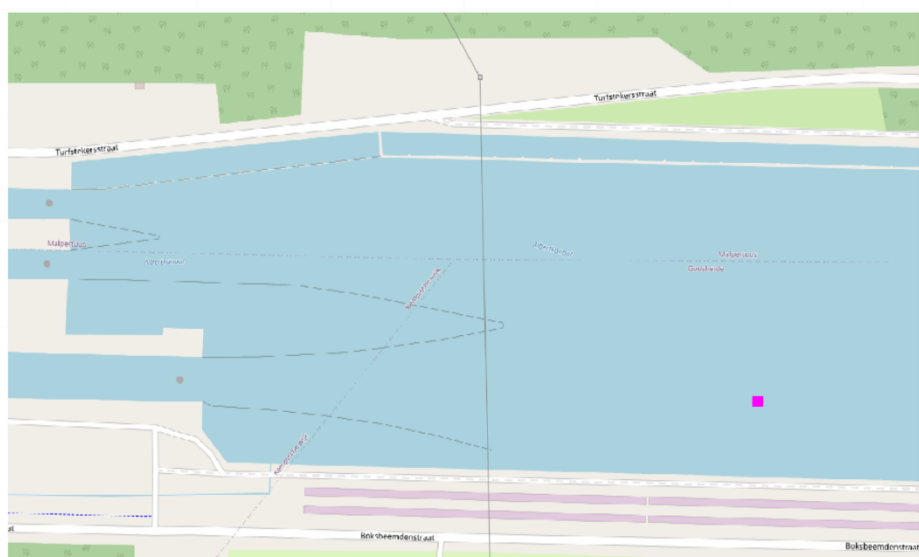


2022-12-13

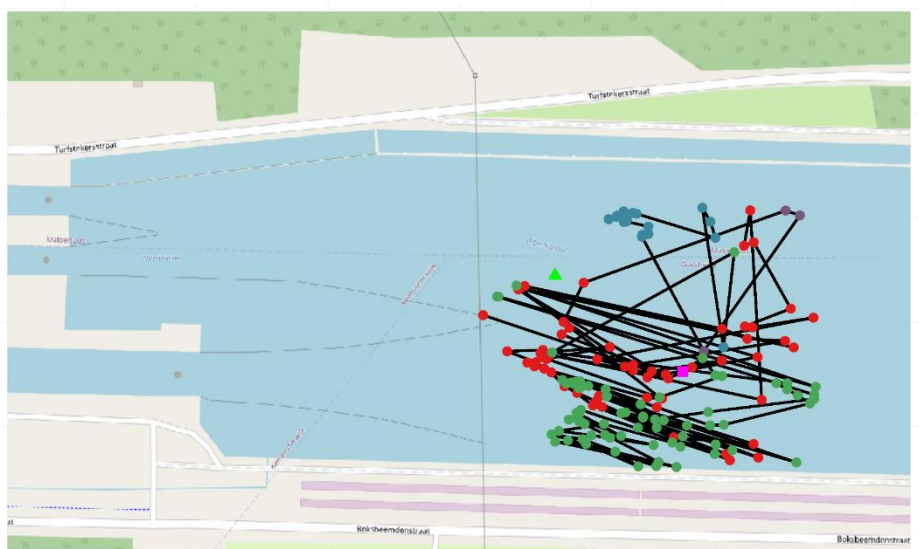


(a)

2023-01-05



2023-03-30



(a)



Figuur 43 **Tweedimensionaal gedrag (a)** in de 2D-array van ontvangers vlakbij de sluizen en de viswering, en **ééndimensionaal gedrag (b)** in het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt tijdens de studieperiode voor **paling met zender ID 3631**. De kleuren in de legende bij (a) tonen het uur van de respectievelijke dag (datum in titel van iedere plot) waarop de paling op een bepaalde locatie was. De kleuren in de legende bij (b) tonen in welke zone van het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt het dier zich bevond op een bepaalde dag. De 2D-zone wordt in de plot weergegeven door detecties op drie verschillende ontvangers (oranje bolletjes), terwijl de andere zones weergegeven worden door de detecties op telkens één ontvanger (ander kleuren).

Deze paling werd op 14 verschillende dagen gedetecteerd in de 2D array van ontvangers. Op negen van de 14 dagen vertoonde het dier zoekgedrag in het gebied. Daarbij zwom het een aantal keer tot bij de sluizen en ook vier keer tot vlakbij de viswering. Het dier ging geen enkele van deze vier keer door de viswering, maar zwom telkens terug het scheepvaartkanaal in. Het werd dus vier keer succesvol uit het bypass kanaal geweerd. Op de laatste dag, op 30 maart, geraakte het dier voorbij de scheepvaartsluizen, vermoedelijk via de Midden- of de Noordersluis.

2023-01-06



Uur

- 13
- 14
- 15
- 16

2023-02-05



Uur

- 21
- 22

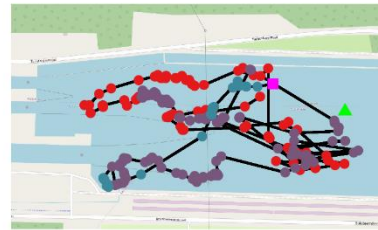
2023-02-24



Uur

- 22

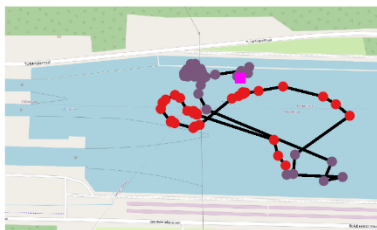
2023-03-13



Uur

- 20
- 21
- 22

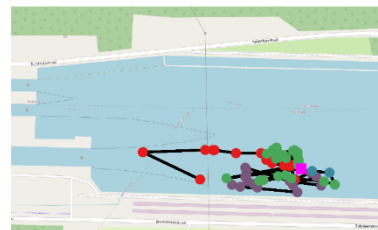
2023-03-16



Uur

- 21
- 22

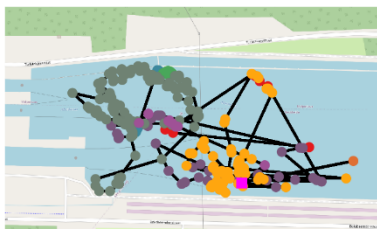
2023-03-17



Uur

- 3
- 21
- 22
- 23

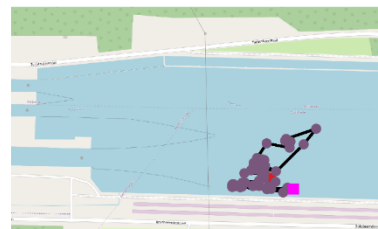
2023-03-18



Uur

- 1
- 15
- 16
- 17
- 18
- 19
- 20
- 21

2023-03-19



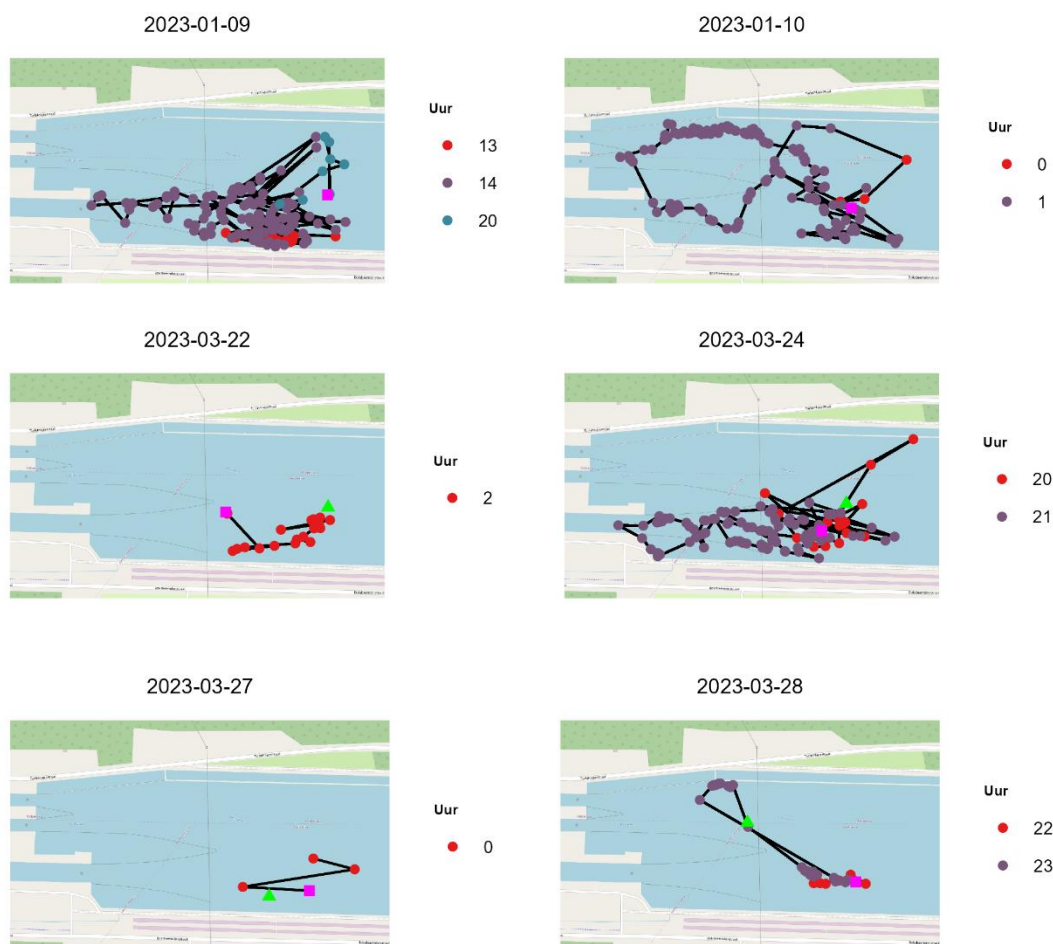
Uur

- 1
- 2

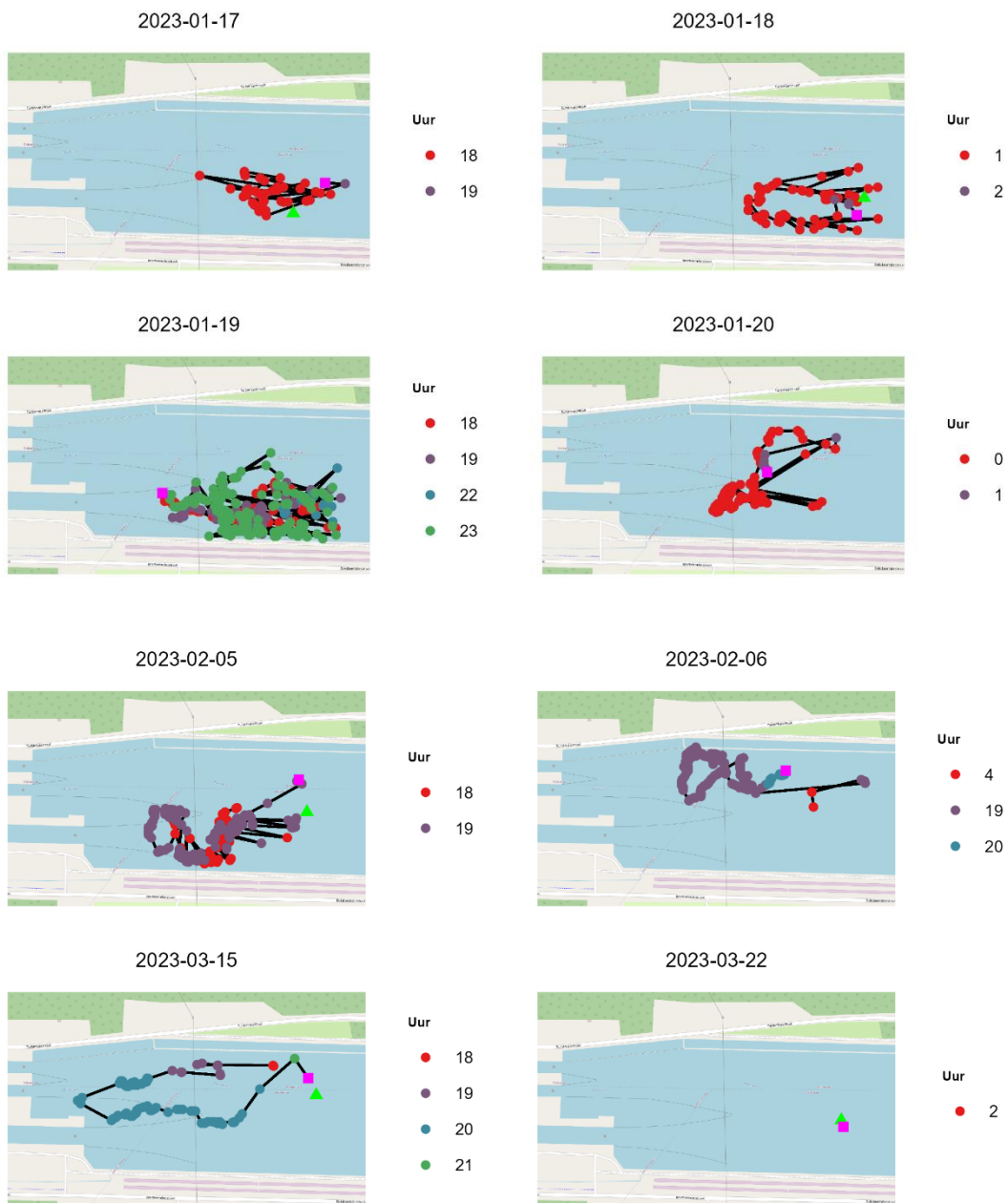
Figuur 44 **Tweedimensionaal gedrag (a)** in de 2D-array van ontvangers vlakbij de sluizen en de viswering, en **ééndimensionaal gedrag (b)** in het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt tijdens de studieperiode voor **paling met zender ID 3632**. De kleuren in de legende bij (a) tonen het uur van de respectievelijke dag (datum in titel van iedere plot) waarop de paling op een bepaalde locatie was. De kleuren in de legende bij (b) tonen in welke zone van het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt het dier zich bevond op een bepaalde dag. De 2D-zone wordt in de plot weergegeven door detecties op drie verschillende ontvangers (oranje bolletjes), terwijl de andere zones weergegeven worden door de detecties op telkens één ontvanger (ander kleuren).

Paling met zender ID 3633

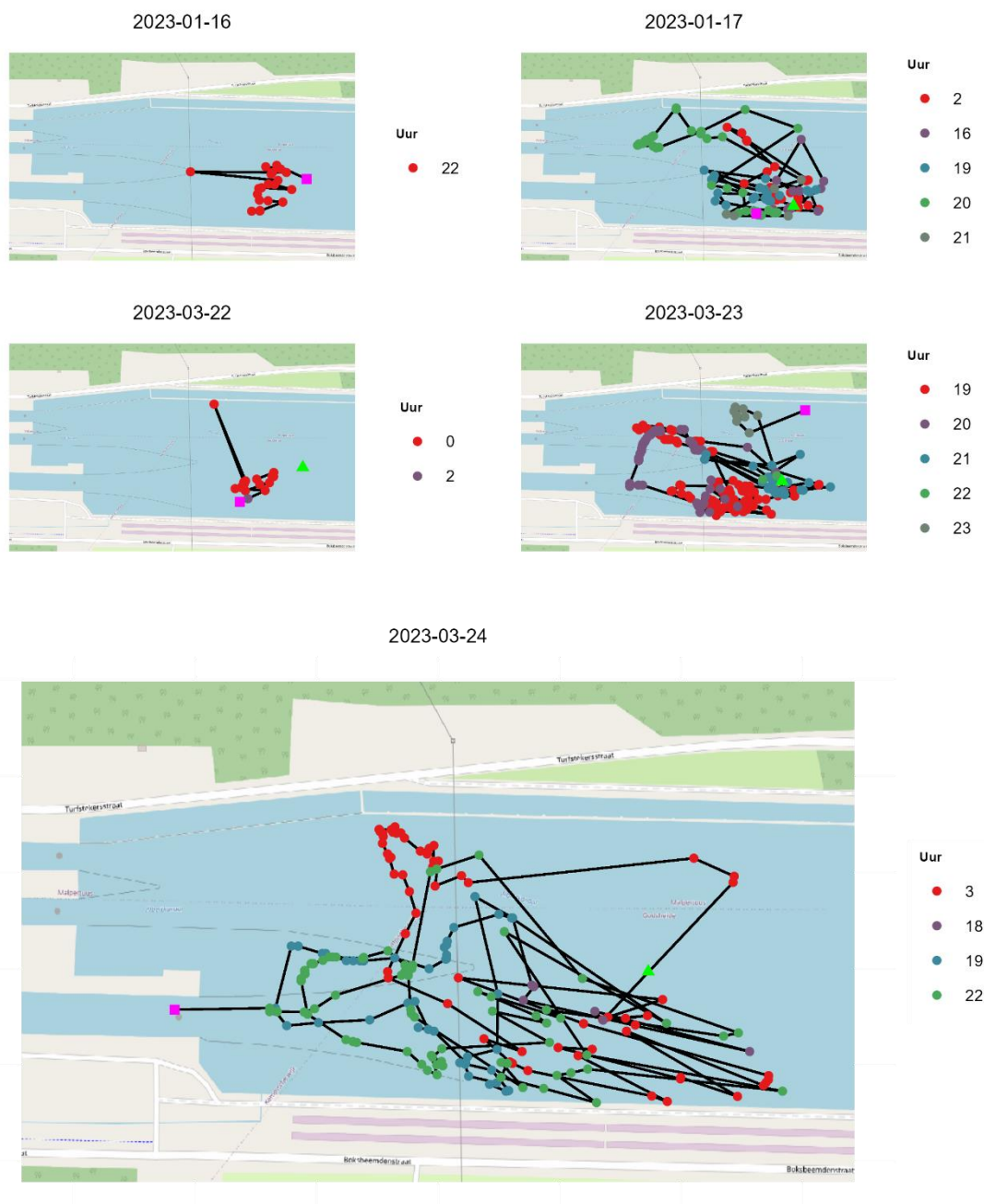
Deze paling werd op 6 verschillende dagen in de 2D-array van ontvangers gedetecteerd. Op vier van die dagen vertoonde het uitgebreid zoekgedrag. Eén van die dagen zwom de paling tot vlakbij de viswering en zwom er weer van weg. Op 6 april zat deze paling nog steeds in het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt. Het kon het sluizencomplex van Hasselt dus niet passeren.



(a)

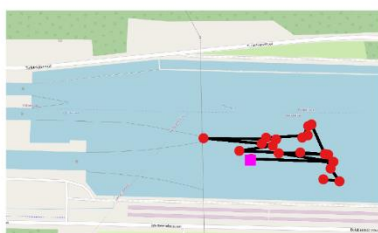


(a)



(a)

2022-12-09



Uur
● 16

2022-12-13



Uur
● 16

2022-12-14



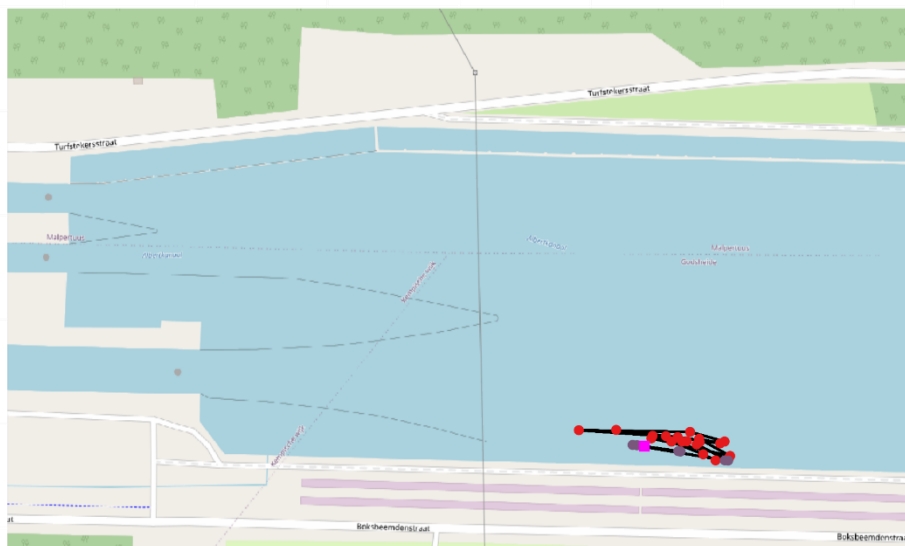
Uur
● 18
● 21
● 23

2022-12-15



Uur
● 17
● 18
● 19
● 20

2022-12-16



Uur
● 18
● 19

Uur

0	1
2	3
4	5

Uur

●	16
●	17

[illegible]

Uur

● 17

Uur

●	0
●	15

Uur	
	0
	1
	17
	18

Uur

● 17

Uur

● 18

Uur	
17	●
18	●
20	●
21	●

[illegible]

2023-02-21



Uur
 ● 17
 ● 18
 ● 23

2023-02-22



Uur
 ● 16
 ● 19

2023-02-23



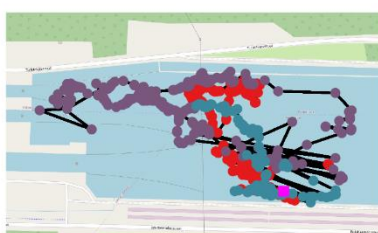
Uur
 ● 17
 ● 18

2023-03-15



Uur
 ● 18
 ● 19

2023-03-16



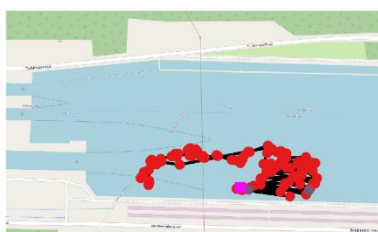
Uur
 ● 18
 ● 19
 ● 20

2023-03-17



Uur
 ● 1
 ● 2
 ● 3
 ● 18
 ● 19

2023-03-18



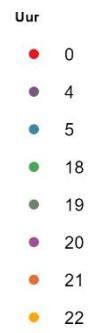
Uur
 ● 18
 ● 19
 ● 20

2023-03-19

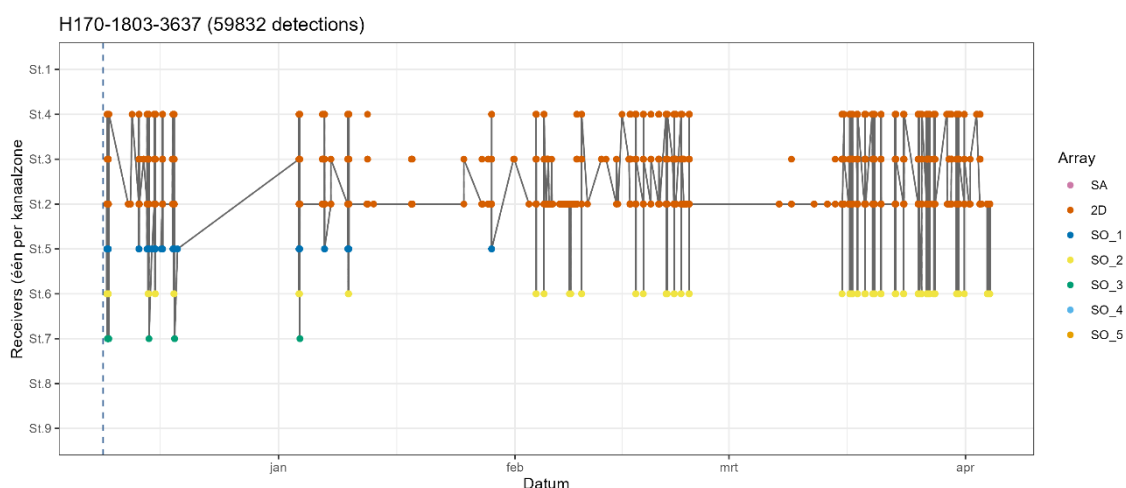


Uur
 ● 18
 ● 19
 ● 23

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



(a)

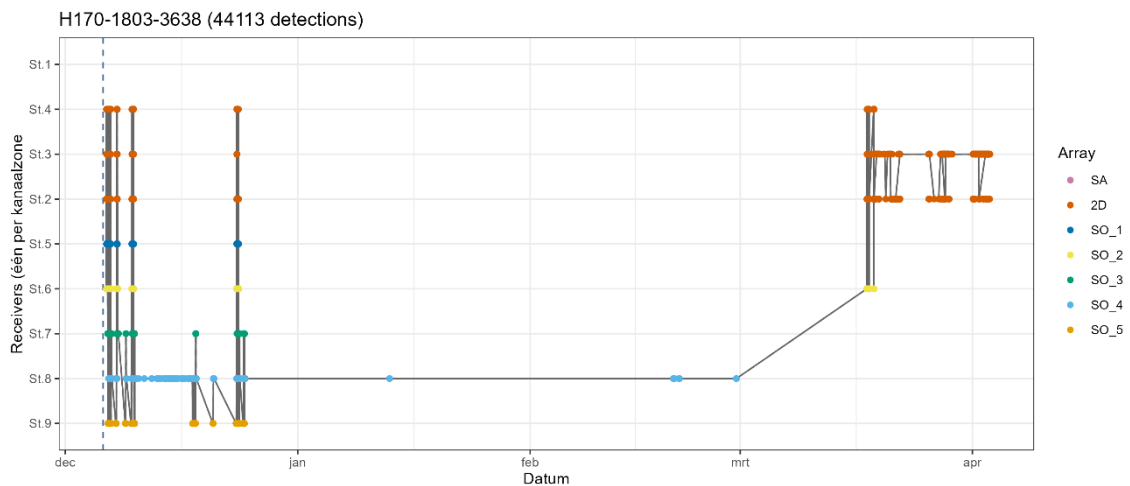


(b)

Figuur 48 **Tweedimensionaal gedrag (a)** in de 2D-array van ontvangers vlakbij de sluisen en de viswering, en **ééndimensionaal gedrag (b)** in het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt tijdens de studieperiode voor **paling met zender ID 3637**. De kleuren in de legende bij (a) tonen het uur van de respectievelijke dag (datum in titel van iedere plot) waarop de paling op een bepaalde locatie was. De kleuren in de legende bij (b) tonen in welke zone van het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt het dier zich bevond op een bepaalde dag. De 2D-zone wordt in de plot weergegeven door detecties op drie verschillende ontvangers (oranje bolletjes), terwijl de andere zones weergegeven worden door de detecties op telkens één ontvanger (ander kleuren).

Paling met zender ID 3638

Deze paling zwom meteen na vrijlating (en zendering) op 6 december rond in de 2D array van ontvangers. Vermoedelijk op zoek naar een weg stroomafwaarts. Op 9 en 10 december kwam het dier zeer dicht bij de sluisdeuren van de duwvaartsluis. Mogelijk zwom het dier er zelfs in. Maar uiteindelijk wist het de sluisen niet te passeren. Op 23 december werd hij een laatste keer in de 2D-array van ontvangers gedetecteerd. Nadien werd hij alle maanden nog stroomopwaarts in het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt gedetecteerd, tot het einde van de observatieperiode begin april.



(b)

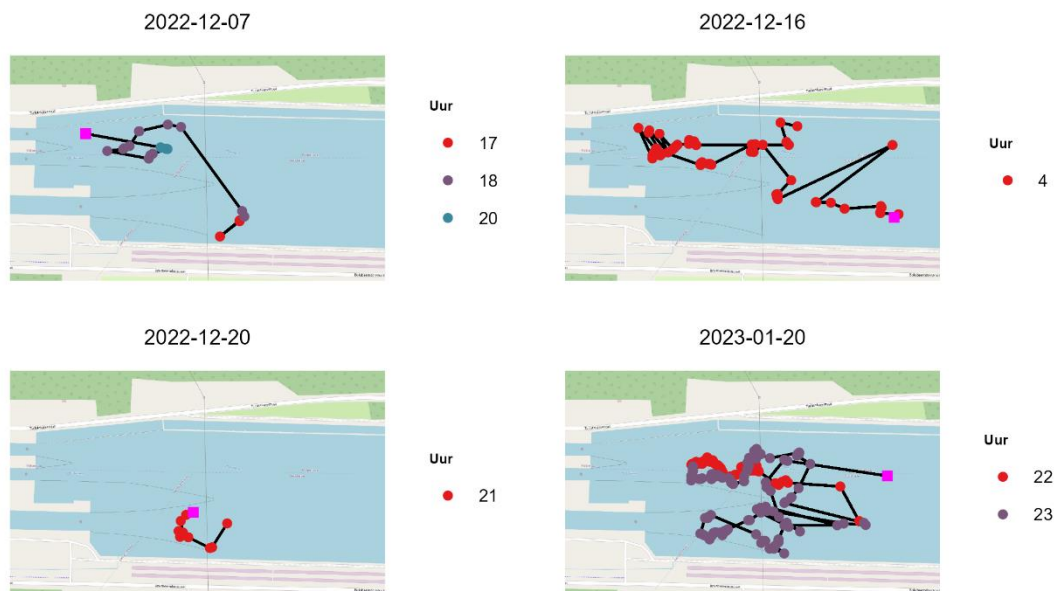
Figuur 49 **Tweedimensionaal gedrag (a)** in de 2D-array van ontvangers vlakbij de sluizen en de viswering, en **ééndimensionaal gedrag (b)** in het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt tijdens de studieperiode voor **paling met zender ID 3638**. De kleuren in de legende bij (a) tonen het uur van de respectievelijke dag (datum in titel van iedere plot) waarop de paling op een bepaalde locatie was. De kleuren in de legende bij (b) tonen in welke zone van het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt het dier zich bevond op een bepaalde dag. De 2D-zone wordt in de plot weergegeven door detecties op drie verschillende ontvangers (oranje bolletjes), terwijl de andere zones weergegeven worden door de detecties op telkens één ontvanger (ander kleuren).

Paling met zender ID 3639

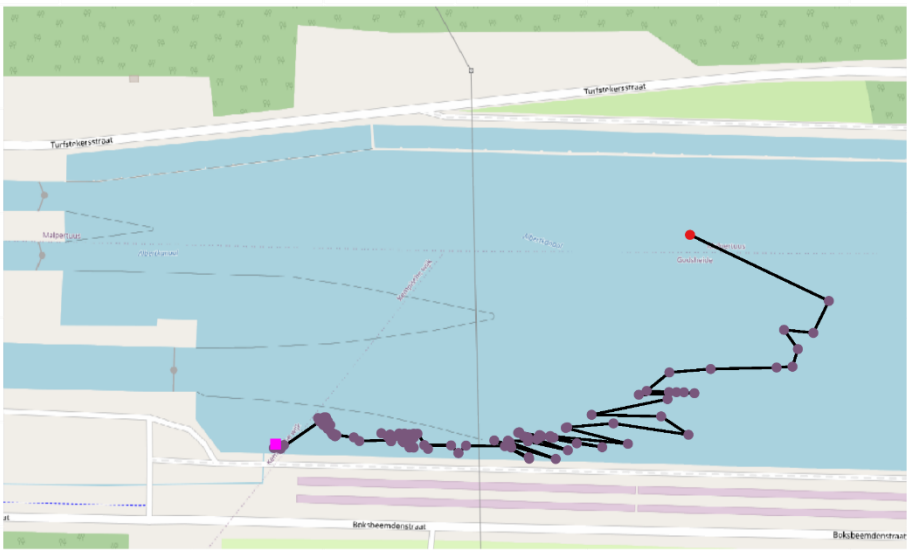
Deze paling werd op 5 december vrijgelaten na zending. Pas in maart wordt hij een eerste keer gedetecteerd in de 2D-array van ontvangers. Meer specifiek op vier verschillende dagen eind maart. Maar het dier komt nooit in de buurt van de scheepvaartsluizen of de viswering. Op 6 april zit deze paling nog steeds in het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt.

Paling met zender ID 3640

Deze paling werd op 19 verschillende dagen gedetecteerd in de 2D-array van ontvangers, en op 17 van deze 19 dagen zwom het ook echt rond in heel de zone. Op verschillende dagen lijkt het dier een weg stroomafwaarts te zoeken waarbij het de scheepvaartsluizen nadert; ook meteen na zending in december en januari. Op 19 maart zwemt het dier tot vlakbij de lichtwering, om 23u. De detecties vallen vanaf dit punt weg, en een dik uur later wordt het dier opnieuw gedetecteerd (middernacht 20 maart) in het scheepvaartkanaal, weg van de viswering. Het is niet zeker of dit dier door de viswering zwom tijdens dit uur, of dat het tracking systeem niet werkte door vb. verstoring door scheepvaartgeluid. Het is zeker mogelijk dat het dier even in het bypass-kanaal verbleef en er daarna terug uitzwom. We hebben dit niet kunnen vaststellen door een defecte ontvanger in het bypass-kanaal. Uiteindelijk zwemt het dier eind maart nog twee keer tot vlakbij de sluizen en één keer tot vlakbij de viswering. Deze keer observeren we wel dat het meteen van de lichten wegzwemt. Hoewel deze paling zeer dicht bij de scheepvaartsluizen kwam, kon het deze toch niet passeren. Op 6 april zat het dier nog steeds in het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt.

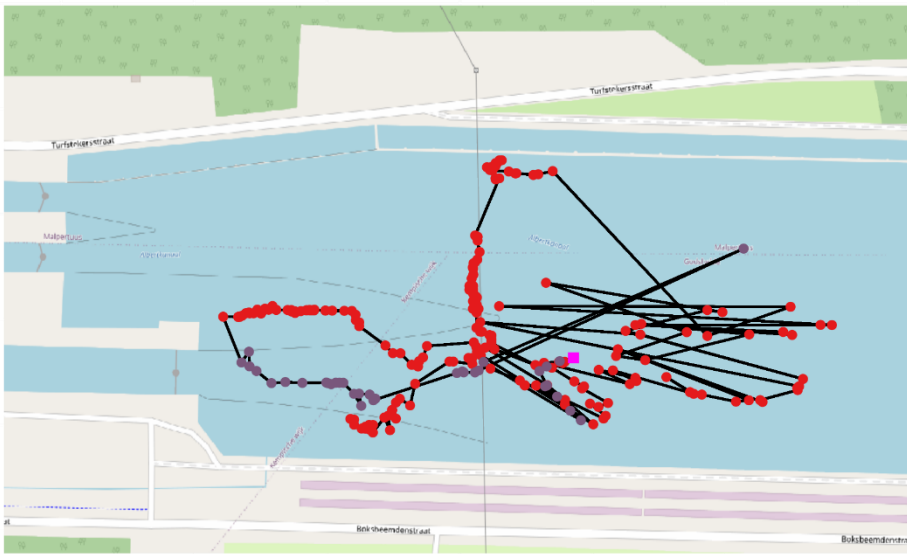


2023-03-19



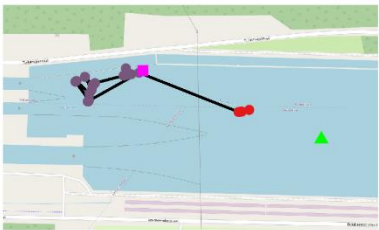
Uur
● 19
● 23

2023-03-20



Uur
● 0
● 1

2023-03-22



Uur
● 18
● 19

2023-03-24



Uur
● 17

2023-03-25

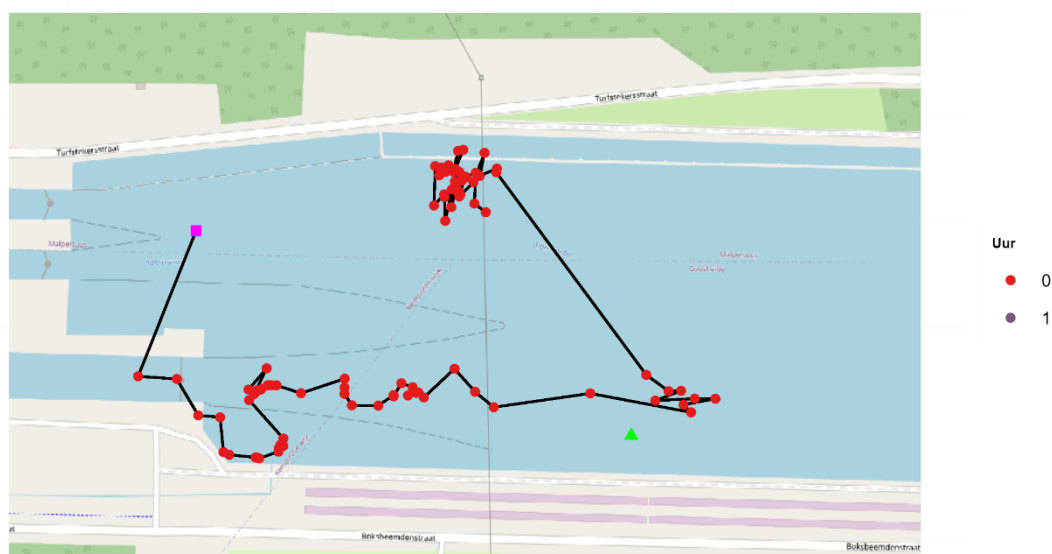


2023-03-26

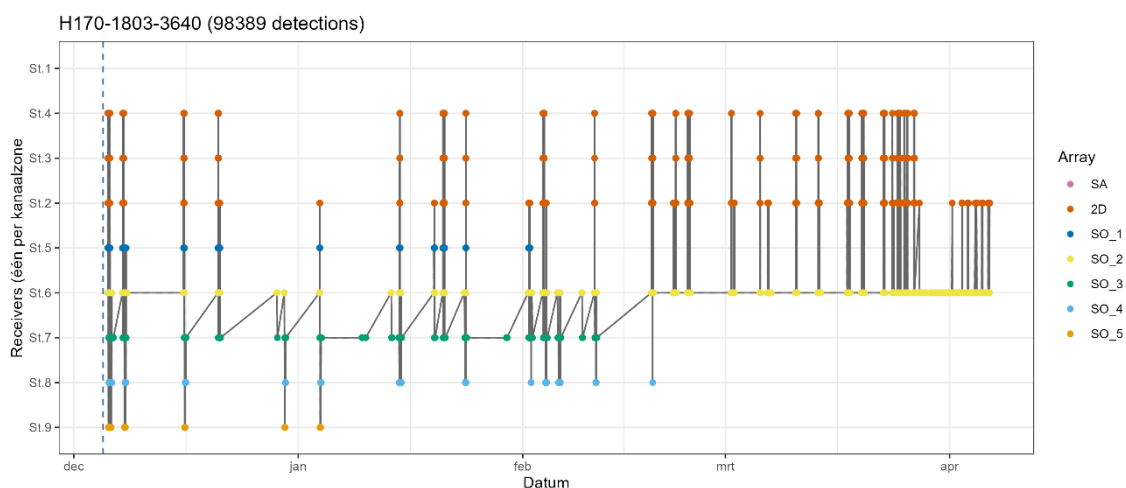


////////////////////////////////////

2023-03-27



(a)



(b)

Figuur 51 **Tweedimensionaal gedrag (a)** in de 2D-array van ontvangers vlakbij de sluizen en de viswering, en **ééndimensionaal gedrag (b)** in het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt tijdens de studieperiode voor **paling met zender ID 3640**. De kleuren in de legende bij (a) tonen het uur van de respectievelijke dag (datum in titel van iedere plot) waarop de paling op een bepaalde locatie was. De kleuren in de legende bij (b) tonen in welke zone van het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt het dier zich bevond op een bepaalde dag. De 2D-zone wordt in de plot weergegeven door detecties op drie verschillende ontvangers (oranje bolletjes), terwijl de andere zones weergegeven worden door de detecties op telkens één ontvanger (ander kleuren).

Paling met zender ID 3641

2022-12-02

Tuitshuisstraat

Molenvier

Molenvier Goudkruis

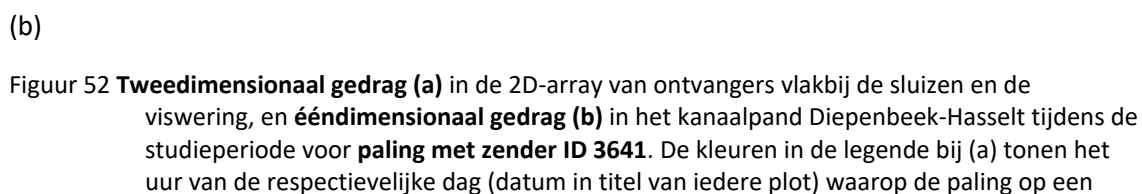
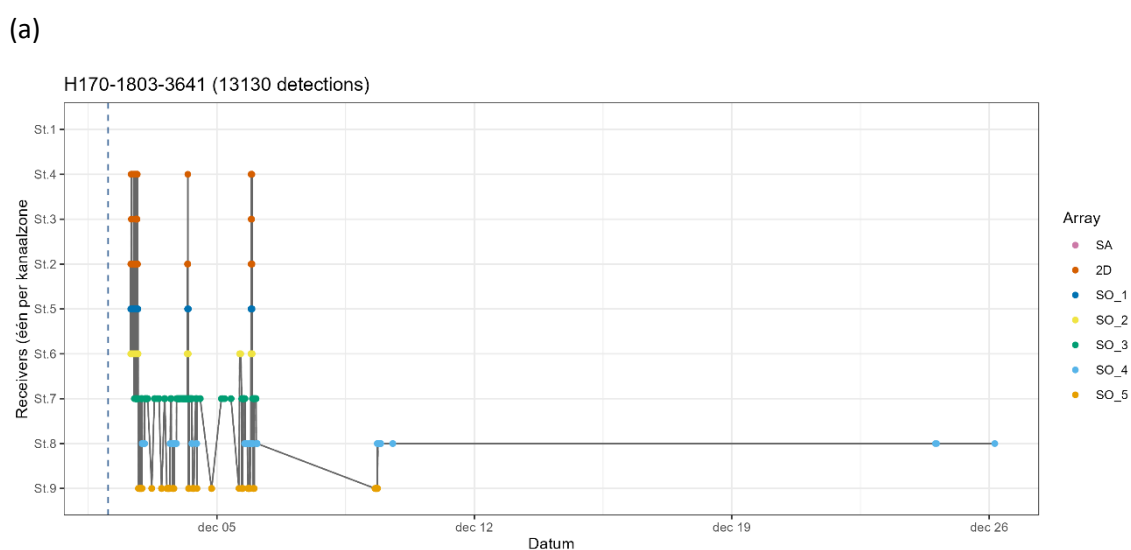
Blaasveld

Blaasveldstraat

Blaasveldsestraat

Uur

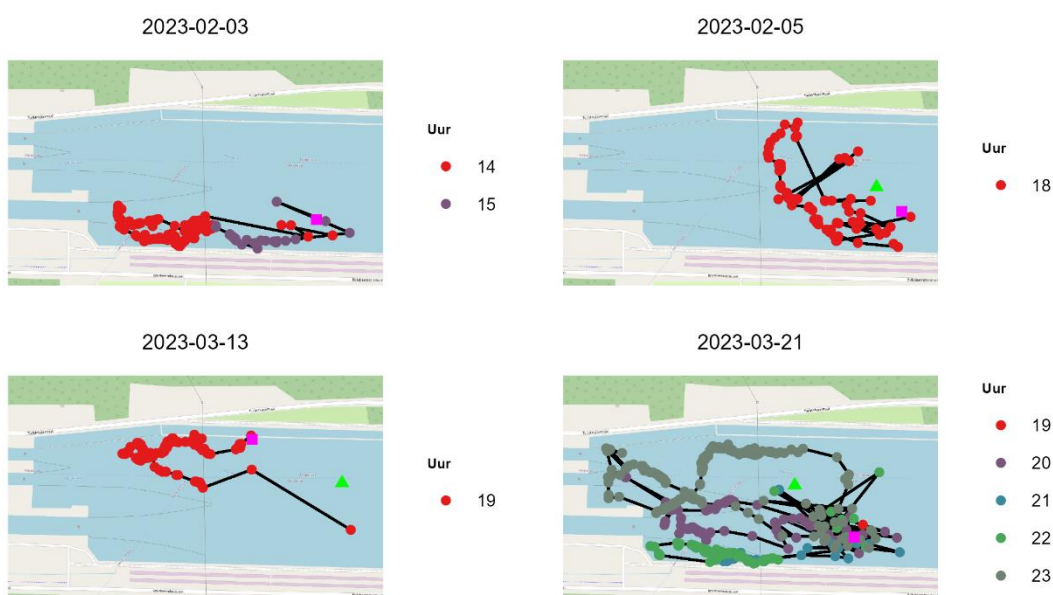
18



bepaalde locatie was. De kleuren in de legende bij (b) tonen in welke zone van het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt het dier zich bevond op een bepaalde dag. De 2D-zone wordt in de plot weergegeven door detecties op drie verschillende ontvangers (oranje bolletjes), terwijl de andere zones weergegeven worden door de detecties op telkens één ontvanger (ander kleuren).

Paling met zender ID 3642

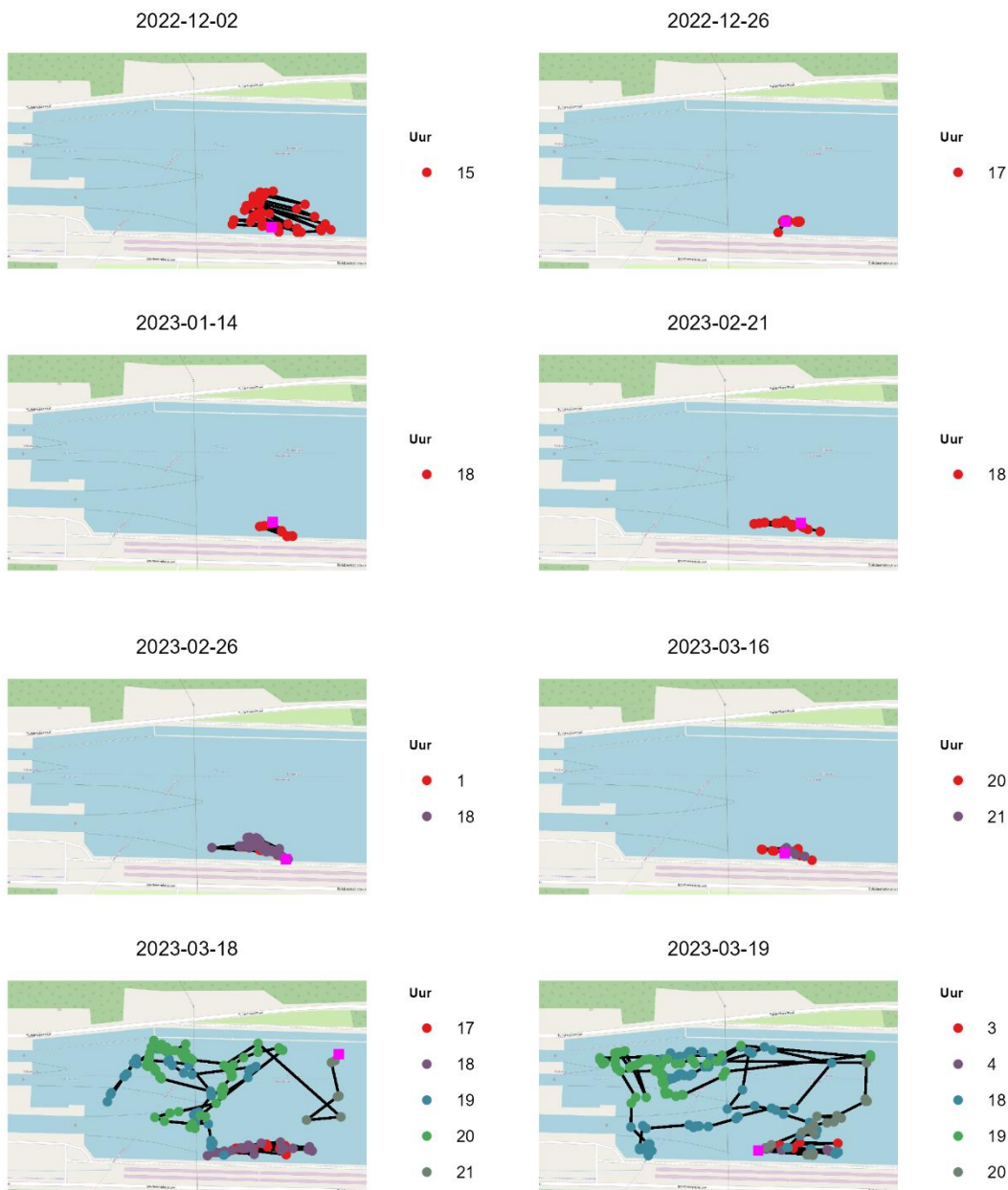
Deze paling werd op 8 verschillende dagen in de 2D array van ontvangers gedetecteerd: twee dagen in februari en de rest in maart. Het dier vertoont in maart zoekgedrag tot tegen de sluizen en nadert ook tweemaal de viswering tot er vlakbij. De paling zwemt tweemaal van de viswering weg. Uiteindelijk slaagt het dier er niet in om de scheepvaartsluizen te passeren en op 6 april bevindt het dier zich nog steeds in het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt.



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

Paling met zender ID 3643

Ook deze paling vertoont vanaf half/eind maart zoekgedrag in de 2D-array van ontvangers tot tegen de sluizen. Drie keer nadert de paling de viswering tot vlakbij en zwemt er opnieuw van weg. Het dier vindt ook geen uitweg langs de scheepvaartsluizen en zit uiteindelijk op 6 april nog steeds in het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt.



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

Uur

	4
	18

Uur

●	2
●	17
●	18

Uur

	2
	3
	16

The figure is a map of the North Sea region. A red dot indicates the location of the study site, and a green triangle indicates the location of the study area. The map shows the coastline of the North Sea and the location of the study site and area.

Uur

●	19
●	20

Uur

18
19
20

Uur

0	1	2	3
---	---	---	---

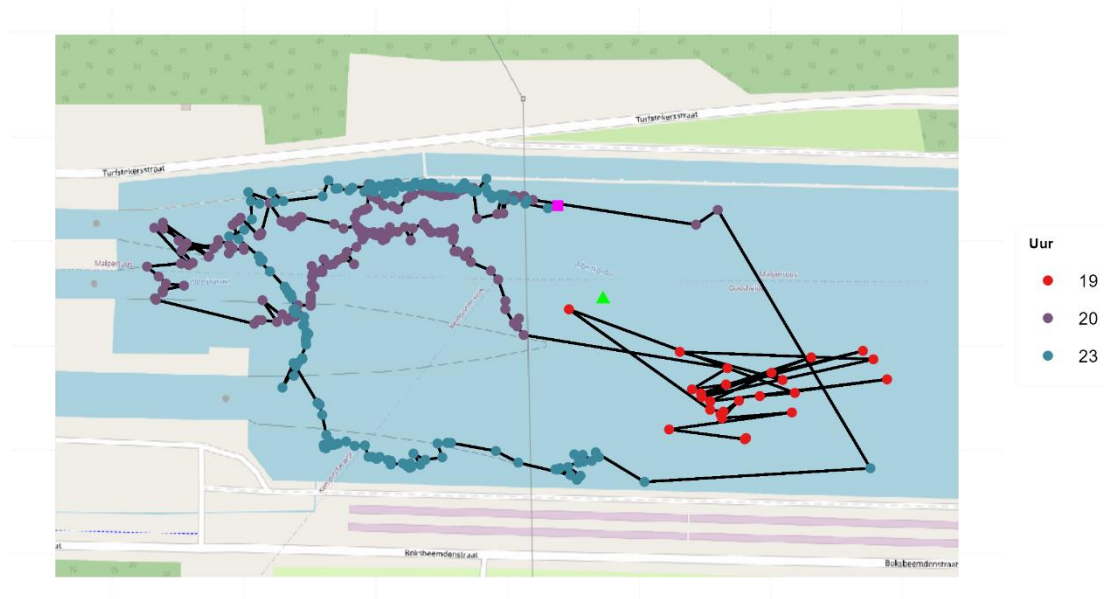
Uur

20
21
22

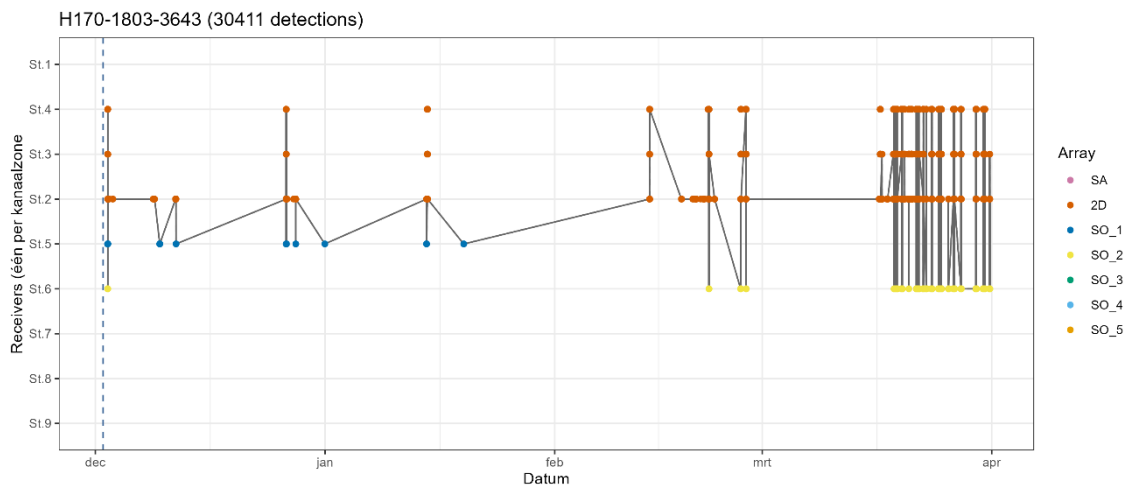
Uur

● 19

2023-03-30



(a)



(b)

Figuur 54 **Tweedimensionaal gedrag (a)** in de 2D-array van ontvangers vlakbij de sluizen en de viswering, en **ééndimensionaal gedrag (b)** in het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt tijdens de studieperiode voor **paling met zender ID 3643**. De kleuren in de legende bij (a) tonen het uur van de respectievelijke dag (datum in titel van iedere plot) waarop de paling op een bepaalde locatie was. De kleuren in de legende bij (b) tonen in welke zone van het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt het dier zich bevond op een bepaalde dag. De 2D-zone wordt in de plot weergegeven door detecties op drie verschillende ontvangers (oranje bolletjes), terwijl de andere zones weergegeven worden door de detecties op telkens één ontvanger (ander kleuren).

Paling met zender ID 3644

2022-11-28

Turkisenstraat

Maboung

Gronau

Turkisen

Quiche

Bokbeemderstraat

Bokbeemderstraat

Uur

16

H170-1803-3644 (16842 detections)

Receivers (één per kanaalzone)

Datum

Array

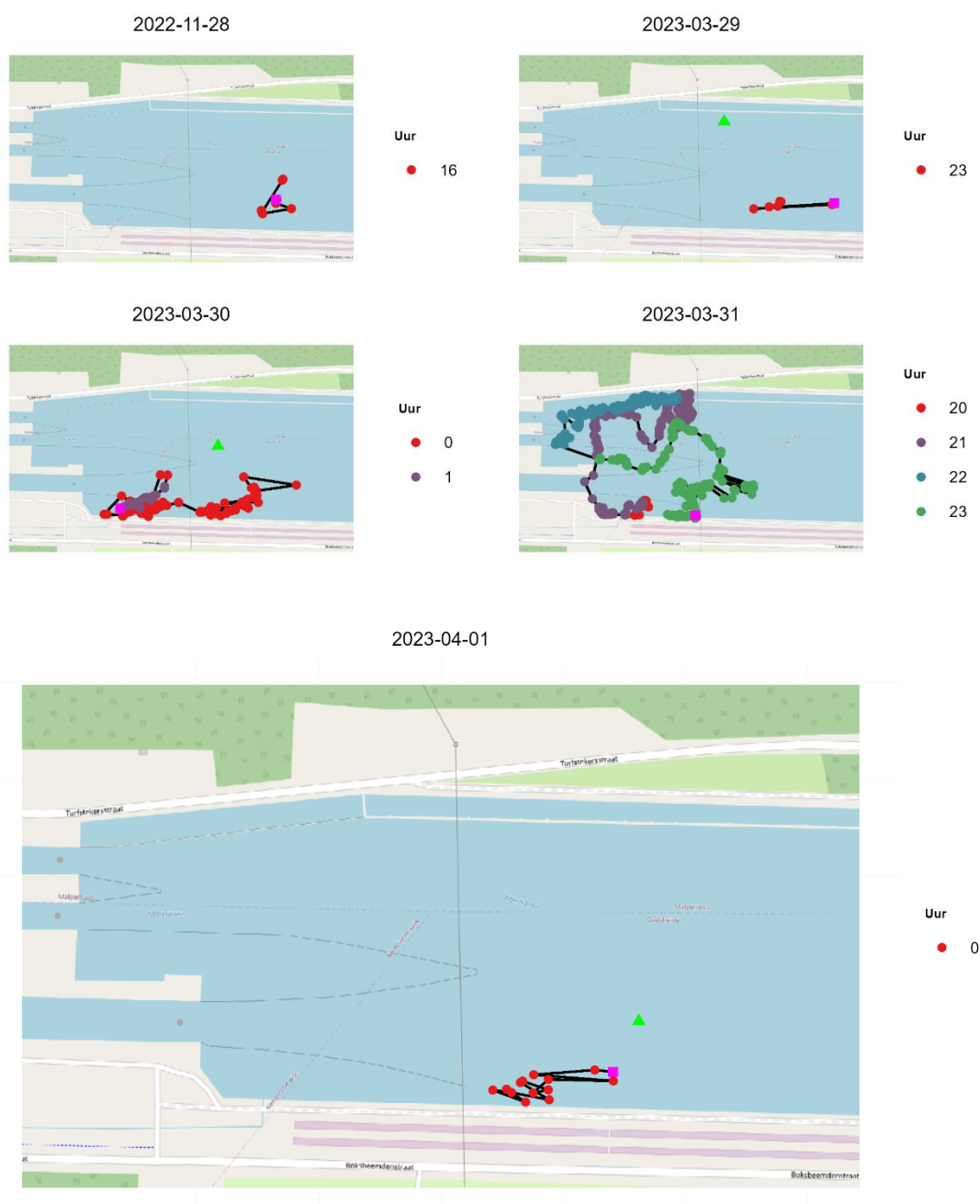
- SA
- 2D
- SO_1
- SO_2
- SO_3
- SO_4
- SO_5

Figuur 55 **Tweedimensionaal gedrag (a)** in de 2D-array van ontvangers vlakbij de sluizen en de viswering, en **ééndimensionaal gedrag (b)** in het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt tijdens de studieperiode voor **paling met zender ID 3644**. De kleuren in de legende bij (a) tonen het uur van de respectievelijke dag (datum in titel van iedere plot) waarop de paling op een bepaalde locatie was. De kleuren in de legende bij (b) tonen in welke zone van het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt het dier zich bevond op een bepaalde dag. De 2D-zone

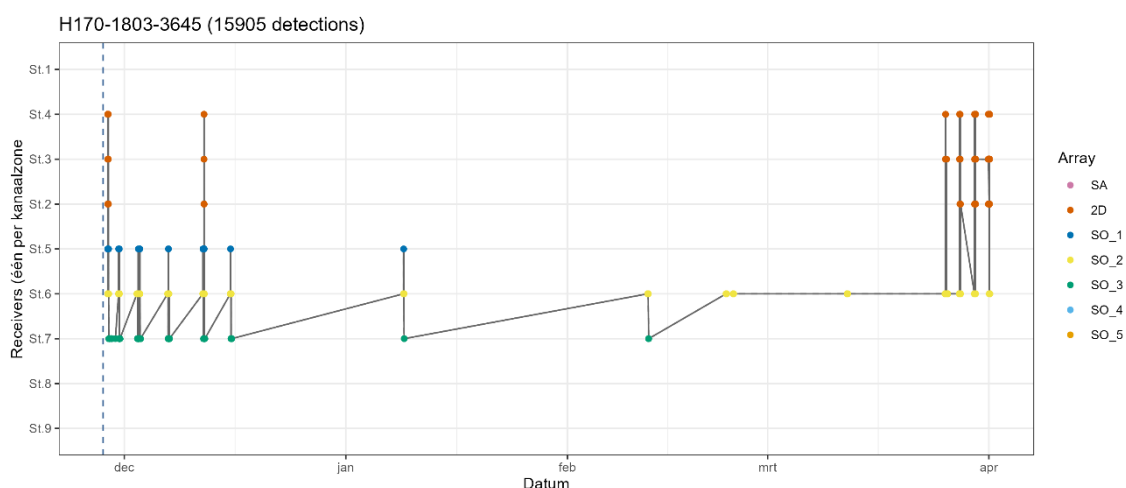
wordt in de plot weergegeven door detecties op drie verschillende ontvangers (oranje bolletjes), terwijl de andere zones weergegeven worden door de detecties op telkens één ontvanger (ander kleuren).

Paling met zender ID 3645

Deze paling vertoonde slechts op twee dagen zoekgedrag in de 2D-array van ontvangers. Hij kwam daarbij twee keer tot vlakbij de viswering, maar werd uit het bypass kanaal geweerd. Het dier zat op 6 april nog steeds in kanaalpand Diepenbeek-Hasselt.



(a)

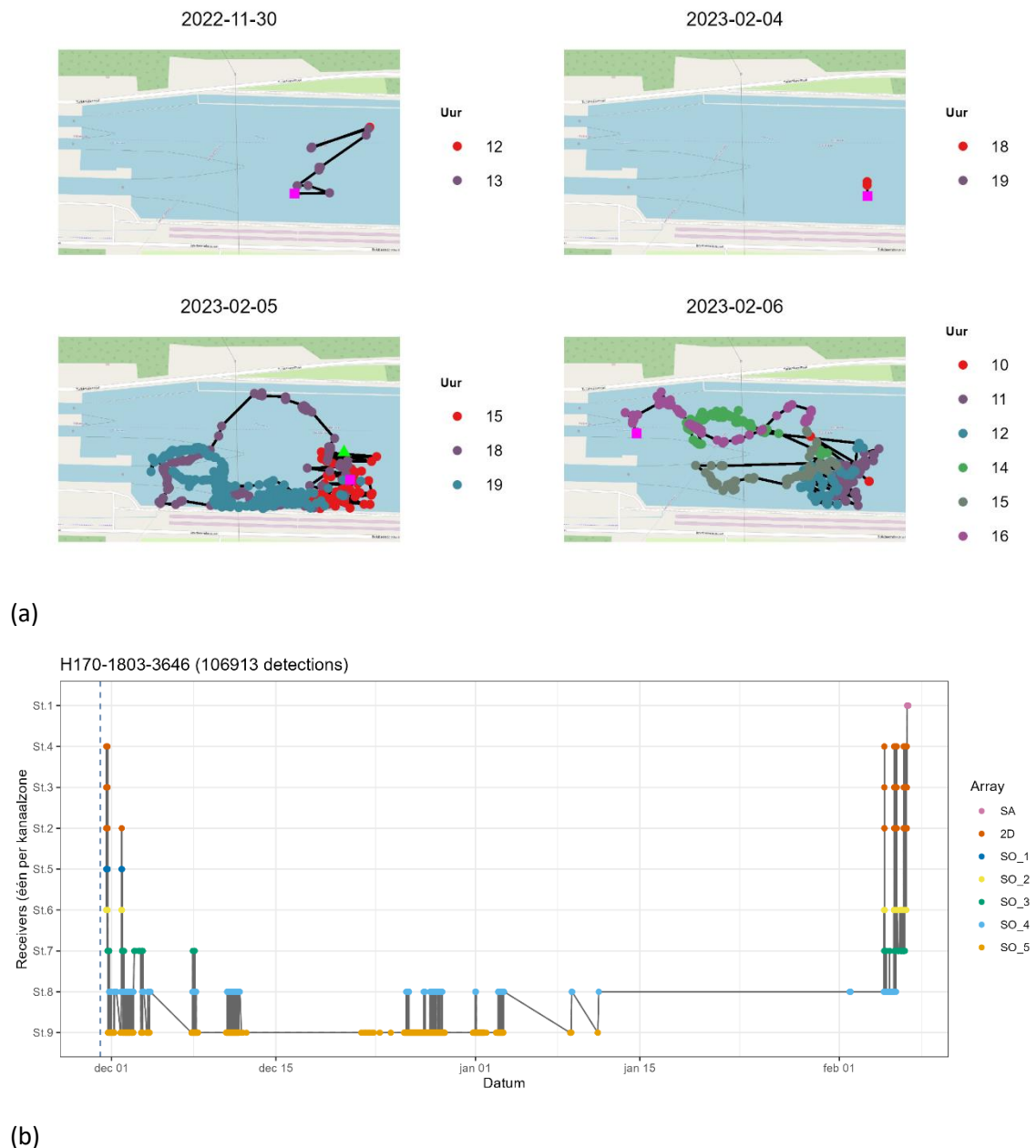


(b)

Figuur 56 **Tweedimensionaal gedrag (a)** in de 2D-array van ontvangers vlakbij de sluizen en de viswering, en **ééndimensionaal gedrag (b)** in het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt tijdens de studieperiode voor **paling met zender ID 3645**. De kleuren in de legende bij (a) tonen het uur van de respectievelijke dag (datum in titel van iedere plot) waarop de paling op een bepaalde locatie was. De kleuren in de legende bij (b) tonen in welke zone van het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt het dier zich bevond op een bepaalde dag. De 2D-zone wordt in de plot weergegeven door detecties op drie verschillende ontvangers (oranje bolletjes), terwijl de andere zones weergegeven worden door de detecties op telkens één ontvanger (ander kleuren).

Paling met zender ID 3646

Deze paling is één van de weinigen die zoekgedrag vertoonde in de zone voor de schepvaartsluizen overdag. Het dier naderde op 5 februari ook de viswering ('s avonds bij donkerte) en werd succesvol uit het bypass kanaal geweerd. Op 6 februari vond het een uitweg (overdag) langs de schepvaarsluizen, vermoedelijk de Midden- of Noordersluis.

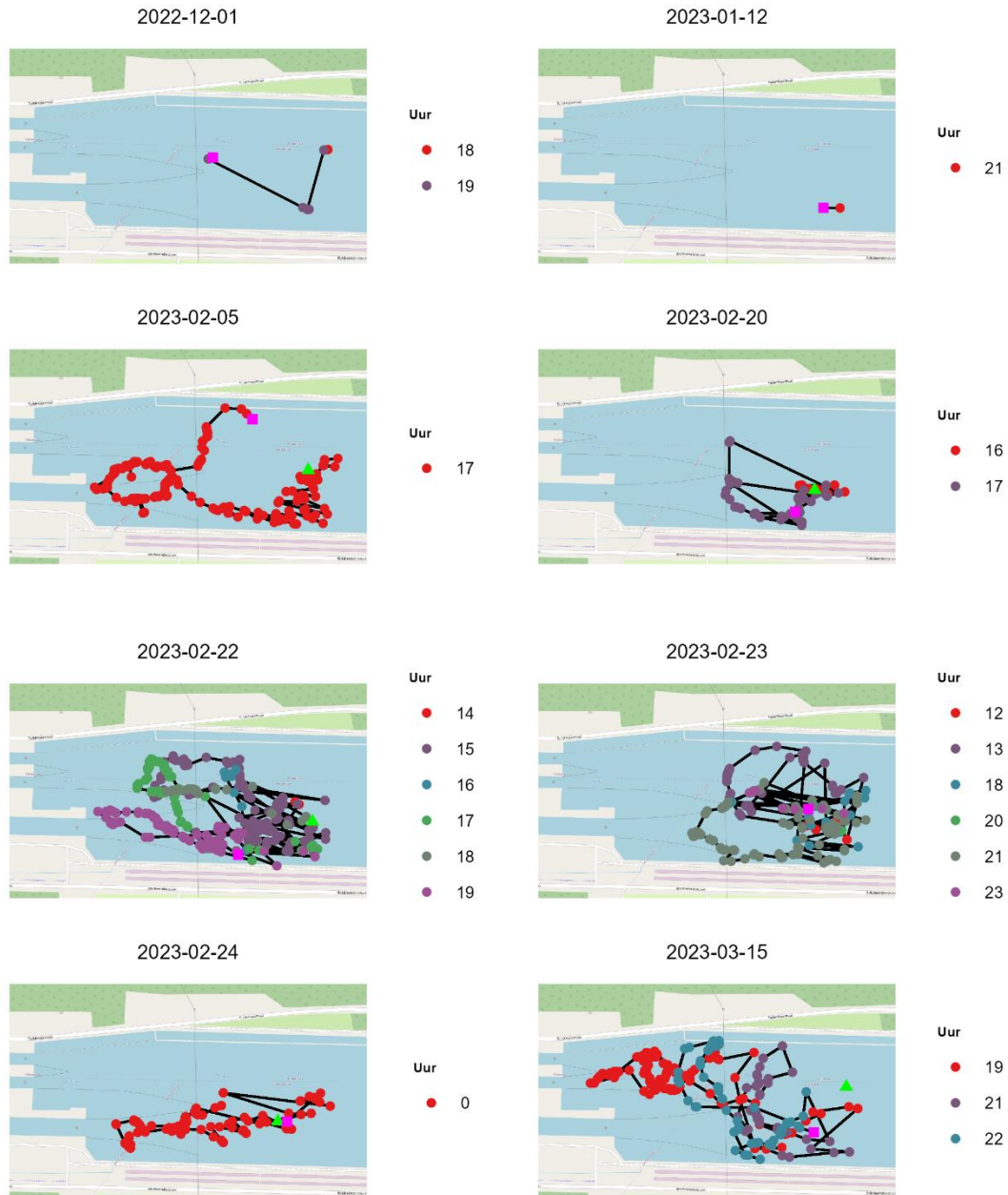


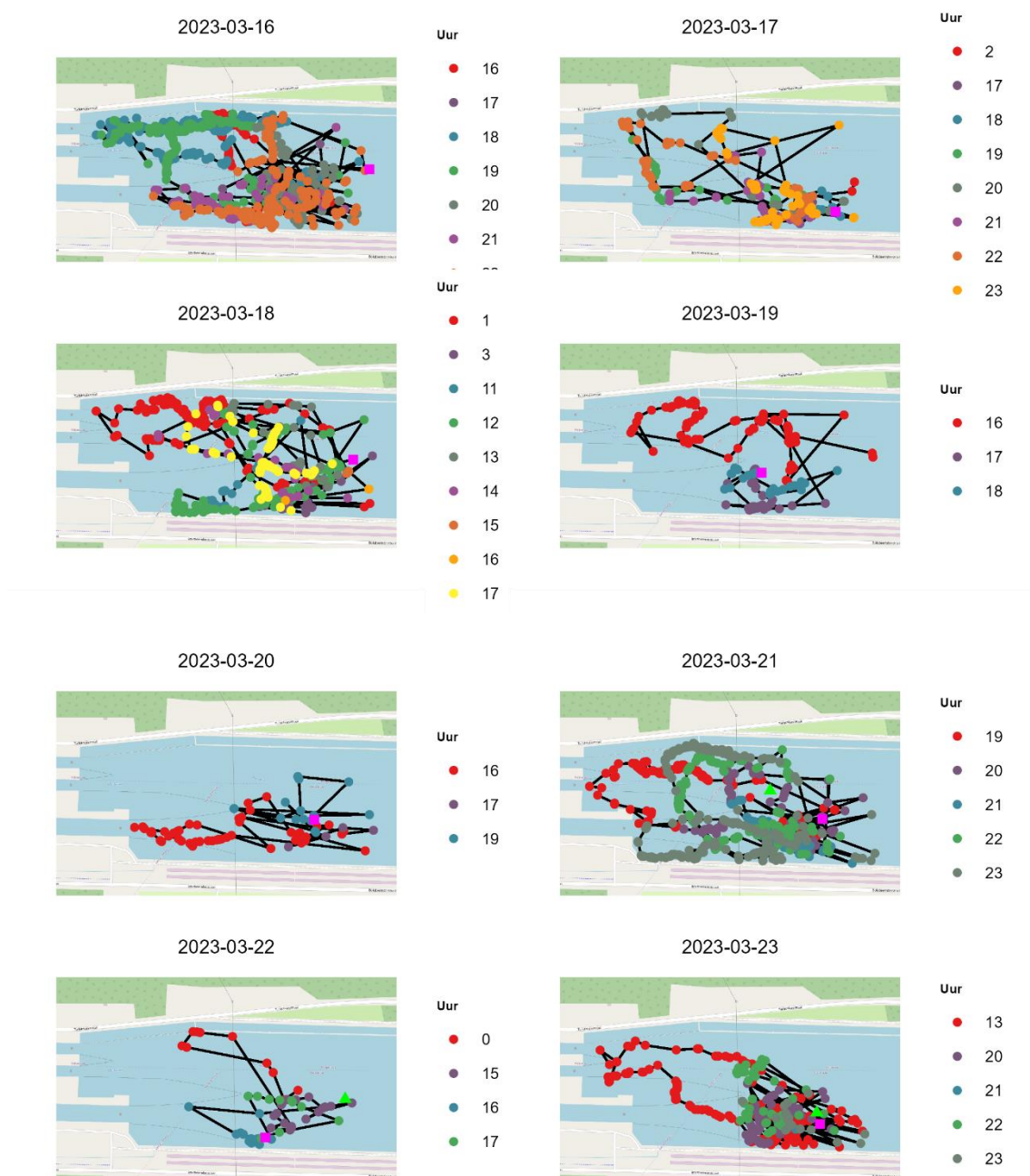
Figuur 57 **Tweedimensionaal gedrag (a)** in de 2D-array van ontvangers vlakbij de sluizen en de viswering, en **ééndimensionaal gedrag (b)** in het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt tijdens de studieperiode voor **paling met zender ID 3646**. De kleuren in de legende bij (a) tonen het uur van de respectievelijke dag (datum in titel van iedere plot) waarop de paling op een bepaalde locatie was. De kleuren in de legende bij (b) tonen in welke zone van het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt het dier zich bevond op een bepaalde dag. De 2D-zone wordt in de plot weergegeven door detecties op drie verschillende ontvangers (oranje bolletjes), terwijl de andere zones weergegeven worden door de detecties op telkens één ontvanger (ander kleuren).

Paling met zender ID 3647

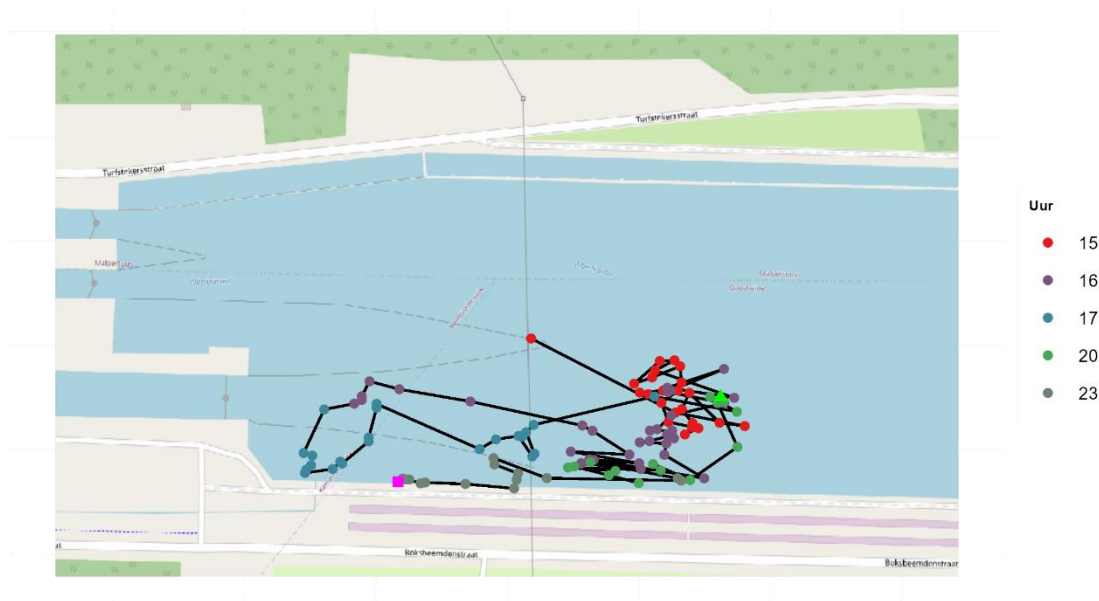
Deze paling verscheen regelmatig in de 2D-array van ontvangers. Het naderde ook een aantal keer de viswering tot vlakbij. Op andere momenten verbleef het dier op een plek tegen linker

oever niet ver van de viswering. Voornamelijk in maart vertoonde het dier uitgebreid zoekgedrag tot tegen de sluizen en de viswering. In tegenstelling tot de meeste andere dieren vertoonde deze paling ook zoekgedrag overdag. Het dier komt eind maart regelmatig tot bij de schepvaartsluizen, maar vindt alsnog geen weg stroomafwaarts. Op 6 april zit deze paling nog steeds in het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt.

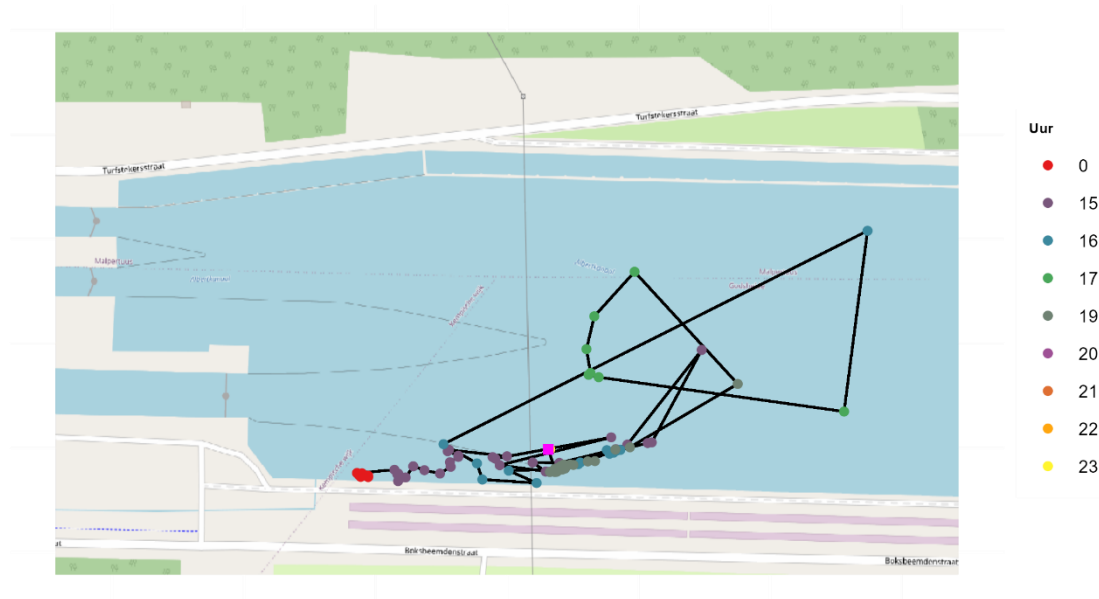




2023-04-01



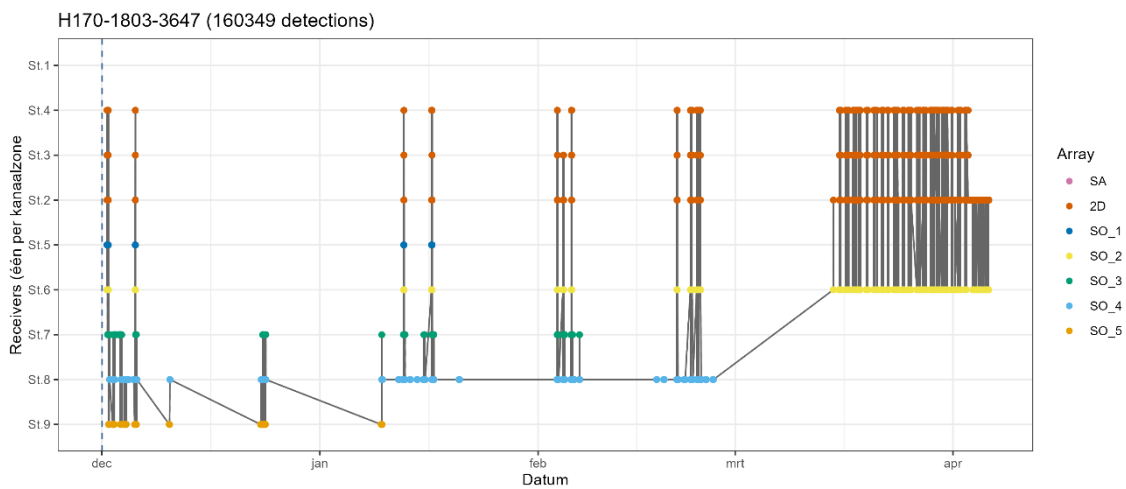
2023-04-02



2023-04-03



(a)

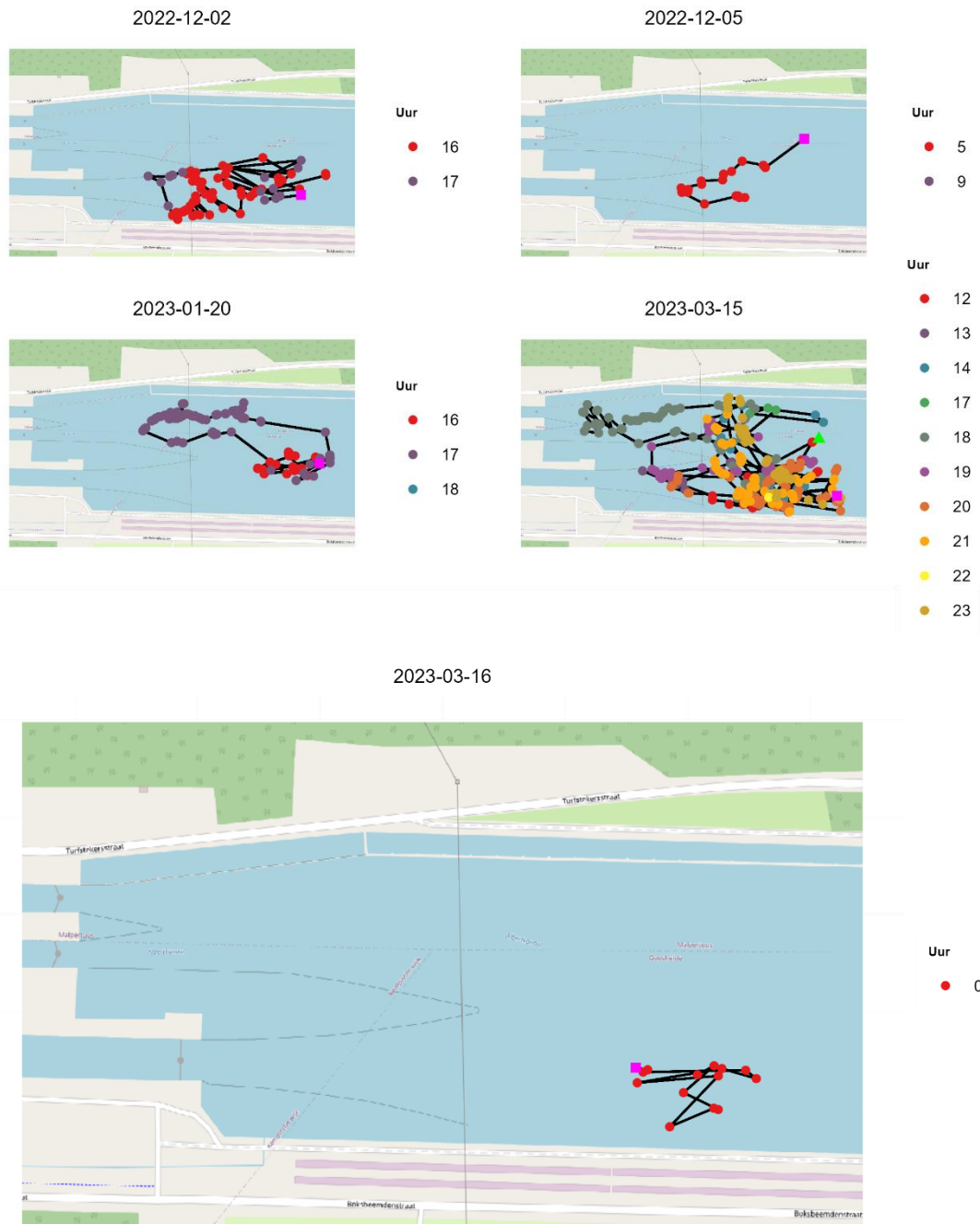


(b)

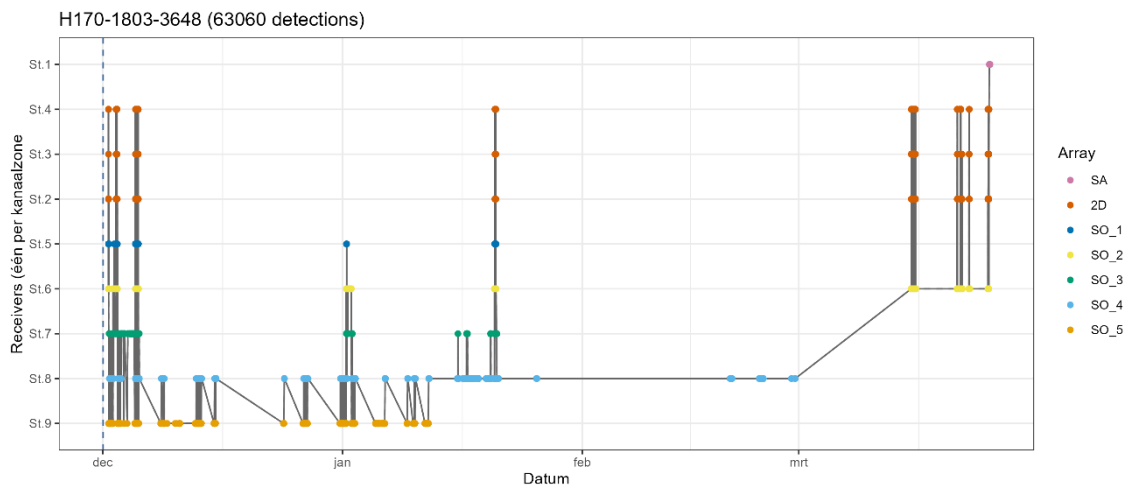
Figuur 58 **Tweedimensionaal gedrag (a)** in de 2D-array van ontvangers vlakbij de sluizen en de viswering, en **ééndimensionaal gedrag (b)** in het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt tijdens de studieperiode voor **paling met zender ID 3647**. De kleuren in de legende bij (a) tonen het uur van de respectievelijke dag (datum in titel van iedere plot) waarop de paling op een bepaalde locatie was. De kleuren in de legende bij (b) tonen in welke zone van het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt het dier zich bevond op een bepaalde dag. De 2D-zone wordt in de plot weergegeven door detecties op drie verschillende ontvangers (oranje bolletjes), terwijl de andere zones weergegeven worden door de detecties op telkens één ontvanger (ander kleuren).

Paling met zender ID 3648

Ook dit dier vertoont vanaf half maart meer zoekgedrag in de zone rond de sluizen en de viswering. Het dier komt nooit tot vlakbij de viswering. Uiteindelijk vindt het op 25 maart een uitweg langs de scheepvaartsluizen maar het traject tot aan de sluizen net voor passage is niet geobserveerd geweest door de array van ontvangers.



www.vlaanderen.be/inbo doi.org/10.21436/inbor.123278641 Pagina 153 van 161

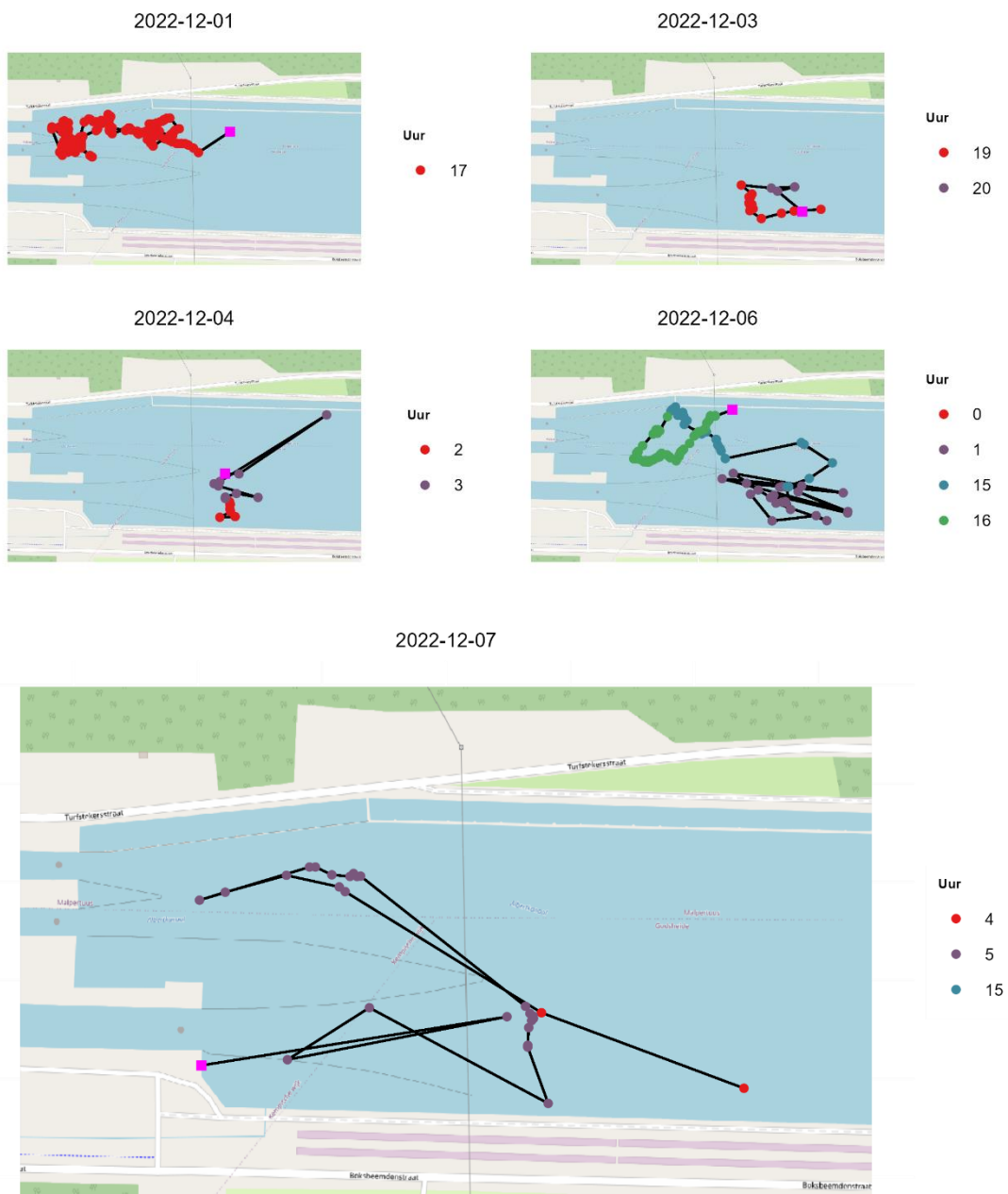


(b)

Figuur 59 **Tweedimensionaal gedrag (a)** in de 2D-array van ontvangers vlakbij de sluizen en de viswering, en **ééndimensionaal gedrag (b)** in het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt tijdens de studieperiode voor **paling met zender ID 3648**. De kleuren in de legende bij (a) tonen het uur van de respectievelijke dag (datum in titel van iedere plot) waarop de paling op een bepaalde locatie was. De kleuren in de legende bij (b) tonen in welke zone van het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt het dier zich bevond op een bepaalde dag. De 2D-zone wordt in de plot weergegeven door detecties op drie verschillende ontvangers (oranje bolletjes), terwijl de andere zones weergegeven worden door de detecties op telkens één ontvanger (ander kleuren).

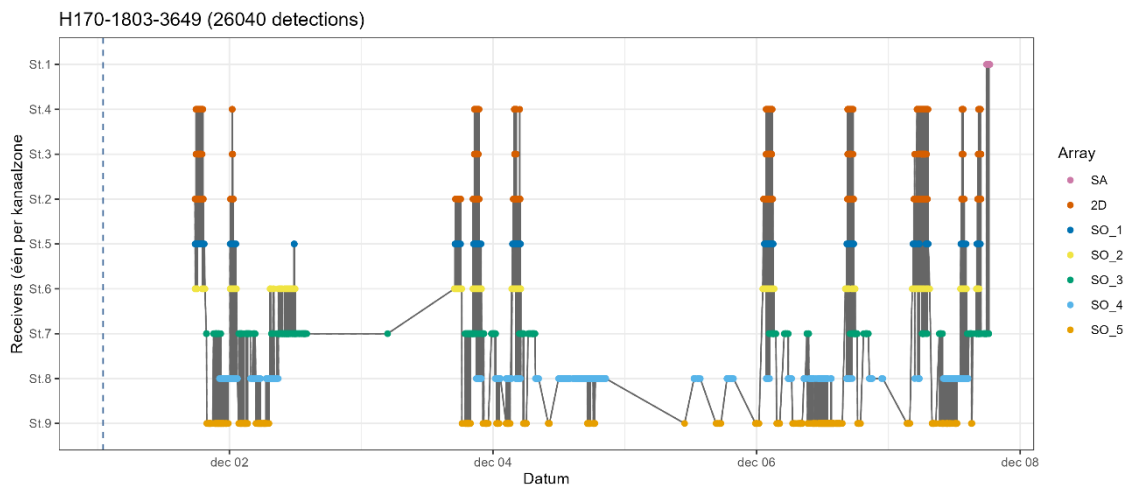
Paling met zender ID 3649

Deze paling vertoonde meteen na zijn zendering en vrijlating op 1 december zoekgedrag ter hoogte van de Midden- en Noordersluis. Ook op enkele dagen daarna. Uiteindelijk was het op 7 december op het juiste moment en de juiste plek om via de vulopening van de duwvaartsluis in de sluis terecht te komen en vervolgens stroomafwaarts te gaan.



(a)

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



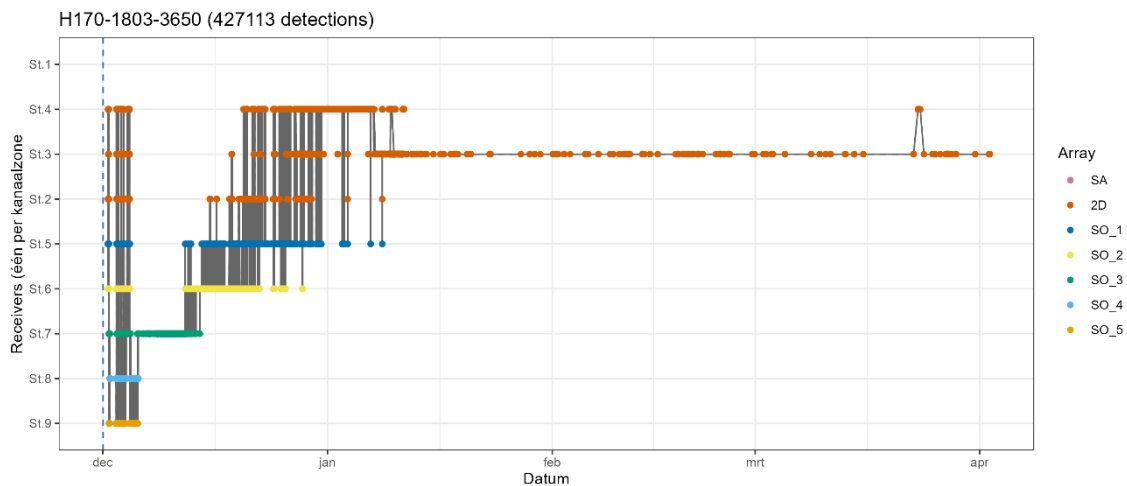
(b)

Figuur 60 **Tweedimensionaal gedrag (a)** in de 2D-array van ontvangers vlakbij de sluizen en de viswering, en **ééndimensionaal gedrag (b)** in het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt tijdens de studieperiode voor **paling met zender ID 3649**. De kleuren in de legende bij (a) tonen het uur van de respectievelijke dag (datum in titel van iedere plot) waarop de paling op een bepaalde locatie was. De kleuren in de legende bij (b) tonen in welke zone van het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt het dier zich bevond op een bepaalde dag. De 2D-zone wordt in de plot weergegeven door detecties op drie verschillende ontvangers (oranje bolletjes), terwijl de andere zones weergegeven worden door de detecties op telkens één ontvanger (ander kleuren).

Paling met zender ID 3650

Deze paling vertoonde enkel op 1 december zoekgedrag ter hoogte van de sluizen, meer bepaald de duwvaartsluis. Het dier kwam daarbij in de buurt van de viswering. Het vond uiteindelijk geen uitweg stroomafwaarts, noch langs de duwvaartsluis, noch langs het bypasskanaal. Vermoedelijk is deze paling vanaf 26 december gestorven of zijn tag kwijtgeraakt.

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



(b)

Figuur 61 **Tweedimensionaal gedrag (a)** in de 2D-array van ontvangers vlakbij de sluizen en de viswering, en **ééndimensionaal gedrag (b)** in het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt tijdens de studieperiode voor **paling met zender ID 3650**. De kleuren in de legende bij (a) tonen het uur van de respectievelijke dag (datum in titel van iedere plot) waarop de paling op een bepaalde locatie was. De kleuren in de legende bij (b) tonen in welke zone van het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt het dier zich bevond op een bepaalde dag. De 2D-zone wordt in de plot weergegeven door detecties op drie verschillende ontvangers (oranje bolletjes), terwijl de andere zones weergegeven worden door de detecties op telkens één ontvanger (ander kleuren).

Paling met zender ID 3651

Deze paling vertoonde even zoekgedrag t.h.v. de Noordersluis na zijn vrijlating in december. Uiteindelijk verscheen hij op 19 maart opnieuw in dezelfde zone voor de sluizen. Op 1 april naderde het dier de viswering tot vlakbij. Het zwom door en vond vervolgens een uitweg via de duwvaartsluis, waar het rond 21u in zwom. Pas op 6 april werd het dier stroomafwaarts van de scheepvaartsluizen gedetecteerd.

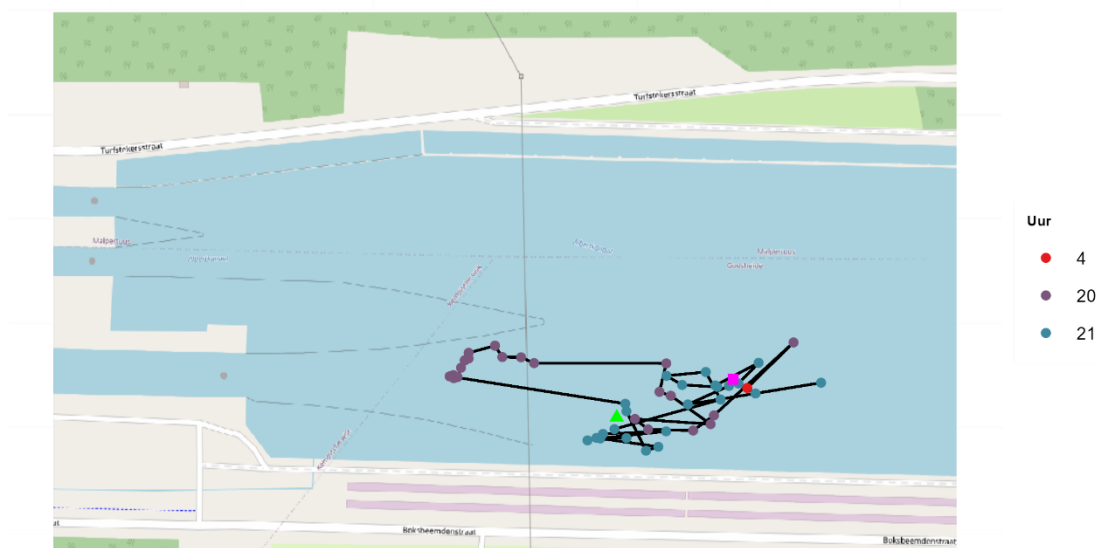
Paling met zender ID 3652

Deze paling verscheen op twee dagen eind maart in de 2D-array van ontvangers, maar zwom nooit tot vlakbij de sluizen en de viswering. Op 6 april zat het dier nog steeds in het kanaalpand Diepenbeek-Hasselt.

2023-03-25



2023-03-26



(a)

