



Vlaanderen
is wetenschap



Monitoring van de ecologische effecten van de elektromagnetische velden rond de stroomkabels van het net op zee (Westerschelde, Borssele) op anadrome fint

Deel 3

Pieterjan Verhelst, David Casals, Nico De Maerteleire, Ine Pauwels, Sebastien Pieters, Franky Dens, Emilie Gelaude, Simon Plaetinck, Lotte Pohl, Diederik Rosseel, Jan Vanden Houten, Bart De Pauw, Johan Coeck, Jan Reubens

**INSTITUUT
NATUUR- EN BOSONDERZOEK**

Auteurs:

Pieterjan Verhelst, David Casals, Nico De Maerteleire, Ine Pauwels, Sebastien Pieters, Franky Dens, Emilie Gelaude, Simon Plaetinck, Lotte Pohl, Diederik Rosseel, Jan Vanden Houten, Bart De Pauw, Johan Coeck, Jan Reubens

Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek

Reviewers:

Marieke Desender

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:

pieterjan.verhelst@inbo.be

Wijze van citeren:

Verhelst, P., Casals, D., De Maerteleire, N., Pauwels, I., Pieters, S., Dens, F., Gelaude, E., Plaetinck, S., Pohl, L., Rosseel, D., Vanden Houten, J., De Pauw, B., Coeck, J., Reubens, J. (2025). Monitoring van de ecologische effecten van de elektromagnetische velden rond de stroomkabels van het net op zee (Wester-schelde, Borssele) op anadrome fint (*Alosa fallax* Lacepède). Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2025 (34). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.

DOI: doi.org/10.21436/inbor.127799677

D/2025/3241/201

Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2025 (34)

ISSN: 1782-9054

Verantwoordelijke uitgever:

Hilde Eggermont

Foto cover:

Yves Adams

Dit onderzoek werd uitgevoerd in opdracht van:

Witteveen en Bos, Leeuwenbrug 27 | Postbus 233 | 7400 AE Deventer



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

MONITORING VAN DE ECOLOGISCHE EFFECTEN
VAN DE ELEKTROMAGNETISCHE VELDEN ROND
DE STROOMKABELS VAN HET NET OP ZEE
(WESTERSCHELDE, BORSSELE) OP ANADROME
FINT (*ALOSA FALLAX* LACEPEDE)

DEEL 3

Pieterjan Verhelst, David Casals, Nico De Maerteleire, Ine Pauwels, Sebastien Pieters, Franky Dens, Emilie Gelaude, Simon Plaetinck, Lotte Pohl, Diederik Rosseel, Jan Vanden Houten, Bart De Pauw, Johan Coeck & Jan Reubens

doi.org/10.21436/inbor.127799677

Dankwoord/Voorwoord

Het vangen en zenderen van de finten, alsook het onderhouden van het receivernetwerk en het uitlezen van de data is een hele klus. De klus werd ieder jaar geklaard dankzij de bereidwillige hulp van de volgende mensen, wie we heel dankbaar zijn voor hun bijdrage aan de studie:

- De veldmedewerkers van het team monitoring en herstel van aquatische fauna van INBO, die jaarlijks zorgen voor extra fintenvangst vanop de ankerkuil boot 'De Harder', onder prima begeleiding van de bemanning van het schip.
- Het team van de afdeling onderzoeksinfrastructuur van het VLIZ.
- De studenten en medewerkers van VLIZ en de Universiteit Gent, die assisteerden bij het uitlezen van de receivers op de Westerschelde en/of bij de finten zendering.

Dank jullie!

Samenvatting

Het Schelde-estuarium is een van de laatste grote estuaria in West-Europa met een vrije zoet-zout overgang, ontwikkeling van slikken en schorren, en (artificiële) overstromingsgebieden. De verbetering van de waterkwaliteit begin jaren 2000 heeft een positieve invloed gehad op de biosfeer, waaronder de terugkeer van een paaiende populatie fint (*Alosa fallax*). De fint is een anadrome vissoort die paait in het zoetwater-getijdengebied, maar opgroeit in de benedenloop van het estuarium en de zee. De soort stelt hoge eisen aan haar habitat en werd daarom opgenomen als een Habitatrictlijnsoort. Om de soort te behouden, is het belangrijk om een effectenbeoordeling uit te voeren op nieuwe, potentiële stressoren. In dit rapport analyseren we de mogelijke impact van elektromagnetische velden als gevolg van de stroomkabels die van Borssele naar een windmolenpark in de Noordzee lopen op het bewegingsgedrag van fint. De resultaten tonen geen effect van de kabels op zowel het foeragegedrag als de paaimigratie van fint. De verblijftijd van finten aan de detectiestations nabij de kabels was niet significant verschillend van die op andere detectiestations in het gebied. Tijdens de paai migreren de finten snel door de Westerschelde heen en lijken ze niet gehinderd te worden door de kabels. Er moet echter opgemerkt worden dat de detectiestations verder dan 50 m van de stroomkabels lagen. Omdat de elektromagnetische velden exponentieel dalen vanaf de kabels, is de sterkte van het veld voorbij die afstand vermoedelijk heel erg laag (5 nT).

English abstract

The Scheldt Estuary is one of the last large estuaries in Western Europe with a well-developed salinity gradient, salt marshes and (artificial) flooding areas. Water quality improvement in the early 2000s had a positive impact on the biosphere, such as the reestablishment of a spawning twaite shad (*Alosa fallax*) population. The twaite shad is an anadromous fish species which spawns in the freshwater tidal area but grows in the lower reach of the estuary and sea. The species has strict habitat requirements and is therefore enlisted as a Habitats Directive species. To preserve the species, it is important to conduct impact assessments on new, potential stressors. In this report we analyse the potential impact of electromagnetic fields from power cables running from Borssele to an offshore wind farm in the North Sea on the movement behaviour of twaite shad. The results show no significant effect of the cables on both the foraging movement behaviour and the spawning migration of twaite shad. The residence time of twaite shads at the detection stations near the cables did not differ significantly from the other detection stations in the study area. During the spawning season twaite shads migrate rapidly through the Westerschelde and do not appear to be hampered by the cables. However, it should be noted that the detection stations were located more than 50 m away from the power cables. Because electromagnetic field strength drops exponentially with distance from the cables, the strength of those fields beyond that distance is probably very low (5 nT).

Inhoudstafel

1	Inleiding	6
2	Methode	8
2.1	Studiegebied	8
2.2	Zenderen en telemetrienetwerk	10
2.3	Data VerWERKING.....	14
2.4	DATA-ANALYSE	16
3	Resultaten.....	17
3.1	Detectielocaties in de Westerschelde	17
3.2	Verblijftijd	19
3.3	Migratiesnelheid	21
4	Discussie	22
5	Referenties	24
6	Appendix.....	26

1 INLEIDING

Estuaria zijn wereldwijd sterk onderhevig aan antropogene activiteiten (Simenstad & Cordell 2000; Van Eck & De Rooij 1993), gezien de grootste havens en economische activiteiten zich langs de oevers van estuaria en dichtbij zee bevinden (Meire et al. 2005). Door hun hoge habitatdiversiteit vervullen estuaria een cruciale rol in de levenscyclus van veel organismen zoals residente brakwatersoorten, maar ook migrerende soorten zoals mariene en diadrome vissen (Haedrich, 1983). Diadrome vissoorten migreren tussen de zee en rivier om hun levenscyclus te voltooien, waarin twee types onderscheiden worden: anadrome vissoorten paaien in de rivier, maar groeien op in zee (vb. de Atlantische zalm (*Salmo salar*)), terwijl katadrome vissoorten het tegenovergestelde doen (vb. paling (*Anguilla anguilla*)). Bijgevolg moeten alle diadrome vissoorten estuaria doorkruisen om van hun paaihabitat naar hun opgroeihabitat te migreren en vice versa (Breine et al. 2007). Toch is de rol die estuaria voor diadrome soorten spelen nog steeds relatief onbekend. Kennisleemtes variëren van de migratieroutes tot het temporeel gebruik van estuaria als foerageergebied.

Dit onderzoek focust op de fint (*Alosa fallax*), een anadrome vissoort die paait in het zoetwatergetijdengebied van het estuarium, maar opgroeit in zee en de stroomafgelegen delen van estuaria. Ieder jaar migreert de soort dus van zoet naar zout water en vice versa. De soort stelt hoge eisen aan haar habitat en wordt daardoor beschouwd als een indicatorsoort voor estuaria en kustgebieden (Rochard et al. 2009). De populatie is sterk gedaald in alle Europese estuaria en op bepaalde plaatsen zelfs verdwenen. Ze werd dan ook opgenomen als een Europese Habitatrictlijnsoort, onder meer in de Voordelta. De voornaamste redenen voor de achteruitgang zijn vervuiling en het bouwen van obstakels zoals sluizen en stuwen (zogenaamde migratiebarrières). Sinds 2012 is een paaiende populatie teruggekeerd naar het Schelde-estuarium, waarschijnlijk door een verbetering van de waterkwaliteit vanaf 2007 (Maes et al. 2008). Ondanks de terugkeer is het van essentieel belang om het effect van nieuwe antropogene activiteiten op de populatie te analyseren via een zogenaamde impact assessment.

De vraag naar hernieuwbare energie steeg exponentieel de voorbije jaren, wat leidt tot de bouw van heel wat (offshore) windmolenparken. Dit gaat gepaard met de aanleg van elektriciteitskabels die de opgewekte stroom van op zee naar land transporteren. Er is echter weinig kennis over de mogelijke impact van deze kabels op vissen. In het bijzonder de effecten van het elektromagnetische stralingsveld blijft een grote kennisleemte (Verhelst et al. 2024). T.S.O. TenneT is de elektriciteit netbeheerder van Nederland en een groot deel van Duitsland. Vanuit de vergunning op grond van de Wet Natuurbescherming (nu Omgevingswet) voor het Net op Zee Hollandse Kust Zuid (HK(z)), heeft TenneT een plicht om onderzoek te doen naar de effecten van elektromagnetische velden (EMV) op vissen en zeezoogdieren. TenneT heeft via Witteveen+Bos aan het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO) en het Vlaams Instituut voor de Zee (VLIZ) gevraagd om onderzoek naar de effecten van EMV op de fint uit te voeren.

In deze studie werd onderzocht of de EMV afkomstig van de elektriciteitskabels, die aangelegd werden tussen het windenergiegebied Borssele op zee en de gemeente Borssele op Zuid-Beveland, een significante invloed hebben op de migratie en het habitatgebruik van fint in de Westerschelde. Als studiegebied is gekozen voor het Schelde estuarium en de Borssele-kabels i.p.v. de Tweede Maasvlakte (locatie HK(z) kabels), vanwege de beschikbare historische data, de geometrie van de Schelde en het bestaande detectienetwerk. De kabels van Borssele en HK(z)

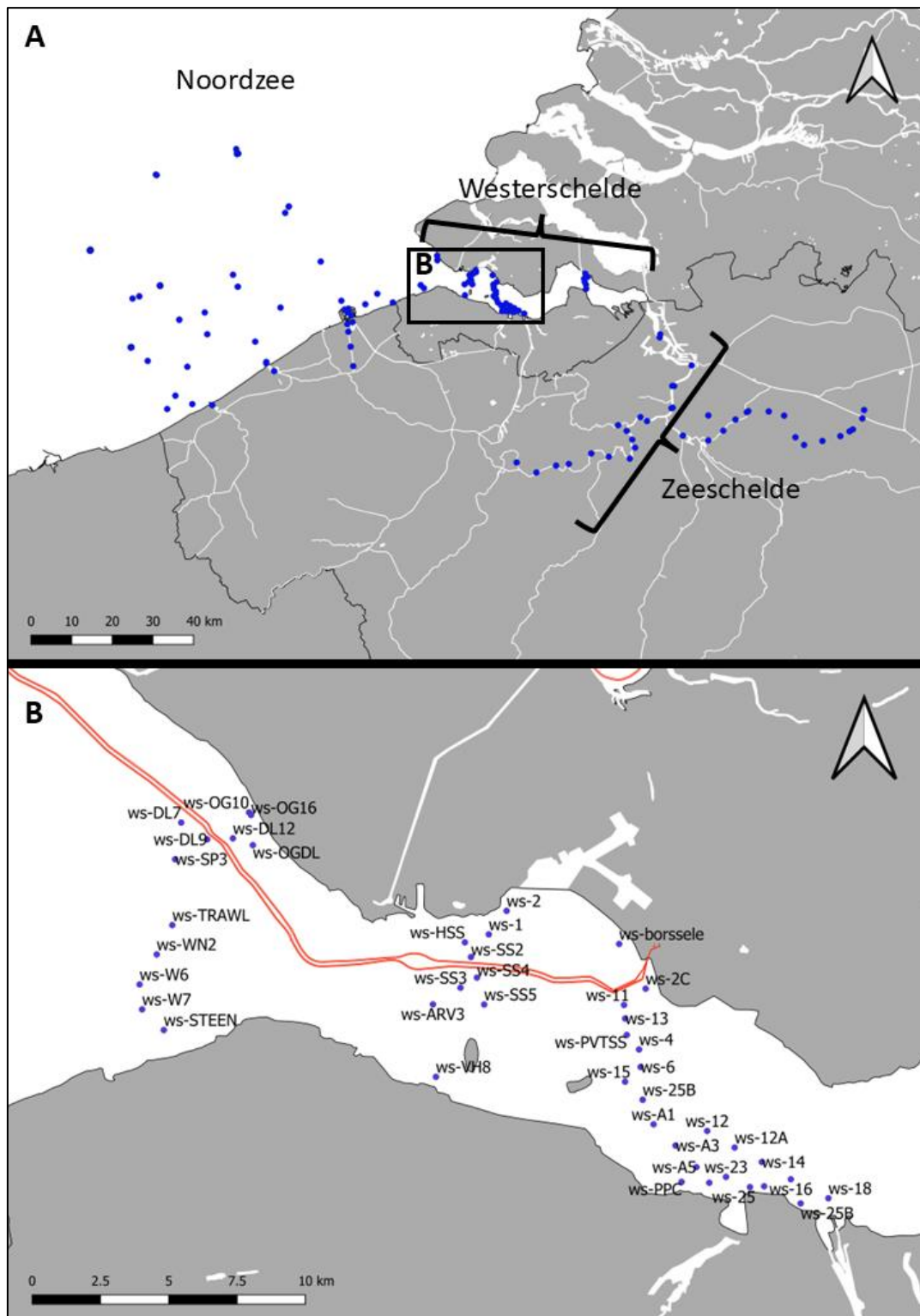
////////////////////////////////////

www.vlaanderen.be/inbo doi.org/10.21436/inbor.127799677 Pagina 7 van 26

2 METHODE

2.1 STUDIEGEBIED

Het Schelde-estuarium vormt de overgang tussen de Boven-Schelde en de Noordzee. Het wordt gekenmerkt door een saliniteitsgradiënt van 30 tot < 5 PSU die lokaal varieert door het getij en de afvoer ten gevolge van neerslag. Het estuarium wordt opgedeeld in de Zeeschelde en de Westerschelde. De Zeeschelde is het Belgisch deel van het estuarium tussen de sluizen in Merelbeke en de Belgisch-Nederlandse grens in Antwerpen. Vanaf daar tot Vlissingen-Breskens spreken we van de Westerschelde. In het estuarium vindt intensieve bedrijvigheid plaats, waarvan de voornaamste scheepvaart (transport), baggerwerken en visserij zijn. In augustus 2018 werden vier elektriciteitskabels gelegd waarvan de eerste kabel sinds 27 november 2020 operationeel is (**Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**). Deze kabels transporteren wisselstroom of Alternating Current (AC) van 220 kV van het windenergiegebied Borssele op zee naar de gemeente Borssele. Deze high voltage AC (HVAC) kabels lopen dus door de Westerschelde. De kabels worden minimaal 1 m diep ingegraven, maar op sommige plaatsen (zoals ankerplaatsen) liggen de kabels dieper, tot ongeveer 7 m diep.



Figuur 1. A: Het Schelde-estuarium bestaat uit de Zeeschelde in België en de Westerschelde in Nederland. De detectiestations van het permanente Belgische telemetrienetwerk zijn aangeduid met blauwe punten en geeft de status weer op het moment van schrijven (januari 2025). B: het studiegebied met de detectiestations waarop finten sinds het begin van de studie werden gedetecteerd. De vier stroomkabels die door het telemetrienetwerk in de Westerschelde lopen, zijn aangeduid met rode lijnen (slechts twee zichtbaar door de schaal). De codes duiden de namen van de detectiestations aan.

ZENDEREN EN TELEMETRIENETWERK

Sinds 2015 worden in het voorjaar (april – mei) jaarlijks finten gevangen en gezenderd op de paaigronden in Sint-Amands (België) door het INBO met behulp van 30 m lange dubbele schietfuiken (**Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**). Meteen na de vangst worden de finten overgebracht in een reservoir van ca. 800 L. Hierin wordt een constante toevoer van vers estuarien water voorzien m.b.v. een pomp. Vervolgens wordt de totale lengte (TL) van elke fint gemeten tot op 1 mm nauwkeurig, en worden via een verticale incisie vlak boven de buikvin de zenders in de buikholte geplaatst (Figuur 3) (Bolland et al. 2012). De incisie wordt gesloten met twee tot drie chirurgische hechtingen (Ethilon draad). Deze operatie werd uitgevoerd door ervaren onderzoekers met toelating van de Ethische Commissie van het INBO (vergunningsnummer 'ECINBO11'). Na het zenderen wordt de fint onmiddellijk terug in het estuarium vrijgelaten nabij de vangstlocatie. Merk op dat pas vanaf 2019 zenders inwendig werden geplaatst. Voorheen werden de zenders uitwendig aan de finten gehangen, maar dit leverde korte tracks op, waardoor verondersteld wordt dat de zenders enkele weken tot maanden na de behandeling loskwamen (Breine et al. 2017). In dit rapport behandelen we daarom enkel finten die inwendig gezenderd werden.

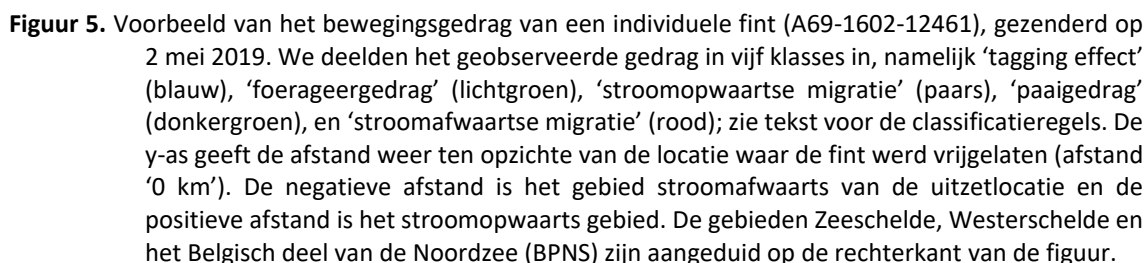
Tussen 2019 en 2024 werden 319 finten inwendig voorzien van een zender. Over de jaren heen werden zenders van een verschillend formaat en batterijduur gebruikt (InnovaSea Systems Inc., USA en Thelma Biotel, Noorwegen). De batterijduur varieerde van 458 dagen tot 931 dagen (**Tabel 1**) waarbij een minimum van anderhalf jaar toeliet om finten die een jaar na zenderen terugkeren naar de paaigronden waar te nemen.

Tabel 1 geeft een overzicht van het aantal gezenderde finten per jaar, het aantal finten waarvan verondersteld wordt dat ze de operatie overleefd hebben (waarvan detecties zijn waargenomen tot minstens in Antwerpen, ca. 25 km stroomaf van de locatie waar de finten werden vrijgelaten), en het aantal finten dat terugkeerde naar de paaigronden een jaar na het zenderen.



Figuur 2. De opstelling van het veldlaboratorium met het 800 L reservoir om gevangen finten in te bewaren, alsook de operatiebak met meetlat en het operatiemateriaal zijn weergegeven in a). De finten worden gevangen met dubbele schietfuisen, weergegeven in b).

- *Foerageergedrag*: de rest van het gedrag klasseerden we als foerageergedrag.



DATA ANALYSE

Om het potentieel effect van EMV afkomstig van de stroomkabels in de Westerschelde te onderzoeken, maakten we een onderscheid tussen foerageergedrag, stroomopwaartse migratie en stroomafwaartse migratie. Elk type gedrag kan namelijk gedreven worden door andere stimuli waardoor het effect van stroomkabels dus kan verschillen op verschillende momenten in het jaar.

In een eerste stap plotten we het percentage gedetecteerde finten op de detectiestations in de Westerschelde tijdens de verschillende jaren per type gedrag. Dit laat een kwalitatieve, visuele analyse toe van de genomen migratieroutes en foerageerlocaties van fint.

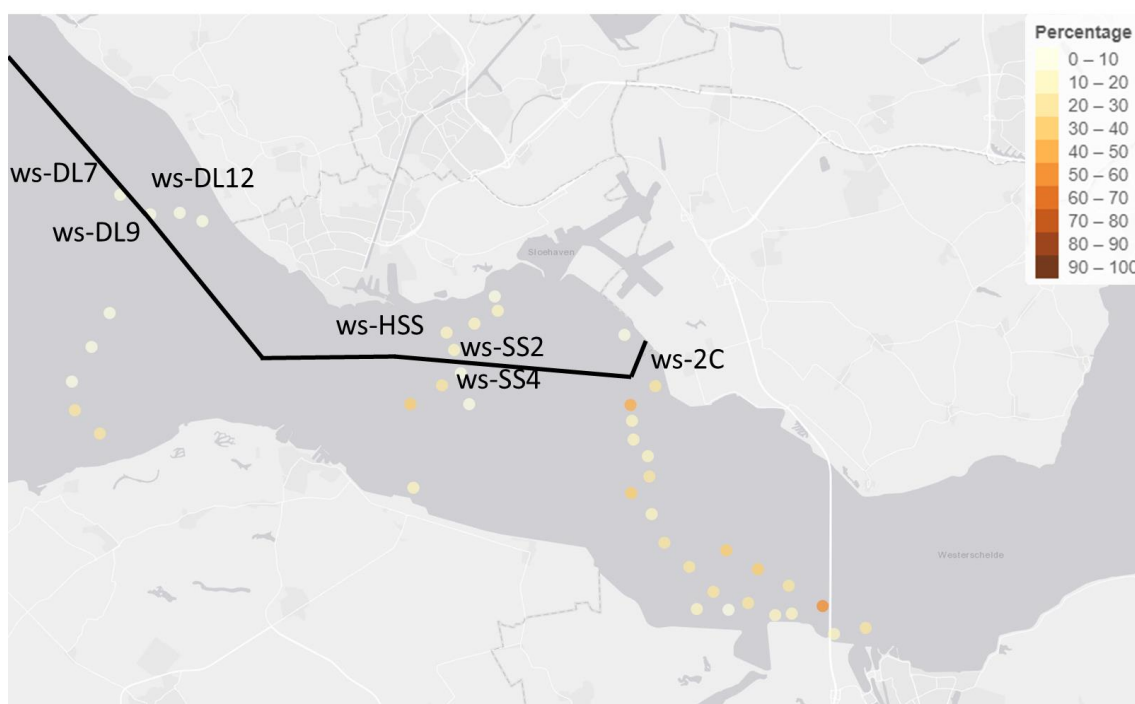
Vervolgens onderzochten we of de verblijftijd van fint per detectiestation in de Westerschelde verschilde aan de hand van een Kruskal-Wallis (KW) test, gevolgd door een Dunn test met Bonferroni correctie voor een paarsgewijze vergelijking tussen de stations indien de KW test significant bleek. Deze test laat ons toe om te bepalen of stations nabij (< 400 m) de stroomkabels finten aantrekken of net weghouden. Hiervoor keken we naar de verblijftijd tijdens de stroomopwaartse migratie, stroomafwaartse migratie en het foerageergedrag. Omdat niet alle stations door een gelijk aantal finten bezocht werden en omdat het aantal gedetecteerde finten de verblijftijd beïnvloedt, deelden we de verblijftijd door het aantal gedetecteerde finten.

Tenslotte keken we of we een significant verschil vonden in stroomopwaartse en stroomafwaartse migratiesnelheid door de Westerschelde in het gebied waar de kabels liggen, tussen de verschillende jaren. Hiervoor pasten we een niet-parametrische KW test toe. Merk op dat er slechts twee finten door de Westerschelde migreerden in 2020 vóór de activatie van de kabels, waardoor de resultaten met enige voorzichtigheid geïnterpreteerd moeten worden.

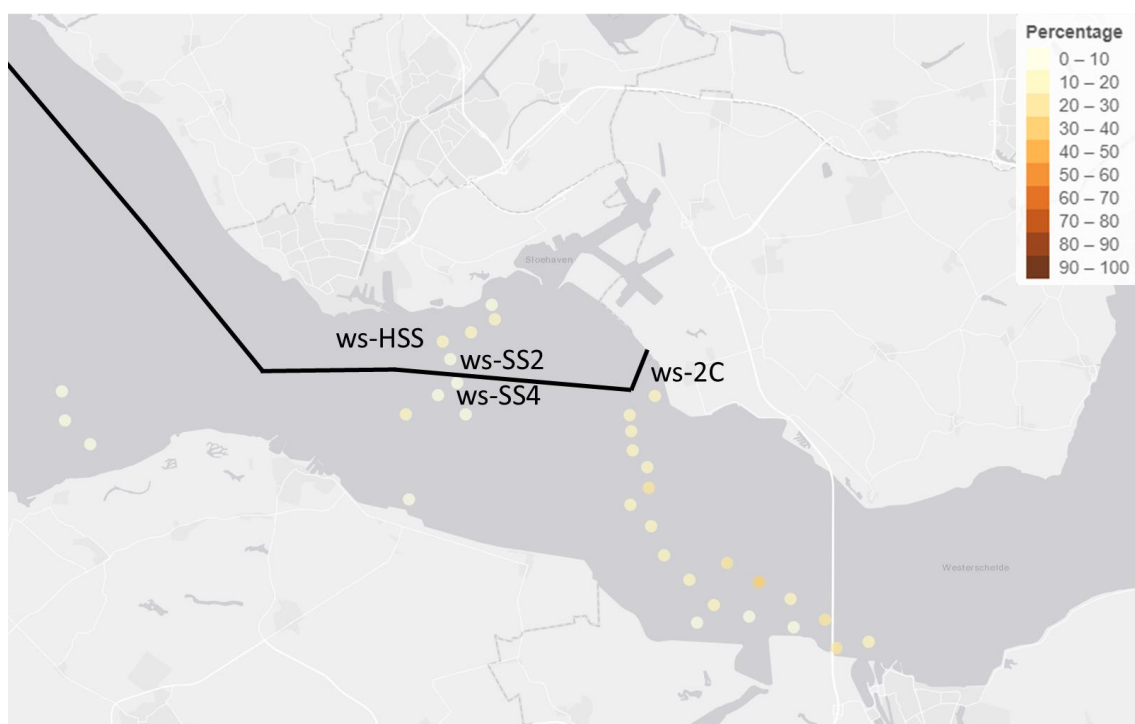
3 RESULTATEN

3.1 DETECTIELOCATIES IN DE WESTERSCHELDE

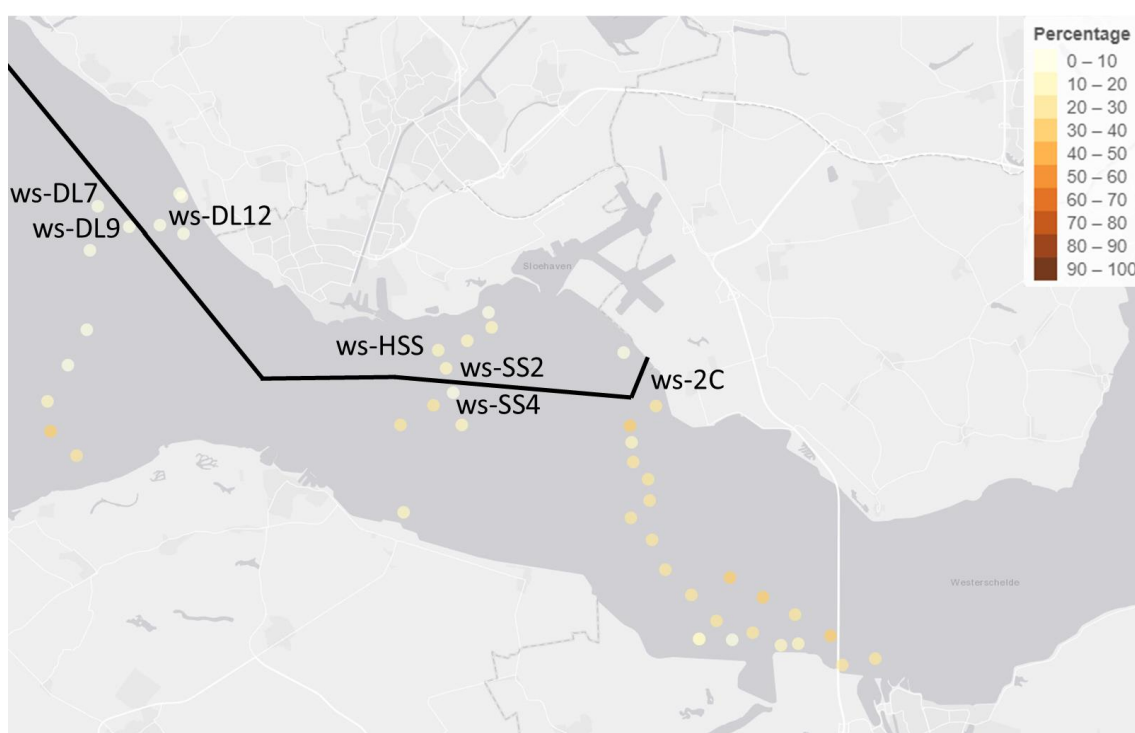
Via een visuele weergave van het percentage gedetecteerde finten tijdens de periode 2020 - 2024 per gedrag (i.e., stroomopwaartse migratie (Figuur 6), stroomafwaartse migratie (Figuur 7) en foerageergedrag (Figuur 8)) lijken finten de detectiestations nabij de kabels (i.e., stations ws-DL7, ws-DL9, ws-DL12, ws-SS2, ws-SS4, ws-HSS en ws-2C) niet te vermijden. Voor de drie types gedrag worden de meeste finten in de zuidelijke regio van de monding van de Westerschelde gedetecteerd, dus nabij Breskens. Centraler in het studiegebied blijken finten wel frequenter de detectiestations nabij de kabels te passeren tijdens de stroomopwaartse en stroomafwaartse migratie. Er dient hier echter wel opgemerkt te worden dat de hoofdstroming mogelijks een belangrijk effect kan hebben op waar finten gedetecteerd worden. Ook tijdens het foerageren worden de finten regelmatig nabij de stroomkabels gedetecteerd op de detectiestations tussen Terneuzen en Borssele.



Figuur 6. Het percentage gedetecteerde finten tijdens hun stroomopwaartse paaimigratie naar de paaigebieden in de Zeeschelde in België tijdens de periode 2020 - 2024.



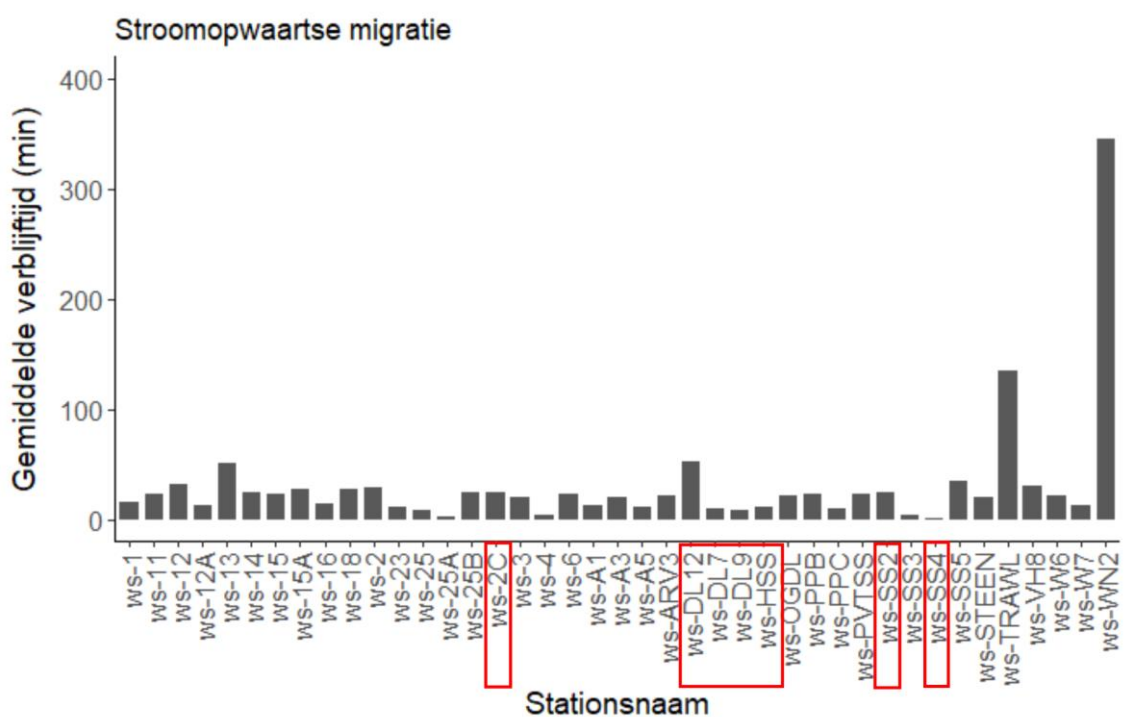
Figuur 7. Het percentage gedetecteerde finten tijdens hun stroomafwaartse paaimigratie naar de paaigebieden in de Zeeschelde in België tijdens de periode 2020 - 2024.



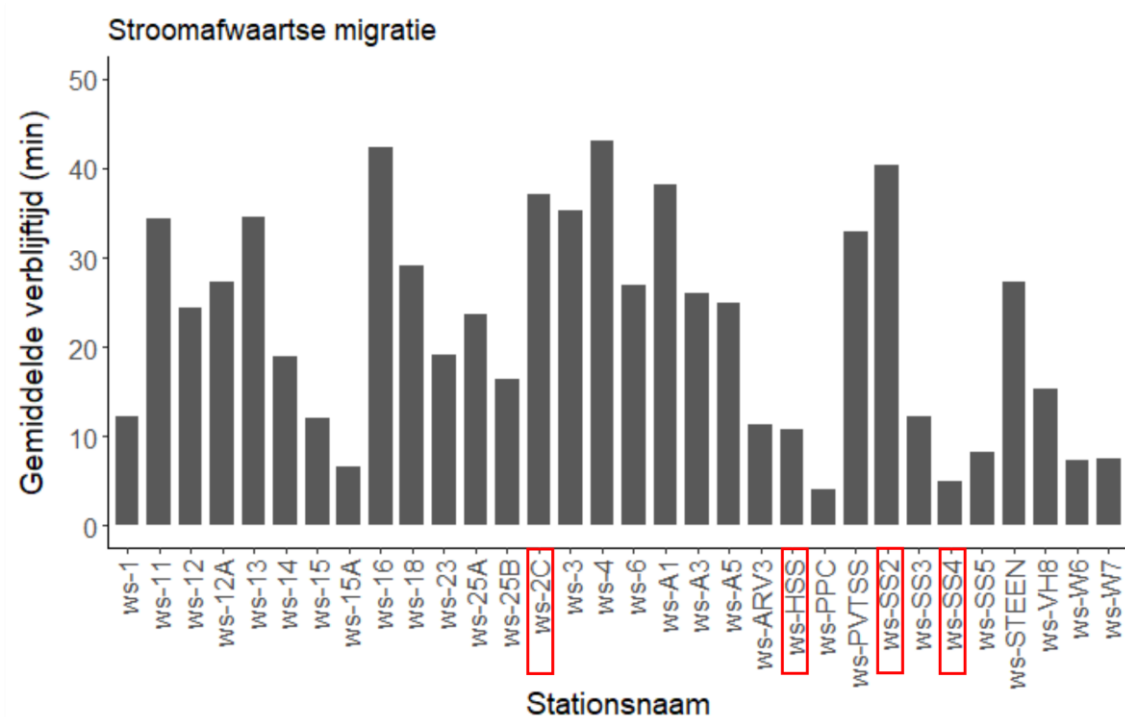
Figuur 8. Het percentage gedetecteerde finten per jaar tijdens hun foerageerfase tijdens de periode 2020 – 2024.

3.2 VERBLIJFTIJD

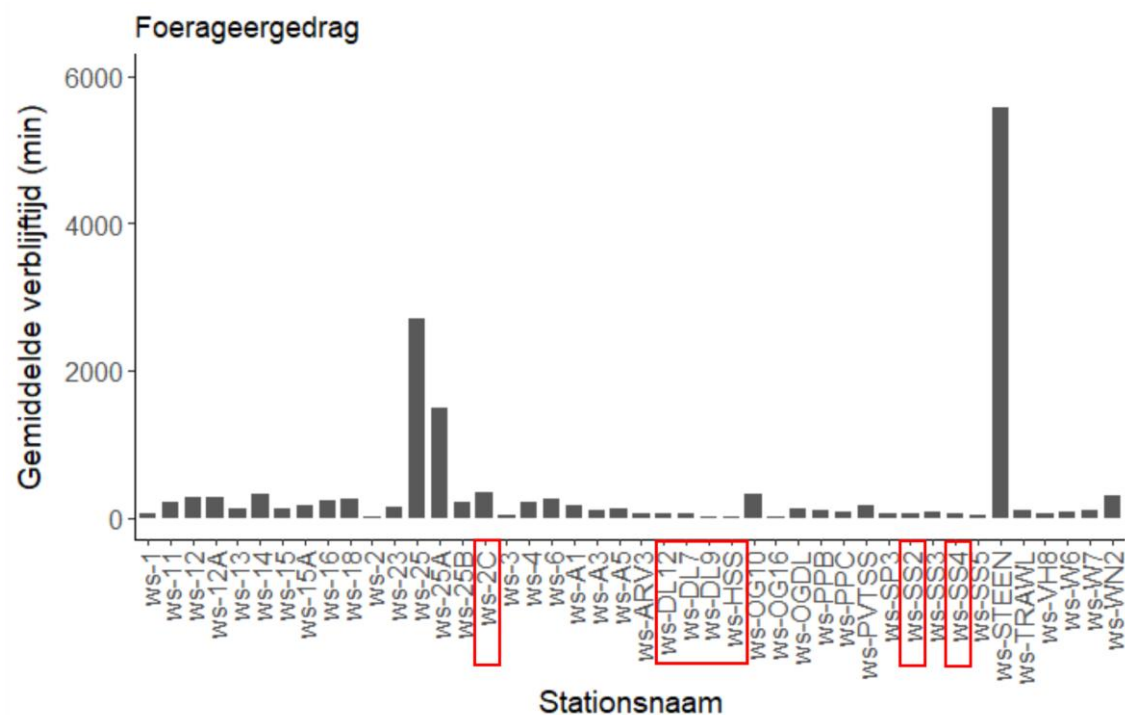
Tijdens de stroomopwaartse migratie naar de paaigronden en de stroomafwaartse migratie terug naar zee verschilde de verblijftijd niet tussen de detectiestations in de Westerschelde (KW, $\chi^2 = 39.93$, $p = 0.52$ voor stroomopwaartse migratie en KW, $\chi^2 = 20.42$, $p = 0.94$ voor stroomafwaartse migratie) (Figuur 10 & 11). Voor de verblijftijd tijdens de foerageerfase gaf de KW test wel een significant verschil (KW, $\chi^2 = 65.98$, $p = 0.02$) in verblijftijd tussen detectiestations. Echter, na het uitvoeren van een Dunn test met Bonferroni correctie vonden we geen significant verschil tussen specifieke detectiestations (Figuur 12). De detectiestations ws-DL9, ws-SS2, ws-DL12, ws-2C, ws-DL7 en ws-SS4 die op minder dan 400 m van de stroomkabels lagen, registreerden dus geen significant langere of kortere detecties dan op de andere detectiestations in het gebied voor de drie verschillende types gedrag.



Figuur 10. De gemiddelde verblijftijd per detectiestation tijdens de stroomopwaartse migratie van de finten. De stations die op minder dan 400 m van de stroomkabels liggen, zijn aangeduid in het rood.



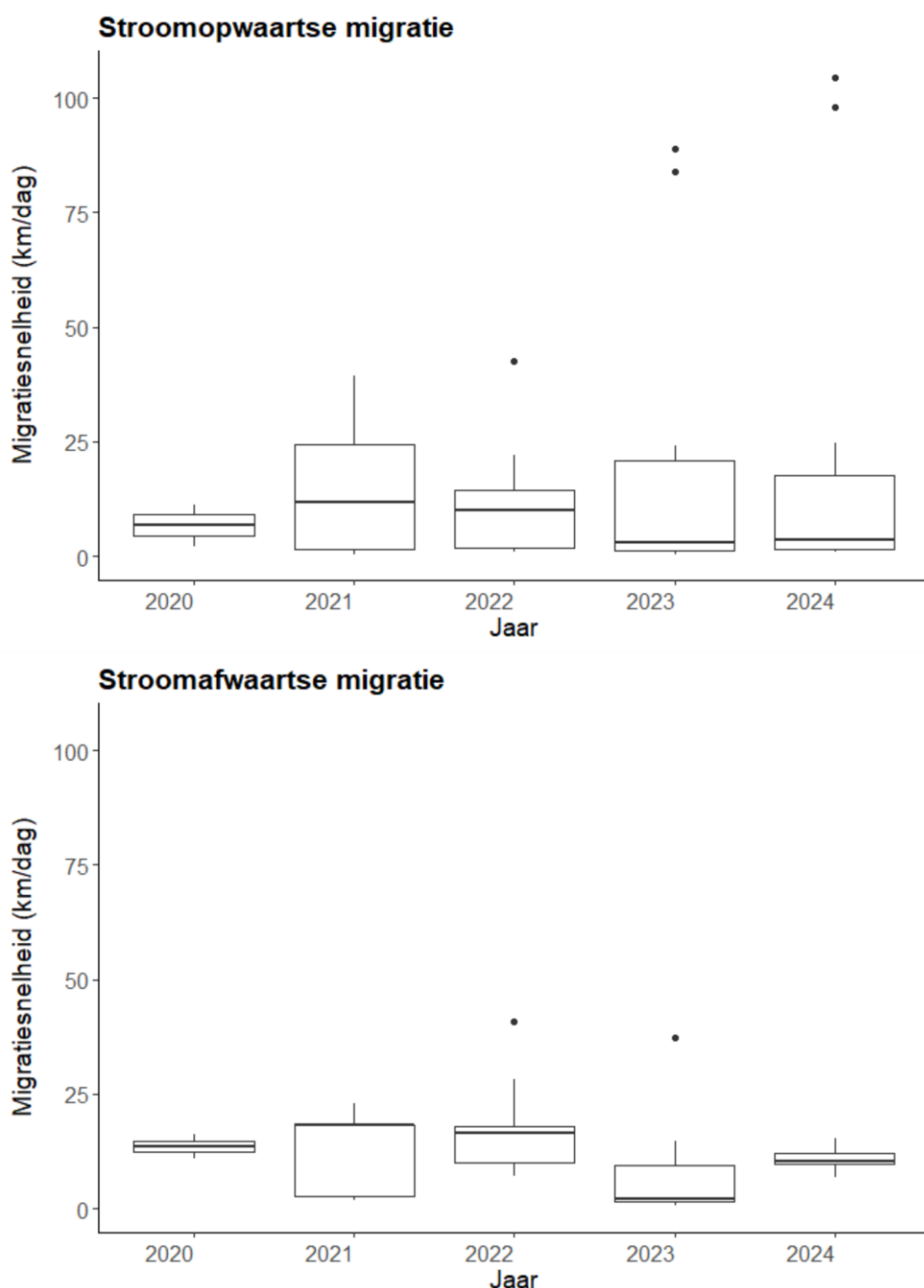
Figuur 11. De gemiddelde verblijftijd per detectiestation tijdens de stroomafwaartse migratie van de finten. De stations die op minder dan 400 m van de stroomkabels liggen, zijn aangeduid in het rood.



Figuur 12. De gemiddelde verblijftijd per detectiestation tijdens het foerageergedrag van de finten. De stations die op minder dan 400 m van de stroomkabels liggen, zijn aangeduid in het rood.

3.3 MIGRATIESNELHEID

De migratiesnelheid verschilde niet tussen de jaren (i.e., 2020 – 2024) voor zowel de stroomopwaartse (KW, $\chi^2 = 0.21$, $p = 1.00$) als stroomafwaartse migratie (KW, $\chi^2 = 8.33$, $p = 0.08$) naar en van de paaigronden, respectievelijk. De stroomopwaartse migratiesnelheid was gemiddeld 16 ± 25 km per dag en de stroomafwaartse snelheid was gemiddeld 12 ± 10 km per dag (Figuur 9).



Figuur 9. De snelheid per jaar van gezenderde finten tijdens hun stroomopwaartse en stroomafwaartse migratie naar en van de paaigronden in de Zeeschelde.

4 DISCUSSIE

Door het toenemende aantal stroomkabels op de zeebodem wordt geopperd om meer onderzoek te doen naar de mogelijke impact van de effecten van die kabels op vissen (Öhman et al. 2007; Verhelst et al. 2024). Verschillende studies tonen immers aan dat bepaalde vissoorten gevoelig zijn voor elektromagnetische velden en dat hun gedrag, zoals zwemoriëntatie, kan veranderen volgens variaties in die velden (Kalmijn 1982; Taylor 1986; Souza et al. 1988; Tesch et al. 1992). In deze studie belichten we de mogelijke impact van stroomkabels in de Westerschelde, namelijk van gemeente Borssele naar het windmolenpark Borssele in de Noordzee, op het bewegingsgedrag van de anadrome fint, waarvan niet geweten is of ze EMV kunnen detecteren (Verhelst et al. 2024).

Deze studie bouwt verder op eerder onderzoek naar de impact van de stroomkabels in de Westerschelde op fint (Verhelst et al. 2021, 2023). Deze studie verschilt met de vorige doordat ze meer data bevat (namelijk 233 finten) en waarbij het gedrag ditmaal in drie types werd geklassificeerd: stroomopwaartse migratie naar de paaigronden in de Zeeschelde, stroomafwaartse migratie van die paaigronden en het foerageergedrag (i.e., het 'groeistadium' buiten de paaiperiode). Vismigratie gebeurt vaak in een unidirectionele richting, getriggerd door specifieke omgevingsvariabelen zoals veranderingen in temperatuur en stroomsnelheden. Foerageergedrag kent vaak langere verblijftijden in bepaalde gebieden en kan zowel een gerichte beweging naar bepaalde voedselgronden zijn als het willekeurig foerageren in een groot gebied. Het effect van de stroomkabels op het bewegingsgedrag tijdens foerageren en tijdens de paaimigratie werd enkel op de schaal van enkele 100-en meters onderzocht met behulp van een bestaand netwerk aan detectiestations.

In onze analyse vonden we geen verschil in de verblijftijd tussen de detectiestations voor de drie verschillende types gedrag. Dit kan er op wijzen dat finten niet afgeschrikt of aangetrokken worden tot de stroomkabels. Echter, we merken op dat de afstand van de stations tot de kabels varieerde tussen 150 m en 400 m. Volgens modelleerstudies nemen EMV exponentieel af vanaf de kabel, waarbij EMV van HVAC-kabels doorgaans niet hoger is dan 5 nT op meer dan 50 – 120 m van de kabel (Hermans et al. 2024). Dit is gelijkaardig aan de resultaten van metingen op andere stroomkabels in het Nederlands deel van de Noordzee (Snoek et al. 2020). Omdat we geen detectiestations hebben binnen die afstand konden we het effect dichterbij de kabels niet nagaan. Daarenboven is de detectierange van een detectiestation gemiddeld 200 m, waardoor we er nog steeds een grote onzekerheid is over de positie van een gedetecteerde vis wanneer het station vlakbij een kabel staat.

Daarnaast vonden we ook geen verschil in de snelheid voor stroomopwaartse en stroomafwaartse migratie door het gebied van de Westerschelde waar de kabels liggen tussen de verschillende jaren. Hoewel we slechts twee finten detecteerden in het gebied voordat de kabels actief waren, bleken hun snelheden gelijkaardig aan de finten die de jaren erop door het gebied migreerden, wanneer de kabels actief waren.

Waarschijnlijk spelen andere factoren dan EMV een belangrijkere en sterkere rol voor de paaimigratie en het foerageergedrag van fint, zoals waterstromen, temperatuur en voedselaanbod. Kennis over deze factoren is beperkt bij fint, omdat de technologie nog maar recent toelaat om de vissen te volgen via akoestische telemetrie (Breine et al. 2017). Meer kennis over de bepalende parameters voor het bewegingsgedrag van fint zal de komende jaren ongetwijfeld toenemen (Bunch et al. 2023, Yeldham et al. 2023). Dit zal ook helpen

onzekerheden en onduidelijkheden in de data verklaren, bijvoorbeeld waarom in 2024 slechts 21% van de gezenderde finten in 2023 terugkeerden naar de paaigonden.

We concluderen op basis van deze data en analyse dat fint geen hinder ondervindt van de stroomkabels tijdens de paaimigratie en het foerageergedrag in de Westerschelde. Een voordeel voor vissen die de Westerschelde in- en uitzwemmen kan zijn dat de kabels niet dwars over het gebied lopen, maar parallel. Dit stelt de vissen mogelijk in staat om buiten het bereik van de EMV toch door het gebied te zwemmen. Daarenboven kan het zijn dat de finten hoog in de waterkolom zwemmen waardoor ze de EMV van de begraven kabels niet waarnemen. Echter, er moet gewaakt worden dat er (cumulatieve) effecten kunnen ontstaan indien meer kabels worden aangelegd. We bevelen daarom aan om bij de aanleg van nieuwe kabels het foerageer- en migratiegedrag van fint opnieuw te onderzoeken. Hierbij moet opgemerkt worden dat wij een effect op macroschaal bekeken en niet konden nagaan wat het gedrag was binnen het EMV van de kabels. Dit vraagt een andere setup, bijvoorbeeld in de vorm van een grid aan detectiestations waardoor een stroomkabel loopt (Verhelst et al. 2024). Hoewel de gevoeligheid van fint (en haringachtigen in het algemeen) voor EMV nog niet werd aangetoond, is dit wel het geval voor andere vissoorten (Verhelst et al. 2024). Soorten die lange afstanden afleggen zoals Europese paling (*Anguilla anguilla*), haaien en roggen, geelvin tonijn (*Thunnus albacares*), Atlantische zalm (*Salmo salar*) en verschillende Pacifische zalmsoorten (*Oncorhynchus* sp.) hebben eigenschappen om magnetische velden te detecteren (Hanson et al. 1984; Walker et al. 1984; Kirschvink et al. 1985; Mann et al. 1988; Moore et al. 1990). In het Schelde-estuarium hebben we telemetriedata van uittrekkende palingen van 2015 tot en met 2019. Ook werd in het verleden data verzameld door Sportvisserij Nederland van gezenderde stekelroggen (*Raja clavata*). Omdat van deze soorten bekend is dat ze gevoelig zijn voor elektromagnetische velden, bevelen we aan om naast fint ook voor deze soorten de mogelijke impact van de stroomkabels te onderzoeken. Daarenboven kunnen zenders met magnetometers (i.e. sensoren die magnetische velden registreren) en sensoren die het geïnduceerde elektrisch veld in vissen meten een relevante toepassing zijn in de toekomst. Omdat kennis over het effect van EMV door stroomkabels op het aquatisch milieu nog steeds beperkt is, raden we aan om maatregelen te treffen om de emissies van EMV zoveel mogelijk te minimaliseren.

5 REFERENCES

- Bolland, J. D., Nunn, A. D., Lucas, M. C., and Cowx, I. G. 2012. The importance of variable lateral connectivity between artificial floodplain waterbodies and river channels. *River Research and Applications*, 28: 1189-99.
- Breine, J., Maes, J., Quataert, P., Van den Bergh, E., Simoens, I., Van Thuyne, G., and Belpaire, C. 2007. A fish-based assessment tool for the ecological quality of the brackish Schelde estuary in Flanders (Belgium). *Hydrobiologia*, 575: 141.
- Breine, J., Pauwels, I. S., Verhelst, P., Vandamme, L., Baeyens, R., Reubens, J., and Coeck, J. 2017. Successful external acoustic tagging of twaite shad *Alosa fallax* (Lacépède 1803). *Fisheries Research*, 191: 36-40.
- Bruneel, S., Goossens, J., Reubens, J., Pauwels, I., Moens, T., Goethals, P., and Verhelst, P. 2023. Turning the tide: understanding estuarine detection range variability via structural equation models. *Animal Biotelemetry* 11, 38.
- Bunch, A. J., Henne, J. P., De Vries, D. R., Wright, R. A., Smith, D. L., and Farmer, T. M. 2023. Evaluation of double acoustic tagging techniques to track American shad *Alosa sapidissima* movements at multiple spatial scales. *Fisheries Research* 261: 106636.
- Hanson, M., Karlsson, L., and Westerberg, H.. 1984. Magnetic material in European eel (*Anguilla anguilla* L.). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 77: 221-24.
- Hermans, A., Winter, H. V., Gill, A. B., and Murk, A. J. 2024. Do electromagnetic fields from subsea power cables effect benthic elasmobranch behaviour? A risk-based approach for the Dutch Continental Shelf. *Environmental Pollution*, 123570.
- Kalmijn, Ad J. 1982. Electric and magnetic field detection in elasmobranch fishes. *Science*, 218: 916-18.
- Kirschvink, J. L., Walker, M. M., Chang, S.-B., Dizon, A. E., and Peterson, K. A. 1985. Chains of single-domain magnetite particles in chinook salmon, *Oncorhynchus tshawytscha*, *Journal of Comparative Physiology A*, 157: 375-81.
- Maes, J., Stevens, M., and Breine, J., 2008. Poor water quality constrains the distribution and movements of twaite shad *Alosa fallax fallax* (Lacépède, 1803) in the watershed of river Scheldt. *Hydrobiologia* 602, 129–143.
- Mann, S., Sparks, N. H., Walker, M. M., and Kirschvink, J. L. 1988. Ultrastructure, morphology and organization of biogenic magnetite from sockeye salmon, *Oncorhynchus nerka*: implications for magnetoreception. *Journal of Experimental Biology*, 140: 35-49.
- Meire, P., Ysebaert, T., Van Damme, S., Van den Bergh, E., Maris, T., and Struyf, E. 2005. The Scheldt estuary: a description of a changing ecosystem. *Hydrobiologia*, 540: 1-11.
- Moore, A., Freaque, S. M., and Thomas, I. M. 1990. Magnetic particles in the lateral line of the Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 329: 11-15.
- Öhman, M. C., Sigray, P., and Westerberg, H. 2007. Offshore windmills and the effects of electromagnetic fields on fish. *AMBIO: A journal of the Human Environment*, 36: 630-33.
- Reubens, J., Verhelst, P., van der Knaap, I., Deneudt, K., Moens, T., and Hernandez, F. 2018. Environmental factors influence the detection probability in acoustic telemetry in a marine environment: results from a new setup. *Hydrobiologia*: 1-14.
- Reubens, J., Verhelst, P., van der Knaap, I., Wydhooghe, B., Milotic, T., Deneudt, K., Hernandez, F., and Pauwels, I. 2019. The need for aquatic telemetry networks – The Permanent Belgian Acoustic Receiver Network. *Animal Biotelemetry*, 7: 2.

- Rochard, E., Pellegriani, P., Marchal, J., Béguyer-Pon, M., Ombredane, D., Lassalle, G., Menvielle, E., and Baglinière, J. L. 2009. Identification of diadromous fish species on which to focus river restoration: an example using an eco-anthropological approach (the Seine basin, France). In *Challenges for diadromous fishes in a dynamic global environment. American Fisheries Society, Symposium*, 691-711.
- Simenstad, C. A., and Cordell, J., R.. 2000. Ecological assessment criteria for restoring anadromous salmonid habitat in Pacific Northwest estuaries. *Ecological Engineering*, 15: 283-302.
- Snoek, R. C., de Swart, R., Didderen, K., Lengkeek, W., and Teunis, M. 2020. Potential effects of electromagnetic fields in the Dutch North Sea. Phase 2 - Pilot field study, *WP2018_1130_R3r3*: 64.
- Souza, J. J., Poluhovich, J. J., and Guerra, R. J. 1988. Orientation responses of American eels, *Anguilla rostrata*, to varying magnetic fields. *Comparative Biochemistry and physiology. A, Comparative Physiology*, 90: 57-61.
- Taylor, P. B. 1986. Experimental evidence for geomagnetic orientation in juvenile salmon, *Oncorhynchus tshawytscha* Walbaum. *Journal of Fish Biology*, 28: 607-23.
- Tesch, F.-W., Wendt, T., and Karlsson, L. 1992. Influence of geomagnetism on the activity and orientation of the eel, *Anguilla anguilla* (L.), as evident from laboratory experiments. *Ecology of Freshwater Fish*, 1: 52-60.
- Van Eck, G. T. M., and De Rooij, N. M. 1993. Potential chemical time bombs in the Schelde estuary. *Land Degradation & Development*, 4: 317-32.
- Verhelst, P., Pauwels, I., Breine, J., De Maerteleire, N., Pieters, S., Gelaude, E., Dens, F., Coeck, J., and Reubens, J. 2021. Monitoring van de ecologische effecten van de elektromagnetische velden rond de stroomkabels van het net op zee (Westerschelde, Borssele). Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2022 (3). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.
- Verhelst, P., Pauwels, I., Breine, J., Demaerteleire, N., Pieters, S., Gelaude, E., Dens, F., Coeck, J. and Reubens, J. 2023. Monitoring van de ecologische effecten van de elektromagnetische velden rond de stroomkabels van het net op zee (Westerschelde, Borssele) – Deel 2. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2023 (47). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.
- Verhelst, P., Pauwels, I., Pohl, L., Reubens, J., Schilt, B., and Hermans, A. 2024. Electromagnetic fields and diadromous fish spawning migration: An urgent call for knowledge. *Marine Environmental Research*, 106857.
- Walker, M. M., Kirschvink, J. L., Chang, S.-B. R., and Dizon, A. E. 1984. A candidate magnetic sense organ in the yellowfin tuna, *Thunnus albacares*. *Science*, 224: 751-53.
- Yeldham, M. I., Britton, J. R., Crundwell, C., Davies, P., Dodd, J. R., Nunn, A. D., Velterop, R. and Bolland, J. D. 2023. Individual repeatability in the timing of river entry indicates the strong influence of photoperiod in the spawning migrations of iteroparous twaite shad *Alosa fallax*. *Hydrobiologia* 850: 1619-1634.

6 APPENDIX

Tabel S1. Overzicht van het aantal verschillende modellen akoestische zenders met hun specificaties.

Merk	Model	Lengte (mm)	Diameter (mm)	Gewicht in lucht (g)	Gewicht in water (g)	Batterij levensduur (dagen)	Aantal
InnovaSea Systems Inc. (USA)	V9-2x	27.5	9	4.7	2.9	458	15
	V9-2x-BLU-1	27.5	9	4.7	2.9	484	47
	V13-1x	30.5	13	9.2	5.1	782	8
Thelma Biotel (Noorwegen)	ID-LP9L	24	9	4	2.5	610	139
	2LP9L	36	9	6.4	4.2	931	50
	D-2LP9L	38.3	9	6.7	4.3	475	60