



Vlaanderen
is wetenschap

Mogelijke impact van de Waterbus op schorerosie langsheen de Beneden-Zeeschelde

Anne-Lie Van Praet, Robrecht Debbaut, Joost Vanoverbeke,
Alexander Van Braeckel, Bart Vandevoorde, Gunther Van Ryckegem

**INSTITUUT
NATUUR- EN BOSONDERZOEK**

Auteurs:

Anne-Lie Van Praet , Robrecht Debbaut , Joost Vanoverbeke , Alexander Van Braeckel , Bart Vandevoorde , Gunther Van Ryckegem 

Reviewers:

Caroline Souffreau, Jannie Dhondt (DVW)

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

Vestiging:

INBO Brussel, Herman Teirlinckgebouw, Havenlaan 88 bus 73, 1000 Brussel, België
vlaanderen.be/inbo

e-mail:

gunther.vanryckegem@inbo.be

Wijze van citeren:

Van Praet, A.-L., Debbaut, R., Vanoverbeke, J., Van Braeckel, A., Vandevoorde, B. & Van Ryckegem, G. (2026). Mogelijke impact van de Waterbus op schorerosie langsheen de Beneden-Zeeschelde. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2026 (46). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel. DOI: [10.21436/inbor.149939077](https://doi.org/10.21436/inbor.149939077)

D/2026/3241/208

Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2026 (46)

ISSN: 1782-9054

Verantwoordelijke uitgever:

Hilde Eggermont

Foto cover:

Erosie van de schorkliffen ter hoogte van Sint-Anna strand (Dimitri Buerms)

Dit onderzoek werd uitgevoerd in het kader van de raamovereenkomst tussen De Vlaamse Waterweg nv (DVW) en het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek.

<https://www.vlaamsewaterweg.be/>



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

MOGELIJKE IMPACT VAN DE WATERBUS OP SCHOREROSIE LANGSHEEN DE BENEDEN-ZEESCHELDE

Anne-Lie Van Praet, Robrecht Debbaut, Joost Vanoverbeke, Alexander Van
Braeckel, Bart Vandevoorde, Gunther Van Ryckegem

10.21436/inbor.149939077

Dankwoord/Voorwoord

Dit onderzoek werd uitgevoerd in het kader van de raamovereenkomst tussen De Vlaamse Waterweg nv (DVW) en het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek.

Veel dank aan de veldmedewerkers van Team Estuaria: dankzij hun harde werk beschikken we over de hoogwaardige datareeksen die deze analyses mogelijk maken. Tot slot een bijzonder woord van dank aan oud-collega Amber Mertens. Haar voorbereidende werk voor de knippuntenanalyse (paragraaf 2.1) bood een essentieel fundament voor dit onderzoek.

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

Samenvatting

De Waterbus is een hogesnelheidsferry en biedt een alternatieve vorm van openbaar vervoer aan op de Beneden-Zeeschelde. Dit onderzoek focust op de ecologische impact van de Waterbus. De intergetijdengebieden (slikken en schorren) langs de Schelde zijn namelijk beschermde en waardevolle natuur. Deze studie onderzoekt of de introductie van de Waterbus heeft geleid tot een verandering in de snelheid van de schorranderosie en het horizontaal opschuiven van schorkliffen.

Er werden twee analyses uitgevoerd. Enerzijds werd een knippuntenanalyse uitgevoerd om veranderingen in trends in de jaarlijkse erosie van de schoroppervlakte te bepalen. Hieruit bleek dat de cumulatieve erosie in bijna alle zones tussen Hemiksem tot net voorbij Sint-Anna steeg na de opstart van de Waterbusdienst. Verder stroomafwaarts zijn de resultaten minder eenduidig; dit is mogelijk te wijten aan beperkingen van de meetmethode of het maskeren van het effect door andere factoren. Opvallend was dat erosie zowel optreedt bij verdedigde (met breuksteen) als onverdedigde schorren.

Anderzijds zijn hoge-resolutie-lidarbeelden (25 cm) gebruikt om op detailniveau te meten hoe ver schorkliffen in twee focuszones (Sint-Anna en Galgenweel) horizontaal zijn opgeschoven. In slechts één jaar tijd bedroeg de erosie gemiddeld 0,34 m bij Sint-Anna en 0,49 m bij Galgenweel. Vlak bij de Waterbus stopplaats Sint-Anna liep de schorerosie zelfs op tot meer dan 2 m per jaar.

Als conclusie kan gesteld worden dat beide analyses op een sterk correlatief verband wijzen tussen de activiteiten van de Waterbus en de versnelde erosie van schorren op het traject Hemiksem tot net voorbij Sint-Anna.

Aanbevelingen voor beheer en/of beleid

De Waterbus heeft impact op de slikken en schorren in de intergetijdgebieden langs de Zeeschelde. Deze zijn een onderdeel van een Speciale Beschermingszone (N2000) en maken deel uit van het Vlaams Ecologisch Netwerk (VEN). Voor deze intergetijdgebieden geldt een verslechteringsverbod. Alle habitattypes in de Beneden-Zeeschelde bevinden zich momenteel in een ongunstige Staat van Instandhouding (Vanden Borre et al., 2025) en ook de Kaderrichtlijn Water beoordeling van de waterlichamen Zeeschelde IV (grens tot Kennedytunnel) en Zeeschelde III (Kennedytunnel tot Durmemonding) is ontoereikend (VMM, 2026).

Het beleid moet de toestand van deze gebieden verbeteren. De toestand gaat echter achteruit waardoor het nemen van mitigerende maatregelen nodig is.

In samenwerking met het Waterbouwkundig Laboratorium (WL) is een aparte beleidssamenvatting in opmaak met uitvoerig advies (Meire *et al.*, 2026b). Hierin worden integraal aanbevelingen gegeven voor beleid en beheer.

English abstract

This report presents several analyses aimed at identifying the potential impact of the "Waterbus" - a high-speed ferry service providing alternative public transport - on tidal marsh erosion along the Lower Sea Scheldt. This study focuses on the ecological consequences for the river's intertidal zones (mudflats and tidal marshes), which are of high conservation value. Specifically, the research investigates whether the introduction of the Waterbus has led to accelerated marsh edge erosion and the horizontal retreat of tidal marsh cliffs.

Two distinct analyses were conducted. First, a breakpoint analysis (or "broken stick" analysis) was performed to identify shifts in annual marsh area erosion trends. This revealed that cumulative erosion increased significantly in nearly all zones between Hemiksem and Sint-Anna following the commencement of the ferry service. Further downstream, the results were less conclusive, potentially due to methodological limitations or the masking of the Waterbus effect by other factors. Notably, erosion was observed in both defended (armored with riprap) and undefended tidal marsh areas.

Second, high-resolution LiDAR imagery (25 cm) was utilized to measure the horizontal retreat of tidal marsh cliffs in the Sint-Anna and Galgenweel focus zones. Within a single year, the average erosion measured 0,34 m at Sint-Anna and 0,49 m at Galgenweel. In close proximity to the Sint-Anna Waterbus terminal, tidal marsh edge retreat even exceeded 2 m per year.

The study concludes that both analyses indicate a strong correlative link between Waterbus activities and the accelerated erosion of tidal marshes along the stretch from Hemiksem to just beyond Sint-Anna.

Inhoudstafel

Dankwoord/Voorwoord	2
Samenvatting	3
Aanbevelingen voor beheer en/of beleid	4
English abstract.....	5
1 Introductie.....	7
1.1 Probleemstelling	7
1.2 Situering voorgaand onderzoek	7
1.3 Situatieschets studiegebied.....	7
1.4 Doelstelling van de studie	13
2 Methode	14
2.1 Verandering in de snelheid van schorerosie	14
2.2 Horizontaal opschuiven van schorkliffen	15
3 Resultaten & Discussie	17
3.1 Verandering in de snelheid van schorerosie	17
3.2 Horizontaal opschuiven van schorkliffen	21
4 Conclusies	25
Referenties	26
Bijlagen	28
1) Extra figuren en tabellen	28
2) Uitbreiding op knikpuntenanalyse in slik schorprofielen	35
3) Methode voor het opkuisen van de schorerosie oppervlakedata.....	39
4) Validatie van schorkliffen: Veldmetingen maart 2026	41
Lijst van figuren.....	44
Lijst van tabellen	46

1 INTRODUCTIE

1.1 PROBLEEMSTELLING

De Beneden-Zeeschelde is deel van een ecologisch waardevol estuarium dat een reeks van ecosysteemdiensten levert, zoals het zelfreinigend vermogen van het water, het vastleggen van koolstof, het in stand houden van visbestanden en biodiversiteit, alsook het vervullen van economische, esthetische en recreatieve functies. In deze context kan een toenemende impact op deze waardevolle intergetijdengebieden negatieve gevolgen hebben. Meer nog, deze slik- en schorgebieden maken deel uit van een Speciale Beschermingszone (N2000) en behoren tot het Vlaams Ecologisch Netwerk (VEN). Voor deze intergetijdengebieden geldt een verslechteringsverbod, de opdracht is de gebieden te verbeteren. Alle habitattypes in de Beneden-Zeeschelde bevinden zich momenteel in een ongunstige staat van instandhouding (Vanden Borre *et al.*, 2025) en ook de beoordeling voor de Kaderrichtlijn Water van de waterlichamen Zeeschelde IV (grens tot Kennedytunnel) en Zeeschelde III (Kennedytunnel tot Durmemonding) is ontoereikend (VMM (Vlaamse Milieumaatschappij), 2026).

Sinds de introductie van de Waterbus in 2017 als alternatieve vorm van openbaar vervoer, is er bezorgdheid over de hydrodynamische impact van deze vaartuigen op de kwetsbare intergetijdengebieden. Hoewel de totale schoroppervlakte in de periode 2012-2023 over het algemeen is toegenomen — mede door natuurontwikkelingsprojecten — zijn er lokaal signalen van versnelde erosie die de instandhoudingsdoelstellingen en de status van het waterlichaam verder kunnen degraderen.

1.2 SITUERING VOORGAAND ONDERZOEK

In de studie van Meire *et al.* (2024) werd de mogelijke impact onderzocht van de Waterbus op de intergetijdengebieden langsheen de Beneden-Zeeschelde. Hiervoor werd zowel gekeken naar de vaarkarakteristieken van de Waterbus en andere scheepvaart, als naar een mogelijk effect van de Waterbus op de (a)biotiek van de intergetijdengebieden. Meire *et al.* (2024) bespreken de trends in het enige schor waar vegetatieplots voorkomen in de schorrand, op de overgang van slik naar schor (Ketenisseschor - traject Kallo-Lillo). Hoewel drie van de vier plots versnelde erosie vertonen sinds de introductie van de Waterbus, is de steekproef klein en ontbreekt een ruimtelijke analyse over de volledige deeltrajecten naar de mogelijke impact van de Waterbus op schorranderosie.

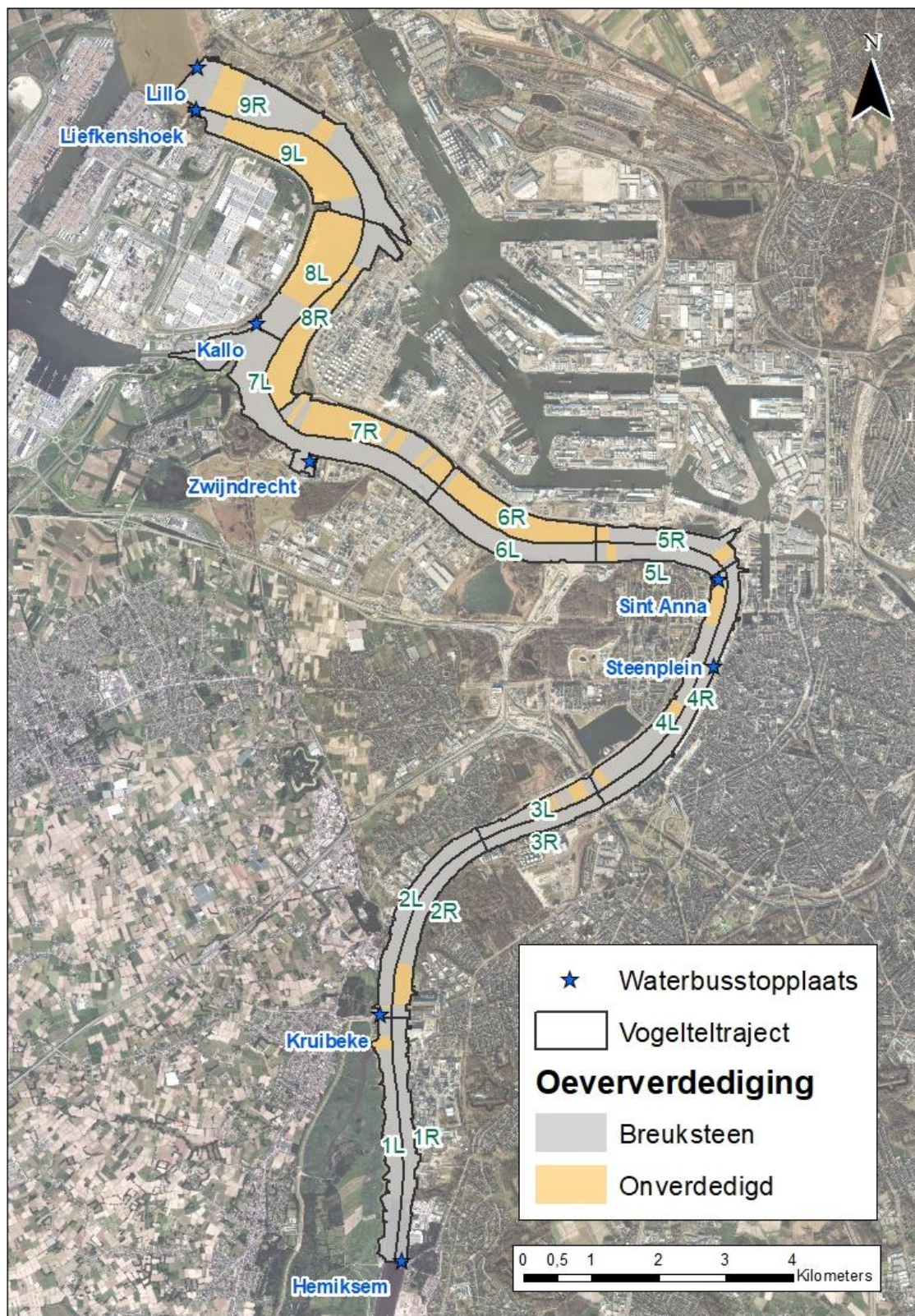
1.3 SITUATIESCHETS STUDIEGEBIED

Het onderzoeksgebied van deze studie beslaat het traject van de Waterbus op de Beneden-Zeeschelde tussen Hemiksem en Lillo, een afstand van circa 27 kilometer (Figuur 1) (De Waterbus, 2025). De Waterbus ging in dienst midden 2017 tussen Hemiksem (Kallebeekveer) en Sint-Anna (haltes Hemiksem, Kruibeke, Steenplein, Sint-Anna). Vanaf eind 2018 werd het traject van de Waterbus in noordelijke richting uitgebreid, met stops te Zwijndrecht en Kallo. Midden 2019 werd het traject nog verder stroomafwaarts uitgebreid naar haltes te Liefkenshoek en Lillo.

Tabel 1: Overzicht van de indiensttreding van de Waterbus langs de verschillende deeltrajecten met aanduiding van de geanalyseerde vogelteltrajecten (L = Linkeroever; R = Rechteroever).

Voor de ruimtelijke afbakening in Figuur 1 wordt gebruikgemaakt van de vogeltelzones ((Van Ryckegem *et al.*, 2006); <https://watervogels.inbo.be/locations/overview>). Deze zones zijn fijnmaziger dan de standaard OMES-compartimenten, waardoor ze beter geschikt zijn om effecten op het niveau van individuele Waterbus-stopplaatsen te detecteren.

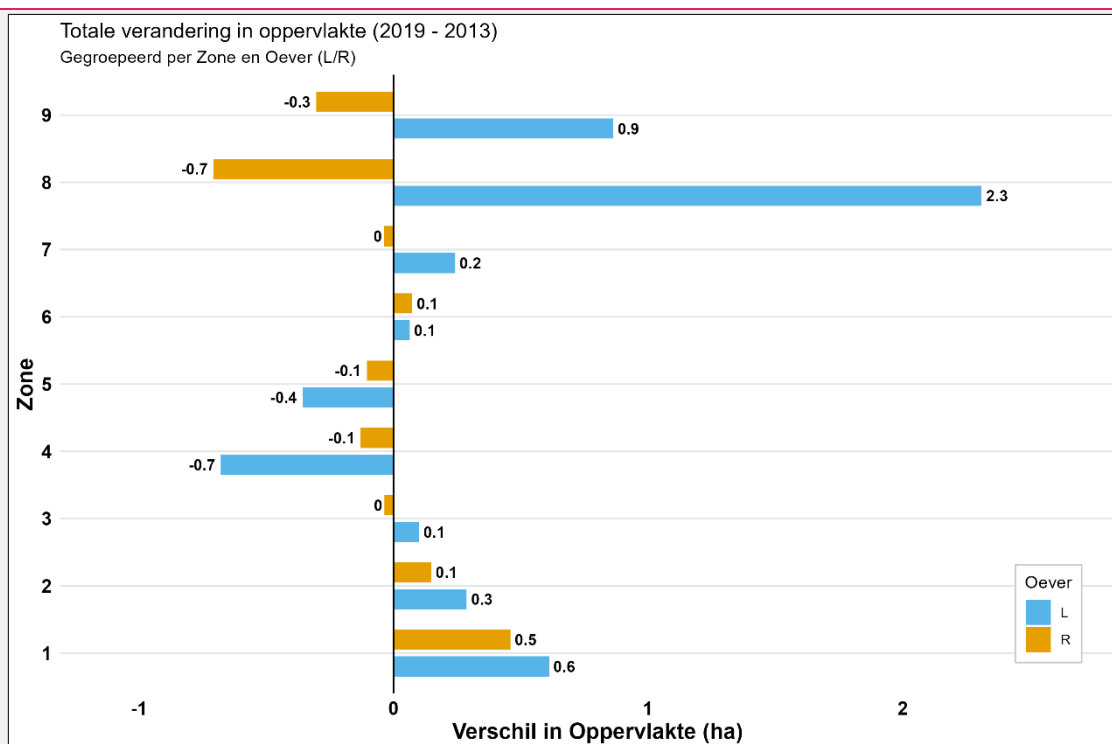
¹ Vanaf oktober 2018 voer de Waterbus om het uur langs dit traject, vanaf januari 2019 werd dit uitgebreid naar een frequentie om het half uur, net zoals stroomopwaarts.



Figuur 1: Het studiegebied met de locatie van de vogeltelzones in relatie tot de Waterbus stopplaatsen. Binnen elke zone kan een onderscheid gemaakt worden tussen twee types oeververdediging: breuksteen aanwezig of onverdedigd.

In deze kadertekst wordt er dieper ingegaan op de vegetatie-ontwikkelingen langsheen de Beneden-Zeeschelde tussen Hemiksem en Lillo op basis van de vegetatiekaarten van 2013 en 2019². Deze kaarten bieden een zes-jaarlijks detailbeeld van de vegetatiesamenstelling op de schorren.

Deze toename is echter ongelijk verdeeld over de verschillende zones (Figuur 2). De sterkste toename situeert zich in zone 8L en 9L op het Ketenisseschor waar slik gekoloniseerd is door vegetatie en bijgevolg omgezet is naar schor. Ook in zone 1 heeft zich dezelfde evolutie voorgedaan. In zone 1R hebben schorvegetaties slik ingenomen langs de waterzijde op breuksteen, in zone 1L langs de landzijde door een eerdere dijkverlegging. In de zones 4 en 5 is de balans negatief en is er een afname van de schoroppervlakte tussen 2013 en 2019. De afname is opvallendst in zone 4L. Dit is deels omdat een stukje bos/struweel op het hoog schor nabij de Kennedytunnel niet werd gekarteerd maar ook door schorverlies ter hoogte van de schorrand. Vooral tussen de toegangssluis tot de jachthaven en het ponton nabij Sint-Anneke is er schorverlies aan de waterzijde (zie ook hoofdstuk 3.2). In zone 4R is het schorverlies vooral het gevolg van infrastructuurwerken stroomafwaarts van de Kattendijksluis. In de aansluitende zone 5 en dan vooral in zone 5L, is er schorverlies door het verdwijnen van de schaarse begroeiing op St.-Annastrand.

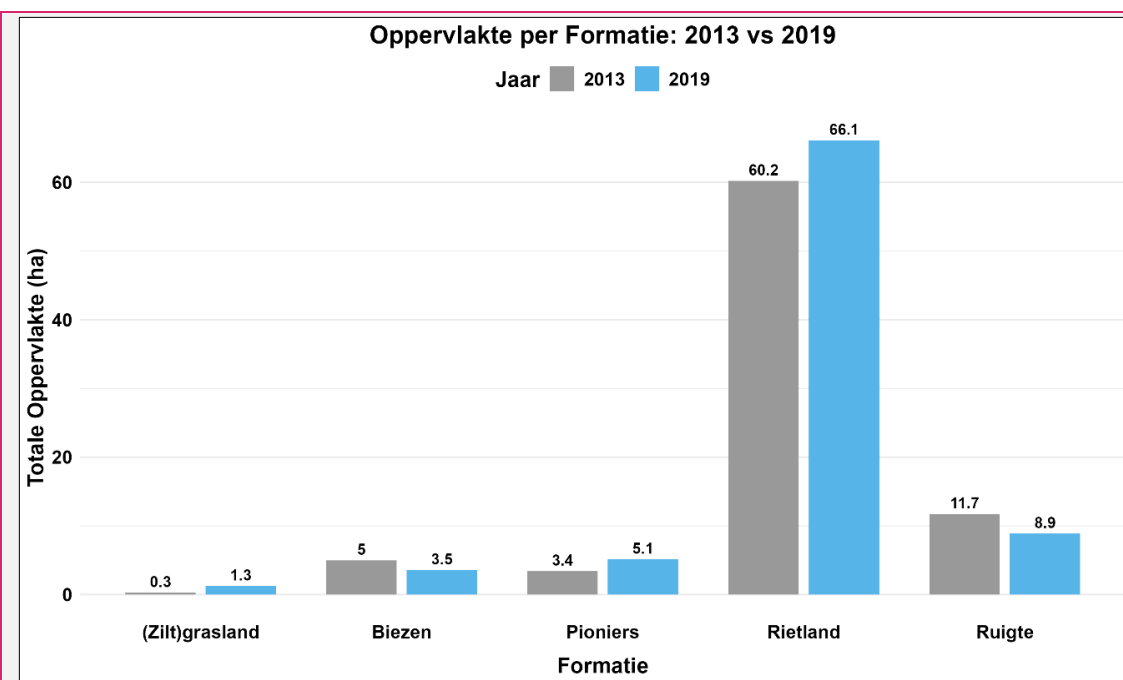


Figuur 2: Schorverlies of -winst per zone (zie zones Figuur 1) tussen 2013 en 2019 in het projectgebied. Negatieve waarden op de X-as zijn schorverlies, positieve waarden op de X-as tonen schorwinst per oever (L = linkeroever; R = rechteroever).

In Figuur 3 focussen we op de verandering van de vegetatieformaties (exclusief houtige gewassen, strooisel en open bodem) tussen 2013 en 2019. Hieruit blijkt dat vooral rietland is toegenomen met een oppervlakte van 5,9 ha (Figuur 3). Rietland is de meest voorkomende vegetatie in het projectgebied, aangezien het 68% van de schoroppervlakte bedekt.

De uitbreiding van rietland situeert zich onder andere ter hoogte van Ketenisseschor Zuid (8L) en stroomafwaarts van Sint-Annastrand (5L) waar door successie biezen evolueerden naar rietland. Deze successie voltrok zich eveneens op Ketenisseschor Noord (9L) maar daar is ook slik door rietland ingenomen. Op de schorren voor het GGG Polders van Kruibeke is rietland toegenomen ten koste van ruigte. Ruigtes van reuzenbalsemien (*Impatiens glandulifera*), een zout-intolerante soort, zijn omgevormd naar rietland, waarschijnlijk ten gevolge verhoogde zoutgehaltes van het overstromingswater (Van Ryckegem *et al.*, 2025).

Ruigte is afgenomen in het projectgebied met een oppervlakte van 2,8 ha (Figuur 3). Op de schorren voor het GGG Polders van Kruibeke is dit, zoals eerder vermeld, het gevolg van omvorming naar rietland. In het traject 2R zijn vooral de hoger gelegen, drogere ruigtes ingenomen door struweel, wat ook het geval is ter hoogte van Ketenisseschor Noord (9L).



Figuur 3: Vergelijking van de oppervlaktes van de verschillende formaties tussen 2013 en 2019 in het projectgebied.

In het projectgebied is pioniersvegetatie toegenomen met een oppervlakte van 1,7 ha (Figuur 3). De sterkste toename situeert zich op Ketenisseschor Noord (9L) waar slikken begroeid zijn door pioniervegetaties van zulte (*Aster tripolium*). Dezelfde successie voltrok zich op Ketenisseschor Zuid (8L), waar ook pioniervegetaties ontwikkeld zijn tot rietland. Langs traject 7L hebben zich tussen 2013 en 2019 pioniersvegetatie van zilte rus (*Juncus gerardii*) gevormd langs de buitenrand van het schor.

Biezen kenden een opvallende netto-afname in het projectgebied, hun oppervlakte daalde met 1,5 ha (Figuur 3). De afname is uitgesproken stroomafwaarts van Sint-Annastrand (5L) waar door successie biezenvegetaties zijn omgevormd tot rietland. Dezelfde successie voltrok zich op Ketenisseschor (8L, 9L). Anderzijds zijn ook nieuwe biezenvegetaties ontstaan, bijvoorbeeld op Ketenisseschor (8L, 9L), ten koste van pioniers of slik, maar netto is de balans voor biezen in het projectgebied ongunstig.

Een lage vegetatie die door grasachtigen wordt gedomineerd, catalogeren we onder de formatie (zilt)grasland. Deze formatie is schaars in het projectgebied maar kende wel een toename van 1,0 ha die volledig te situeren is in zone 8L (Ketenisseschor Zuid). Door successie en waarschijnlijk bevorderd door begrazing door watervogels, is daar (zilt)grasland ontstaan uit pioniers. Ook slikken begroeid met Nopjeswier (*Vaucheria*) zijn er ontwikkeld tot (zilt)grasland.

Houtachtige vegetaties (niet getoond in Figuur 3) zoals bossen, struwelen en individuele bomen/struiken zijn in dit deel van het estuarium minder bepalend en komen vooral op de overgang naar de dijk voor en op de hogere delen die minder overspoelen met brak water. Het is vooral in deze zones dat houtachtige vegetaties zich verder ontwikkelen.

DOELSTELLING VAN DE STUDIE

Het doel van deze studie is het uitvoeren van een uitgebreide ruimtelijke analyse naar de impact van de Waterbus op de erosie van schorranden langs het volledige traject. Hierbij wordt voortgebouwd op de methodiek van Meire *et al.* (2024), waarbij de knikpuntenanalyse is geactualiseerd met een langere tijdreeks aan data (zie Bijlage 2).

De studie richt zich specifiek op het beantwoorden van de volgende onderzoeksvragen:

- 1.) Is er sprake van een significante trendbreuk of verandering in de **snelheid van schorerosie** doorheen de tijd?
- 2.) Is er een aantoonbare **horizontale opschuiving van schorkliffen** (regressie) waarneembaar in specifieke zones sinds de ingebruikname van de Waterbus?

2 METHODE

2.1 VERANDERING IN DE SNELHEID VAN SCHOREROSIE

Over het algemeen is er een toename van de schoroppervlakte langsheen de Beneden-Zeeschelde (zie situatieschets 1.3, Bijlage 1 Figuur 10 en Bijlage 1 Tabel 3). Toch blijkt uit eerder onderzoek (Meire *et al.*, 2024) dat er sinds de opstart van de Waterbus meer erosie en schade aan infrastructuur langs de oevers wordt waargenomen. De eerste analyse van deze studie heeft dan ook als doel om veranderingen in de snelheid van schorerosie sinds de opstart van de Waterbus te detecteren. Hiervoor werd een gebiedsdekkende analyse uitgevoerd op basis van de jaarlijks beschikbare ecotoopkaarten (2012-2023)³.

Eerst werd in ArcMap (versie 10.8.2) het schor uit de ecotoopkaarten geëxtraheerd voor alle jaren van 2012 tot en met 2023. Vervolgens werd telkens het verschil in schoroppervlakte genomen tussen twee opeenvolgende jaren, zodat enkel een polygoon overblijft die het schoroppervlakteverlies tussen de twee opeenvolgende jaren weergeeft. Voor de analyse van schorerosie eventueel gerelateerd aan de waterbusactiviteit is het belangrijk om enkel erosie langs de waterkant te beschouwen. Hiervoor werd achtereenvolgens het schoroppervlakteverlies aan de dijkant van de schorren (vaak door dijkwerken) uitgesloten, alsook het schoroppervlakteverlies door werkzaamheden langs de waterkant en recente uitbreidingsgebieden werden uitgesloten. Het schoroppervlakteverlies langs de waterkant dat enkel te wijten is aan werkzaamheden werd geselecteerd op basis van expertenkennis. Een meer gedetailleerde beschrijving van het opkuisen van de data wordt gegeven in Bijlage 3. De resulterende erosie-oppervlaktes werden gegroepeerd per zone en per oeververdediging (aan- of afwezigheid van breuksteen). In R werd vervolgens een figuur gemaakt van cumulatieve schorerosie doorheen de tijd per kilometer oeverlengte, gegroepeerd per zone en per aan- of afwezigheid van oeververdediging. Hierop werd een Broken Stick analyse (of knikpuntenanalyse) uitgevoerd, waarbij per zone een regressie werd gefit met een knikpunt, zodat de helling van de regressielijn voor en na het knikpunt verschillen. Hiervoor werd gebruikgemaakt van de R library Segmented, die automatisch naar het beste knikpunt en de beste regressie hellingen zoekt via optimalisatie van de log-likelihood (Muggeo, 2003, 2008). Het jaartal waarin het knikpunt waargenomen werd, kan vervolgens geïnterpreteerd worden in relatie tot de opstart van de Waterbus.

De ruwe erosie-data gebruikt in de knikpuntenanalyses, is terug te vinden in Tabel 4 in de bijlagen. Voor de knikpuntenanalyse werd het Akaike Information Criterion (AIC) gebruikt om te bepalen of nul, één of twee knikpunten de cumulatieve erosie-curve per zone (geen onderscheid op basis van oeververdediging) het beste konden benaderen. Dit criterium is een methode om statistische modellen te vergelijken, waarbij een afweging wordt gemaakt tussen modelcomplexiteit en de mate waarin het model de data goed beschrijft (Akaike, 1973, 1974; Burnham & Anderson, 2002). Een lagere AIC waarde duidt hierbij een beter model aan.

³ De schorrand in ecotoopenkaarten wordt op basis van de orthofoto false-color beelden gedigitaliseerd met de oude grenzen methode (Janssen & van Gennip, 2000). De grens wordt aangepast als er duidelijk een verschuiving kan geïnterpreteerd worden. In de schorrand speelt een schaduweffect en potentieel overhangende vegetatie waardoor de nauwkeurigheid relatief beperkt is als je schorerosie wil meten. Met een pixelresolutie van 1m betekent dit dat er een heel duidelijke verschuiving (ernstige erosie) moet zijn alvorens de rand op basis van een luchtfoto kan aangepast worden (minimaal 1m).

HORIZONTAAL OPSCHUIVEN VAN SCHORKLIFFEN

De tweede analyse van dit rapport focust op de meest recente beschikbare data en de meest gedetailleerde geografische schaal. Meer bepaald, voor de jaren 2024 en 2025 zijn er lidar data beschikbaar met 25 cm resolutie, wat toelaat om op zeer fijne schaal het opschuiven van schorkliffen in kaart te brengen. De opnamedata van de lidar zijn 10/03/2024 en 16/03/2025. Deze analyse werd uitgevoerd in ArcMap (versie 10.8.2) en bestond uit de volgende stappen:

- Eerst werd er een focuszone gecreëerd door uit de ecotopenkaart van 2023 (Van Ryckegem *et al.*, 2025) de volgende zones aan weerszijden van de schorrand te extraheren: het schor, de pionierzone, het middelhoog slik en het hoog slik.
- Vervolgens werd de tool *Extract by mask* gebruikt om de focuszone uit de lidar lagen van 2024 en 2025 te knippen.
- Daarna werden contourlijnen gecreëerd om de 0,5 meter hoogte met de tool *Contour (Spatial Analyst)*.
- Hieruit werd de contourlijn geselecteerd die het best de schorklif benadert. Dit werd gedaan door de contourlijnen boven op de hellingskaart (gecreëerd met de tool *Slope (Spatial Analyst)*) te evalueren. Voor deze analyse is het dus belangrijk dat er een schorklif aanwezig is. Daarom werden de volgende stappen enkel uitgevoerd voor twee studiegebieden: Sint-Anna en Galgenweel. Deze twee onverdedigde schorren bevinden zich beiden in zone 4L en vertonen een duidelijke schorklif. De zone stroomopwaarts van Sint-Anna bestaat uit een 350 meter lange schorrandzone volledig begroeid met riet tussen het opgehoogde deel naar de aanlegsteiger Sint-Anna en de inwateringssluis van de jachthaven. De Galgenweel zone bestaat uit 180 meter van rietland ter hoogte van de VVW-Watersportfaciliteiten (vegetatiekaart 2019; (Van Ryckegem *et al.*, 2025)).
- Op deze geselecteerde zones werd de tool *Feature vertices to points* uitgevoerd op de schorklif contourlijn van 2024 om deze lijn om te zetten naar punten elke meter.
- Vervolgens werd de afstand berekend van elk punt tot de schorklif contourlijn van 2025 met de *Near tool* om zo erosie van de schorklif tussen 2024 en 2025 te kwantificeren. Deze laatste twee stappen worden geïllustreerd op Figuur 4.

Om de schorkliffen geëxtraheerd uit de lidar data te valideren, werd de boven- en onderrand van de schorkliffen in de studiezones ingemeten in het veld op 25/03/2026 en 27/03/2026. De resultaten van deze validatie zijn terug te vinden in Bijlage 4.

3 RESULTATEN & DISCUSSIE

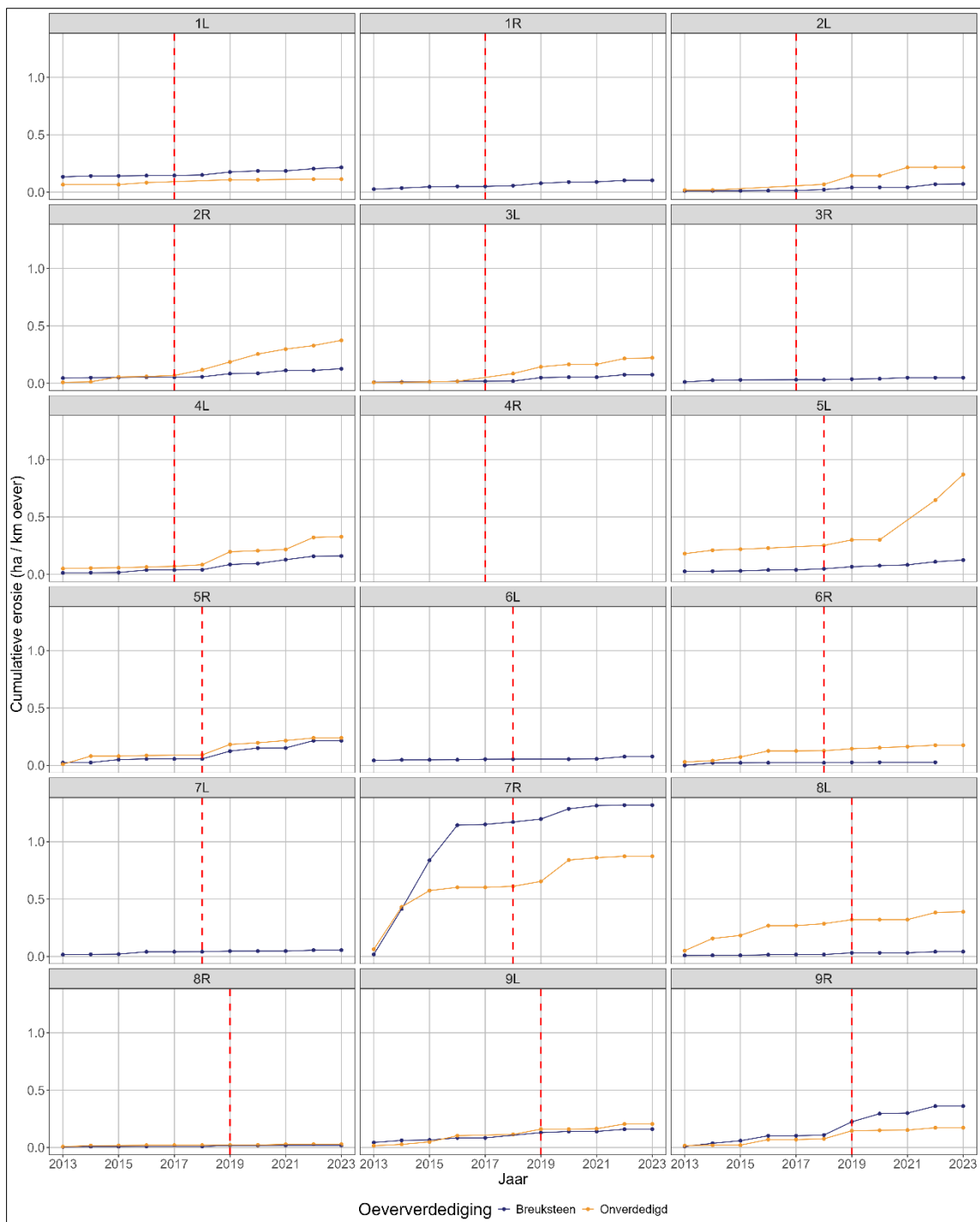
3.1 VERANDERING IN DE SNELHEID VAN SCHOREROSIE

De locatie van de verschillende zones ten opzichte van de Waterbus stopplaatsen is zichtbaar op Figuur 1. Hierop is ook het onderscheid tussen verdedigde en onverdedigde schorren aangegeven. Niet in elke zone zijn onverdedigde schorren aanwezig. Figuur 5 geeft de cumulatieve schorerosie per kilometer oever weer doorheen de tijd, opgesplitst per zone en apart weergegeven voor verdedigde en onverdedigde schorren. Het jaar waarin de Waterbus actief werd in de zone, is telkens aangeduid met een verticale rode stippellijn. De analyse toont aan dat erosie kan optreden in zowel verdedigde als onverdedigde schorren. De patronen zijn variabel: de cumulatieve erosie is gelijklopend (5R, 8R, 9L), meer in verdedigde (1L, 7R, 9R) of meer in onverdedigde schorren (2L, 2R, 3L, 4L, 5L, 6R, 8L). In Bijlage 1 Figuur 11 wordt een overzicht gegeven van de oeverlengte per zone en per oeververdedigingstype. Hieruit blijkt dat onverdedigde oevers verder stroomafwaarts meer voorkomen. Echter, uit Figuur 12 (Bijlage 1) volgt dat het vooral de onverdedigde oevers stroomopwaarts (zones 2L tot en met 6R) zijn die de grootste erosie-intensiteit (ha erosie ten opzichte van km oeverlengte) kennen. Enkel in zones 1L, 7R en 9R is de erosie-intensiteit meer uitgesproken in verdedigde oevers. In Figuur 13 in de bijlagen wordt dezelfde cumulatieve erosie weergegeven als op Figuur 5, maar ditmaal niet opgesplitst naar verschillende types oeververdediging en niet relatief ten opzichte van de oeverlengte. Op deze versie werd de knikpuntenanalyse uitgevoerd.

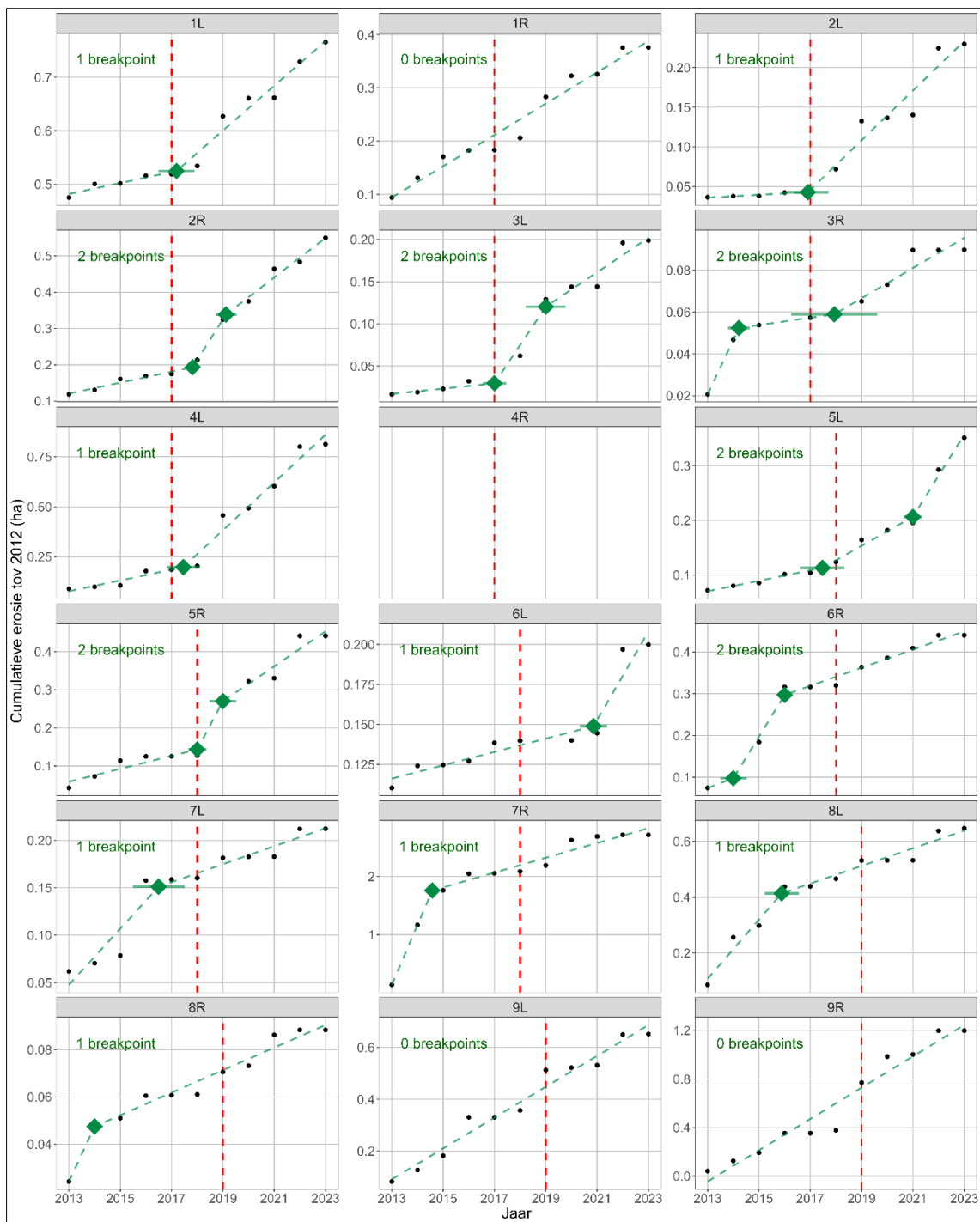
De resultaten van de knikpuntenanalyse (Figuur 6) tonen aan dat voor alle zones tussen Hemiksem en Sint-Anna (zones 1 tot en met 4, met uitzondering van zone 1R) een knikpunt is gedetecteerd op het moment van de introductie van de Waterbus, of in de daaropvolgende jaren. Ook in de zone van Sint-Anna strand (5L) is een knikpunt zichtbaar, net als verder stroomafwaarts in zones 5R en 6L. De cumulatieve schorranderosie neemt toe in deze zones na het knikpunt. Er worden geen knikpunten gedetecteerd in de schorranderosie in het meest stroomafwaarts deel voor de onderzochte tijdsperiode (tot 2023). Een uitsplitsing van de analyse naar oeververdediging (Bijlage 1 Figuur 14 en Bijlage 1 Figuur 15) toont grotendeels dezelfde resultaten voor de verdedigde oevers, maar voor de onverdedigde oevers zijn de knikpunten moeilijker aan te tonen vanwege de beperkte oppervlakte.

Uit de analyse blijkt dat de waargenomen knikpunten in de schorranderosie minder abrupt zijn dan de knikpunten die optreden bij slikerosie (Bijlage 2; (Meire *et al.*, 2024)). Dit is volgens de verwachting: enerzijds is een kritische hellingsgraad van het voorliggende intertidaal sturend op de slik-schor cyclus (Van de Koppel *et al.*, 2005) en anderzijds bieden de vegetaties een grotere erosieweerstand ten opzichte van slik (Schoutens *et al.*, 2019). De terugschrijdende schor(rand)erosie is daardoor een relatief trager proces. Een toenemende hellingsgraad door het optreden van erosie van het slik is het initiële proces.

Dat er stroomafwaarts (nog) geen knikpunten worden gevonden, kan verschillende oorzaken hebben. De Waterbus is hier minder lang actief en de Zeeschelde wordt ook breder waardoor de impact gradueel afneemt. Hoewel dit laatste nauwelijks blijkt uit de metingen op Ketenisseschor (Meire *et al.*, 2026a). Dit sluit niet uit dat ook hier nu al toenemende erosie is of dat die op termijn meetbaar gaat optreden op basis van een ecotopenkaartanalyse. Dat die nu (nog) niet gevonden worden, kan te wijten zijn aan de relatief onnauwkeurige schorrandbepaling in de ecotopenkaarten. De schorranderosie is maar detecteerbaar als deze minstens één meter bedraagt.



Figuur 5: Cumulatieve schorerosie per kilometer oeverlengte (ha/km) ten opzichte van 2012 per zone. De resultaten zijn verder opgesplitst naar type oeververdediging (blauwe lijn = breuksteen aanwezig, oranje lijn = breuksteen afwezig). De rode stippellijn markeert het jaar waarin de Waterbus actief werd in de betreffende zone. Enkel schorerosie langs de oevers werd meegenomen, erosie door werken werd weggefilterd uit de analyse.



Figuur 6: Knippuntenanalyses om een trendbreuk in de cumulatieve schorerosie doorheen de tijd op te sporen, waarbij het aantal breekpunten werd bepaald op basis van het Akaike Information Criterion (AIC). De groene stippellijn geeft de (gebroken) regressielijn weer, de groene ruiten de breekpunten en de horizontale lijn de standaardfout. De rode stippellijn markeert het jaar waarin de Waterbus actief werd in de betreffende zone.

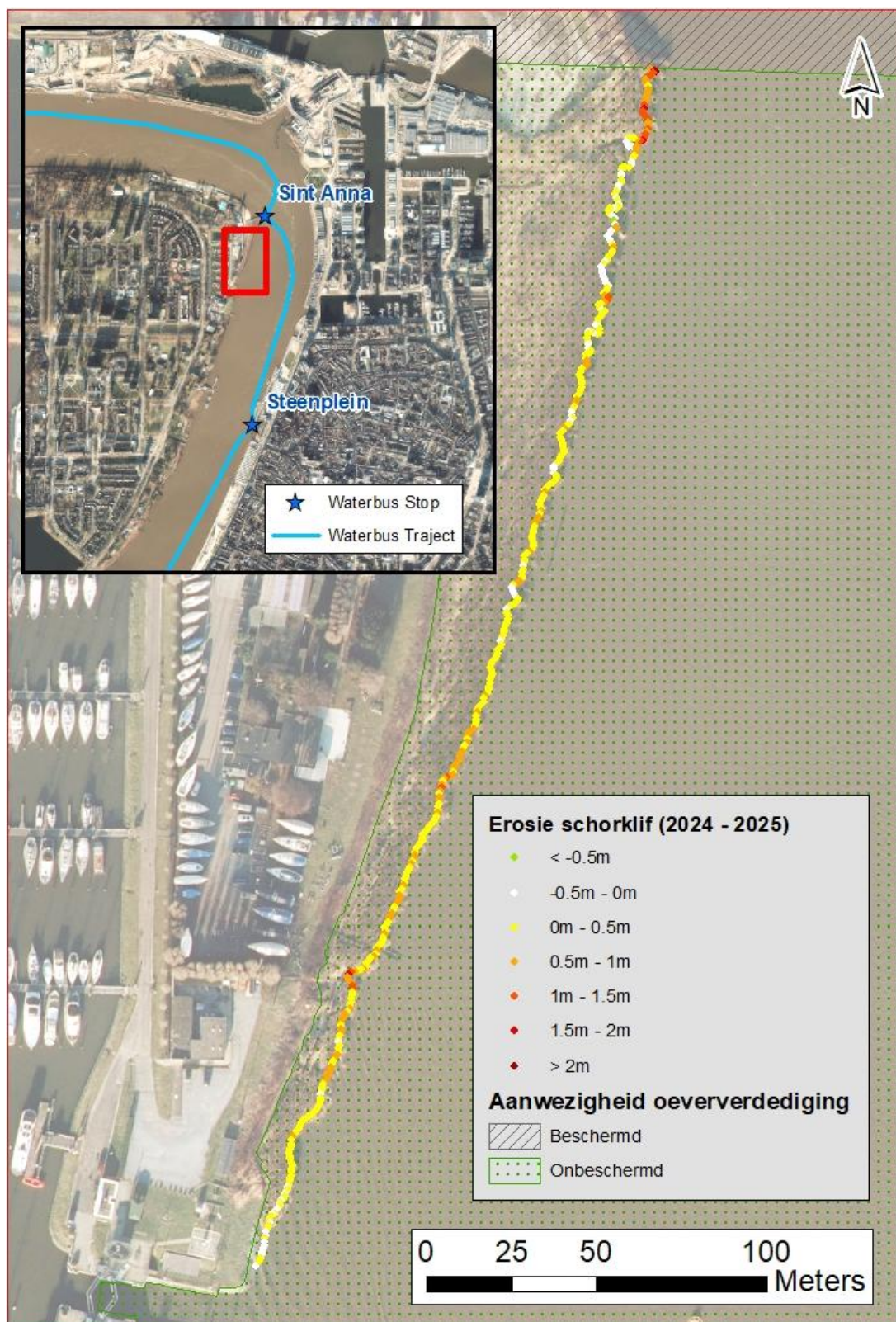
HORIZONTALAAL OPSCHUIVEN VAN SCHORKLIFFEN

De twee onverdedigde focuszones ter hoogte van Sint-Anna en het Galgenwiel vertoonden duidelijk opschuivende schorkliffen. Voor de bespreking focussen we op deze gebieden. In voorgaande knippuntenanalyse is echter opgemerkt dat ook (vooral) de met breuksteen beschermde schorren erosie ondergingen. Deze erosie treedt echter vaker op zonder het voorkomen van een duidelijke schorklif.

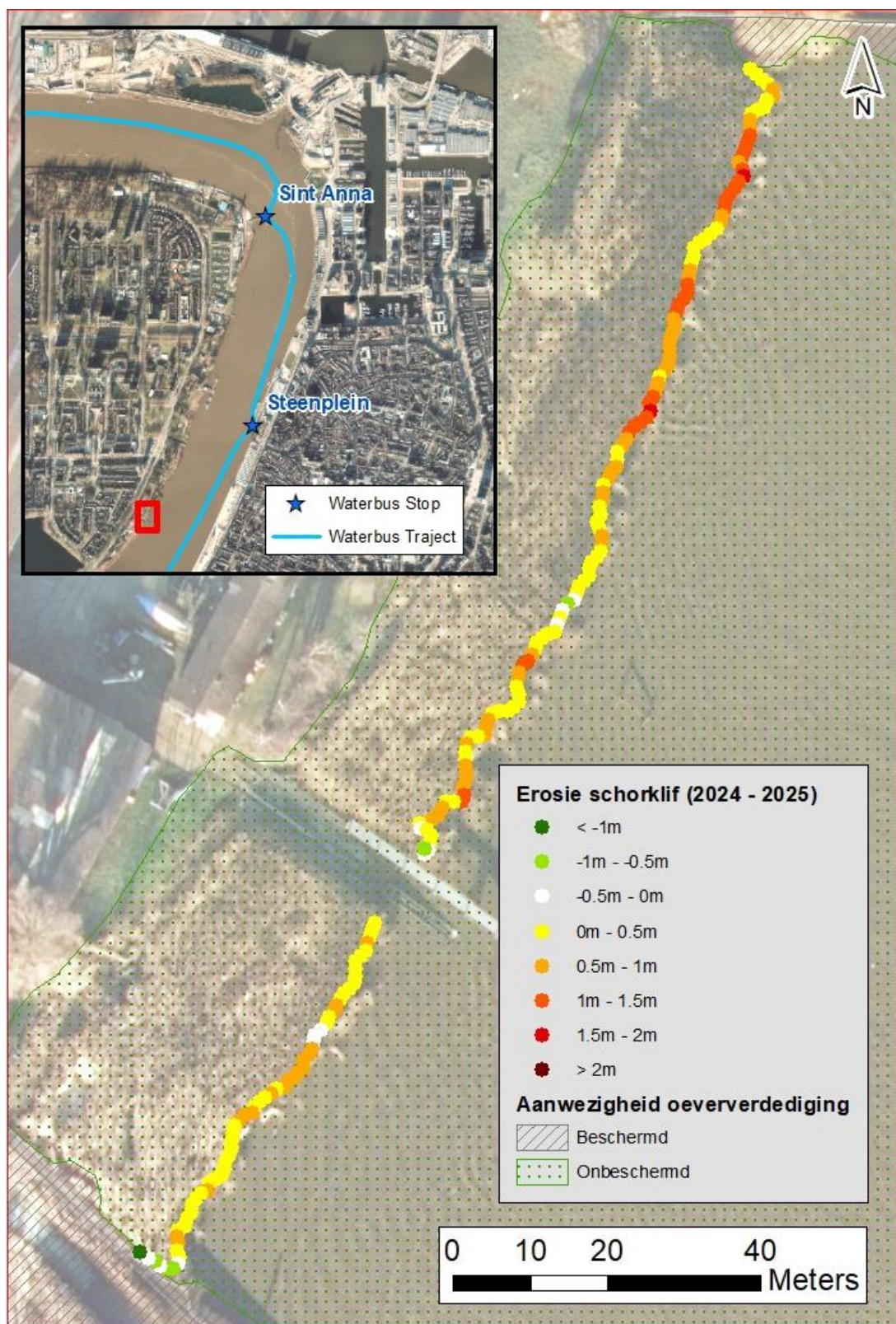
De horizontale erosie van de schorkliffen in de focuszones is gekwantificeerd tussen 2024 en 2025 ter hoogte van Sint-Anna (Figuur 7) en Galgenweel (Figuur 8). Foto's van de schorkliffen ter hoogte van Sint-Anna en Galgenweel zijn weergegeven op Figuur 9. Een overzicht van de beschrijvende statistieken is terug te vinden in Tabel 2. Meer bepaald bedroeg de waargenomen schorranderosie op jaarbasis gemiddeld 0,34 meter/jaar voor de focuszone rond Sint-Anna en 0,49 meter/jaar voor de focuszone Galgenweel. De maximale erosie van de schorklif ging zelfs tot 2,16 meter voor Sint-Anna en tot 1,60 meter voor Galgenweel. Langs een traject van 373 meter wijst dit op gemiddeld 127 m² schoroppervlakteverlies per jaar ter hoogte van Sint-Anna en voor Galgenweel gaat het langs een trajectlengte van 166 meter om 81 m² schoroppervlakte per jaar. Belangrijk om te benadrukken is dat deze erosie plaatsvond in slechts één jaar tijd (2024 - 2025). Voor zowel Sint-Anna als Galgenweel zijn de meest extreme waarden te vinden het meest stroomafwaarts langs de bestudeerde contourlijn, voor Sint-Anna is dit vlakbij de Waterbus stopplaats. Deze eroderende tendens is opmerkelijk omwille van het contrast met een eerder stabiele tot uitbreidende schoroppervlakte door schor/rietuitgroei voor de periode voor 2018 (Bijlage 1 Tabel 3 - zone 4L). Deze gemeten erosie is het resultaat van alle drukfactoren inwerkend op de oeverzone, inclusief de Waterbus. De toenemende schorranderosie dicht bij de stopplaats lijkt wel duidelijk gecorreleerd met de golfwerking veroorzaakt door de naderende Waterbus.

Tabel 2: Overzicht van beschrijvende statistieken (minimum, maximum, gemiddelde en standaarddeviatie) voor Sint-Anna en Galgenweel. Positieve waarden geven erosie weer, negatieve waarden duiden op aangroei.

	Sint-Anna	Galgenweel
Minimum erosie	-0,56 m/jaar	-1,33 m/jaar
Maximum erosie	2,16 m/jaar	1,60 m/jaar
Gemiddelde	0,34 m/jaar	0,49 m/jaar
Standaarddeviatie	0,35 m/jaar	0,45 m/jaar



Figuur 7: Opschuiven van de schorklif in het rietland tussen de jachthaven en Waterbus halte Sint-Anna door erosie (2024 - 2025).



Figuur 8: Opschuiven van de schorklif door erosie ter hoogte van Galgenweel tijdens de periode 2024 - 2025.



Figuur 9: Foto's ter illustratie van de eroderende schorkliffen ter hoogte van Sint-Anna (bovenste twee foto's) en Galgenweel (onderste drie foto's). Foto's genomen op 25/03/2026 en 27/03/2026.

4 CONCLUSIES

In deze detailstudie focussen we op de mogelijke effecten van de Waterbus op de schorerosie. De resultaten tonen aan dat de snelheid van schorerosie toeneemt sinds de Waterbus introductie tussen Hemiksem tot net voorbij Sint-Annastrand. Verder stroomafwaarts richting Lillo worden geen significante knikpunten met hierna een stijging in de schorranderosie gedetecteerd voor de onderzochte tijdsperiode (2012 tot 2023). Dit sluit niet uit dat ook hier nu al toenemende erosie is of dat die op termijn meetbaar zal zijn op basis van een ecotopenkaartanalyse. Dat die nu niet gevonden wordt, kan te wijten zijn aan de relatief onnauwkeurige schorrandbepaling in de ecotopenkaarten, vanwege het discontinu verloop van schorranderosie of de relatief kortere periode dat de Waterbus er heeft gevaren. Ook kan het erosiesignaal gemaskeerd zijn door het breder worden van de Zeeschelde en een groter aandeel van andere scheepvaart. Schorranderosie treedt in de bestudeerde zones zowel op in verdedigde als onverdedigde schorzones.

De studie toont ook de horizontale opschuiving van schorkliffen aan in twee onverdedigde schorzones met duidelijk detecteerbare schorkliffen in zone 4L. De gemiddelde erosie langs dit traject over de periode 2024-2025 was 0,34 meter/jaar voor Sint-Anna en 0,49 meter/jaar voor Galgenweel, maar de schorklifverschuiving nam toe tot meer dan 2 meter/jaar dichterbij de stopplaats Sint-Anna. De analyses wijzen dus op een correlatief verband tussen de waargenomen schorerosiepatronen en de introductie of de nabijheid van de Waterbus.

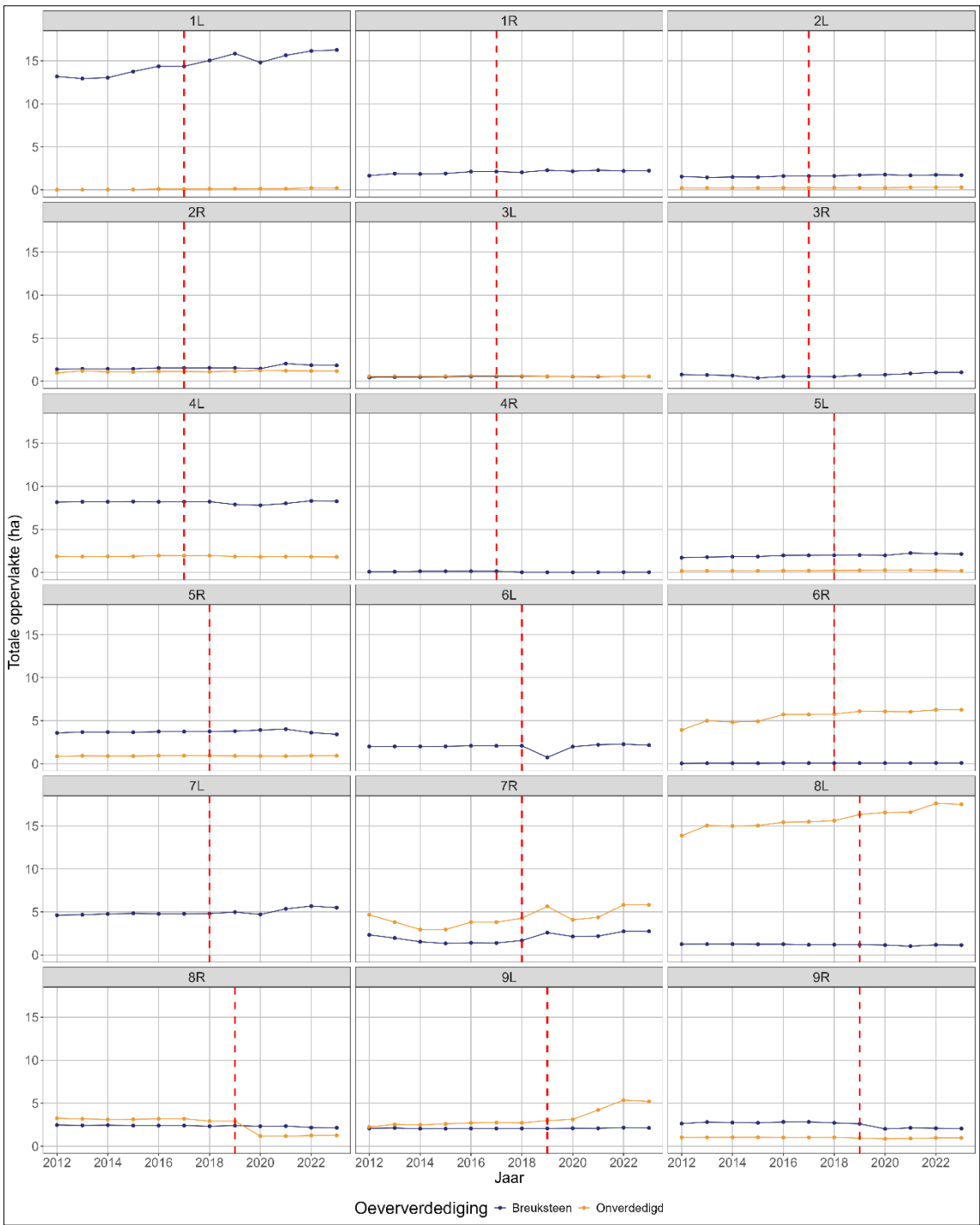
Tot slot herbevestigt de knikpuntenanalyse op de slikhoogteprofielen de eerdere vaststellingen uit Meire *et al.* (2024) (zie uitbreiding van de analyse in Bijlage 2). Zeven van de negen profielknikpunten liggen in het bepaalde betrouwbaarheidsinterval van het tijdstip waarop de Waterbus in gebruik genomen is.

Referenties

- Akaike H. (1973). Information Theory and an Extension of the Maximum Likelihood Principle. In: Parzen E., Tanabe K. & Kitagawa G. (eds.). *Selected Papers of Hirotugu Akaike*, Springer Series in Statistics. Springer New York, New York, NY, p. 199-213. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-1694-0_15.
- Akaike H. (1974). A New Look at the Statistical Model Identification. *IEEE Transactions on Automatic Control* 19 (6).
- Burnham K.P. & Anderson D.R. (2002). *Model Selection and Multimodal Inference: A Practical Information-Theoretic Approach*. Second edition ed. Springer New York, New York, NY.
- De Waterbus (2025). De Waterbus. In: De Waterbus. <https://dewaterbus.be/> (geraadpleegd 8 december 2025).
- Elsen R., Van De Meutter F., Jocqué M., Vanoverbeke J., Vandevoorde B., Van Den Bergh E., Van Ryckegem G., Dekoninck W., Hoffmann M. & Van Braeckel A. (2023). Recent changes in the distribution and rooting elevation of *Schoenoplectus club-rushes* in the Scheldt estuary and the consequences for their survival. *Hydrobiologia* 850 (18): 3907-3918. <https://doi.org/10.1007/s10750-022-05104-3>.
- IMDC (2022). Voortgangsrapport 2020-2021 en evaluatie na 12 jaar. Rapportering in het kader van monitoringprogramma flexibel storten Westerschelde en monitoringprogramma Beneden-Zeeschelde. Nr. I/RA/11498/22124/MMO.
- Janssen J. & van Gennip B. (2000). De Oude Grenzen Methode. Een manier om betrouwbaar veranderingen in landschap en vegetatie te monitoren op basis van luchtfotokarteringen. *Landschap* 17 (3/4): 177-186.
- Meire D., Plancke Y. & De Roo S. (2026a). Hydrodynamische belasting van scheepsgolven op intergetijdengebied: Resultaten en analyse van grootschalige meetcampagne naar de effecten van de Waterbus. Nr. 24_077_2. Waterbouwkundig Laboratorium, Antwerpen.
- Meire D., Plancke Y., De Roo S. & Van Ryckegem G. (2026b). Impact van de Waterbus langsheen de Beneden-Zeeschelde: Beleidsamenvatting. (In opmaak). Versie 2.0. Nr. 24_077_4. Waterbouwkundig Laboratorium, Antwerpen.
- Meire D., Van Ryckegem G., Verwilligen J., Vanoverbeke J., Mertens A., Vandevoorde B., Van de Meutter F. & De Roo S. (2024). De Waterbus: Vaarkarakteristieken en impact op intergetijdengebieden langsheen de Zeeschelde. Nr. Versie 4.0. Waterbouwkundig Laboratorium, Antwerpen.
- Muggeo V.M.R. (2003). Estimating regression models with unknown break-points. *Statistics in Medicine* 22 (19): 3055-3071. <https://doi.org/10.1002/sim.1545>.
- Muggeo V.M.R. (2008). Segmented: An R Package to Fit Regression Models With Broken-Line Relationships. *R News* 8 (20-25).
- Schoutens K., Heuner M., Minden V., Schulte Ostermann T., Silinski A., Belliard J. & Temmerman S. (2019). How effective are tidal marshes as nature-based shoreline protection throughout seasons? *Limnology and Oceanography* 64 (4): 1750-1762. <https://doi.org/10.1002/lno.11149>.
- Van de Koppel J. van de, Van der Wal D., Bakker J.P. & Herman P.M.J. (2005). Self-Organization and Vegetation Collapse in Salt Marsh Ecosystems. *The American Naturalist* 165 (1): E1-E12. <https://doi.org/10.1086/426602>.
- Van Ryckegem G., De Regge N. & Van den Bergh E. (2006). Voedseleecologie en gedrag van overwinterende watervogels langs de Zeeschelde: Een methodologische studie. Nr. INBO.R.2006.28. Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.
- Van Ryckegem G., Van Braeckel A., Elsen R., Speybroeck J., Vandevoorde B., Mertens W., Breine J., De Beukelaer J., De Regge N., Hessel K., Soors J., Terrie T., Van Lierop F. & Van Den

-

1) EXTRA FIGUREN EN TABELLEN



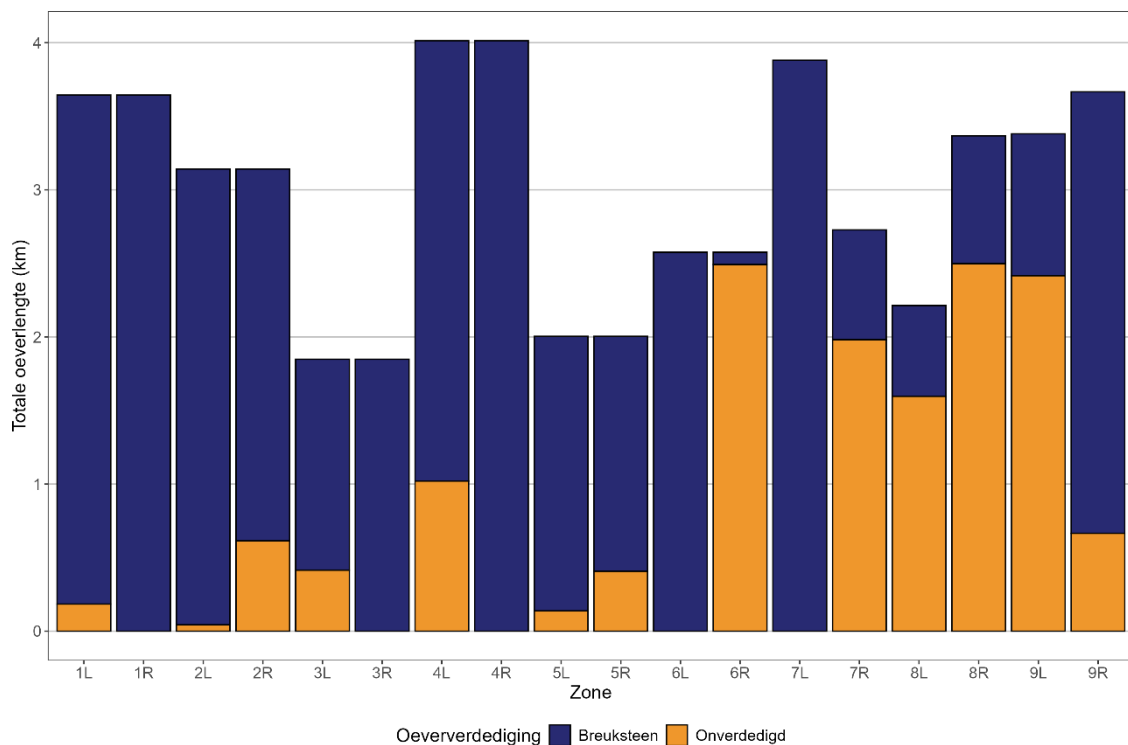
Figuur 10: Evolutie van de totale schoroppervlakte (ha) tijdens de studieperiode (2012 - 2023), gegroepeerd per zone en opgesplitst volgens type oeververdediging (Blauw = Breuksteen aanwezig; Oranje = Onverdedigd). Schor dat verdween door werken is hier niet uitgefilterd.

Tabel 3: Evolutie van de totale schoroppervlakte (ha) tijdens de studieperiode (2012 - 2023), gegroepeerd per zone en per type oeververdediging. Deze data is visueel weergegeven op Figuur 10 en dient als context bij het interpreteren van de erosie data (Tabel 4). Schor binnen recente uitbreidingsgebieden is weggefilterd uit deze tabel, schor dat verdween door werken is hier niet uitgefilterd.

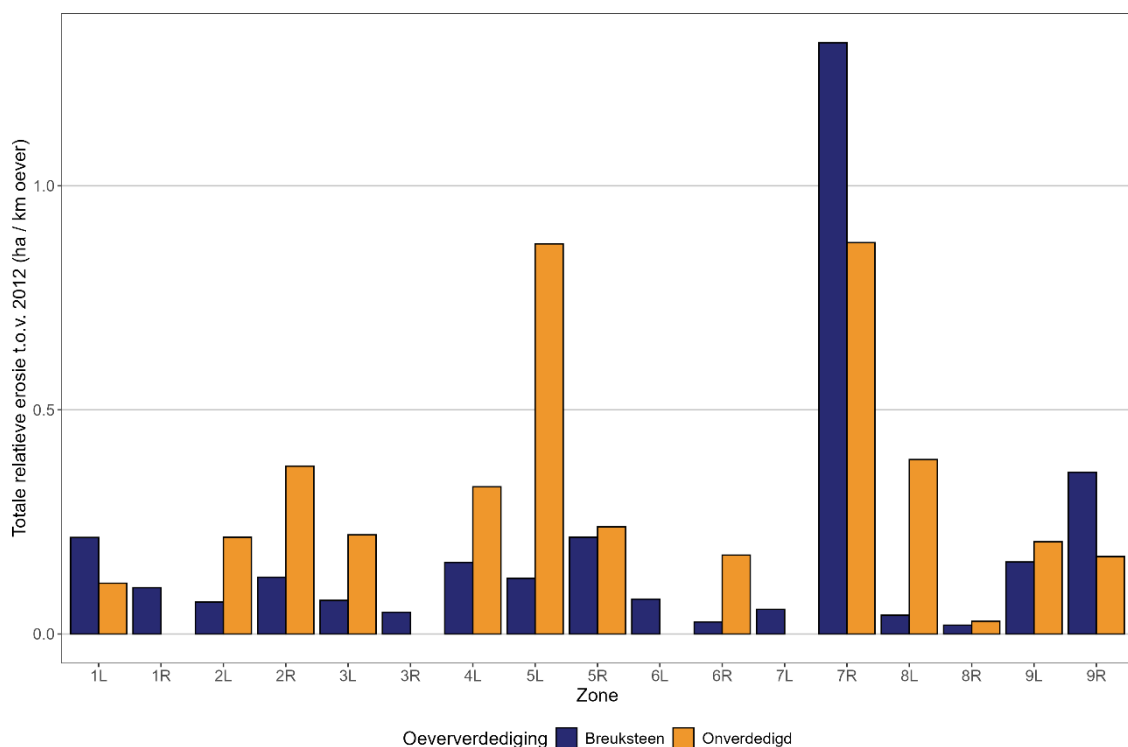
ZoneCodeOever	Oeververdediging	TrajectNummer	2012_ha	2013_ha	2014_ha	2015_ha	2016_ha	2017_ha	2018_ha	2019_ha	2020_ha	2021_ha	2022_ha	2023_ha
1L	Breuksteen	1	13,0026	12,5352	12,6345	12,8500	13,1142	12,8840	13,1791	13,2583	13,0423	13,0202	13,4020	13,3402
1L	Onverdedigd	1	0,0125	0,0008	0,0041	0,0088	0,0118	0,0118	0,0118	0,0098	0,0099	0,0100	0,0101	0,0099
1R	Breuksteen	1	1,6500	1,8997	1,8396	1,9021	2,1235	2,1252	2,0381	2,2759	2,1638	2,2818	2,1986	2,2343
2L	Breuksteen	1	1,5454	1,4465	1,4910	1,4837	1,6112	1,6118	1,6177	1,7213	1,7709	1,6752	1,7428	1,7170
2L	Onverdedigd	1	0,2135	0,2276	0,2289	0,2368	0,2409	0,2409	0,2388	0,2386	0,2386	0,2849	0,3021	0,2973
2R	Breuksteen	1	1,3813	1,4347	1,4269	1,4376	1,5443	1,5444	1,5462	1,5442	1,4558	2,0431	1,8599	1,8298
2R	Onverdedigd	1	0,9692	1,1906	1,0849	1,0728	1,1207	1,1194	1,0930	1,1497	1,2394	1,2039	1,1911	1,1780
3L	Breuksteen	1	0,4230	0,4828	0,4826	0,5079	0,5373	0,5426	0,5432	0,5346	0,5290	0,5145	0,5526	0,5404
3L	Onverdedigd	1	0,5553	0,5745	0,5740	0,5792	0,6183	0,6224	0,5962	0,5815	0,5722	0,5673	0,5786	0,5731
3R	Breuksteen	1	0,6600	0,5998	0,5330	0,2929	0,4226	0,4220	0,4867	0,5792	0,5992	0,7092	0,8173	0,8097
4L	Breuksteen	1	8,1638	8,2142	8,2145	8,2398	8,2014	8,2074	8,2245	7,8983	7,8015	8,0157	8,3195	8,2618
4L	Onverdedigd	1	1,8672	1,8518	1,8623	1,8701	1,9644	1,9588	1,9558	1,8515	1,8059	1,8465	1,8119	1,7990
4R	Breuksteen	1	0,0707	0,0715	0,1387	0,1392	0,1440	0,1447	0,0318	0,0257	0,0196	0,0222	0,0311	0,0311
5L	Breuksteen	2	1,7111	1,7839	1,8262	1,8472	1,9748	1,9818	1,9937	2,0126	1,9766	2,2454	2,1866	2,1398
5L	Onverdedigd	2	0,1772	0,1825	0,1823	0,1926	0,2146	0,2146	0,2220	0,2363	0,2584	0,2799	0,2355	0,1993
5R	Breuksteen	2	3,5783	3,6741	3,6767	3,6481	3,7227	3,7229	3,7512	3,7811	3,9130	4,0198	3,6102	3,4108
5R	Onverdedigd	2	0,8538	0,9170	0,8950	0,8981	0,9279	0,9285	0,9286	0,9133	0,8970	0,8910	0,9244	0,9264
6L	Breuksteen	2	2,0022	2,0143	2,0054	2,0148	2,0829	2,0715	2,0770	0,7307	1,9775	2,2050	2,2642	2,1498
6R	Breuksteen	2	0,0371	0,0563	0,0545	0,0499	0,0630	0,0630	0,0651	0,0728	0,0727	0,0727	0,0931	0,0929
6R	Onverdedigd	2	3,7732	4,2879	4,1862	4,2122	4,2294	4,2319	4,2499	4,3176	4,2958	4,2789	4,4502	4,4487
7L	Breuksteen	2	4,6203	4,6805	4,7679	4,8338	4,7926	4,7924	4,8090	4,9852	4,7103	5,3539	5,6855	5,5024
7R	Breuksteen	2	2,3283	1,9589	1,5099	1,3003	1,2665	1,2620	1,4882	2,0625	1,7452	1,7803	1,9763	1,9762
7R	Onverdedigd	2	4,4551	3,7615	2,9554	2,8930	3,2816	3,2830	3,5713	3,8901	2,9135	2,9045	3,8138	3,8136
8L	Breuksteen	3	1,2547	1,2615	1,2628	1,2435	1,2496	1,1830	1,1996	1,2002	1,1536	1,0227	1,1731	1,1494
8L	Onverdedigd	3	13,8617	15,0313	14,9939	15,0287	15,4338	15,4738	15,6060	16,3157	16,5585	16,5920	17,6188	17,5121
8R	Breuksteen	3	2,4641	2,4216	2,4555	2,4004	2,3996	2,4038	2,3281	2,3964	2,3223	2,3491	2,1775	2,1474
8R	Onverdedigd	3	3,2533	3,1807	3,1121	3,1304	3,1802	3,1944	2,9182	2,9180	1,1831	1,1776	1,2416	1,2593
9R	Breuksteen	3	2,0277	2,5664	2,5484	2,5235	2,6195	2,6244	2,5231	2,4388	2,0220	2,1317	2,0937	2,0601
9R	Onverdedigd	3	0,9134	0,9225	0,9292	0,9326	0,9068	0,9090	0,9166	0,8887	0,8698	0,8631	0,9036	0,9029
9L	Breuksteen	3	2,0841	2,1162	2,0371	2,0421	2,0643	2,0643	2,0757	2,0784	2,0938	2,0870	2,1633	2,1263
9L	Onverdedigd	3	2,2373	2,5395	2,4874	2,6087	2,7140	2,7448	2,7150	2,9839	3,1213	4,2164	5,3530	5,2077
Totaal			82,1475	83,8865	82,4107	82,4189	84,7781	84,5846	85,0010	85,8908	83,3324	86,6656	90,7820	89,6465

Tabel 4: Erosieoppervlakte (ha) van de schorren langs de Beneden Zeeschelde doorheen de jaren, gegroepeerd per zone en type oeververdediging. De broken stick analyses zijn gebaseerd op deze data.

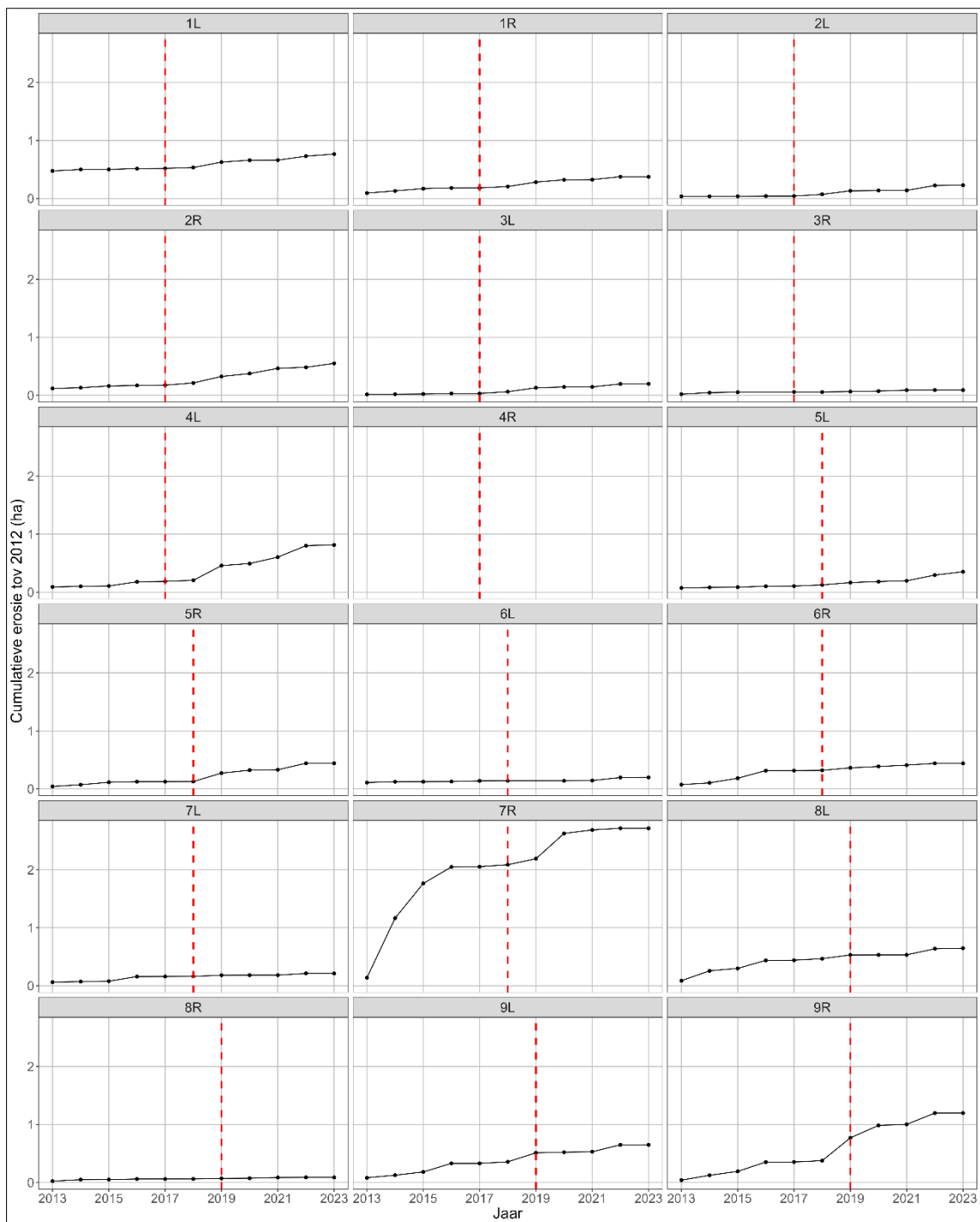
ZoneCodeOever	Oeververdediging	TrajectNummer	20122013_ha	20132014_ha	20142015_ha	20152016_ha	20162017_ha	20172018_ha	20182019_ha	20192020_ha	20202021_ha	20212022_ha	20222023_ha
1L	Breuksteen	1	0,4631	0,0254	0,0008	0,0112	0,0029	0,0156	0,0882	0,0338	0,0007	0,0669	0,0364
1L	Onverdedigd	1	0,0121		0,0000	0,0031			0,0046	0,0000		0,0008	0,0000
1R	Breuksteen	1	0,0942	0,0369	0,0396	0,0118	0,0007	0,0227	0,0769	0,0398	0,0030	0,0500	0,0002
2L	Breuksteen	1	0,0357	0,0013	0,0002	0,0042	0,0000	0,0273	0,0576	0,0042	0,0004	0,0844	0,0053
2L	Onverdedigd	1	0,0008	0,0000				0,0021	0,0032	0,0000	0,0031	0,0000	0,0000
2R	Breuksteen	1	0,1138	0,0093	0,0041	0,0059	0,0001	0,0086	0,0693	0,0075	0,0629	0,0007	0,0379
2R	Onverdedigd	1	0,0047	0,0029	0,0025	0,0027	0,0052	0,0305	0,0421	0,0422	0,0264	0,0187	0,0284
3L	Breuksteen	1	0,0135	0,0021	0,0023	0,0072	0,0000	0,0021	0,0427	0,0061	0,0002	0,0306	0,0005
3L	Onverdedigd	1	0,0029	0,0005	0,0015	0,0021		0,0279	0,0244	0,0088	0,0001	0,0212	0,0023
3R	Breuksteen	1	0,0207	0,0261	0,0071		0,0035	0,0000	0,0078	0,0079	0,0166	0,0001	0,0001
4L	Breuksteen	1	0,0381	0,0054	0,0035	0,0656	0,0008	0,0049	0,1382	0,0259	0,0989	0,0912	0,0055
4L	Onverdedigd	1	0,0513	0,0038	0,0037	0,0062	0,0065	0,0139	0,1152	0,0096	0,0116	0,1067	0,0066
5L	Breuksteen	2	0,0472	0,0042	0,0039	0,0147	0,0025	0,0168	0,0337	0,0177	0,0132	0,0502	0,0275
5L	Onverdedigd	2	0,0248	0,0041	0,0012	0,0014		0,0032	0,0087	0,0000		0,0476	0,0309
5R	Breuksteen	2	0,0379	0,0019	0,0412	0,0088	0,0001	0,0001	0,1086	0,0433	0,0009	0,1018	0,0000
5R	Onverdedigd	2	0,0042	0,0287	0,0000	0,0023		0,0019	0,0371	0,0060	0,0078	0,0092	0,0000
6L	Breuksteen	2	0,1103	0,0139	0,0005	0,0025	0,0114	0,0012	1,3588	0,0002	0,0045	0,0524	0,0030
6R	Breuksteen	2	0,0001	0,0018	0,0000	0,0001		0,0000	0,0002	0,0001		0,0000	
6R	Onverdedigd	2	0,0741	0,0281	0,0801	0,1322	0,0001	0,0037	0,0435	0,0224	0,0230	0,0310	0,0001
7L	Breuksteen	2	0,0617	0,0087	0,0082	0,0791	0,0011	0,0016	0,0212	0,0010	0,0002	0,0294	0,0002
7R	Breuksteen	2	0,0138	0,2954	0,3166	0,2289	0,0047	0,0157	0,0190	0,0668	0,0207	0,0036	0,0000
7R	Onverdedigd	2	0,1247	0,7311	0,2813	0,0559	0,0001	0,0176	0,0843	0,3694	0,0402	0,0249	0,0001
8L	Breuksteen	3	0,0054	0,0006	0,0001	0,0033	0,0009	0,0000	0,0090	0,0001	0,0000	0,0063	0,0001
8L	Onverdedigd	3	0,0811	0,1696	0,0417	0,1363	0,0001	0,0270	0,0561	0,0006	0,0001	0,0988	0,0096
8R	Breuksteen	3	0,0051	0,0016	0,0000	0,0020		0,0000	0,0073	0,0000	0,0008		0,0000
8R	Onverdedigd	3	0,0191	0,0237	0,0016	0,0074	0,0002	0,0003	0,0022	0,0027	0,0122	0,0021	0,0000
9R	Breuksteen	3	0,0296	0,0813	0,0671	0,1293	0,0003	0,0191	0,3460	0,2125	0,0159	0,1815	0,0004
9R	Onverdedigd	3	0,0113	0,0025	0,0001	0,0322	0,0000	0,0042	0,0467	0,0026	0,0016	0,0134	0,0000
9L	Breuksteen	3	0,0423	0,0179	0,0035	0,0172	0,0000		0,0448	0,0092	0,0001	0,0186	0,0013
9L	Onverdedigd	3	0,0397	0,0267	0,0519	0,1312		0,0264	0,1106	0,0005	0,0091	0,0998	0,0010
		Totaal	1,5833	1,5556	0,9879	1,1047	0,0413	0,2945	3,0061	0,9411	0,3741	1,2420	0,1971



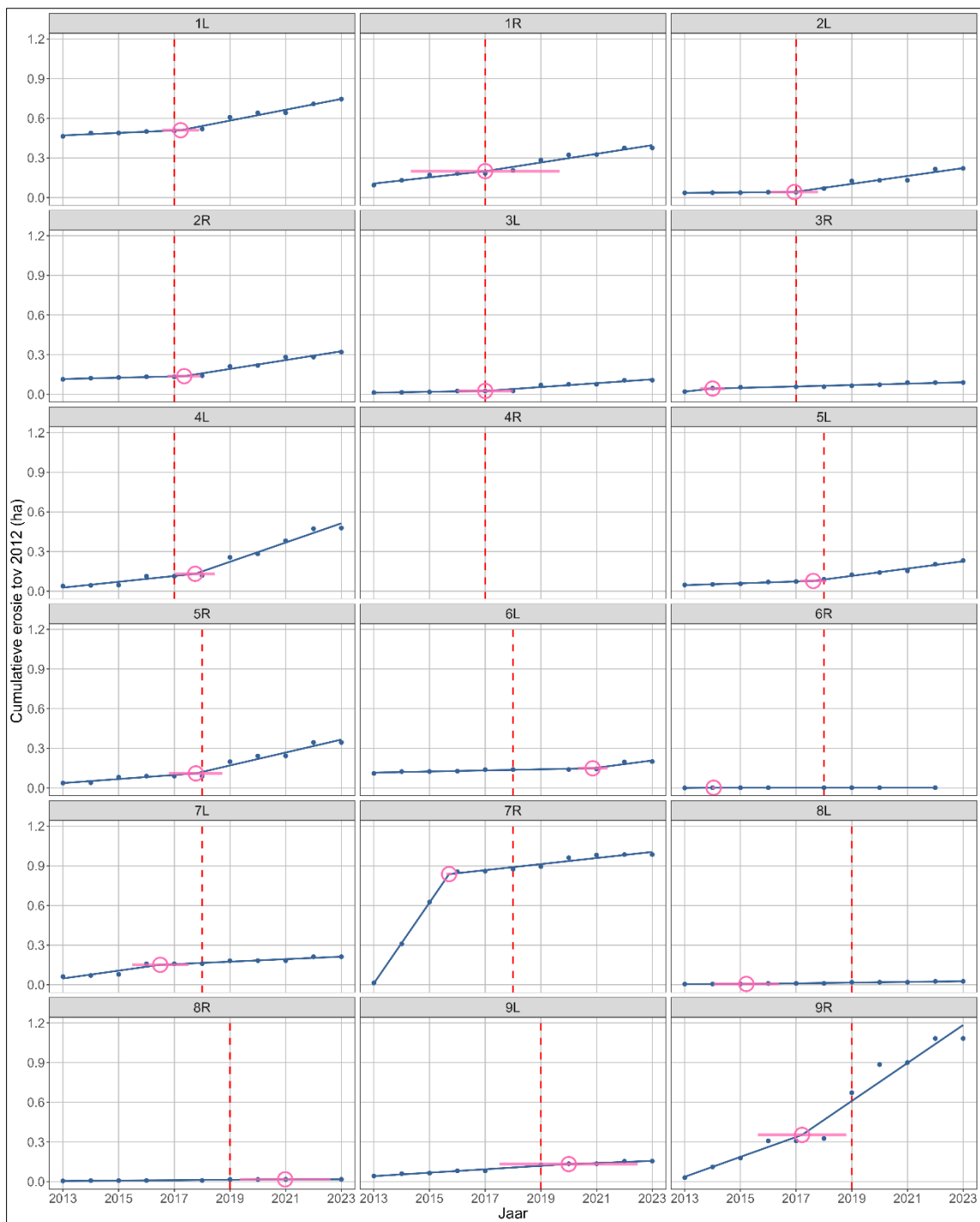
Figuur 11: Totale oeverlengte per zone, onderverdeeld op basis van oeververdedigingstype (Breuksteen of Onverdedigd). De oeverlengte is hierbij bepaald als de lengte van de projectie van de oever op de centrale lijn door de rivier.



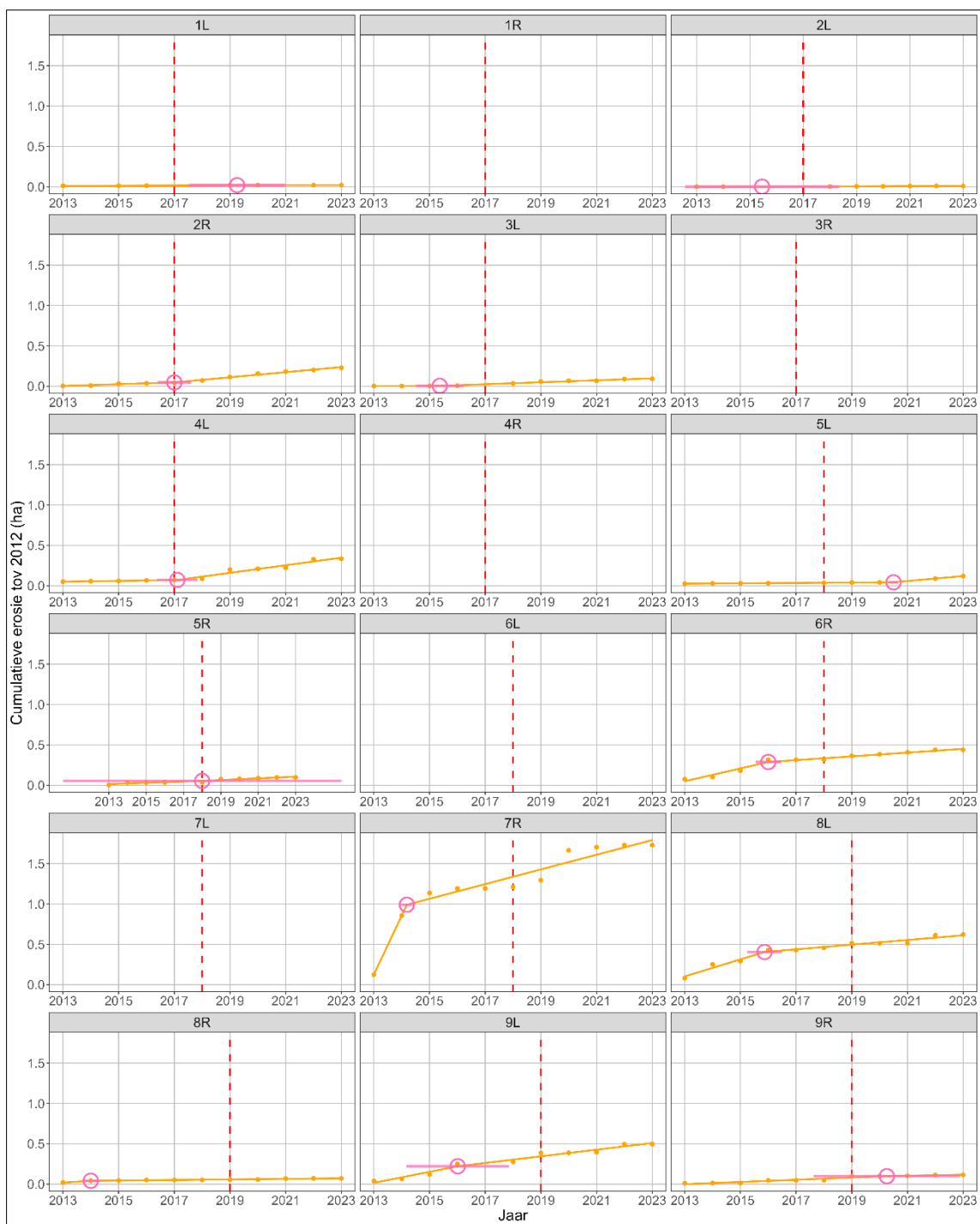
Figuur 12: Totale erosie sinds 2012 per oeverzone en oeververdedigingstype, ten opzichte van oeverlengte.



Figuur 13: Cumulatieve schorerosie (ha) ten opzichte van 2012 per zone. Er werd geen onderscheid gemaakt tussen verschillende types oeververdediging. De rode stippellijn markeert het jaar waarin de Waterbus actief werd in de betreffende zone. Enkel schorerosie langs de oevers werd meegenomen, alsook werd erosie door werken weggefilterd uit de analyse.



Figuur 14: Broken stick analyse voor oeververdedigingstype “Breuksteen”, waarbij één breakpoint werd geforceerd per zone. De rode stippellijn markeert het jaar waarin de Waterbus actief werd in de betreffende zone. Het breekpunt en zijn standaarderror zijn in het roze weergegeven.



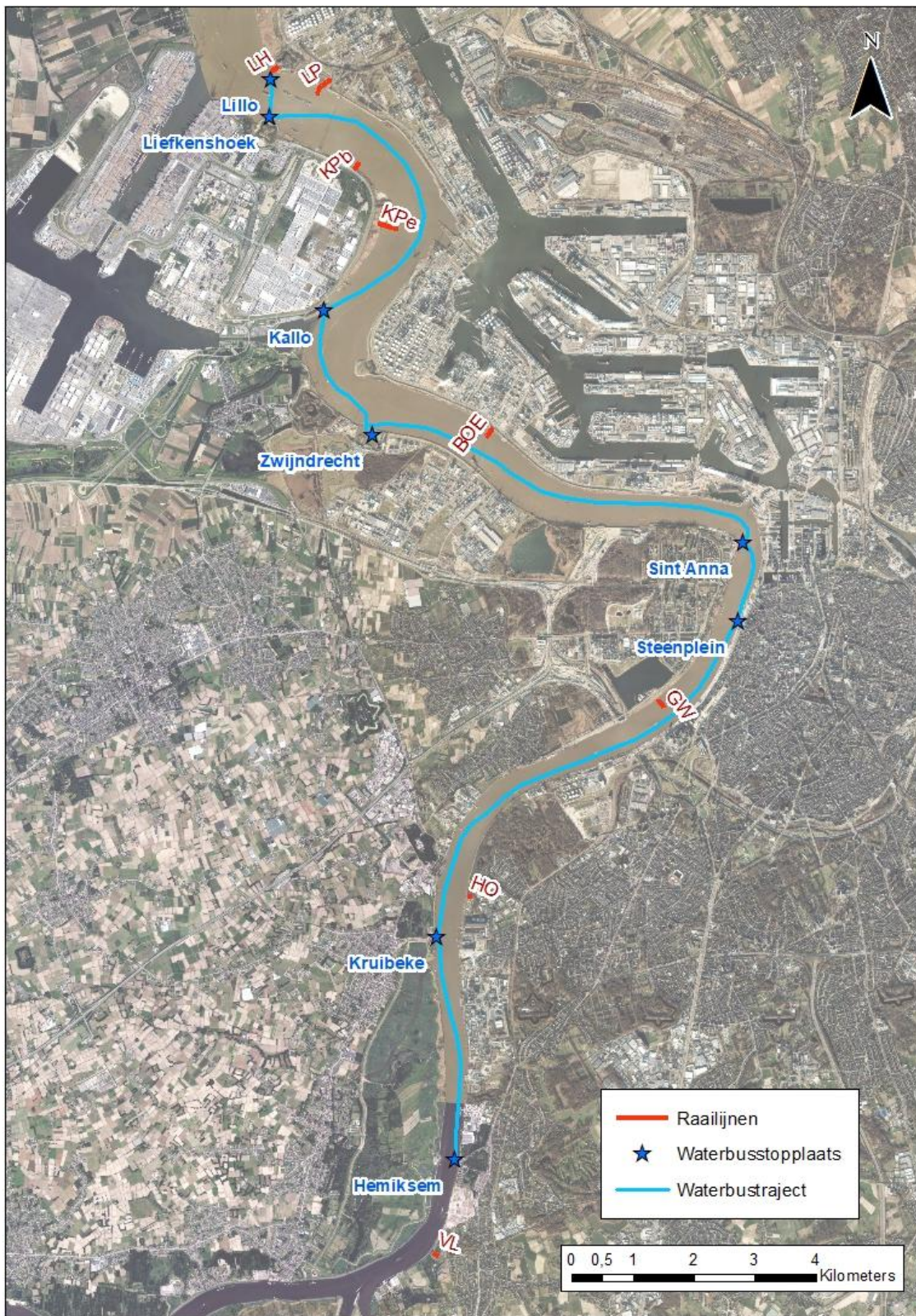
Figuur 15: Broken stick analyse voor oeververdedigingstype “Onverdedigd”, waarbij één breakpoint werd geforceerd per zone. De rode stippellijn markeert het jaar waarin de Waterbus actief werd in de betreffende zone. Het breekpunt en zijn standaarderror zijn in het roze weergegeven.

2) UITBREIDING OP KNIKPUNTENANALYSE IN SLIK SCHORPROFIELEN

In het kader van de MONEOS monitoring en rapportage wordt jaarlijks de hoogte van het slik en de schorrand ingemeten met een RTK-gps (zie bijvoorbeeld hoofdstuk 13 in Van Ryckegem *et al.*, 2024). Deze hoogtemetingen worden langs vaste profielen loodrecht op de rivieras uitgevoerd en leveren een dataset met de hoogst beschikbare verticale resolutie op. De data laat toe om sedimentatie- en erosiepatronen te onderscheiden en eventuele veranderingen in trends te identificeren. In dit rapport wordt er dan ook gekeken naar de veranderingen in sedimentatie en erosie voor raaien langs het Waterbus traject, en dit zowel voor de periode voor als na de opstart van de Waterbus veerdienst. Meer specifiek werd hiervoor een Broken Stick analyse (of knikpuntenanalyse) uitgevoerd, waarbij per raai een regressie werd gefit met een knikpunt, zodat de helling van de regressielijn voor en na het knikpunt verschillen. Hiervoor werd gebruikgemaakt van de R library Segmented, die automatisch naar het beste knikpunt en de beste regressiehellingen zoekt via optimalisatie van de log-likelihood (Muggeo, 2003, 2008). Het jaartal waarin het knikpunt waargenomen werd, kan vervolgens geïnterpreteerd worden in relatie tot de opstart van de Waterbus. Deze analyse werd reeds uitgevoerd voor Meire *et al.* (2024), maar werd voor dit rapport uitgebreid met twee extra jaren (2012 – 2024). Ook werd er in deze uitgebreidere analyse een onderscheid gemaakt tussen laag, middelhoog en hoog slik, in tegenstelling tot de eerdere analyse.

De resulterende knikpunten en conclusies getrokken uit Meire *et al.* (2024) blijven behouden. Er is een duidelijk waarneembare correlatie tussen de indiensttreding van de Waterbus en erosie van de slikken.

Figuur 16 geeft de locatie weer van de raaien die meegenomen werden in de analyse. Het gaat hierbij om acht raaien, waarvan zeven raaien langs het Waterbus traject liggen (HO, GW, BOE, KPe, KPb, LP en LH) en één referentie raai stroomopwaarts van het Waterbus traject (VL). Op Figuur 17 wordt de knikpuntenanalyse per raai weergegeven, deze is telkens opgesplitst voor drie verschillende hoogtezones in het slik (hoog, midden, laag). Ook weergegeven is wanneer de Waterbus dienst opgestart werd in de buurt van de raai (verticale blauwe stippellijn).



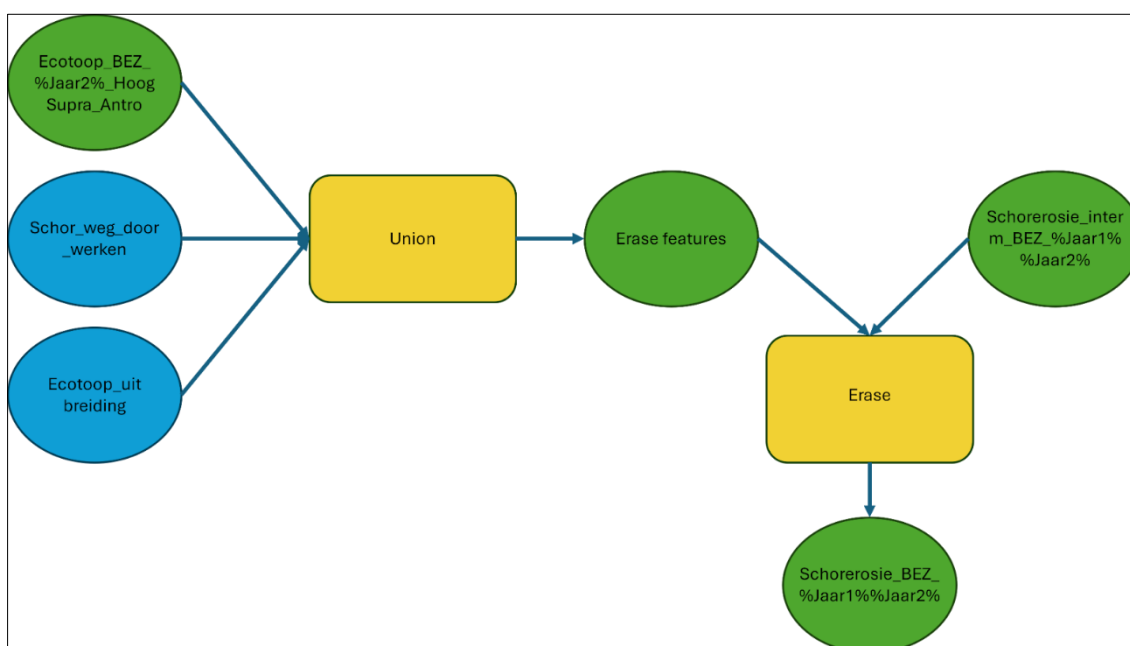
Figuur 16: Locatie van de raailijnen die gebruikt werden voor de broken stick analyse.

Niettegenstaande de “autonome” evolutie vallen in de zone Hemiksem tot Kallo (raaien HO, GW en BOE) 7 van de 9 knikpunten samen met de operationalisering van de Waterbus. Dit is een sterke correlatie. In de afwaartse zone (sinds 2019 Waterbus actief) is er geen overeenkomst ter hoogte van Ketenisse en Lillo. In Ketenisse is er een hoge sedimenttoevoer vanuit de stortlocatie Ketelputten (IMDC, 2022) en de Lillo raai is relatief ver van het vaartraject gelegen (Figuur 16). De geïdentificeerde knikpunten op deze locaties zijn te wijten aan andere effecten. Ter hoogte van Liefkenshoektunnel is er wel overeenkomst in de vastgestelde patronen en het actief worden van de Waterbus. Hieronder bespreken we de gevonden knikpunten in detail.

⁴ Door stortactiviteit in de Zeeschelde sinds 2017-2018 is er extra sedimentaanvoer op de Ketenisse raaien (zeker in de lage zones). Deze suppletie kan eventuele andere effecten maskeren.

3) METHODE VOOR HET OPKUISEN VAN DE SCHOREROSIE OPPERVLAKTEDATA

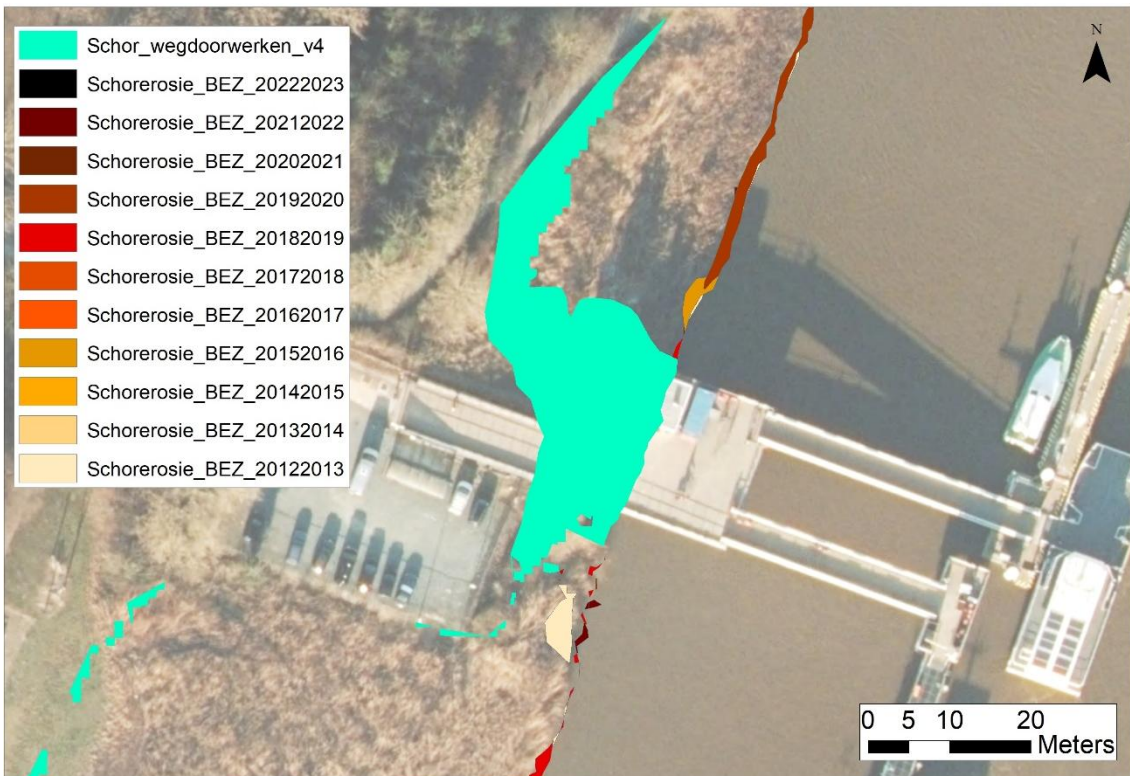
In deze bijlage wordt in meer detail beschreven hoe de schorerosie oppervlakte data - gebruikt voor de knikpuntenanalyse beschreven in paragraaf 2.1 - werd opgekuist. Meer bepaald werd schoroppervlakteverlies dat niet langs de oever lag - en dus mogelijk niet te wijten is aan Waterbus activiteit - uitgesloten uit de analyse. Dit werd gedaan door bij de bepaling van erosie voor opeenvolgende jaren, polygonen die in het tweede jaar overgingen naar de ecotopen supralitoraal of antropogeen niet mee te nemen in de analyse. Ook werd erosie te wijten aan werken uit de analyse geweerd. Hoe dit exact werd uitgevoerd, is beschreven in de volgende paragraaf. Ten slotte werden recente uitbreidingsgebieden ('Uitbreiding' uit de Ecotopenkaart) uitgesloten uit de analyse. Figuur 18 geeft een overzicht van de genomen stappen.



Figuur 18: Overzicht van de genomen stappen om de schorerosie oppervlakte data verder op te kuisen. Erosie niet langs de waterkant, erosie door werken en schor in uitbreiding zones werden uitgesloten uit de finale schorerosie oppervlaktes.

Er wordt nog iets dieper ingegaan op hoe schoroppervlakteverlies door werken langsheen de waterkant werd bepaald. Na het berekenen van schoroppervlakteverlies polygonen in ArcMap per set van opeenvolgende jaren (2012-2023), werden de resulterende polygonen voor alle jaren samengevoegd door middel van het uitvoeren van de tools *Union* en vervolgens *Multipart to Singlepart*. Uit deze resulterende laag kon in ArcMap een selectie gemaakt worden op basis van expertenkennis (voornamelijk door Van Ryckegem, G.) van zones die door werken werden aangepast tussen 2012 en 2023. Het interpreteren van luchtfoto's kon hierbij ook helpen, door bijvoorbeeld te letten op de aanwezigheid van breuksteen, nieuwe kades, aanlegsteigers, ... Een voorbeeld van het selectieproces is weergegeven op Figuur 19. In deze laag werden ook meteen eventuele schoroppervlakteverlies polygonen niet gelegen langs de waterkant (in principe reeds grotendeels geselecteerd op basis van de Ecotopen, zie eerder) geselecteerd, zodat deze zeker niet mee worden genomen in de analyse. De finale laag 'Weg door werken' bedroeg een oppervlakte van ongeveer 9 ha die niet werd meegenomen in de erosie knikpuntenanalyse. De totale oppervlakte aan schoroppervlakteverlies door werken over de jaren heen is nog hoger

omdat er veel dijkwerken waren in Beneden-Zeeschelde (overgang van schorecotoop naar hoogsupralitoraal of antropogeen; reeds verwijderd uit de analyse op basis van de Ecotopen, zie eerder).

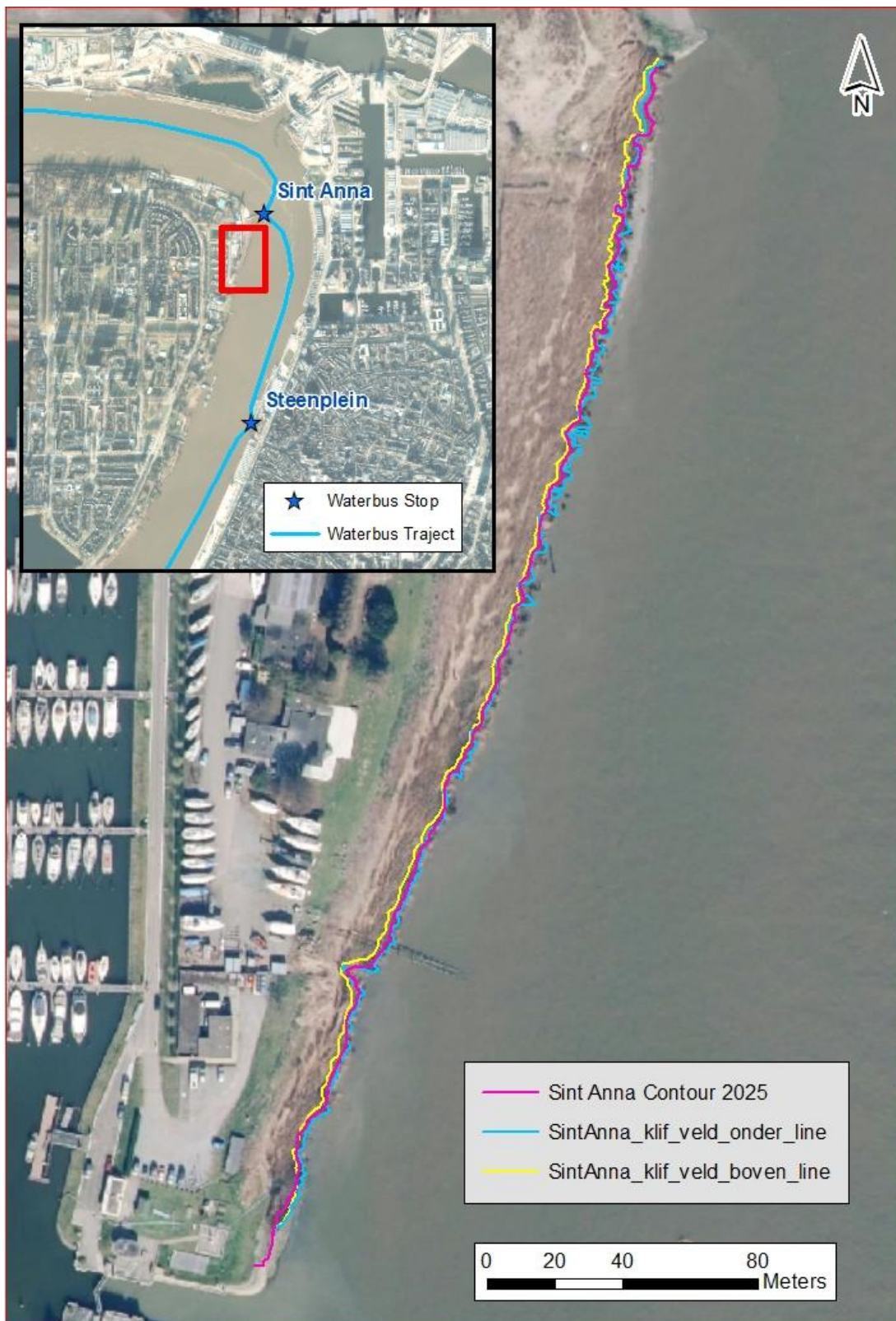


Figuur 19: Voorbeeld van de selectie van erosie oppervlakttes die niet werden meegenomen in de knikpuntenanalyse. De appelblauwzeegroene zone, uitgesloten uit de analyse, duidt werken aan een steiger en erosie niet langs de oever aan.

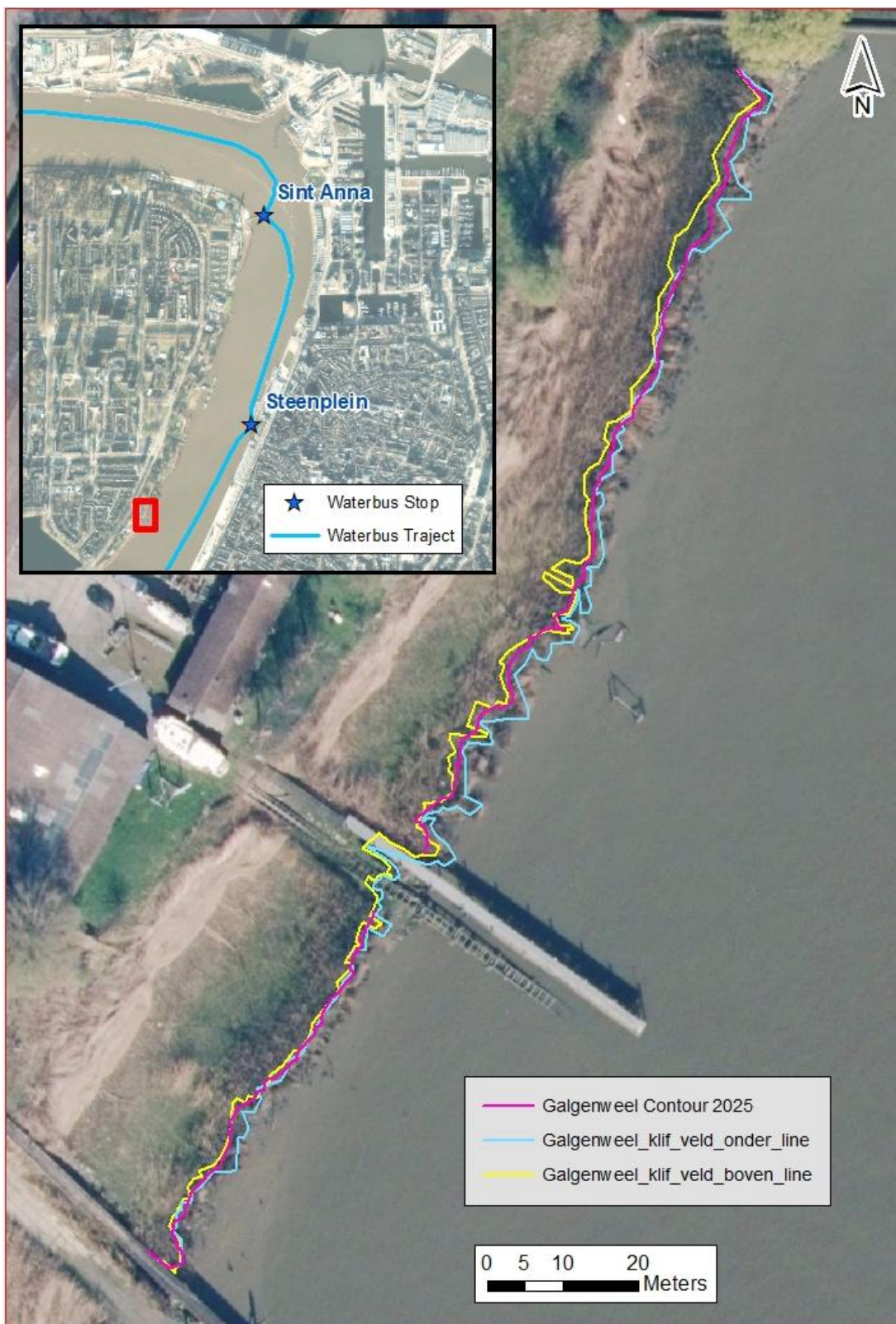
4) VALIDATIE VAN SCHORKLIFFEN: VELDMETINGEN MAART 2026

Om de schorkliffen geëxtraheerd uit de lidardata te valideren, werd de boven- en onderrand van de schorkliffen in de studiezones ingemeten in het veld op 25/03/2026 en 27/03/2026 met behulp van een RTK-gps.

De resultaten zijn weergegeven in Figuur 20 (Sint-Anna) en Figuur 21 (Galgenweel). Over het algemeen valt de contourlijn van 2025 geëxtraheerd op basis van lidar (roze lijn) tussen de boven- en onderrand ingemeten in het veld (gele en blauwe lijn). Erosie buiten beschouwing gelaten valt dit te verwachten, aangezien voor de analyse op basis van lidar de contourlijn (vaste hoogte) is geselecteerd die het best het midden van de relatief brede schorklif lijn op de hellingskaart benadert. Wel belangrijk om op te merken is dat de lidar contourlijn voor 2025 is bepaald, en deze voor 2026 dus al wat opgeschoven kan zijn. Vermoedelijk dat daarom de ingemeten ondergrens van de schorklif (2026) vaak de contourlijn (2025) al benadert heeft door erosie op één jaar tijd. Ook opvallend vlakbij Waterbus halte Sint-Anna is dat de ingemeten boven- en ondergrens al voorbij de lidar contourlijn geërodeerd zijn.



Figuur 20: Schorklif ter hoogte van Sint-Anna. Schorklif automatisch geëxtraheerd uit de lidar kaart voor 2025 (roze lijn), ondergrens van de schorklif ingemeten met een RTK gps in het veld in maart 2026 (blauwe lijn) en bovengrens van de schorklif ingemeten met een RTK gps in het veld in maart 2026 (gele lijn).



Figuur 21: Schorklif ter hoogte van Galgenweel. Schorklif automatisch geëxtraheerd uit de lidar kaart voor 2025 (roze lijn), ondergrens van de schorklif ingemeten met een RTK gps in het veld in maart 2026 (blauwe lijn) en bovengrens van de schorklif ingemeten met een RTK gps in het veld in maart 2026 (gele lijn).

Lijst van figuren

Lijst van tabellen

Tabel 1: Overzicht van de indiensttreding van de Waterbus langs de verschillende deeltrajecten met aanduiding van de geanalyseerde vogeltrajecten (L = Linkeroever; R = Rechteroever).	8
Tabel 2: Overzicht van beschrijvende statistieken (minimum, maximum, gemiddelde en standaarddeviatie) voor Sint-Anna en Galgenweel. Positieve waarden geven erosie weer, negatieve waarden duiden op aangroei.	21
Tabel 3: Evolutie van de totale schoroppervlakte (ha) tijdens de studieperiode (2012 - 2023), gegroepeerd per zone en per type oeververdediging. Deze data is visueel weergegeven op Figuur 10 en dient als context bij het interpreteren van de erosie data (Tabel 4). Schor binnen recente uitbreidingsgebieden is weggefilterd uit deze tabel, schor dat verdween door werken is hier niet uitgefilterd.	29
Tabel 4: Erosieoppervlakte (ha) van de schorren langs de Beneden Zeeschelde doorheen de jaren, gegroepeerd per zone en type oeververdediging. De broken stick analyses zijn gebaseerd op deze data.	30