

LW gem. ST 2025

400m

350m

300m

250m

200m

150m

100m

50m

0m

Langsraai KNT centerlijn



Vlaanderen
is wetenschap

26_026_1
WL rapporten

Morfologische analyse dekkingsgraad Kennedytunnel

Situatieschets 2025

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Morfologische analyse dekkingsgraad Kennedytunnel

Situatieschets 2025

De Maerschalc, B.; Meire, D.

Juridische kennisgeving

Het Waterbouwkundig Laboratorium is van mening dat de informatie en standpunten in dit rapport onderbouwd worden door de op het moment van schrijven beschikbare gegevens en kennis.

De standpunten in deze publicatie zijn deze van het Waterbouwkundig Laboratorium en geven niet noodzakelijk de mening weer van de Vlaamse overheid of één van haar instellingen.

Het Waterbouwkundig Laboratorium noch iedere persoon of bedrijf optredend namens het Waterbouwkundig Laboratorium is aansprakelijk voor het gebruik dat gemaakt wordt van de informatie uit dit rapport of voor verlies of schade die eruit voortvloeit.

Copyright en wijze van citeren

© Vlaamse overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Waterbouwkundig Laboratorium 2026
D/2026/3241/078

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

De Maerschallck, B.; Meire, D. (2026). Morfologische analyse dekingsgraad Kennedytunnel: Situatieschets 2025. Versie 4.0. WL Rapporten, 26_026_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Overname uit en verwijzingen naar deze publicatie worden aangemoedigd, mits correcte bronvermelding.

Documentidentificatie

Opdrachtgever:	De Vlaamse Waterweg – Afdeling Regio Centraal	Ref.:	WL2026R26_026_1
Trefwoorden (3-5):	Beneden-Zeeschelde, Morfologie, Kennedytunnel		
Kennisdomeinen:	Hydraulica en Sediment > Morfologie > Erosie/sedimentatie > Literatuur- en desktoponderzoek		
Tekst (p.):	17	Bijlagen (p.):	17
Vertrouwelijk:	☒ Nee ☒ Online beschikbaar		

Auteur(s):	De Maerschallck, B.
------------	---------------------

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Meire, D.	Getekend door: Meire Dieter Willy S Getekend op: 2026-04-02 12:38:41 +02:0 Reden: Ik keur dit document goed  
Projectleider:	De Maerschallck, B.	Getekend door: De Maerschallck Bart Getekend op: 2026-04-02 10:40:48 +02:0 Reden: Ik keur dit document goed  

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Bellafkih, K.	Getekend door: Bellafkih Abdelkarim Getekend op: 2026-04-02 11:10:00 +02:0 Reden: Ik keur dit document goed  
-----------------	---------------	---

Samenvatting

Voorliggend rapport biedt een geactualiseerde morfologische analyse van de dekingsgraad boven het dak van de Kennedytunnel op basis van jaarlijkse multi-beam peilingen uit de periode 2010-2025.

In de recente peilingen van 2024 en 2025 werd lokaal een zeer sterke sedimentatie waargenomen waardoor de minimale dekingsgraad boven het dak de tunnel in de geul momenteel varieert rond de 1,5 m. Verwacht wordt echter dat dit een tijdelijk fenomeen is en dat op korte of middellange termijn deze zandafzetting kan uitspoelen waarna de harde originele dekingslaag van de tunnel opnieuw vrij kan komen te liggen. Op verschillende plaatsen bedraagt de dikte van deze laag boven het dak van de tunnel minder dan één meter, terwijl Deltares een minimale dikte van 1,12 m adviseert. Bovendien werd op basis van de jaarlijkse multi-beam peilingen aan de hand van een lineaire regressieanalyse afgeleid dat wanneer deze laag bloot komt te liggen, deze traag maar gestaag erodeert aan een gemiddelde snelheid van 2 tot 6 cm/jaar. Ter hoogte van de rechteroever werd zelfs lokaal een erosiesnelheid van deze harde laag tot 9 cm/jaar vastgesteld.

Verwacht wordt dat tijdens en na de bouw van de pijlers, de turbulente stroming in het zog van de pijlers ervoor kan zorgen dat eventuele zandafzettingen op deze laag versneld uitspoelen waardoor deze dekingslaag weer blootgesteld wordt aan erosie. De gemiddelde erosiesnelheid van deze laag kan onder invloed van de pijlers nog beperkt toenemen (<10%).

Er wordt geadviseerd om de evolutie van de bodembedekking nauwgezet op te volgen en een interventiepeil te bepalen afhankelijk van de frequentie van de peilingen en de tijd nodig om mitigerende maatregelen te nemen. Op termijn is een breuksteenbestorting over een afstand van rechteroever tot ca. 200 m van de oever aangewezen. De aanleg kan eventueel gefaseerd gebeuren. Het aanbrengen van een extra zandpakket boven de Kennedytunnel is geen duurzame oplossing wegens het tijdelijke karakter van de zandlaag. Mogelijks kan dit wel als tijdelijke noodmaatregel ingeroepen worden.

Inhoudstafel

Samenvatting.....	III
Inhoudstafel.....	IV
Lijst van de tabellen.....	V
Lijst van de figuren	VI
1 Situering.....	1
2 Morfologie Beneden-Zeeschelde ter hoogte van de Kennedytunnel	2
3 Trendanalyse erosie harde lagen	8
3.1 Lineaire trendanalyse in discrete punten boven de Kennedytunnel	8
3.2 Ruimtelijke lineaire trendanalyse	11
4 Prognose invloed brugpijlers.....	13
5 Conclusies en aanbevelingen	15
Referenties	17
Bijlage 1 Evolutie van het bodemprofiel	B1
Bodemevolutie langs langssraaien boven het dak de Kennedytunnel	B1
Bodemevolutie langs enkele dwarsraaien parallel aan de rechteroever.....	B3
Bijlage 2 Lineaire trendanalyse	B6
Lineaire trendanalyse voor een aantal geselecteerde punten.....	B6
Spatiale lineaire trendanalyse	B14

Lijst van de tabellen

Tabel 1: Sedimentatie/erosie-trend op basis van IRLS lineaire regressie analyse (zie Figuur 25 voor de locatie van de uitvoerpunten).....	11
---	----

Lijst van de figuren

Figuur 1: Bodem Schelde ter hoogte van de Kennedytunnel 2023 (peiling oktober 2023)	2
Figuur 2: Bodem 2025 (peiling januari 2025)	3
Figuur 3: Evolutie van het bodemprofiel boven de Kennedytunnel (centerlijn), 2010 – 2025	3
Figuur 4: Detailplot van Figuur 3 ter hoogte van de vaargeul (0 – 250 m vanaf rechteroever)	4
Figuur 5: Schematische weergave van de baggersleuf bij aanleg van de Kennedytunnel op basis van Claves et al. (1969)	4
Figuur 6: Bodemevolutie langs een dwarsraai op de KNT op 100m van RO (zie Figuur 19 voor de locatie van de raai)	5
Figuur 7: Samengesteld bodempeil op basis van laagste gemeten bodempeilen tussen 2010 en 2025	6
Figuur 8: Dikte van de lokale zandophoping in 2025 ten opzichte van diepste peil gemeten sinds 2010	7
Figuur 9: Evolutie van de bodem in een punt (punt 1) boven de Kennedytunnel op 20 m afstand van de rechteroever	9
Figuur 10: Evolutie van de bodem in een punt (punt 10) boven de Kennedytunnel op 100 m afstand van de rechteroever	10
Figuur 11: Evolutie van de bodem in een punt (punt 17) boven de Kennedytunnel op 250 m afstand van de rechteroever	10
Figuur 12: Sedimentatie(+)/erosie(-) trend (cm/jaar) voor $R^2 > 0.5$ (de gemarkeerde punten zijn de locaties van de uitvoerpunten in Bijlage 2)	12
Figuur 13: Zoom Figuur 12 Kennedytunnel bij rechteroever	12
Figuur 14: Gemodelleerde maximale ebstroom bestaande toestand en met twee brugpijlers (De Maerschallck et al., 2023)	14
Figuur 15: Locatie van de langsraaien ter hoogte van de Kennedytunnel voor analyse bodemevolutie	B1
Figuur 16: Bodemevolutie Langsraai Kennedytunnel, 2010 – 2025	B2
Figuur 17: Bodemevolutie Langsraai Kennedytunnel west, 2010 – 2025	B2
Figuur 18: Bodemevolutie Langsraai Kennedytunnel oost, 2010 - 2025	B2
Figuur 19: Locatie van de dwarsraaien ter hoogte van de Kennedytunnel voor analyse bodemevolutie	B3
Figuur 20: Bodemevolutie Dwarsraai 1 - 50m van RO, 2010 – 2025	B4
Figuur 21: Bodemevolutie Dwarsraai 2 - 100m van RO, 2010 – 2025	B4
Figuur 22: Bodemevolutie Dwarsraai 3 - 150m van RO, 2010 - 2025	B4
Figuur 23: Bodemevolutie Dwarsraai 4 - 200m van RO, 2010 – 2025	B5
Figuur 24: Bodemevolutie Dwarsraai 5 - 250m van RO, 2010 – 2025	B5
Figuur 25: Locaties uitvoerpunten morfologisch trendanalyse	B6
Figuur 26: Bodemevolutie op locaties 1, 2 en 3: 20 m van RO, westzijde, centerlijn en oostzijde	B7
Figuur 27: Bodemevolutie op locaties 4, 5 en 6: KNT-west 40 m van RO	B8
Figuur 28: Bodemevolutie op locaties 7, 8 en 9: KNT-oost 60 m van RO	B9

Figuur 29: Bodemevolutie op locaties 10,11 en 12: KNT-oost 100 m van RO.....	B10
Figuur 30: Bodemevolutie op locaties 13, 14 en 15: KNT-oost 150 m van RO.....	B11
Figuur 31: Bodemevolutie op locaties 16,17 en 18: KNT-oost 250 m van RO.....	B12
Figuur 32: Bodemevolutie op locatie: 19 Erosiekuil afwaarts KNT	B13
Figuur 33: Sedimentatie(+)/erosie(-) trend (cm/jaar) 2010 – 2025	B14
Figuur 34: R^2 lineaire trend.....	B15
Figuur 35: Sedimentatie(+)/erosie(-) trend (cm/jaar) voor $R^2 > 0.5$	B16
Figuur 36: Sedimentatie(+)/erosie(-) trend (cm/jaar) voor $R^2 > 0.75$	B17

1 Situering

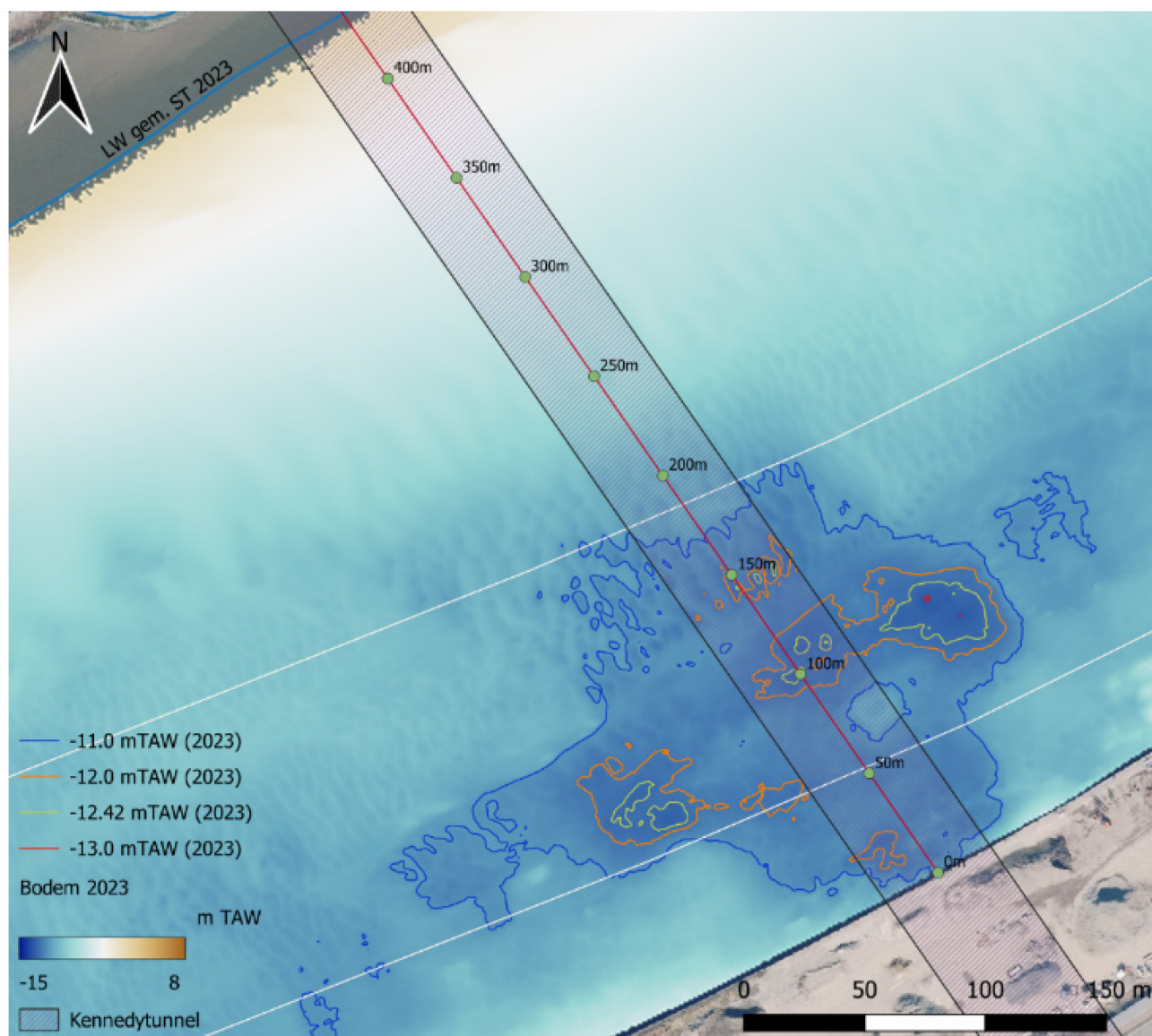
Om de veiligheid van de Kennedytunnel tegen vallende en krabbende ankers te garanderen, is voldoende dekingsgraad boven het dak van de tunnel noodzakelijk. Een recente studie van Deltares in opdracht van DVW adviseert een minimale dekking van 1 m boven het dak van de tunnel voor ankers tot 6 ton (Deltares). Rekening houdende met de onzekerheid met betrekking tot de gebruikte ankers is een dekking van 1,12 m aan te raden. Het dak van de tunnel ligt ter hoogte van de vaargeul (rechteroever) op -13,54 mTAW. Tot op ongeveer 250 m van de rechteroever loopt de tunnel horizontaal, waarna de tunnel richting linkeroever zacht oploopt (Figuur 3).

Voorliggende memo bevat een analyse van de lokale morfologie ter hoogte van de Kennedytunnel en directe omgeving. De analyse is gebaseerd op de jaarlijkse multi-beam¹ peilingen (Vlaamse Hydrografie, lopende van 2010 tot 2025). De beschikbare bathymetrische rasters hebben een horizontale resolutie van 1 bij 1 m. Voorliggend rapport is aanvullend aan een eerder WL memo van 2024 (WL2024M_PA007_20_I_057) waarbij de dataset uitgebreid is met de recentste peilingen en tevens een uitgebreidere analyse van de erosieve trend toegevoegd is. Tevens bevat de voorliggende memo een prognose van de te verwachten effecten na het realiseren van de fietsbrug opwaarts van de Kennedytunnel.

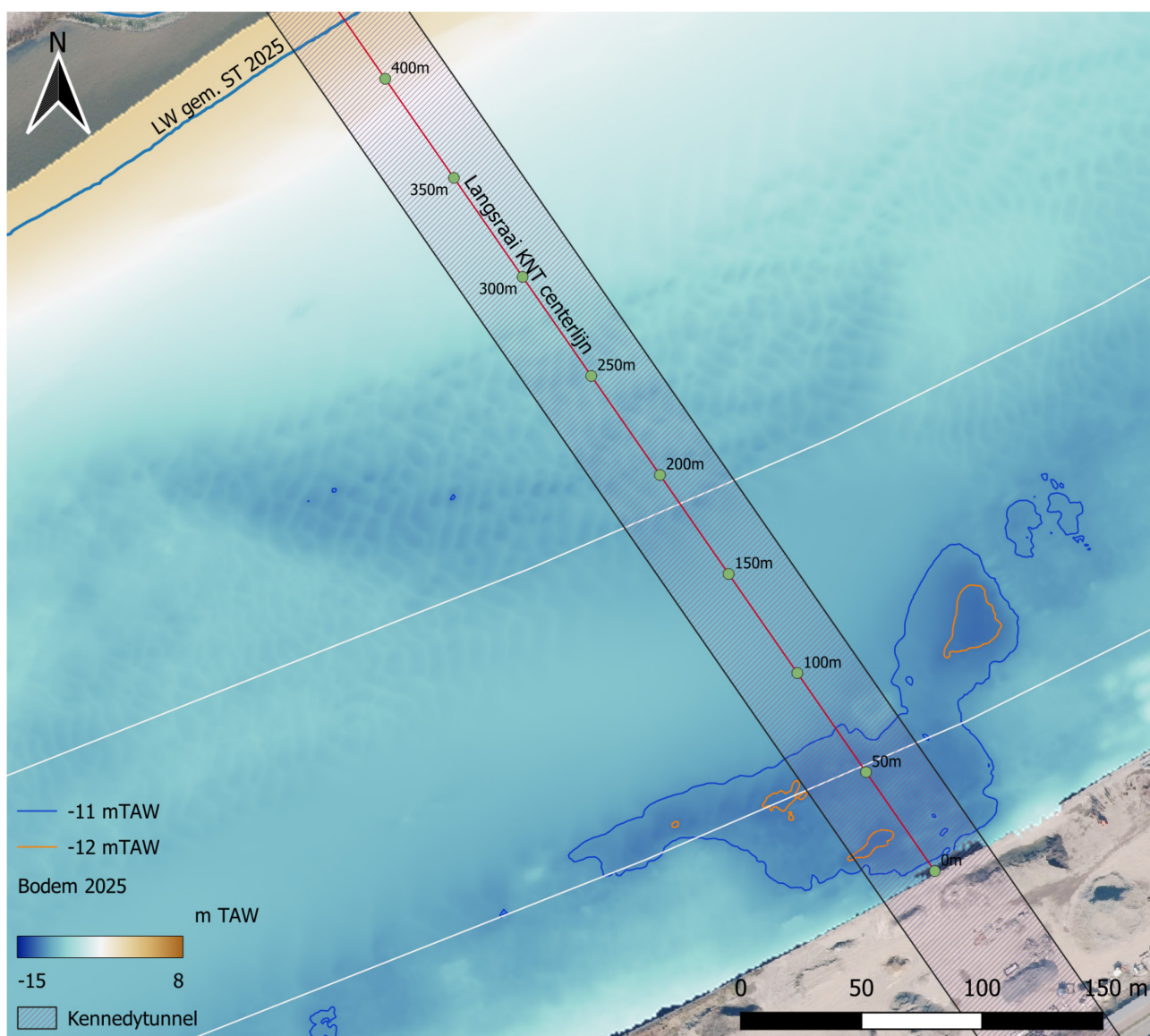
¹ Sinds 2010 zijn jaarlijkse multi-beam peilingen beschikbaar. Deze zijn gebiedsdekkend met een hoge resolutie dewelke een gedetailleerde analyse van de bodem toelaten. Voorheen werden de peilingen uitgevoerd mbv single-beam peilingen.

2 Morfologie Beneden-Zeeschelde ter hoogte van de Kennedytunnel

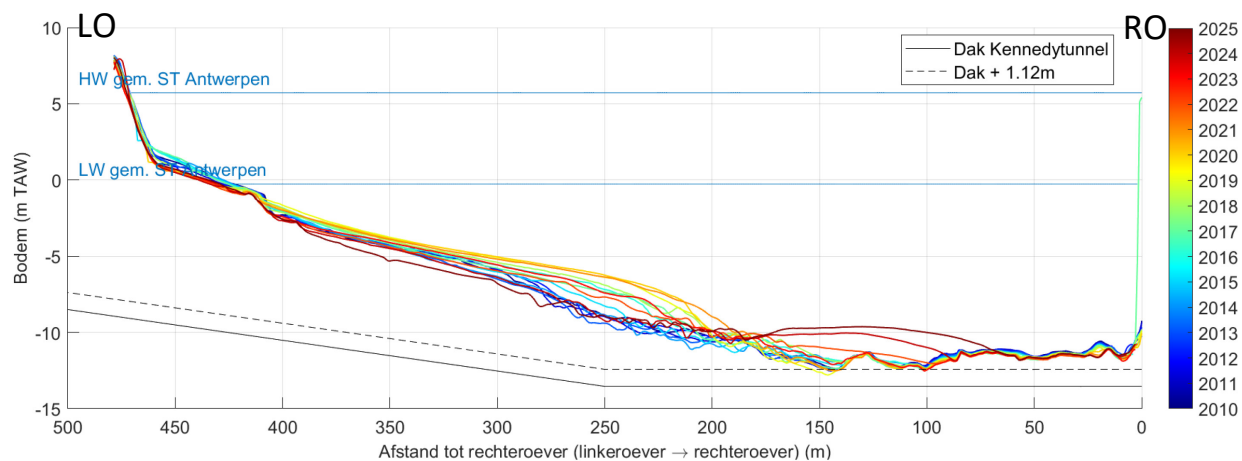
Figuur 1 en Figuur 2 geven de bodem van de Schelde ter hoogte van de Kennedytunnel in 2023 en 2025 weer. Sinds 2023 is er aanzienlijke aanzanding waarneembaar in de geul tussen 60 en 170 meter vanaf de rechteroever. Dit is ook duidelijk zichtbaar in Figuur 3 en Figuur 4 waar het bodemprofiel voor de opeenvolgende jaren sinds 2010 over de lengte van de Kennedytunnel weergegeven is (de raai is ook weergegeven in Figuur 1 en Figuur 2 d.m.v. de rode lijn). In de figuren is ook de diepte van het dak van de Kennedytunnel weergegeven (volle zwarte lijn) en in streepjeslijn de gewenste minimale dekking van 1,12 m, i.e. -12,42 mTAW ter hoogte van de vaargeul. In Figuur 2 is de erosiekuil afwaarts van de Kennedytunnel zichtbaar die in 2023 nog een diepte had tot -13,0 mTAW maar in 2025 gedeeltelijk opgevuld is.



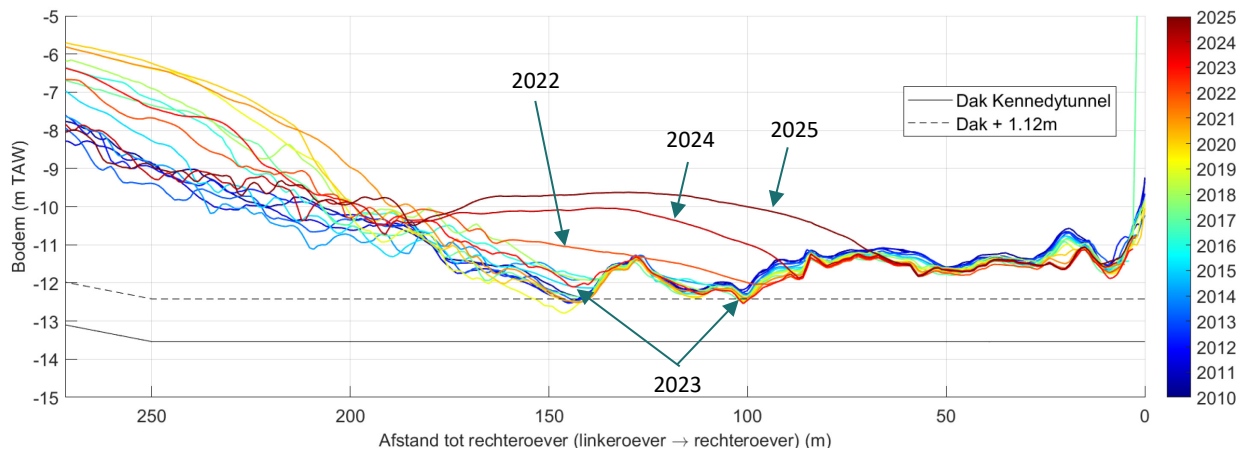
Figuur 1: Bodem Schelde ter hoogte van de Kennedytunnel 2023 (peiling oktober 2023)



Figuur 2: Bodem 2025 (peiling januari 2025)



Figuur 3: Evolutie van het bodemprofiel boven de Kennedytunnel (centerlijn), 2010 – 2025

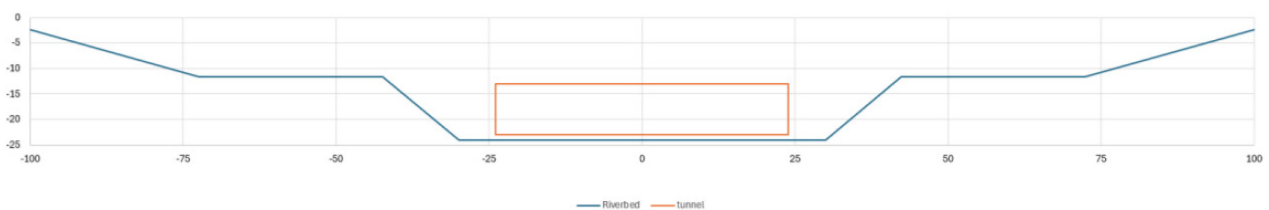


Figuur 4: Detailplot van Figuur 3 ter hoogte van de vaargeul (0 – 250 m vanaf rechteroever)

De sedimentatie in de vaargeul gaat (gedeeltelijk) ten koste van erosie van de plaat in de binnenbocht langs de linkeroever (afstand 170 tot 400 in Figuur 3). Deze plaat uit zandig materiaal kent afwisselende periodes van sedimentatie en erosie afhankelijk van de hydraulische condities van de rivier. In Bijlage 1 zijn nog een aantal extra langs- en dwarsprofielen opgenomen.

De sedimentatie die men in 2024 en 2025 kan waarnemen boven de Kennedytunnel bestaat uit zandig materiaal. Deze kan onder invloed van stroming en getij makkelijk weer uitspoelen. Ook in de peiling van 2022 was een beperkte aanzanding in de vaargeul boven de Kennedytunnel waarneembaar, maar in 2023 was deze weer uitgespoeld (Figuur 4). De extra dekking als gevolg van deze sedimentatie moet men in deze dus zien als een tijdelijke dekking.

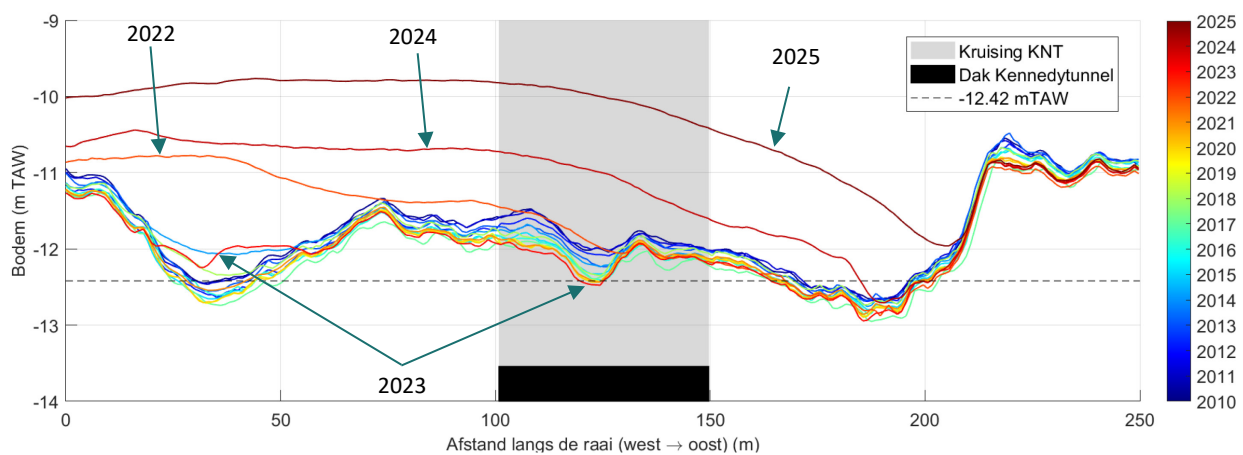
Onder deze zanderige laag zit een moeilijk erodeerbare laag, die echter traag maar gestaag erodeert. In het volgende hoofdstuk wordt er dieper ingegaan op de erosieve trend van deze laag. Merk op dat dit echter geen originele bodemstructuur is: voor de aanleg van de tunnel (1964-1969) werd er een sleuf gebaggerd die na het afzinken van de tunnelelementen weer opgevuld werd, Figuur 5. De precieze samenstelling en eigenschappen van het opvulmateriaal, *backfill*, is echter niet gekend.



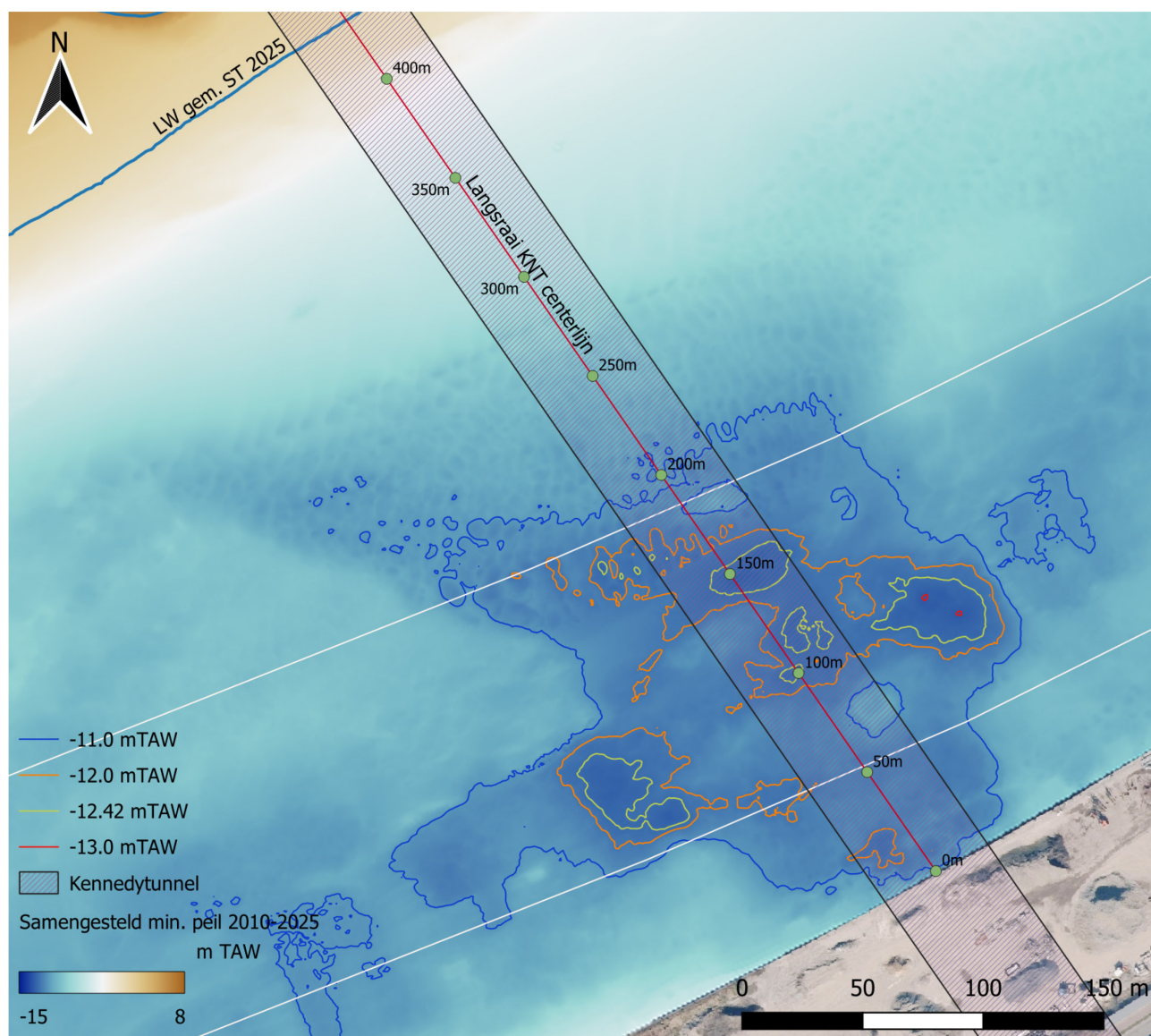
Figuur 5: Schematische weergave van de baggersleuf bij aanleg van de Kennedytunnel op basis van Clayes et al. (1969)

Figuur 6 toont de bodemevolutie langs een raai dwars op de Kennedytunnel op 100 m van de rechteroever, parallel aan de oever (zie Figuur 19 op pagina B3 voor de exacte locatie van de raai). Merk op dat over de breedte van de originele baggersleuf de bodem lokaal verdiept is. Tot 2023 is de trage erosie van het backfill materiaal over nagenoeg de ganze breedte van het profiel waarneembaar. In 2024 en 2025, maar ook in 2022 is een lokale verzanding van de sleuf tot 1 m per jaar waarneembaar.

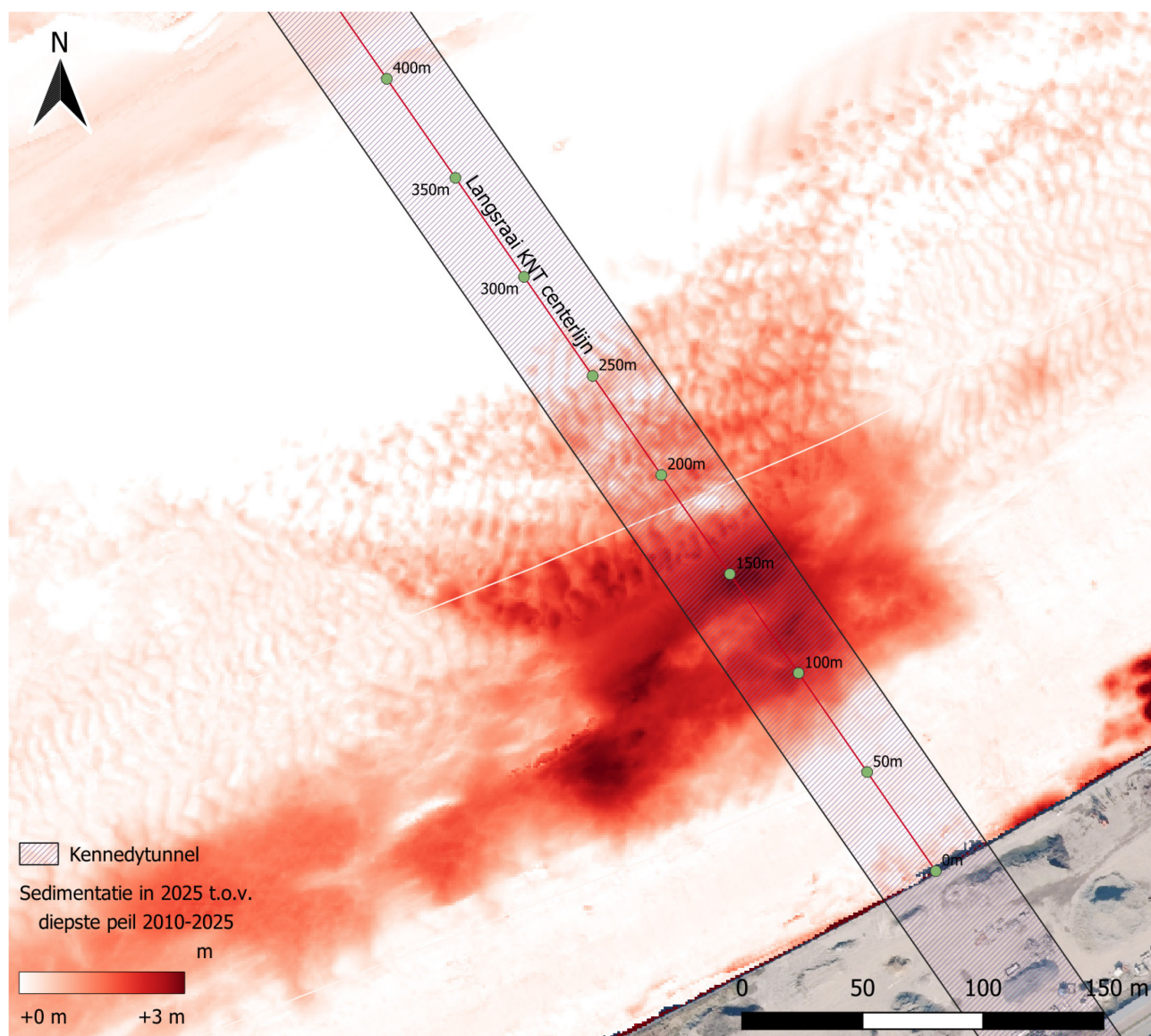
De oorzaak van de verzanding is nog niet geheel duidelijk. Dit heeft te maken met het hydraulisch regime van de rivier en sedimentbeschikbaarheid. Mogelijks heeft dit te maken met de frequentie en intensiteit van de stormtijden. Hoe deze sedimentatie zich komende jaren verder zet is niet gekend, maar als men 2022 en 2023 vergelijkt, kan ervan uitgegaan worden dat dit eerder een tijdelijk afzetting is. Uit de langs- en dwarsprofielen kan men wel duidelijk afleiden dat wanneer het zand wegspoelt en de hardere onderlaag blootgesteld wordt, deze systematisch verder erodeert. Figuur 7 geeft de maximaal gepeilde diepte weer sinds 2010, per locatie. Zowel opwaarts als afwaarts de tunnel is een erosiekuil waarneembaar met een diepte tot 13 mTAW. Maar ook boven het dak van de tunnel zijn er momenten dat de bodem lokaal de 12,42 mTAW onderschrijdt (gele contourlijn) en de dekking dus (tijdelijk) minder dan 1,12 m bedroeg.



Figuur 6: Bodemevolutie langs een dwarsraai op de KNT op 100m van RO (zie Figuur 19 voor de locatie van de raai)



Figuur 7: Samengesteld bodempeil op basis van laagste gemeten bodempeilen tussen 2010 en 2025



Figuur 8: Dikte van de lokale zandophoping in 2025 ten opzichte van diepste peil gemeten sinds 2010

3 Trendanalyse erosie harde lagen

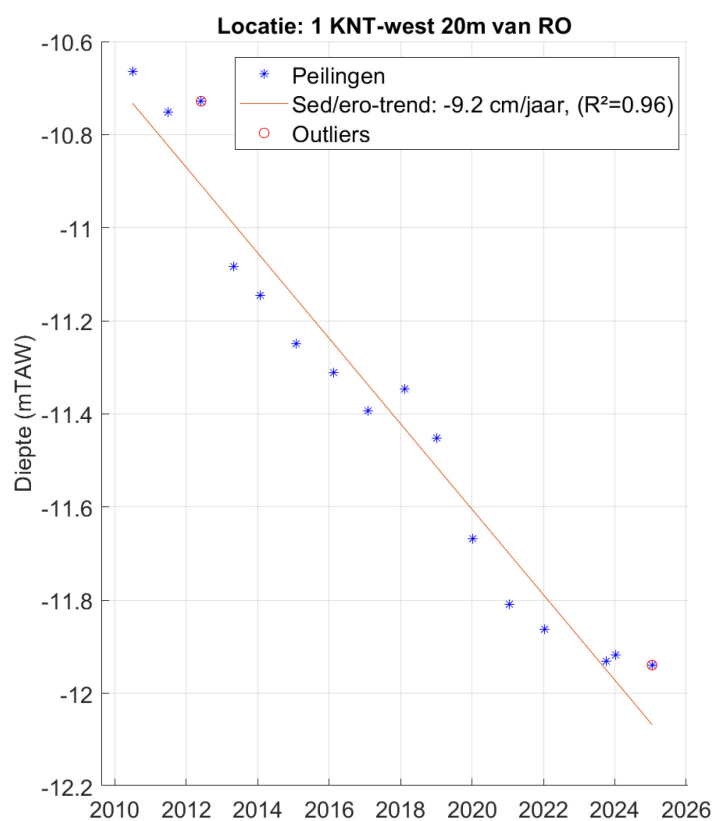
3.1 Lineaire trendanalyse in discrete punten boven de Kennedytunnel

De sedimentatie/erosie-trend wordt berekend met behulp van een lineaire regressieanalyse, op basis van de “*iteratively reweighted least-squares*” *methodologie*. Hierbij krijgen outliers in de data een lager gewicht in de berekening van de lineaire trend. Outliers kunnen onnauwkeurigheden zijn in de peilingen² of jaren met lokale sterke sedimentatie of erosie zoals in 2024 en 2025. De regressieanalyse berekent de sedimentatie/erosie-trend in cm/jaar, maar ook de gewogen R^2 . Deze varieert tussen nul en één, waarbij een hoge R^2 duidt op een persistente en stabiele trend. Een lage R^2 duidt op een sterke variatie in jaarlijkse sedimentatie en/of erosie.

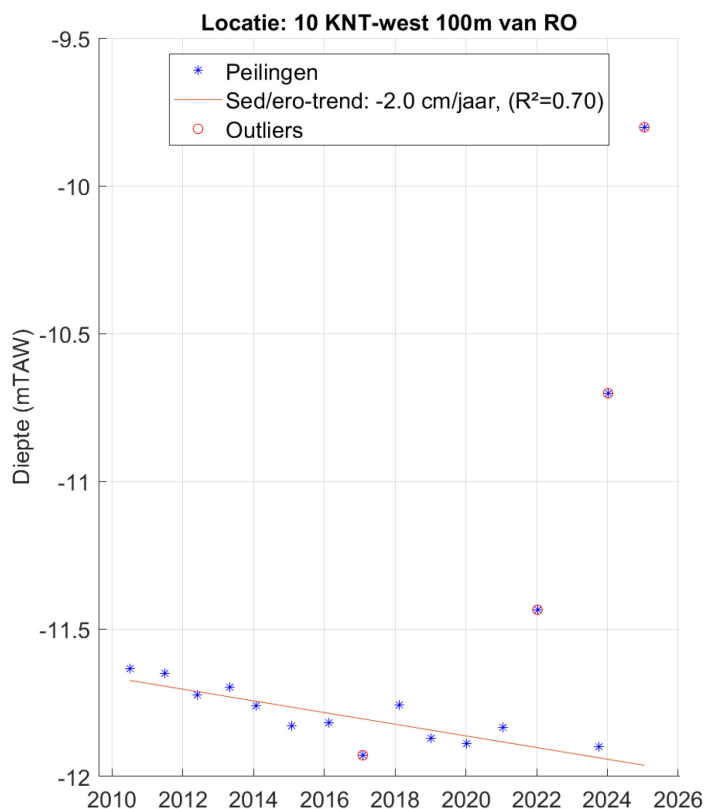
Figuur 9 toont de gepeilde diepte van de bodem van 2010 tot 2025 in een punt ter hoogte van de Kennedytunnel op twintig meter van de rechteroever (zie Figuur 25 in Bijlage 2 voor de exacte locaties van de punten). Deze locatie toont een sterke lineaire erosieve trend van 9,2 cm/jaar. Een $R^2 = 0,96$ duidt op een sterke constante erosie doorheen de tijd, hetgeen in de figuur duidelijk waarneembaar is. Figuur 10 toont de erosietrend voor een punt op 100 m vanaf de rechteroever. Ook hier volgen de meeste peilingen een vrij persistente erosieve trend van gemiddeld 2 cm/jaar, met uitzondering van de jaren 2022, 2024 en 2025 wanneer een sterke sedimentatie waargenomen wordt. De sedimentatie van 2022 is in 2023 echter reeds volledig uitgespoeld op deze locatie. Op basis van de figuur kan men afleiden dat op deze locatie wanneer de backfill boven het dak van de tunnel blootgesteld wordt aan erosie, deze gemiddeld aan 2 cm/jaar erodeert.

Het punt in Figuur 11 ligt op 250 m van de rechteroever, ongeveer in het midden van de rivier. Hoewel de trend over de volledige periode positief is, wijzend op sedimentatie, is de R^2 zeer laag omwille van de variabiliteit met afwisselend periodes van sedimentatie en erosie. Het huidige bodempeil is momenteel vergelijkbaar met dat van 2010. Tabel 1 geeft de berekende sedimentatie/erosie-trends voor alle punten weergegeven in Figuur 25, met bijhorende R^2 . Punt 19 ligt in de erosiekuil afwaarts de Kennedytunnel, zie ook Figuur 32 in Bijlage 2.

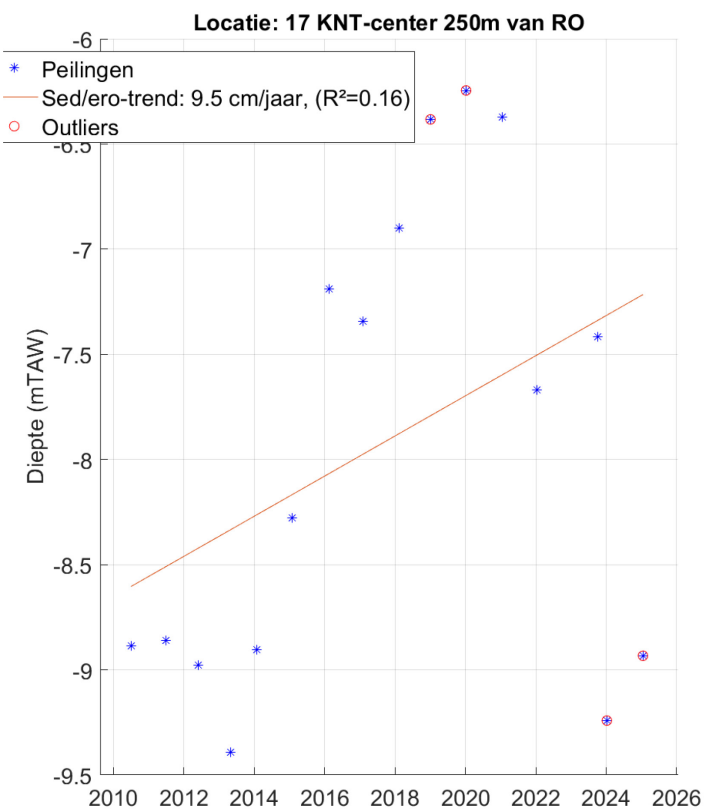
² Multibeam peilingen hebben over het algemeen een nauwkeurigheid van +/-10 cm



Figuur 9: Evolutie van de bodem in een punt (punt 1) boven de Kennedytunnel op 20 m afstand van de rechteroever



Figuur 10: Evolutie van de bodem in een punt (punt 10) boven de Kennedytunnel op 100 m afstand van de rechteroever



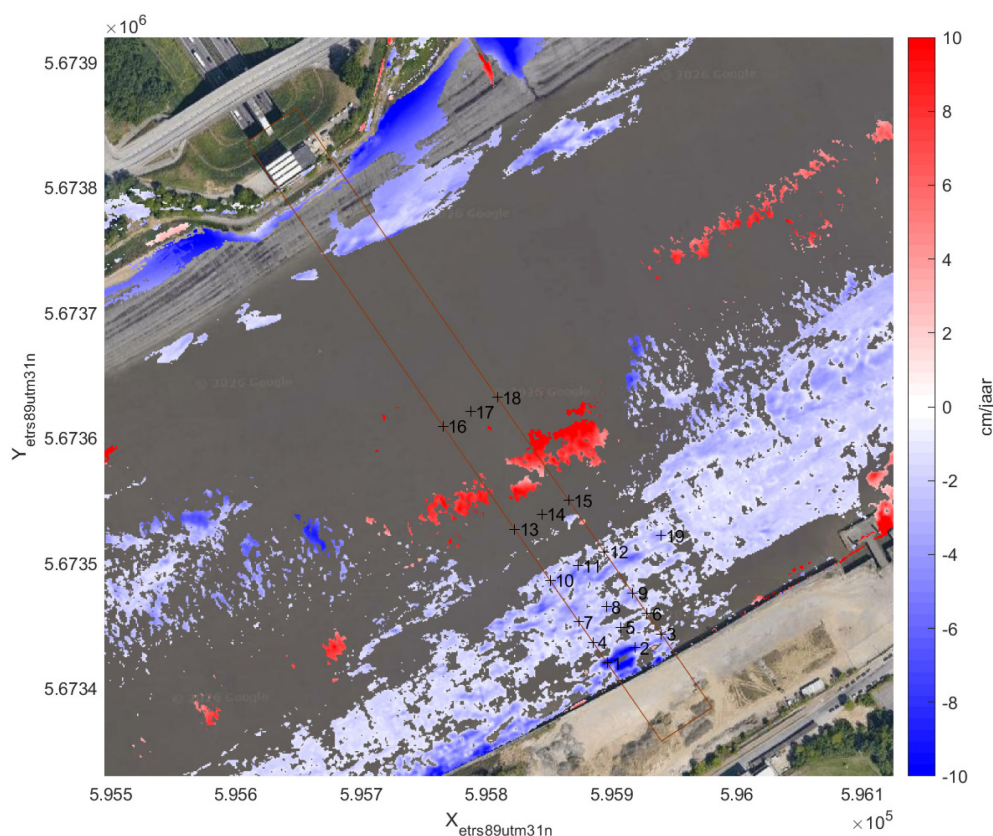
Figuur 11: Evolutie van de bodem in een punt (punt 17) boven de Kennedytunnel op 250 m afstand van de rechteroever

Tabel 1: Sedimentatie/erosie-trend op basis van IRLS lineaire regressie analyse (zie Figuur 25 voor de locatie van de uitvoerpunten)

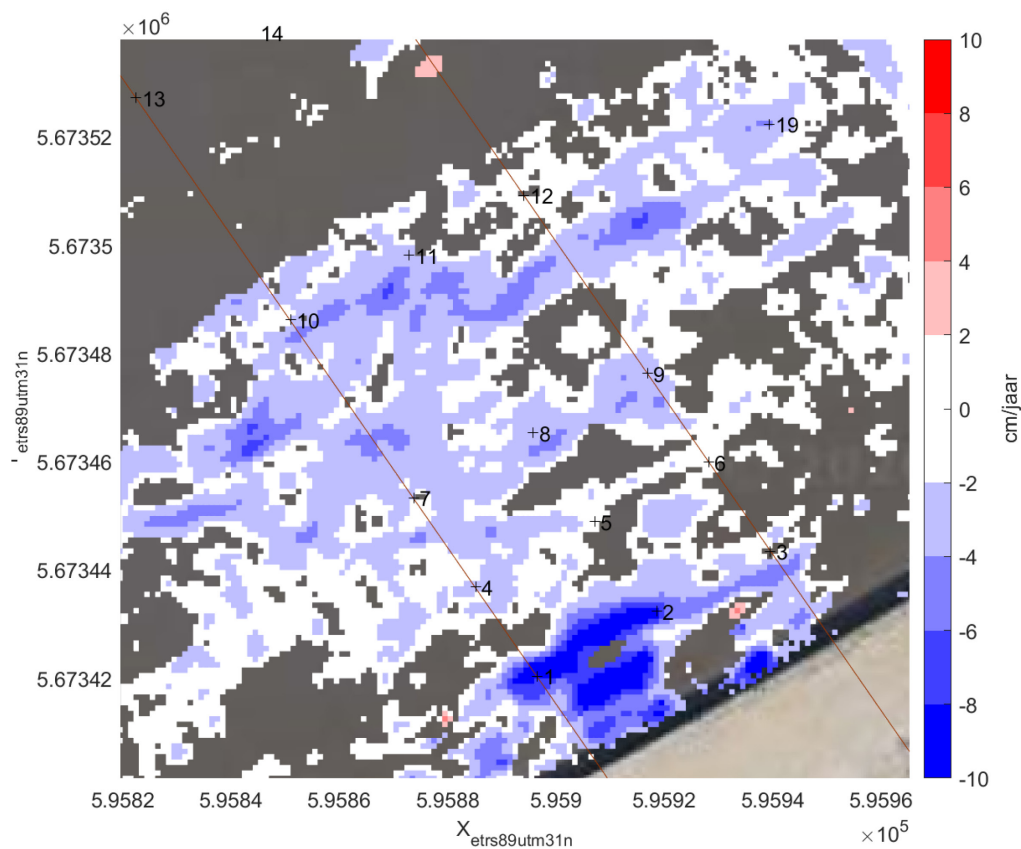
ID	x	y	Raai	Afstand tot RO (m)	sedero-trend cm/jaar	R ²
1	595896.6	5673420	KNT westkant	20	-9.25	0.96
2	595918.6	5673432	KNT centerlijn	20	-8.23	0.92
3	595939.6	5673443	KNT oostkant	20	-0.61	0.34
4	595885.2	5673437	KNT westkant	40	-2.52	0.85
5	595907.2	5673449	KNT centerlijn	40	-1.62	0.79
6	595928.2	5673460	KNT oostkant	40	-1.16	0.73
7	595873.8	5673453	KNT westkant	60	-1.74	0.66
8	595895.8	5673465	KNT centerlijn	60	-2.67	0.88
9	595916.9	5673476	KNT oostkant	60	-2.93	0.90
10	595851	5673486	KNT westkant	100	-2.00	0.70
11	595872.9	5673498	KNT centerlijn	100	-2.26	0.47
12	595894.1	5673509	KNT oostkant	100	-1.10	0.48
13	595822.5	5673527	KNT westkant	150	7.57	0.31
14	595844.4	5673539	KNT centerlijn	150	8.86	0.33
15	595865.6	5673550	KNT oostkant	150	6.87	0.25
16	595765.5	5673609	KNT westkant	250	13.71	0.31
17	595787.4	5673621	KNT centerlijn	250	9.60	0.16
18	595808.7	5673633	KNT oostkant	250	9.60	0.18
19	595939.4	5673522	Erosiekeul afwaarts KNT	85	-4.31	0.95

3.2 Ruimtelijke lineaire trendanalyse

Bovenstaande lineaire regressie is vervolgens toegepast voor elk gridpunt (1m x 1m) van het bathymetrische rooster. In Figuur 12 en Figuur 13 is de sedimentatie/erosie-trend weergegeven voor alle locaties waarvoor $R^2 > 0,5$ (de volledige kaart en de ruimtelijke R^2 zijn toegevoegd in Bijlage 2). De figuur toont de persistente erosie in de diepste delen van de geul, i.e. tot ongeveer 100 m van de rechteroever. De erosieve trend ligt gemiddeld tussen de 2 en 6 cm/jaar, met uitschieters kort bij de rechteroever waar de lokaal de trend oploopt tot meer dan 9 cm/jaar.



Figuur 12: Sedimentatie(+)/erosie(-) trend (cm/jaar) voor $R^2 > 0.5$
(de gemarkeerde punten zijn de locaties van de uitvoerpunten in Bijlage 2)

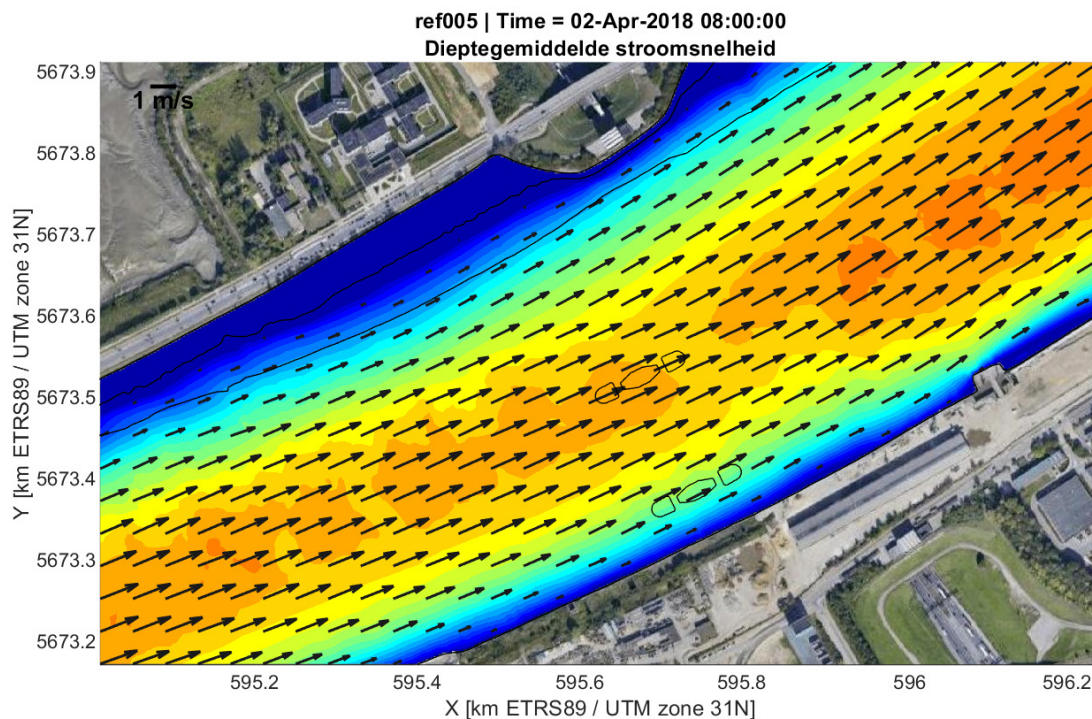


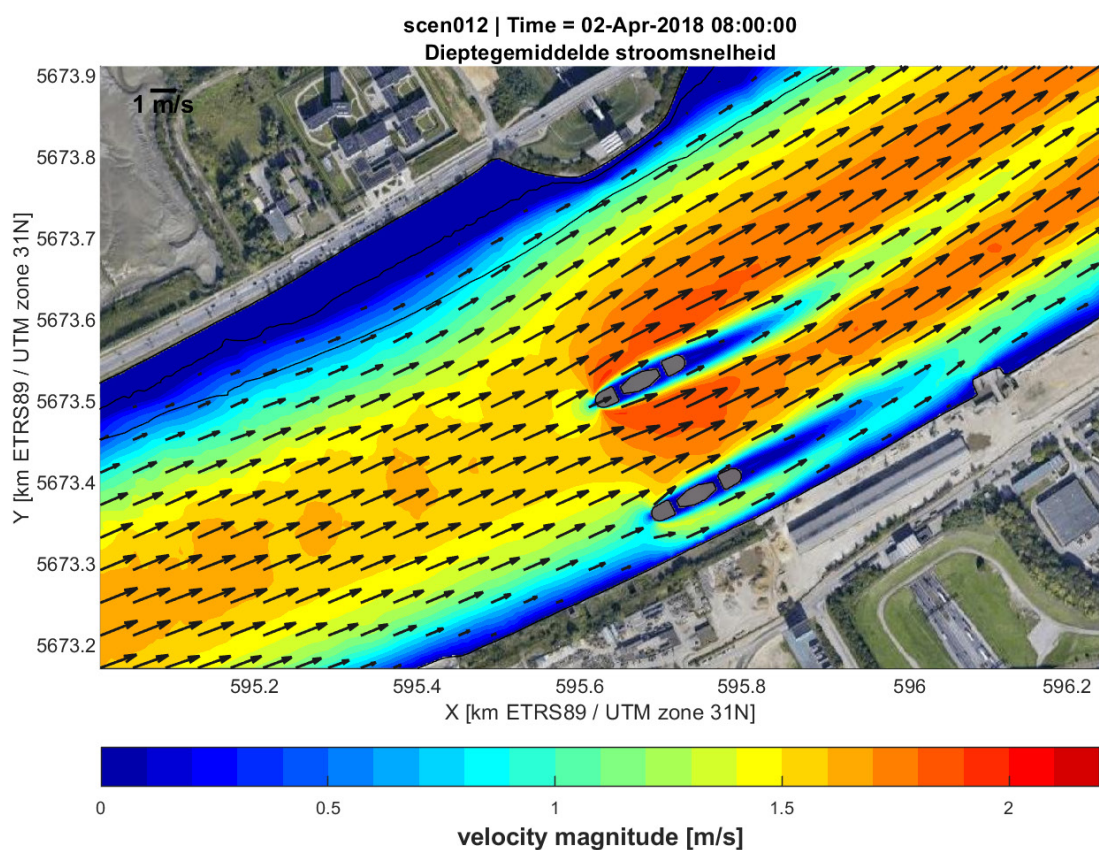
Figuur 13: Zoom Figuur 12 Kennedytunnel bij rechteroever.

4 Prognose invloed brugpijlers

De bouw van pijlers opwaarts de brug zal invloed hebben op de stroming ter hoogte van de tunnel. Numerieke simulaties voorspellen een beperkte toename van de stroming ter hoogte van de Kennedytunnel van de stroming 10 a 15% tijdens ebstroom (De Maerschalck *et al.*, 2023a). Bij vloedstroom is er geen significante toename ter hoogte van de Kennedytunnel waarneembaar in de modellen. Het effect op de erosie van het backfill materiaal zal eerder beperkt zijn, <10%.

Achter de pijlers is in de numerieke modellen een verlaging van de stroming waarneembaar. In de modellen wordt echter de complexe 3D stroming het zog achter de pijlers niet gemodelleerd. De extra turbulentie en wervels zorgen voor een extra omwoeling en erosie (scour). Afhankelijk van de vorm van de pijlers kan scour optreden tot op een afstand van twee tot acht maal de diameter van de pijler (Vijayasree *et al.*, 2019). Verwacht wordt dat het zand dat recent bovenop de hardere onderlaag is afgezet, onder invloed van de pijlers versneld zal uitspoelen, waardoor de onderlaag weer vrijkomt en verder langzaam kan eroderen.





Figuur 14: Gemodelleerde maximale ebstroom bestaande toestand en met twee brugpijlers (De Maerschalc *et al.*, 2023)

5 Conclusies en aanbevelingen

In de meest recente peiling van januari 2025 varieert de bodemdekking boven het dak van de Kennedytunnel ter hoogte van de vaargeul tussen de 1,5 en 3,5 m. Dit is mede dankzij recente lokale zandafzettingen in 2024 en 2025. De reden van deze lokale sedimentatie is momenteel niet gekend, maar heeft mogelijks te maken met mildere hydraulische condities van de rivier, e.g. intentie en aantal stormtijden per jaar. Het is echter niet gegarandeerd dat deze sedimentatie zich in de toekomst nog verder zet of stabiel is. Gezien het hier over zanderige specie gaat, wordt verwacht dat dit eerder een tijdelijk fenomeen is en dat het zand ook relatief snel weer uitgespoeld kan worden, zoals eerder in 2022 ook al waargenomen.

Onder deze zandlaag bevindt zich een hardere dekkingslaag (backfill) die, wanneer ze vrij komt te liggen, traag maar gestaag erodeert. Op basis van de jaarlijkse multi-beam peilingen sinds 2010, werd berekend dat op verschillende plaatsen boven het dak van de tunnel, de dikte van deze laag nog minder dan één meter bedraagt. Net afwaarts de Kennedytunnel bevindt er zich inmiddels een erosiekuil met een diepte tot -13 mTAW.

Uit de peilingen blijkt dat waar de originele dekkingslaag van de tunnel vrij komt te liggen, er een trage maar persistente erosie optreedt. Op basis van een lineaire trendanalyse over de periode 2010-2025 wordt deze erosieve trend tussen 2 en 6 cm/jaar geschat. Lokaal nabij de rechteroever wordt zelfs een erosiesnelheid van meer dan 9 cm/jaar waargenomen.

Eerdere numerieke simulaties tonen aan dat de bouw van brugpijlers stroomopwaarts een beperkte toename van de stroming veroorzaakt tijdens ebstroom. Tijdens vloedstroom is er geen significante verandering waarneembaar. Verwacht wordt dat dit slechts een beperkt effect zal hebben op de erosie van de harde laag. De modellen houden echter geen rekening met de complexe extra turbulentie in het zog achter de pijlers, wat kan leiden tot lokale erosie van recent afgezet zand en blootstelling van de hardere onderlaag.

Het effect op de erosie van de hardere laag blijft beperkt, maar scour kan optreden tot op aanzienlijke afstand van de pijlers, afhankelijk van hun vorm. De combinatie van verhoogde stroming en extra turbulentie zal waarschijnlijk het recent afgezette zand in de geul doen wegspoelen, waardoor de onderliggende lagen weer verder kunnen eroderen.

Aanbevelingen

Er wordt geadviseerd om de evolutie van de bodembedekking nauwgezet op te volgen en een interventiepeil te bepalen afhankelijk van de frequentie van de peilingen en de tijd nodig om mitigerende maatregelen te nemen.

De meest duurzame maatregel is het aanbrengen van breuksteenbestorting over een afstand van rechteroever tot ca. 200 m van de oever, die de vaargeul ook omvat. Hierbij dient echter rekening gehouden te worden met het toekomstige streefpijl van -10,6 mLAT (-11,37 mTAW): De breuksteen mag geen hinder vormen indien in de toekomst de vaargeul naar het streefpijl gebracht zou worden.

Het aanbrengen van een extra zandpakket boven de Kennedytunnel lijkt op basis van deze studie geen duurzame oplossing wegens het tijdelijke karakter van de zandlaag. Mogelijks kan dit als noodmaatregel ingeroepen worden, al kunnen men op dit moment niet voorspellen hoe lang deze laag zal blijven liggen. Een proefstorting met hoogfrequente opvolging kan meer inzicht geven. Bij voorkeur wordt een dergelijke proef uitgevoerd in het najaar/winter omdat er dan een hogere kans is op verhoogde springtijden en stormtijden waarvan verwacht wordt dat deze bepalend zijn voor de stabiliteit van de tijdelijke zandlaag.

Het is niet aangewezen om aan de hand van slibslepen zand van de plaat tegen de linkeroever naar de geul te verslepen. De neveneffecten voor de plaat zijn immers moeilijk te voorspellen. Niettegenstaande de plaat afwisselend periodes van sedimentatie en erosie kent, tonen de recente peiling vooral erosie van het subtidaal gedeelte. Slibslepen zou deze erosie kunnen versterken waarbij deze zich uitbreidt richting de laagwaterlijn en het intertidaal.

Men kan in overweging nemen om bij onderschrijdingen van het interventiepeil lokaal breuksteenbestorting aan te brengen teneinde verdere erosie te voorkomen. Men dient hierbij wel rekening te houden dat deze kleine bestortingen de stroming ook lokaal zullen beïnvloeden en er kans bestaat dat tussen de *patches* van breuksteen de stroming dusdanig verstoord wordt dat dit de erosie tussen de patches versterkt. Ook dit moet dus eerder als noodmaatregel worden gezien, met bijgevolg frequente opvolging.

Referenties

Claeys, Em., Coene, J., Blondé, A. (1969) “De J.F. Kennedy-tunnel te Antwerpen”, © Excavator.

De Maerschalck, B.; Stark, J.; Eloot, K. (2023). Antwerpen Oeververbinding tussen linker- en rechteroever: Deelrapport 4 – Hydrodynamische beoordeling ontwerpvarianten. Versie 3.0. WL Rapporten, 21_113_4. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

De Maerschalck, B. (2024). Dekkingsgraad Kennedytunnel kruising vaarweg. Versie 4.0. WL Memo's, 24_I_057. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

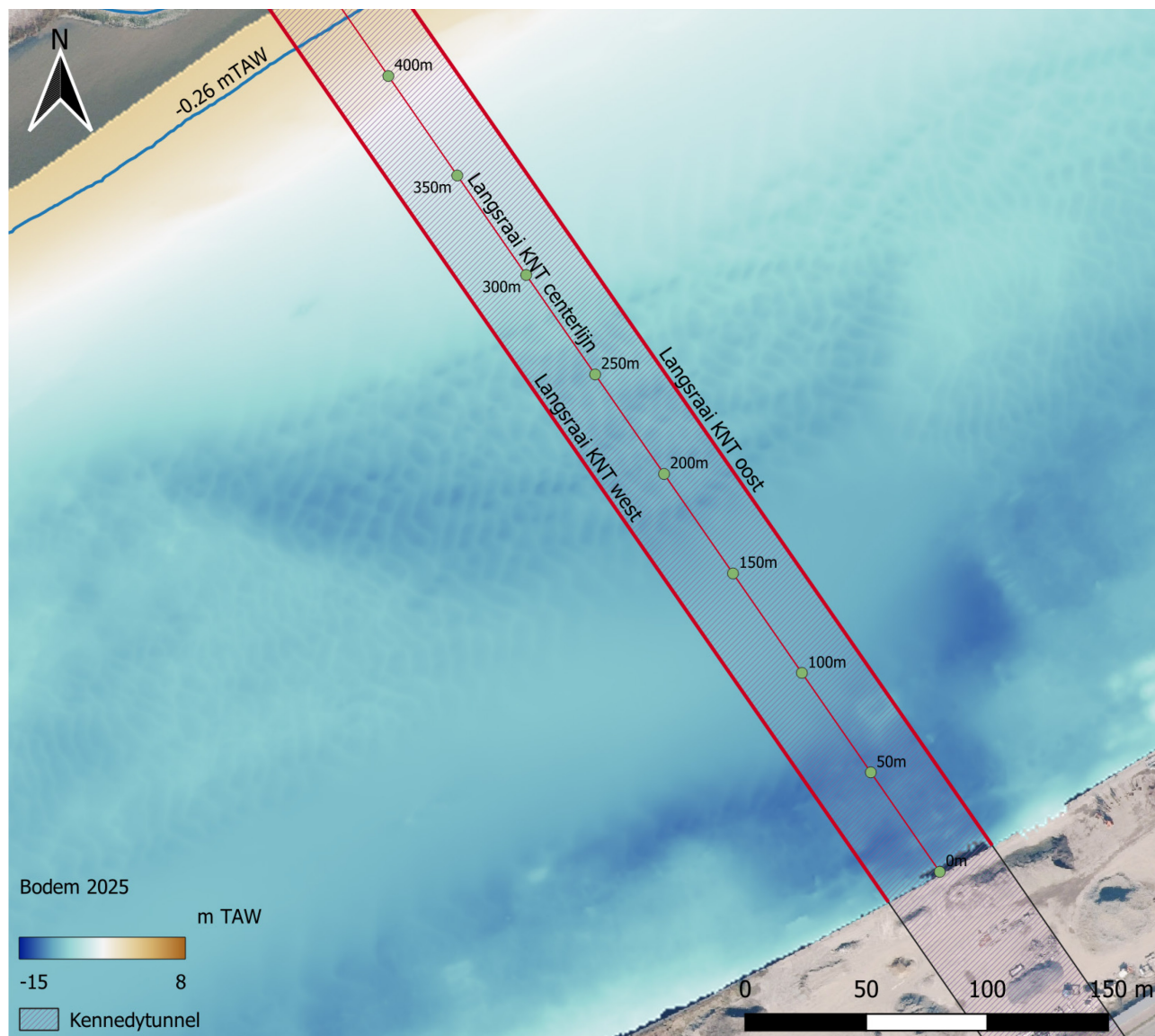
Stark, J.; De Maerschalck, B. (2023). Antwerpen Oeververbinding tussen linker- en rechteroever: Deelrapport 2 – Hydrodynamische modellering brugpijlers. Versie 3.0. WL Rapporten, 21_113_2. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Peccin da Silva, A. (2024). Anchor damage risk assessment. 11210791-002-GEO-0001. Deltares

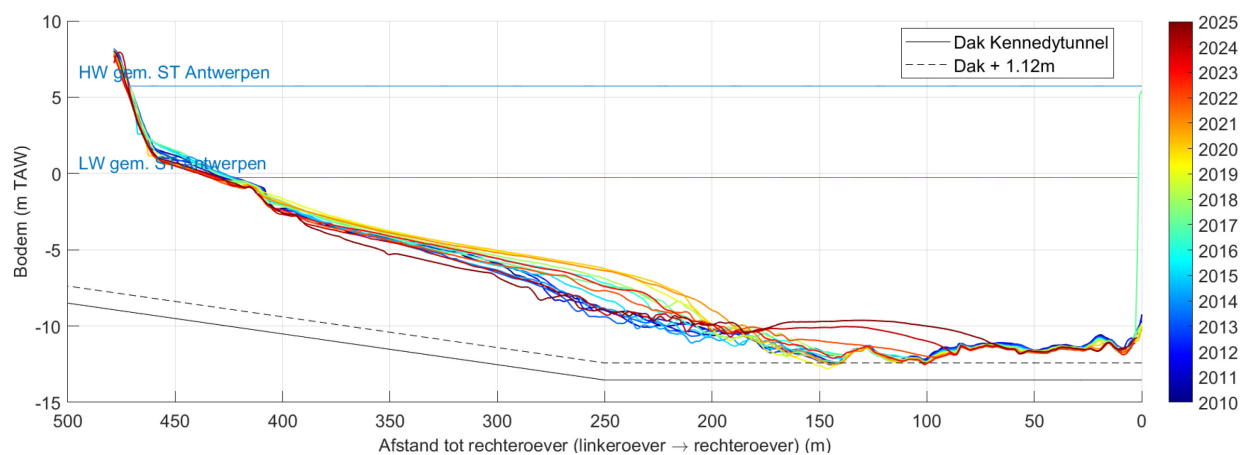
Vijayasree, B.A.; Eldho, T.I.; Mazumder, B.S.; Ahmad, N. (2019). Influence of bridge pier shape on flow field and scour geometry. *Int. J. River Basin Manag.* 17(1): 109–129. doi:10.1080/15715124.2017.1394315

Bijlage 1 Evolutie van het bodemprofiel

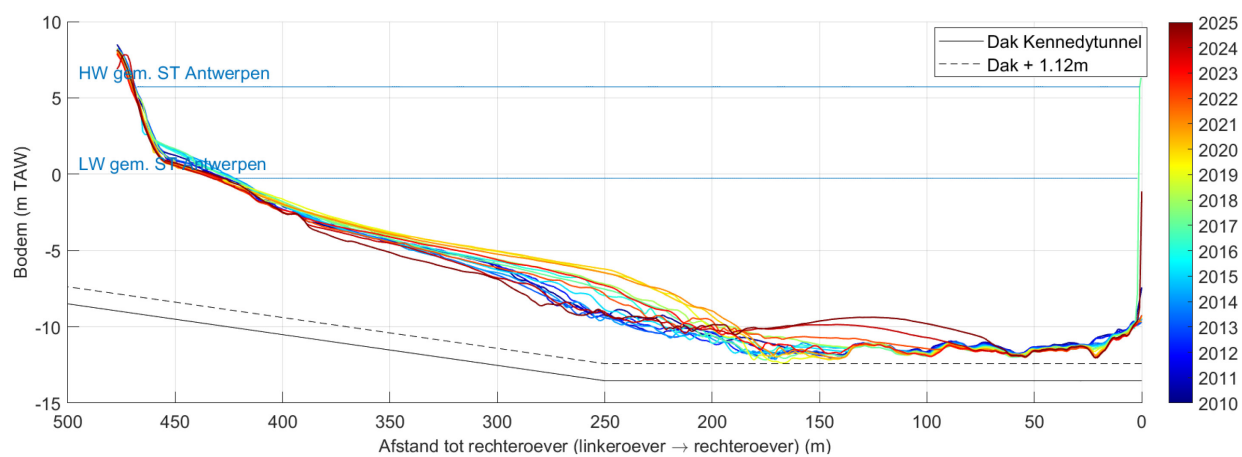
Bodemevolutie langs langsgraaien boven het dak de Kennedytunnel



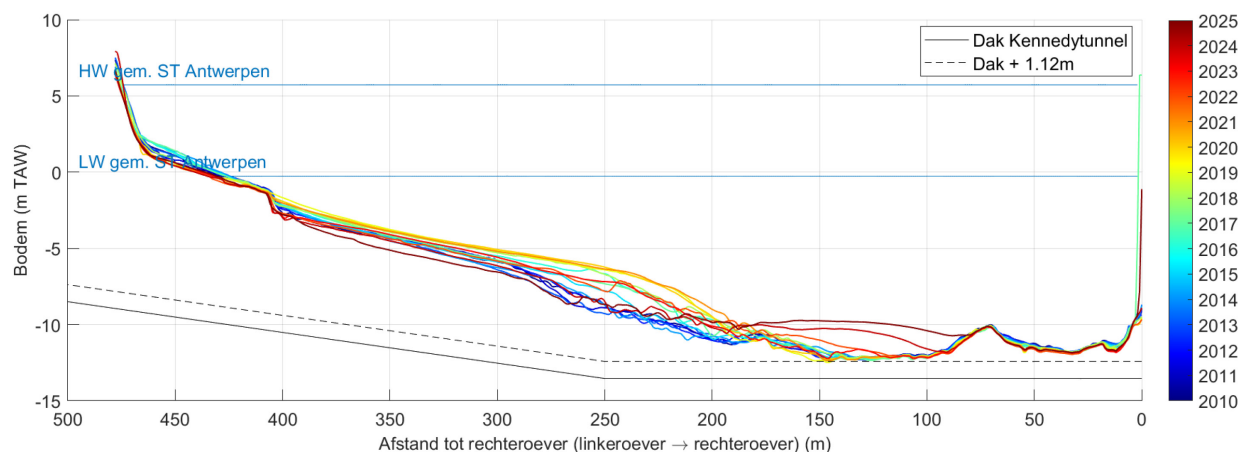
Figuur 15: Locatie van de langsgraaien ter hoogte van de Kennedytunnel voor analyse bodemevolutie



Figuur 16: Bodemevolutie Langsraai Kennedytunnel, 2010 – 2025

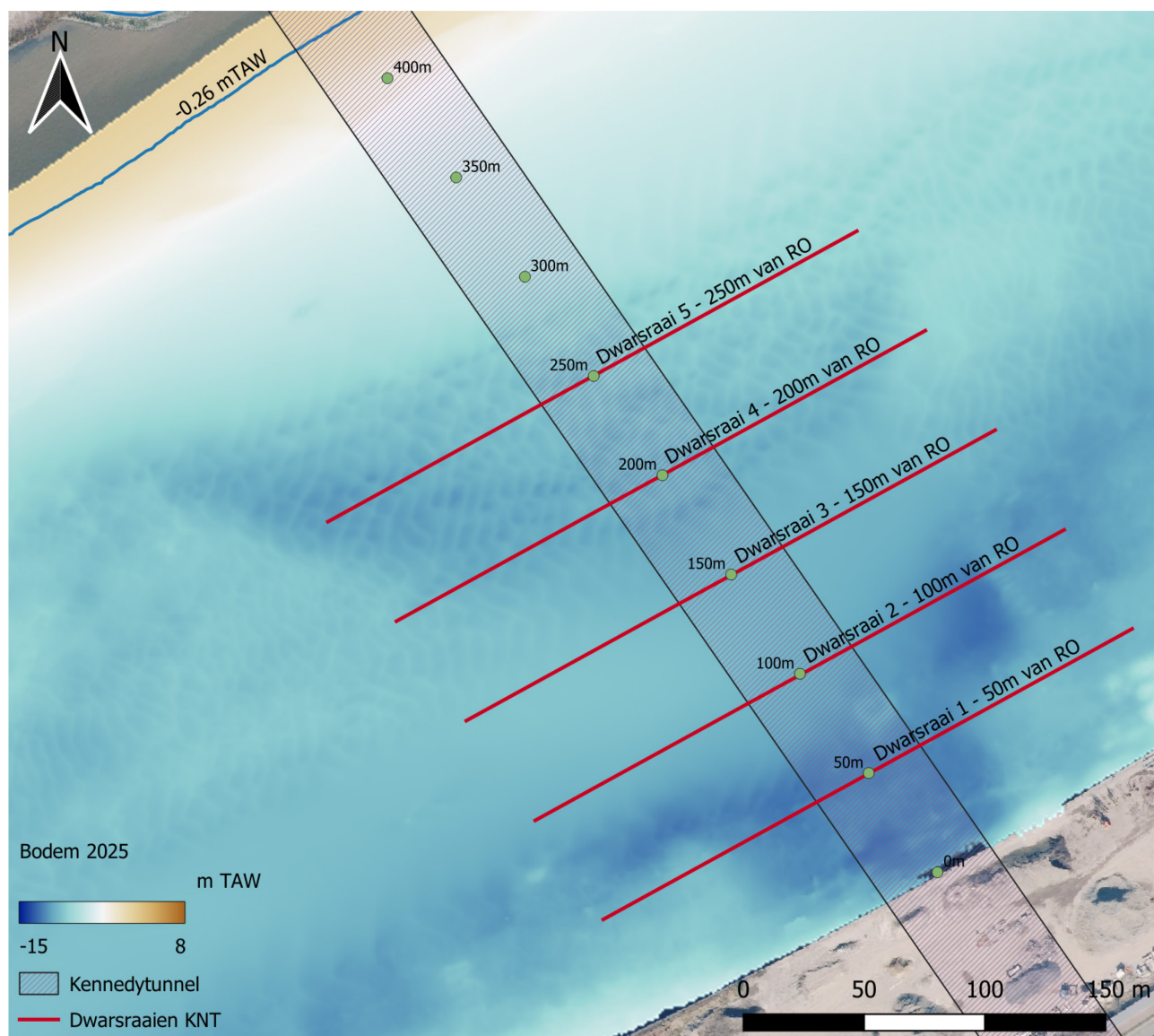


Figuur 17: Bodemevolutie Langsraai Kennedytunnel west, 2010 – 2025

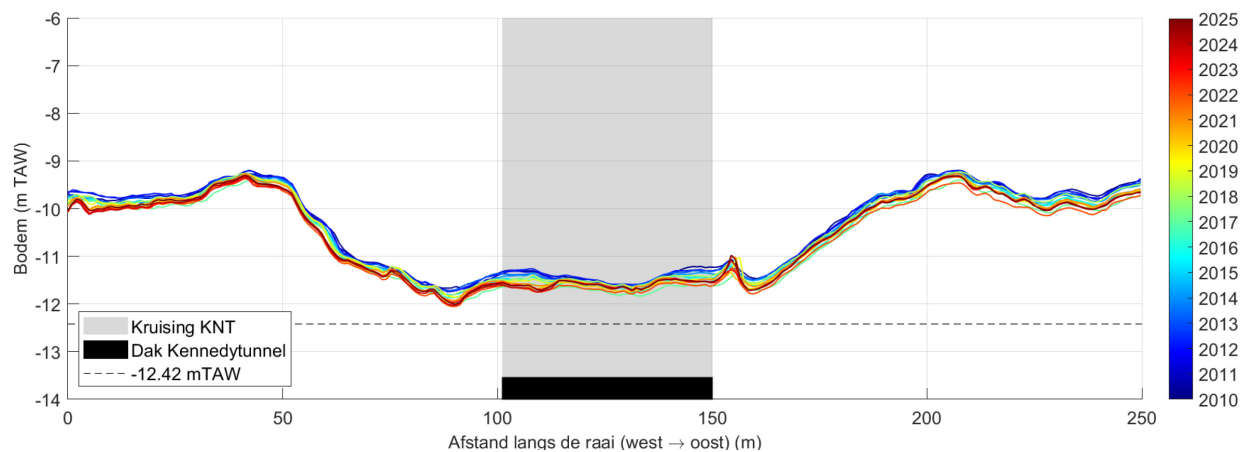


Figuur 18: Bodemevolutie Langsraai Kennedytunnel oost, 2010 - 2025

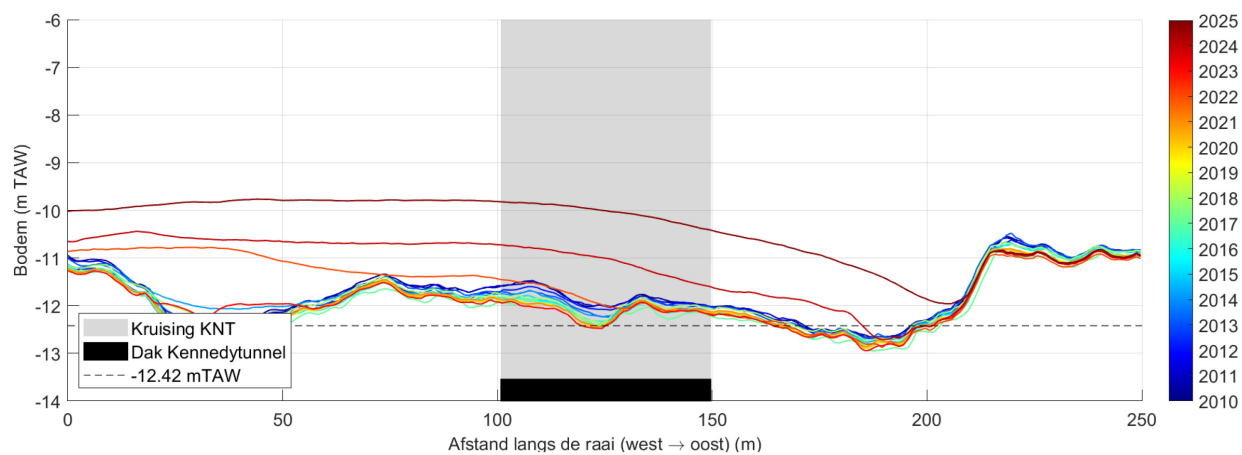
Bodemevolutie langs enkele dwarsraaien parallel aan de rechteroever



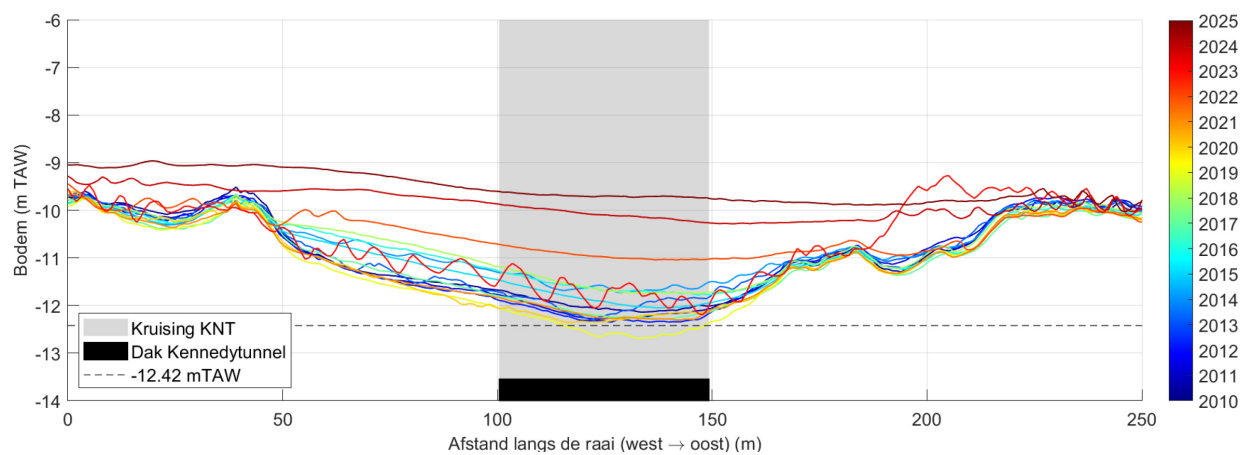
Figuur 19: Locatie van de dwarsraaien ter hoogte van de Kennedytunnel voor analyse bodemevolutie



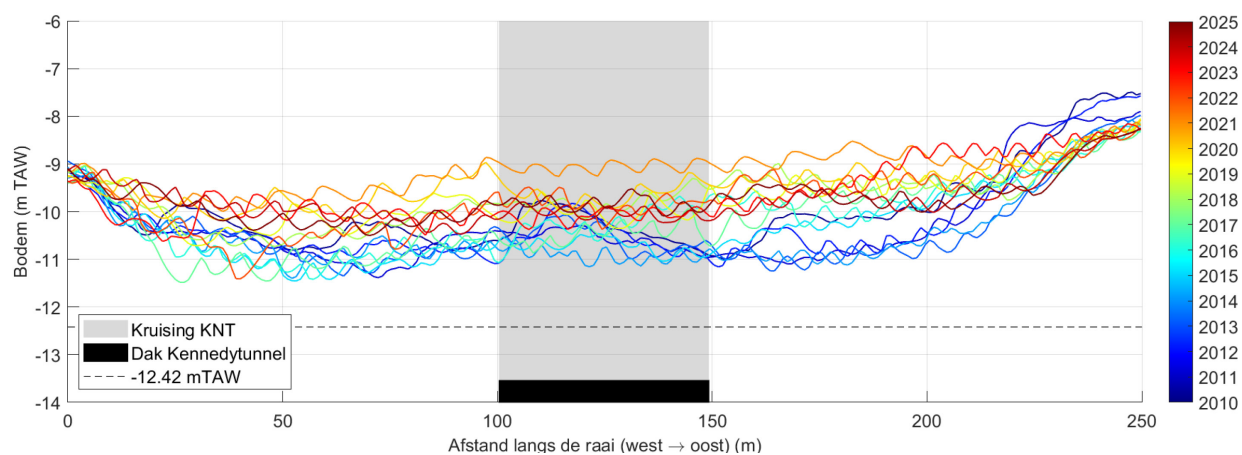
Figuur 20: Bodemevolutie Dwarsraai 1 - 50m van RO, 2010 – 2025



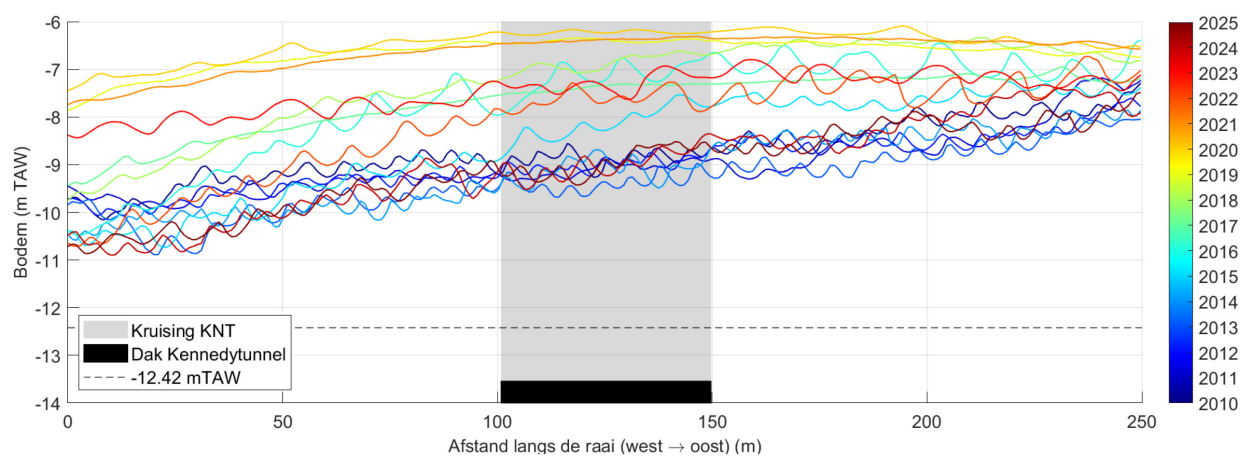
Figuur 21: Bodemevolutie Dwarsraai 2 - 100m van RO, 2010 – 2025



Figuur 22: Bodemevolutie Dwarsraai 3 - 150m van RO, 2010 - 2025



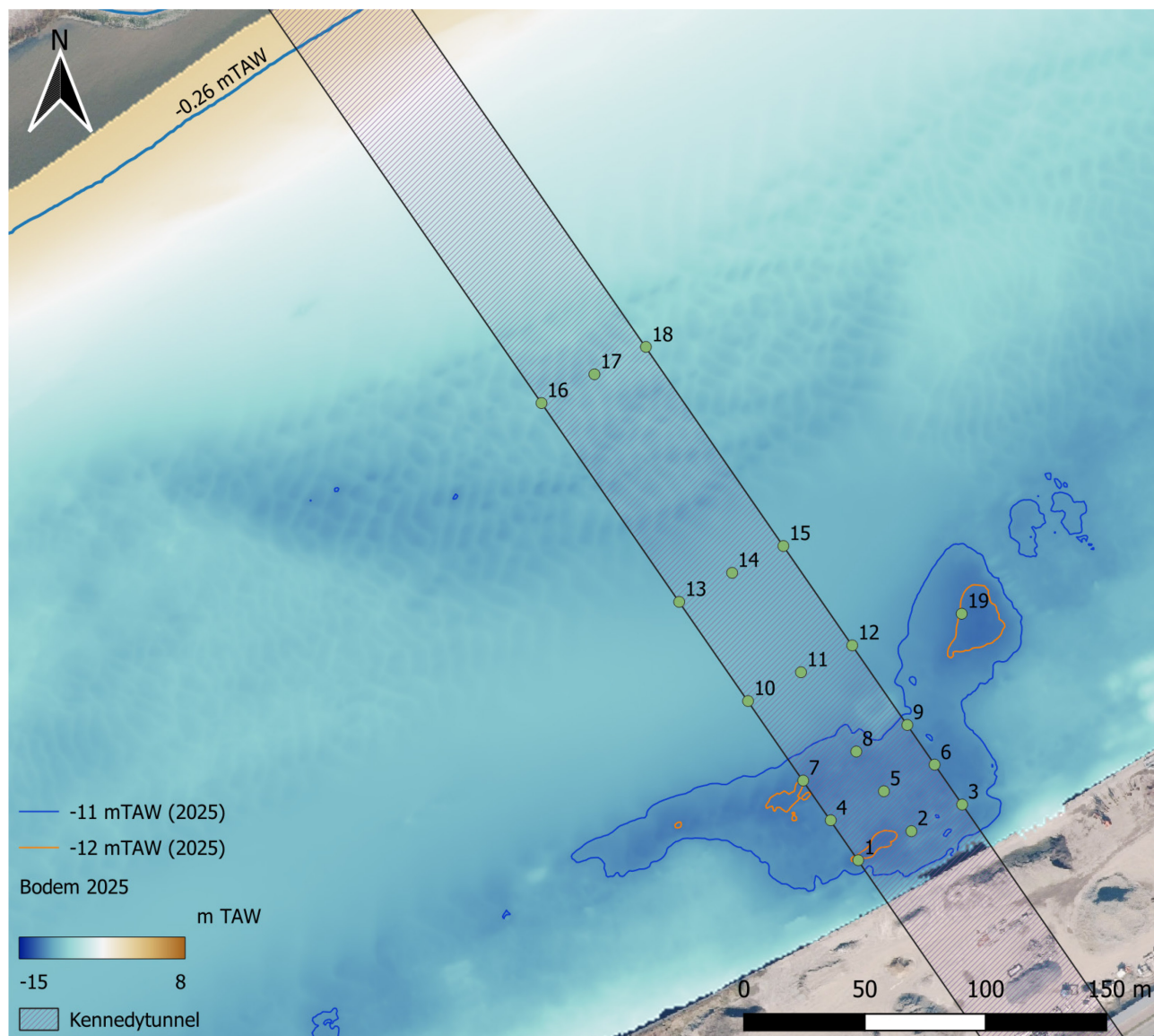
Figuur 23: Bodemevolutie Dwarsraai 4 - 200m van RO, 2010 – 2025



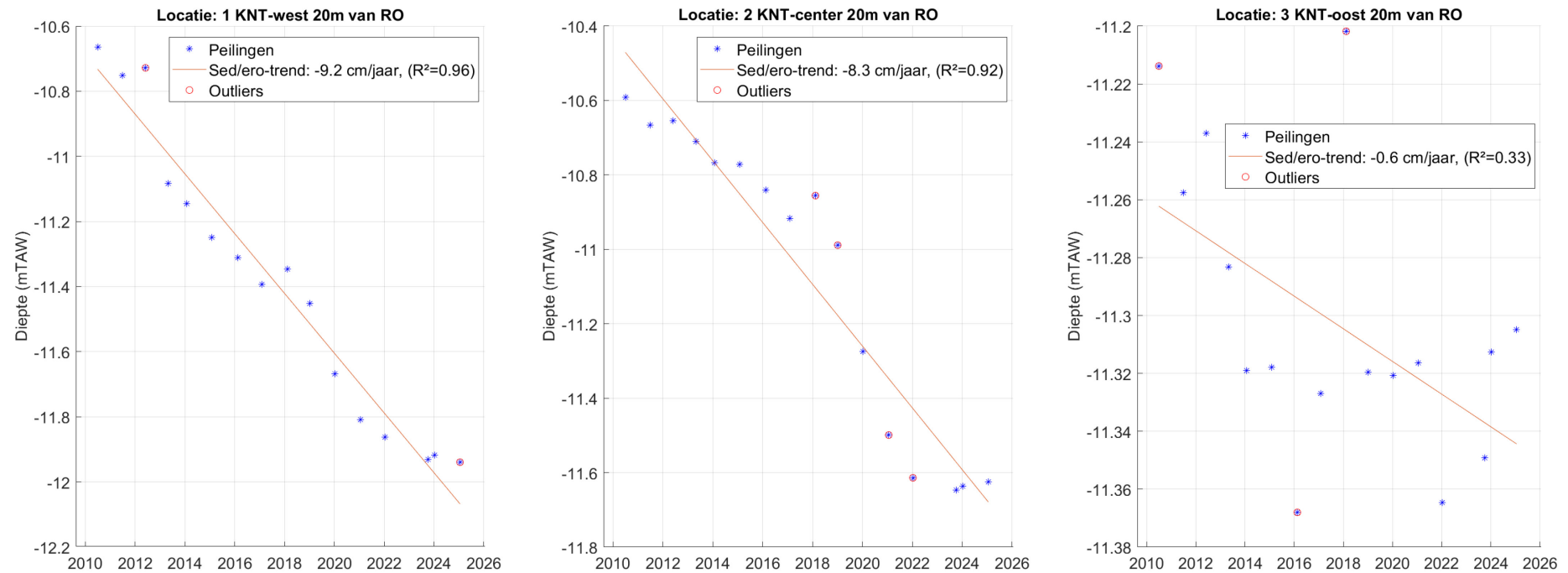
Figuur 24: Bodemevolutie Dwarsraai 5 - 250m van RO, 2010 – 2025

Bijlage 2 Lineaire trendanalyse

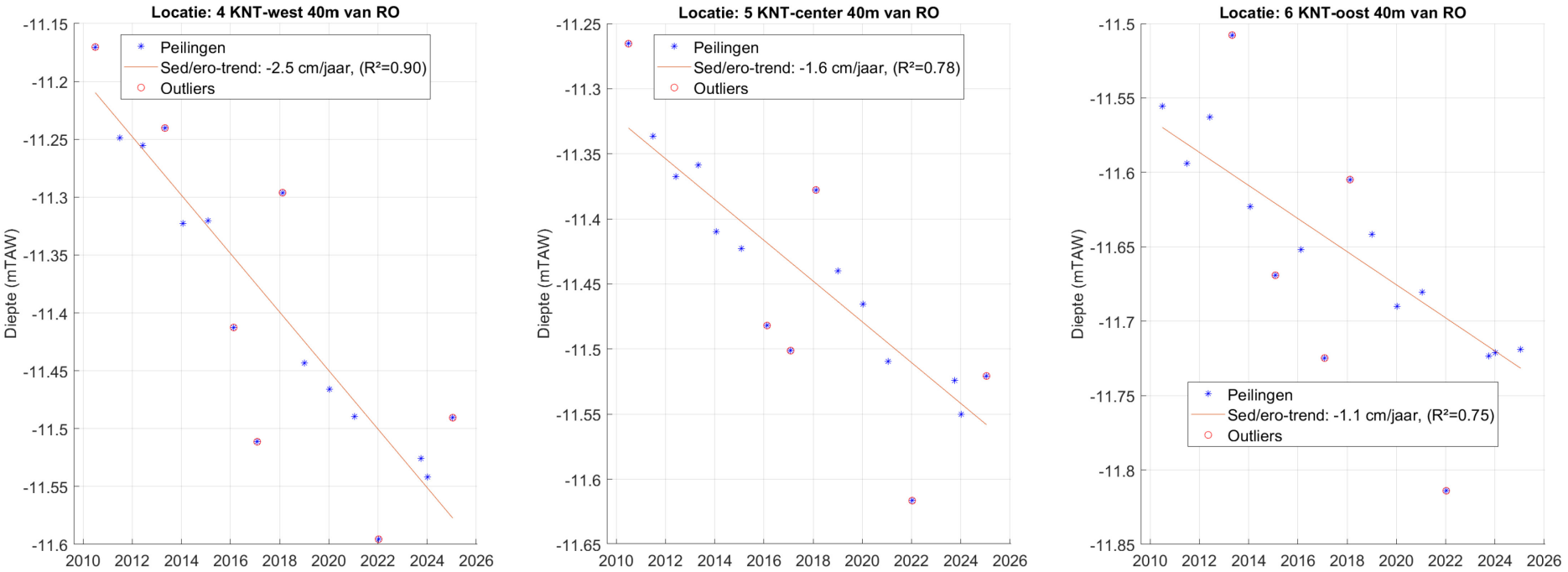
Lineaire trendanalyse voor een aantal geselecteerde punten



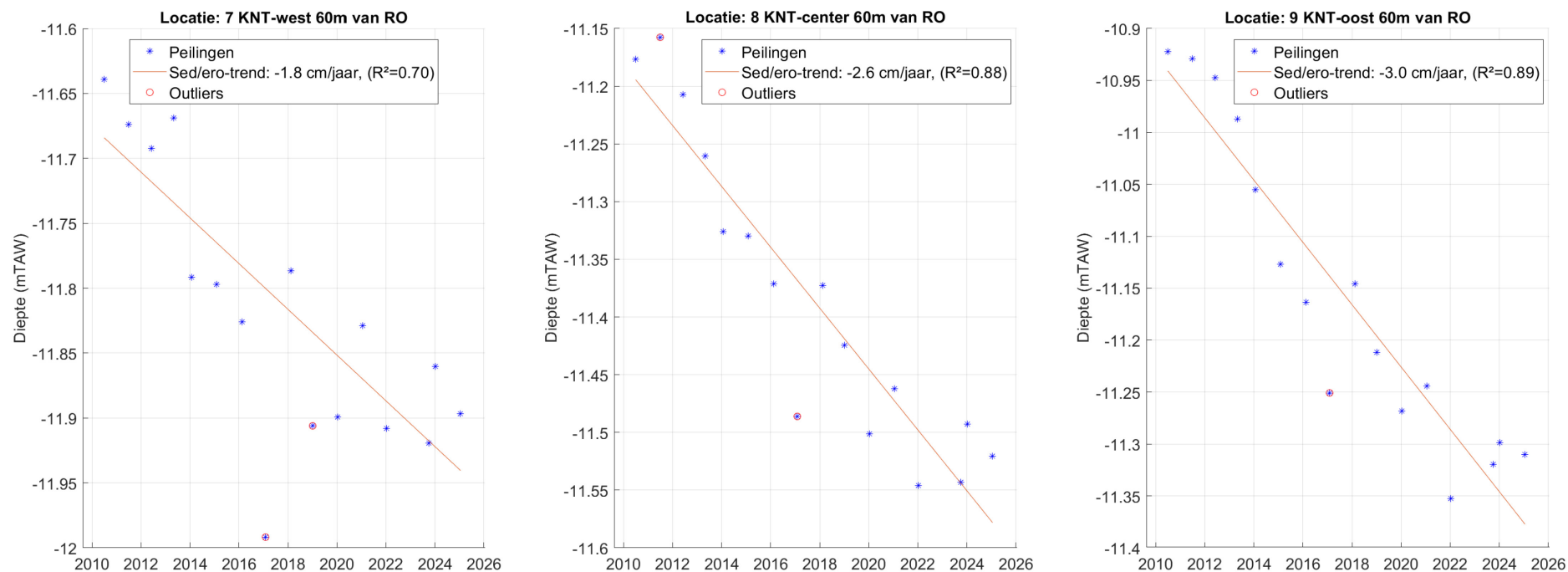
Figuur 25: Locaties uitvoerpunten morfologisch trendanalyse



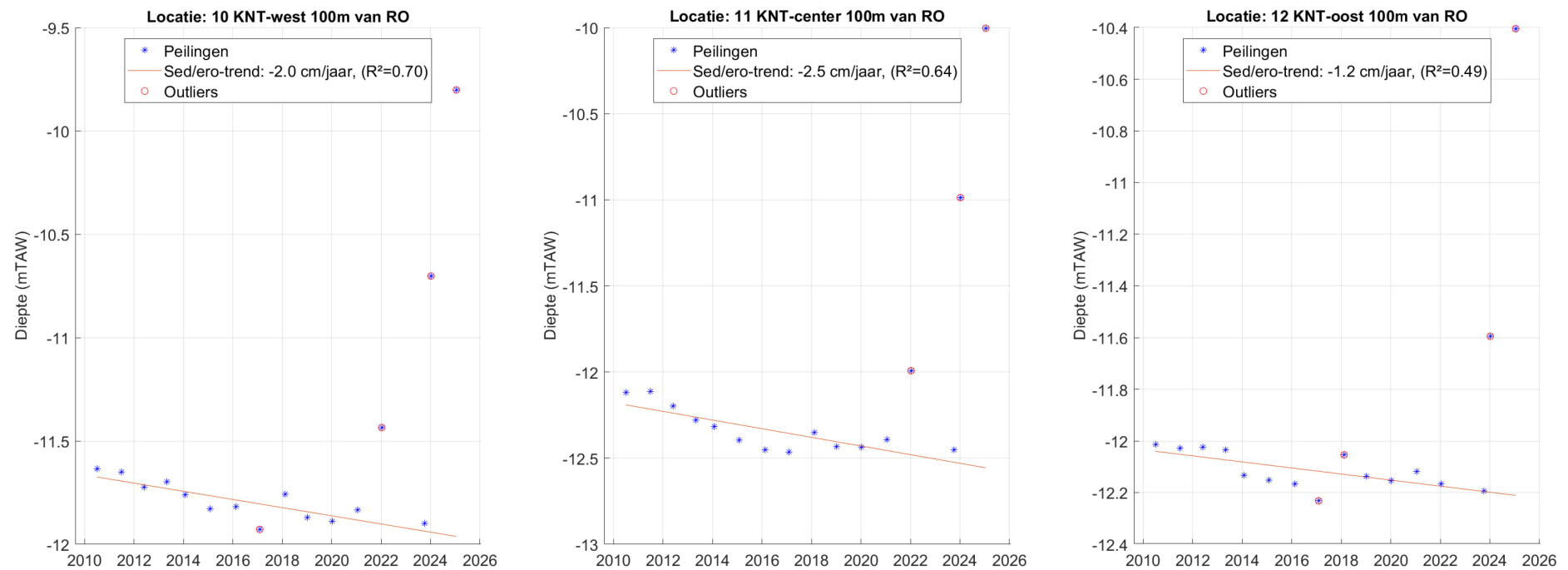
Figuur 26: Bodemevolutie op locaties 1, 2 en 3: 20 m van RO, westzijde, centerlijn en oostzijde



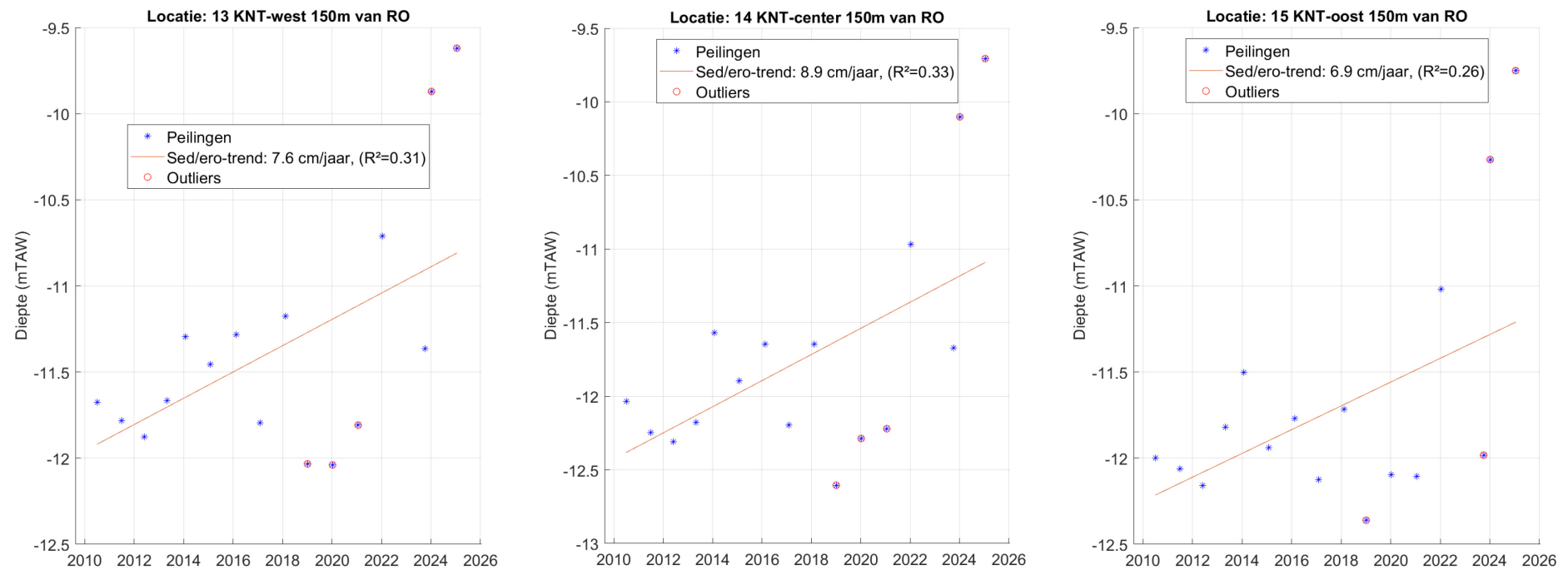
Figuur 27: Bodemevolutie op locaties 4, 5 en 6: KNT-west 40 m van RO



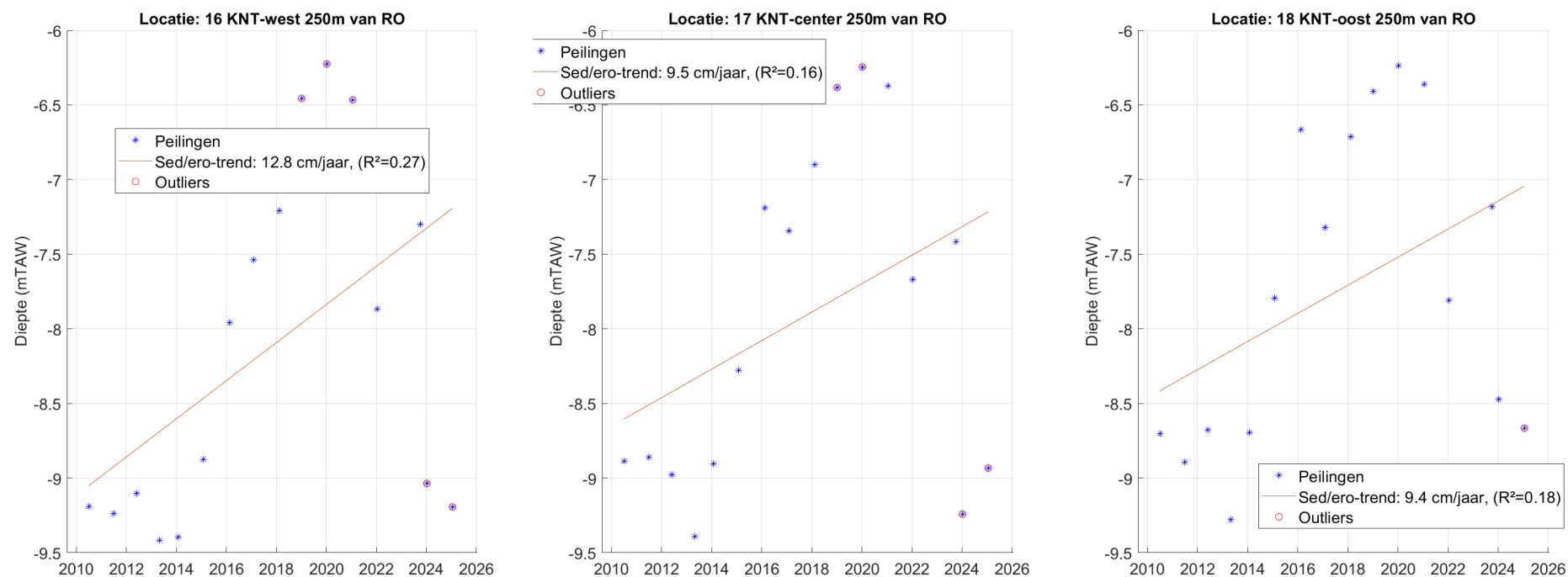
Figuur 28: Bodemevolutie op locaties 7, 8 en 9: KNT-oost 60 m van RO



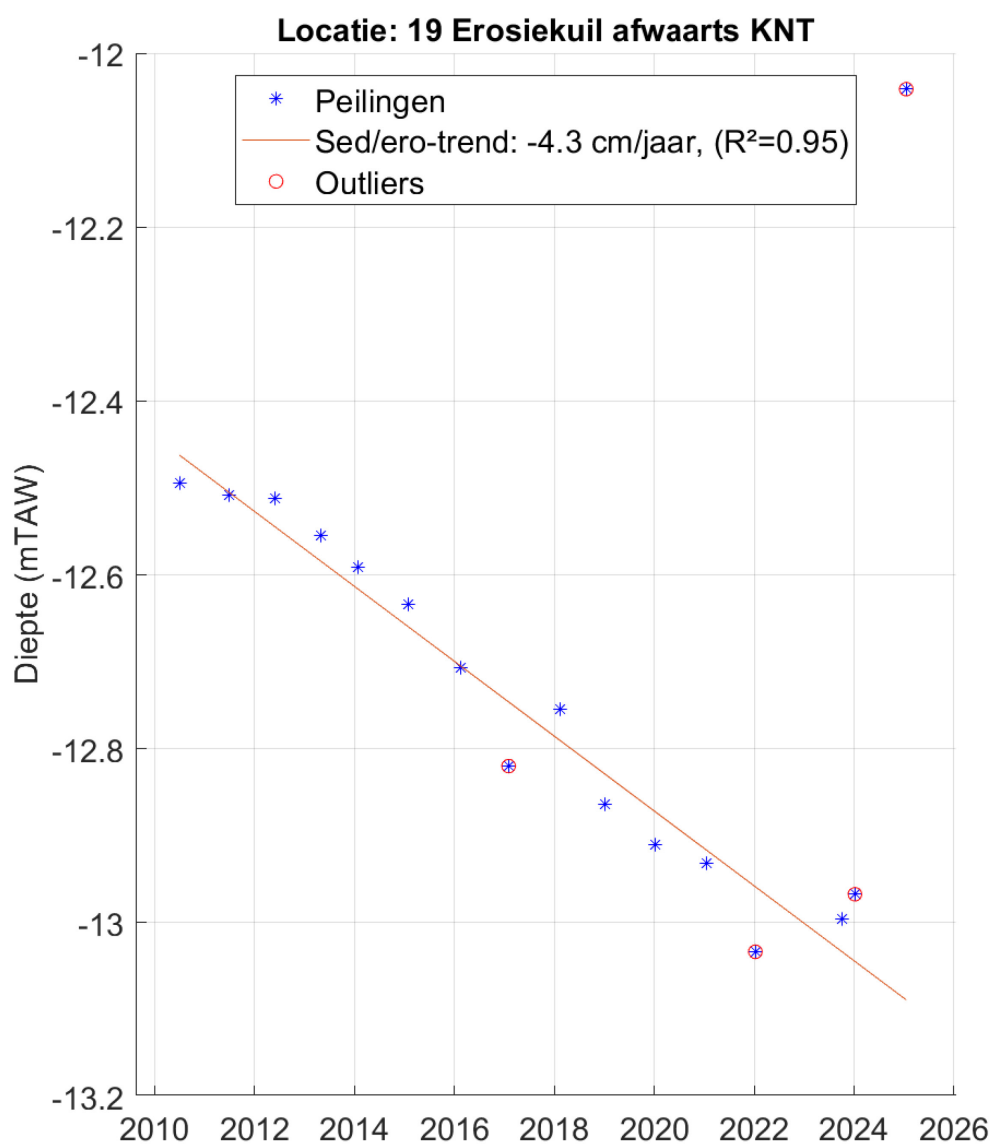
Figuur 29: Bodemevolutie op locaties 10,11 en 12: KNT-oost 100 m van RO



Figuur 30: Bodemevolutie op locaties 13, 14 en 15: KNT-oost 150 m van RO

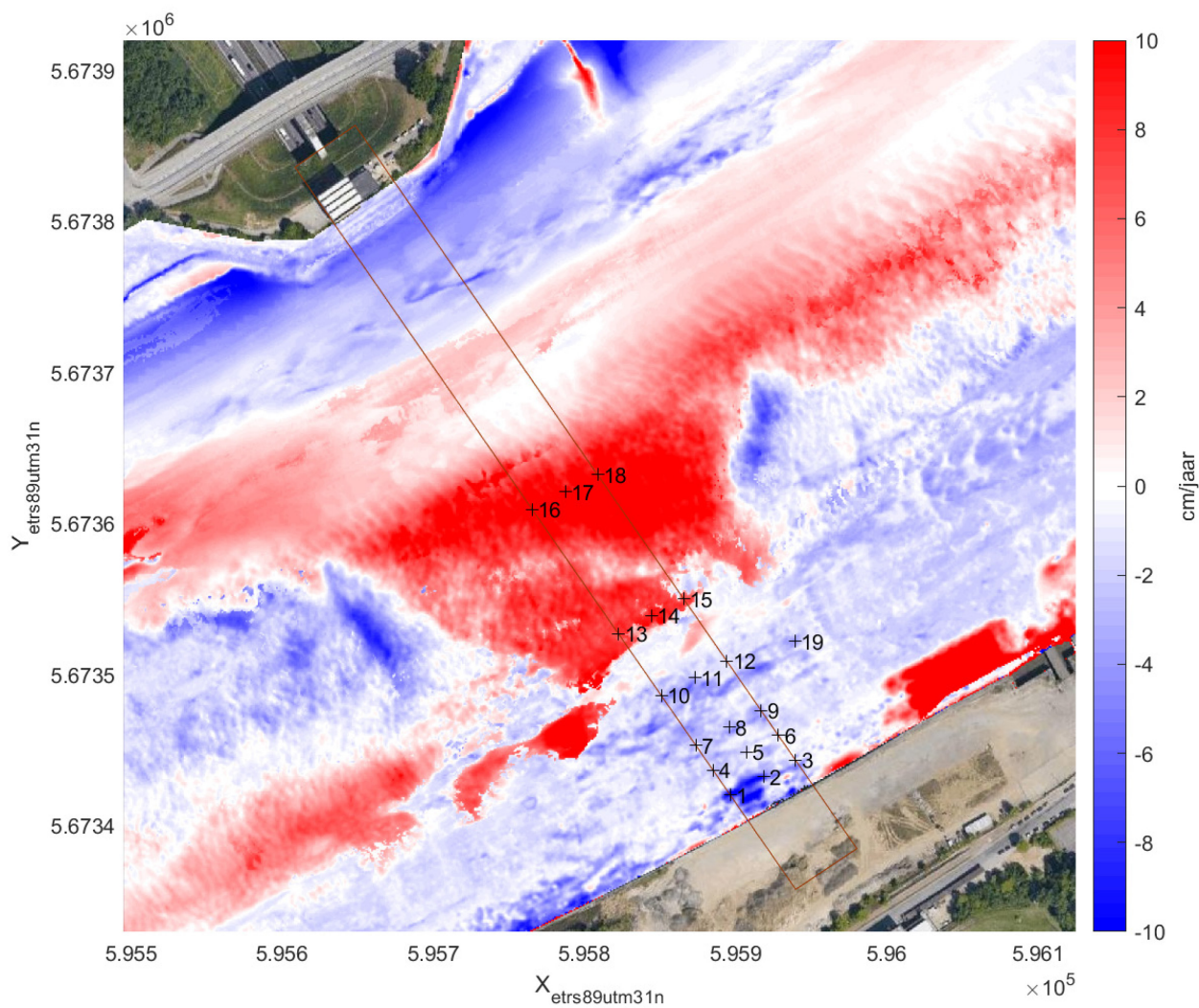


Figuur 31: Bodemevolutie op locaties 16,17 en 18: KNT-oost 250 m van RO

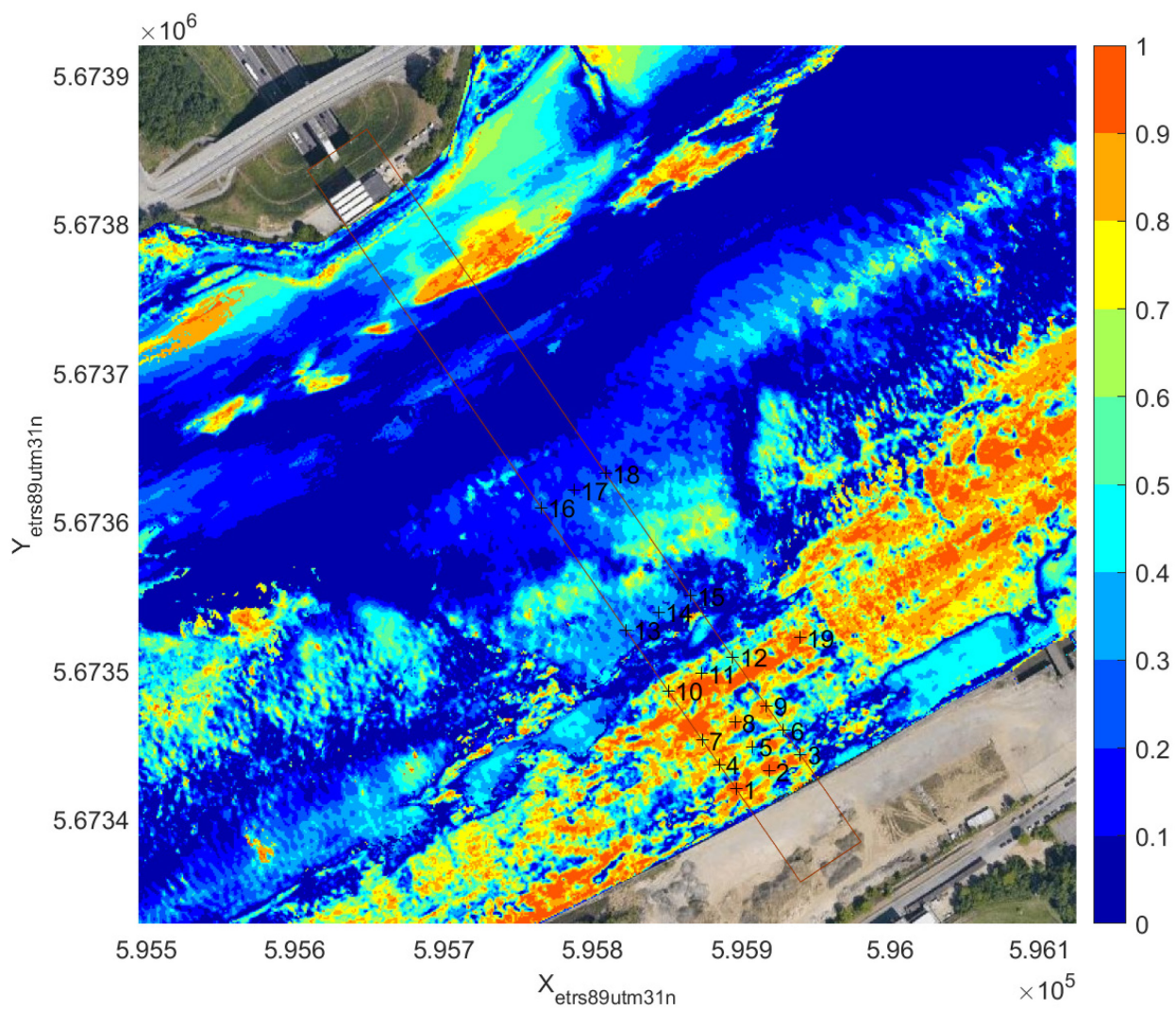


Figuur 32: Bodemevolutie op locatie: 19 Erosiekuil afwaarts KNT

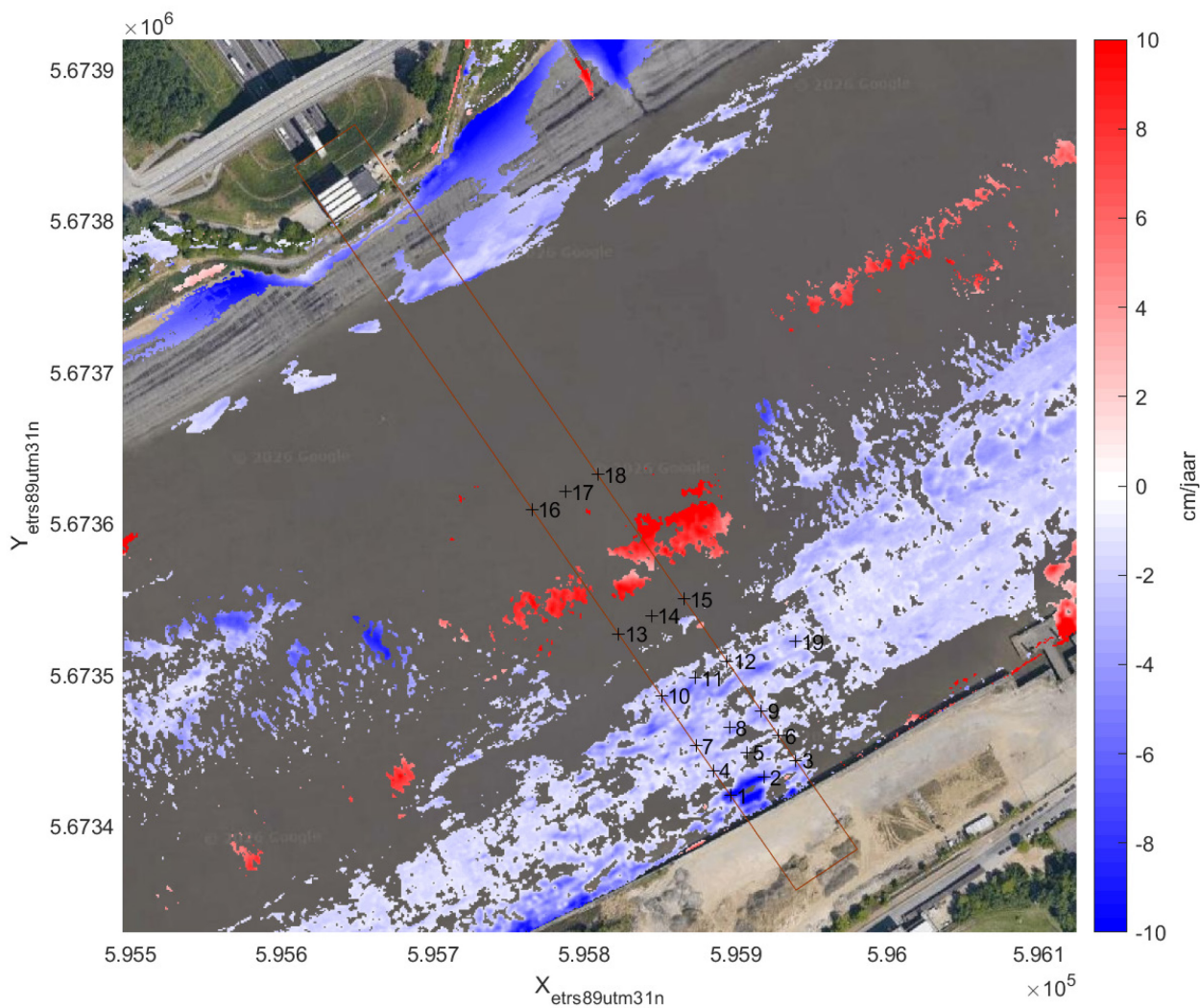
Spatiale lineaire trendanalyse

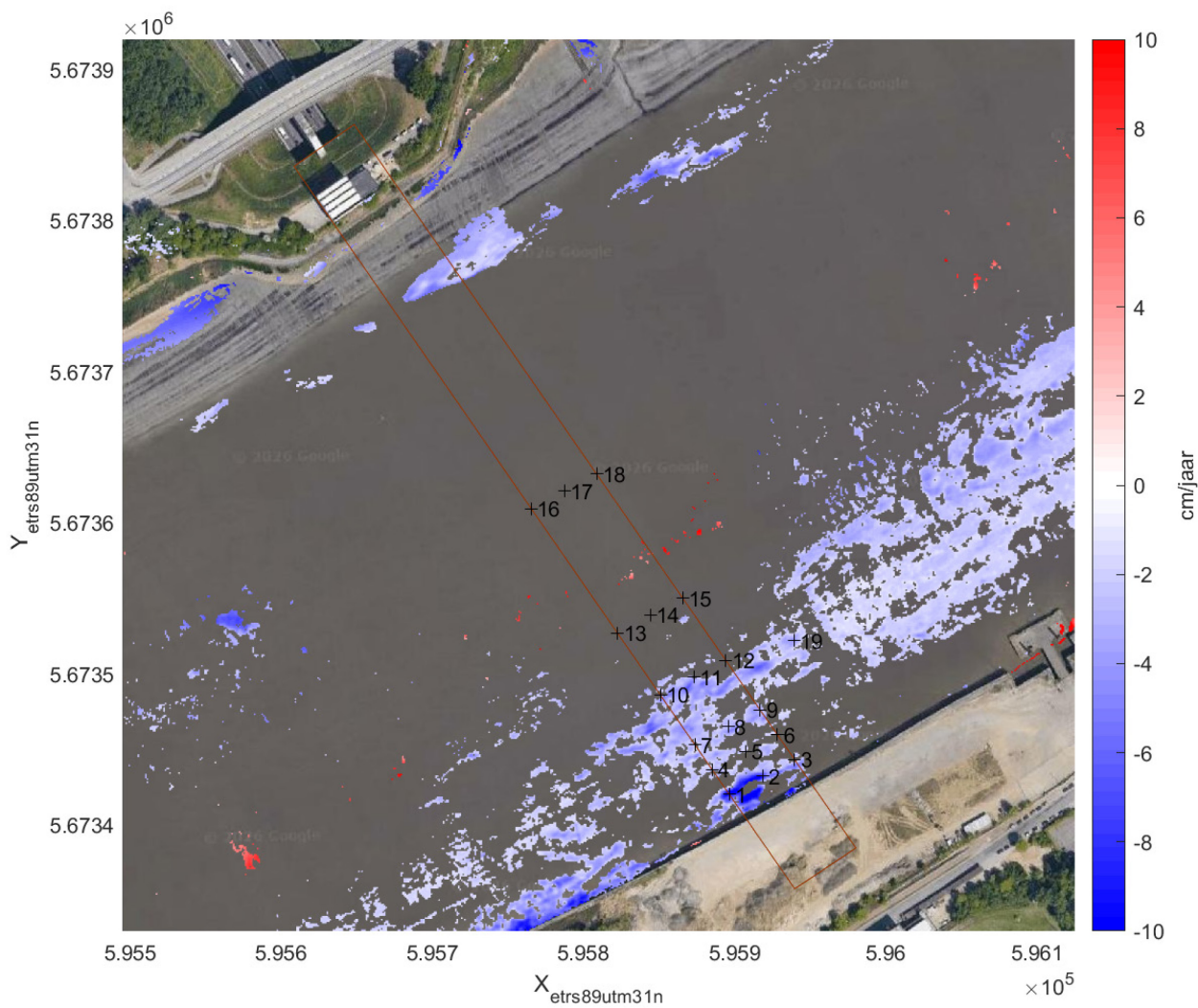


Figuur 33: Sedimentatie(+)/erosie(-) trend (cm/jaar) 2010 – 2025



Figuur 34: R^2 lineaire trend

Figuur 35: Sedimentatie(+)/erosie(-) trend (cm/jaar) voor $R^2 > 0.5$



Figuur 36: Sedimentatie(+)/erosie(-) trend (cm/jaar) voor $R^2 > 0.75$

DEPARTEMENT **MOBILITEIT & OPENBARE WERKEN**
Waterbouwkundig Laboratorium

Berchemlei 115, 2140 Antwerpen

T +32 (0)3 224 60 35

F +32 (0)3 224 60 36

waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be

www.waterbouwkundiglaboratorium.be