



Vlaanderen
is wetenschap

14_024_1
WL rapporten

Agenda voor de toekomst

Stroming en sedimenttransport op de mesoschaal in het Schelde-estuarium

Deelrapport 1
Data-analyse sedimentdynamica ter hoogte van drempels

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Agenda voor de toekomst – Stroming en sedimenttransport op de mesoschaal in het Schelde-estuarium

Deelrapport 1 – Data-analyse sedimentdynamica ter hoogte van drempels

Vos, G.; Wouters, K.; Deleu, J.; Meire, D.; Plancke, Y.; Verwaest, T.; Mostaert, F.

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 2017

D/2025/3241/148

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Vos, G.; Wouters, K.; Deleu, J.; Meire, D.; Plancke, Y.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2017). Agenda voor de toekomst – Strooming en sedimenttransport op de mesoschaal in het Schelde-estuarium: Deelrapport 1 – Data-analyse sedimentdynamica ter hoogte van drempels. Versie 2.0. WL Rapporten, 14_024_1. Waterbouwkundig Laboratorium & Antea Group: Antwerpen.

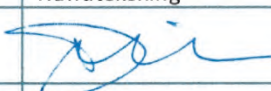
Tot en met de datum van vrijgave, kan overname uit en verwijzen naar deze publicatie enkel mits uitdrukkelijke en schriftelijke toestemming van de opdrachtgever of het Waterbouwkundig Laboratorium. Correcte bronvermelding is steeds noodzakelijk.

Documentidentificatie

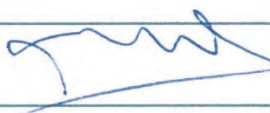
Opdrachtgever:	Vlaams Nederlands Scheldecommissie (VNSC)	Ref.:	WL2017R14_024_1
Keywords (3-5):	Baggeren, Schelde-estuarium, data-analyse, morfologie		
Tekst (p.):	33	Bijlagen (p.):	85
Vertrouwelijk	☒ Ja	Vrijgegeven vanaf:	15/06/2025
		Uitzondering:	☐ Vlaamse overheid

Auteur(s): Vos, G.; Plancke, Y.; Wouters, K.; Deleu, J.

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Meire, D.	
Projectleider:	Plancke, Y.	

Goedkeuring

Coördinator onderzoeksgroep:	Verwaest, T.	
Afdelingshoofd:	Mostaert, F.	



Abstract

Vlaanderen en Nederland voeren in de periode 2014-2017 onderzoek uit binnen het kader van de Agenda voor de Toekomst. Binnen dit kader worden prioritaire kennislacunes opgepakt die moeten toelaten een verbeterd inzicht te krijgen in de belangrijkste topics rond het beheer en beleid van het Schelde-estuarium.

Voorliggend rapport past in het onderzoek naar de hydro- en sedimentdynamische en morfologische processen op mesoschaal, dat onderdeel is van thema 7 uit de Agenda voor de toekomst, i.e. “Morfologische en ecologische effecten sedimentstrategie”. De te verwerven inzichten binnen deze studie zullen toelaten een bijdrage te leveren aan de toekomstige bagger- en stortstrategie.

In dit rapport wordt een data-analyse uitgevoerd om de sedimentdynamica ter hoogte van drempels te bestuderen. Hiervoor werden voor twee belangrijke drempels in het Schelde-estuarium (drempel van Hansweert in de Westerschelde en drempel van Frederik in de Beneden-Zeeschelde) de beschikbare multibeam echo-sounding peilingen geanalyseerd in bagger-vrije periode om de sedimentatiepatronen en –snelheden te berekenen. De resultaten uit deze analyse zullen dienen als basis voor de validatie van numerieke modellen die deze processen zullen trachten te reproduceren in het vervolg van deze studie.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de tabellen.....	VII
Lijst van de figuren	VIII
1 Inleiding	1
1.1 Doelstelling	1
1.2 Plan van aanpak.....	1
2 Situering.....	2
2.1 Drempels	2
2.2 Drempel van Hansweert	2
2.3 Drempel van Frederik	3
3 Voorgaande studies.....	4
3.1 Morfodynamische processen op drempels (Verbeek et al., 1998)	4
3.2 Baggeren en storten in de Westerschelde: een nieuwe kijk op het onderhoudsbaggerwerk (Kornman et al., 2002).....	5
3.3 A model for predicting dredging requirement in the Westerschelde (Wang et al., 2003)	6
3.4 Analyse bagger- en stortdata in de Westerschelde en de Beneden Zeeschelde (Ides et al., 2005) .	7
4 Methodologie	8
4.1 Gebruikte data.....	8
4.1.1 Topo-bathymetrische gegevens	8
4.1.2 Bagger- en stortgegevens	8
4.2 Methode	8
4.2.1 Baggervrije periodes.....	8
4.2.2 Verschilkaarten en erosie/sedimentatiesnelheden	9
4.2.3 Consistentiekaarten.....	10
5 Resultaten.....	11
5.1 Drempel van Hansweert.....	11
5.1.1 Baggervrije periodes.....	11
5.1.2 Sedimentatiepatronen.....	12
5.1.3 Sedimentatiepatronen op de korte termijn	13
5.1.4 Sedimentatiesnelheid	14

5.1.5	Sedimentatiesnelheid op de korte termijn.....	18
5.1.6	Bodemvormen	19
5.1.7	Consistentiekaarten.....	22
5.2	Drempel van Frederik	24
5.2.1	Baggervrije periodes.....	24
5.2.2	Sedimentatiepatronen.....	25
5.2.3	Sedimentatiepatronen op korte termijn	26
5.2.4	Sedimentatiesnelheid	27
5.2.5	Sedimentatiesnelheid op korte termijn.....	27
5.2.6	Consistentiekaarten.....	29
6	Conclusies en aanbevelingen	31
6.1	Conclusies.....	31
6.2	Aanbevelingen	32
7	Referenties	33
8	Figuren	B1

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Overzicht van de start- en einddata van de geselecteerde baggervrije periodes voor de drempel van Hansweert.....	11
Tabel 2 – Overzicht van de start- en einddata van de geselecteerde baggervrije periodes voor de drempel van Frederik.....	24

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Ligging van de drempel van Hansweert en drempel van Frederik binnen het Schelde-estuarium.	3
Figuur 2 – Overzicht menselijke ingrepen (links) en natuurlijke erosie-sedimentatie nabij Hansweert	7
Figuur 3 – Links: Overzicht van de duur van de baggervrije periodes in 2010 in Hansweert, Rechts: Individuele en cumulatieve baggerhoeveelheden en tijdstip van opname van bathymetrische peilingen in 2010 in Hansweert.....	9
Figuur 4 –Wekelijkse sedimentatie- erosie ter hoogte van de drempel van Hansweert voor de periode 15/12/2009 tot 29/3/2010.....	12
Figuur 5 –Wekelijkse sedimentatie- erosie ter hoogte van de drempel van Hansweert voor de periode 9/12/2009 tot 29/3/2010.....	13
Figuur 6 – Ligging polygonen voor berekening van de gemiddelde sedimentatiesnelheid op de drempel van Hansweert	14
Figuur 7 – Gemiddelde sedimentatiesnelheid per afgebakende polygoon op de drempel van Hansweert ..	15
Figuur 8 – Gemiddelde sedimentatiesnelheid per afgebakende polygoon in functie van periode tussen peilingen	16
Figuur 9 – Gemiddelde sedimentatiesnelheid in functie van storthoeveelheden.....	16
Figuur 10 – Gemiddelde sedimentatiesnelheid per afgebakende polygoon t.o.v. gemiddelde sedimentatiesnelheid	17
Figuur 11 –Wekelijkse sedimentatiesnelheid per deelgebied ter hoogte van de drempel van Hansweert voor de periode 9/12/2009 tot 29/3/2010.....	18
Figuur 12 – Overzicht ligging raaien t.b.v. analyse bodemvormen t.h.v. drempel van Hansweert	19
Figuur 13 – Overzicht bodemvormen t.h.v. drempel van Hansweert: raai 1 (boven), raai 2 (midden) en raai 3 (onder)	20
Figuur 14 – Overzicht bodemvormen t.h.v. drempel van Hansweert: raai 4 (boven), raai 5 (midden) en raai 6 (onder)	21
Figuur 15 – Overzicht aantal beschikbare verschilkaarten drempel van Hansweert	22
Figuur 16 – Overzicht consistentiekaart drempel van Hansweert	23
Figuur 17 – Wekelijkse sedimentatie- erosie ter hoogte van de drempel van Frederik voor de periode 15/09/2014 tot 14/11/2014.....	25
Figuur 18 –Wekelijkse sedimentatie-erosie ter hoogte van de drempel van Frederik voor de periode 15/09/2014-14/10/2014 (links) en 14/10/2014-14/11/2014 (rechts).....	26
Figuur 19 –Verloop van gemiddelde sediment concentratie tijdens vloed te Oosterweel	26
Figuur 20 – Ligging polygonen voor berekening van de gemiddelde sedimentatiesnelheid op de drempel van Frederik.....	27
Figuur 21 – Gemiddelde sedimentatiesnelheid per afgebakende polygoon op de drempel van Frederik.....	28
Figuur 22 –Wekelijkse sedimentatiesnelheid per deelgebied ter hoogte van de drempel van Frederik voor de periode 15/09/2014 tot 14/11/2014	28

Figuur 23 – Overzicht aantal beschikbare verschilkaarten drempel van Frederik	29
Figuur 24 – Overzicht consistentiekaart drempel van Frederik: totale periode (links), voor verruiming (midden) en na verruiming (rechts)	30

1 Inleiding

In de periode 2014-2017 zal het vier jaar durend onderzoeksprogramma “Agenda voor de Toekomst” van het Schelde-estuarium uitgevoerd worden. Deze Agenda voor de Toekomst kwam tot stand in het kader van de eerste evaluatie van het Verdrag gemeenschappelijk Beleid en Beheer. De Vlaams-Nederlandse Scheldec commissie heeft met deze Agenda ingestemd op de najaarsvergadering van 2013.

Hierop volgend werd een Plan van Aanpak (Beirinckx *et al.*, 2014) opgemaakt, dat de leidraad is voor het onderzoek 2014-2017. Op basis hiervan zullen deelopdrachten gedefinieerd worden met gedetailleerdere onderzoeksvragen. Voorliggend rapport past in het onderzoek naar de hydro- en sedimentdynamische en morfologische processen op mesoschaal, dat onderdeel is van thema 7 uit de Agenda “Morfologische en ecologische effecten sedimentstrategie”.

1.1 Doelstelling

Voorliggend rapport kadert in het onderzoek dat het doel heeft de kennis inzake hydro- en sedimentdynamische en morfologische processen op mesoschaal te verbeteren, en daardoor een bijdrage te leveren aan de toekomstige bagger- en stortstrategie. In dit rapport zal met behulp van data-analyse de sedimentdynamica ter hoogte van drempels bestudeerd worden.

1.2 Plan van aanpak

Om de sedimentatieprocessen op drempels te bestuderen zal gebruik gemaakt worden van de beschikbare peilingen die door Vlaamse Hydrografie worden uitgevoerd (2 à 3 wekelijks). Hierbij zal gefocust worden op één drempel in de Westerschelde, de drempel van Hansweert, die gekarakteriseerd wordt door sedimentatie van hoofdzakelijk zandig sediment en één drempel in de Beneden-Zeeschelde, de drempel van Frederik, die gekarakteriseerd wordt door sedimentatie van hoofdzakelijk klei, silt en fijn zand.

Voor elke drempel zal volgende aanpak gevolgd worden:

- Analyse van beschikbare peilingen in periodes zonder baggerwerkzaamheden => “natuurlijke sedimentatie”
- Analyse van BIS-data (baggerintensiteiten, naar analogie met [Ides *et al.*, 2007]) voor de periode 2010-2014 (sinds 3^e verruiming)
- Doorrekenen van vergelijkbare periode met numerieke detailmodel van drempelgebied
- Vergelijking van sedimentatiepatronen gesimuleerd in numeriek model en gemeten patronen (gebaseerd op sedimenttransporten en initiële morfologische veranderingen)

Hierbij zal gebruik gemaakt worden van de beschikbare historische analyses (cfr. Groenewoud, 1997; Verbeek, 1998; IMDC, 2014). De resultaten zullen getoetst worden met eerdere modellen die de sedimentatie op drempels weergeven en trachten te voorspellen.

Dit rapport beschrijft de data-analyse van de peilingen en BIS-gegevens. De modellering en vergelijking tussen gemodelleerde en gemeten patronen zal in een later rapport beschreven worden.

2 Situering

De Westerschelde is onderdeel van het Schelde-estuarium en bestaat uit een aaneenschakeling van meanderende ebgeulen en parallel lopende rechte vloedscharen, met daartussen plaatcomplexen. In de monding kunnen er 3 geulen onderscheiden worden, terwijl opwaarts van de Belgisch-Nederlandse grens slechts 1 geul aanwezig is. Ter hoogte van de samenvloeiing/splitsing van 2 geulen ontstaan lokale ondiepten, de drempels. Het sediment in de Westerschelde bestaat voornamelijk uit zand, terwijl meer opwaarts, in de Zeeschelde, ook fijnere fracties voorkomen.

Dit meergeulensysteem is zeer dynamisch vanuit morfologisch standpunt, waarbij geulen kunnen migreren onder invloed van de uitbocht van kromme geulen en tussenliggende platen enerzijds geërodeerd worden door de geulen en anderzijds elders opnieuw kunnen opbouwen in stroomluwe zones. Deze dynamiek is echter sterk gereduceerd door inpolderingen, dijken en oeverbekledingen die de dijken beschermen. Hierdoor is de laterale migratie van geulen sterk gereduceerd, aangezien de geulen tegen de harde grenzen van het estuarium aan liggen.

2.1 Drempels

Drempels zijn door de strooming veroorzaakte lokale ondiepten van los sediment. Ze komen voor in rechte stukken geulen tussen twee bochten of op de overgang tussen twee geulen. Door de geringere diepte in de vaargeul ter hoogte van drempels wordt de scheepvaart belemmerd. Om de toegankelijkheid van de Scheldehavens te garanderen, wordt sinds eind 19^e eeuw onderhoudsbaggerwerk op de natuurlijke drempels in het Schelde-estuarium uitgevoerd. Wegens de beperkte uitwisseling van sediment tussen de Westerschelde en de monding, wordt het gebaggerde sediment teruggestort in het estuarium. Vanaf 1999 wordt deze data opgeslagen als gedetailleerde bagger- en stortintensiteitskaarten. Deze bagger- en stortintensiteiten zijn terug te vinden in het Bagger Informatie Systeem (BIS) van afdeling Maritieme Toegang.

Naast de hoge economische kosten van het baggeren worden ook een aantal andere negatieve aspecten aan het baggeren toegewezen, m.n. een negatief effect op het ecologisch functioneren (retourstroming zorgt voor een tijdelijk verhoogde microdynamiek, platen vergroten/verhogen, tijdelijk verhoging van de troebelheid, bedreiging van het meergeulensysteem).

Een beter begrip van de morfo- en hydrodynamiek van drempels met het oog op morfologisch beheer heeft dus als doel om deze negatieve effecten te verkleinen/vermijden, en eventueel de baggerkosten te drukken.

Binnen dit rapport zullen de ontwikkelingen ter hoogte van 2 drempels onderzocht worden, met name de drempel van Hansweert en de drempel van Frederik, waarvan de ligging wordt weergegeven in Figuur 1.

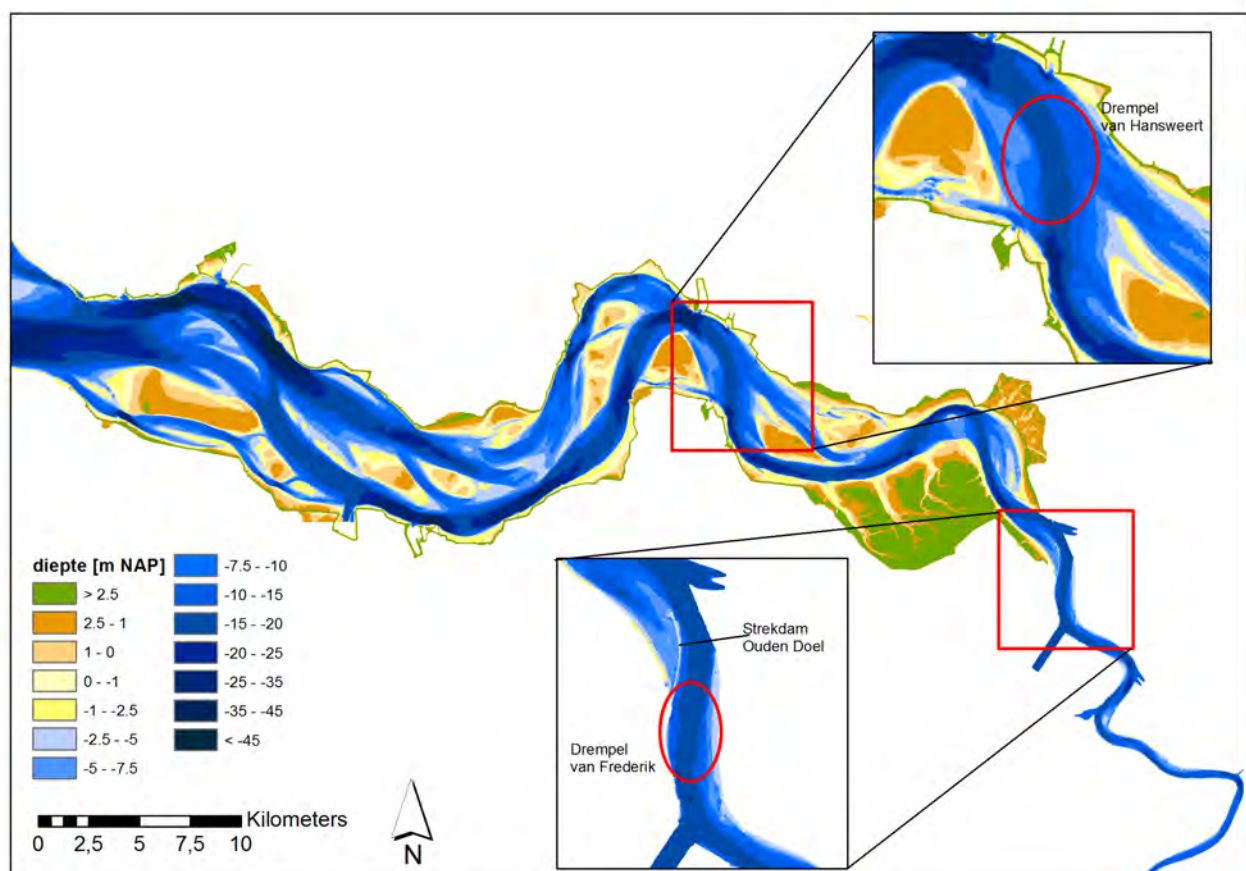
2.2 Drempel van Hansweert

Ter hoogte van de drempel van Hansweert is de hoofdgeul breed en ondiep. De drempel bevindt zich op een recht stuk tussen 2 meanders van de hoofdgeul die niet perfect op mekaar aansluiten (de geul uit het noorden loopt als het ware 'langs' die uit het zuiden). Er is een aftakking naar de Schaar van Waarde in het verlengde van de hoofdgeul en een aftakking naar de Schaar van Ossensisse in het zuidelijke deel van het drempelgebied. Dergelijke drempel wordt omschreven als het 'ontwijkende geulen' type.

2.3 Drempel van Frederik

De Drempel van Frederik is gelegen net afwaarts van Deurganckdok, en opwaarts van de strekdam van Ouden Doel. Deze strekdam werd aangelegd in de periode 1966/69 en had als doel om de ebstroom te concentreren en de vloedstroom in de scharen te beteugelen. Op deze manier zou men grotere natuurlijke diepten in stand kunnen houden door een groter uitschuringseffect, en zo de baggerinspanningen ter hoogte van de Zandvliet-Berendrechtsluis kunnen verlagen. Deze ingreep had evenwel ook een opwaarts effect: hier trad divergentie van de stroming op, wat leidde tot een verhoogde aanzanding van de Drempel van Frederik.

Figuur 1 – Ligging van de drempel van Hansweert en drempel van Frederik binnen het Schelde-estuarium.



3 Voorgaande studies

3.1 Morfodynamische processen op drempels (Verbeek et al., 1998)

De morfologie van drempels wordt door 3 hoofdmechanismen beïnvloed:

- Ruimtelijke scheiding eb- en vloedstroombaan op de drempel
- Verdeling getijvolume over hoofd- en nevengeulen
- Convergentie/divergentie in de stroombanen rond de drempel

De **ruimtelijke scheiding van de eb- en vloedstroombanen** (i.e. de afstand tussen de stroombanen) beïnvloedt de vorm en het oppervlak van de geuldoorsnede. Bij toename van de ruimtelijke scheiding van eb- en vloedstroombanen zal de geul daardoor breder en ondieper worden en een grotere geuldwarsdoorsnede hebben. Dit houdt tevens een afname van de efficiëntie van het gebruik van het geuloppervlak in. Wanneer eb en vloed grotendeels dezelfde delen van de geul gebruiken is een kleinere geuldoorsnede voldoende, met een relatief smal en diep profiel. De ruimtelijke scheiding is een gevolg van de verschillende uitbocht van de eb- en vloeddelen in de geulen.

De **verdeling van het getijvolume** tussen de hoofd- en nevengeulen beïnvloedt de grootte van de geuldoorsnede van een drempel. Een groter getijvolume leidt logischerwijze tot een groter geuloppervlak. Door Blik en Ruijter (1994) werd een sterke correlatie aangetoond tussen getijvolume en geuloppervlak. Indien de stroming voor een drempel deels aftakt via een nevengeul, wordt het getijvolume verdeeld over beide geulen en is het getijvolume over de drempel dus kleiner dan in de hoofdgeul voor de splitsing. Omgekeerd zal een samenvloeiing het getijvolume over de drempel en daarmee ook het geuloppervlak doen toenemen. Dit effect dient per getijfase beschouwd te worden, want een splitsing voor een drempel in de ene getijfase wordt een samenvloeiing voorbij de drempel tijdens de andere getijfase.

Het mechanisme van **convergentie/divergentie** in de stroombanen rond de drempel beïnvloedt de vorm van het geuloppervlak als volgt: divergerende stroming leidt tot een relatief brede en ondiepe geul en convergerende stroming leidt tot een relatief smalle en diepe geul. Daarnaast heeft convergentie en divergentie ook een invloed op de grootte van de geuldoorsnede door de invloed op de snelheidsverdeling van de stroming over de verticaal en daardoor op het zandtransport.

Morfodynamische processen die deze mechanismen aansturen zijn: secundaire stroming, getij-residuele stroming, over- en onderverzadiging en getij-asymmetrie.

3.2 Baggeren en storten in de Westerschelde: een nieuwe kijk op het onderhoudsbaggerwerk (Kornman et al., 2002)

In de literatuurstudie binnen dit rapport [Kornman et al., 2002] worden een aantal bepalende factoren opgelijst die van invloed zijn op het onderhoudsbaggerwerk:

- De **overdiepte**: Allersma (1992) stelt dat de sedimentatiesnelheid zal groter zijn naarmate de overdiepte groter wordt
- **Sedimentbeschikbaarheid**: Pieters (1991) en Vroon (1993) geven aan dat de sedimentsnelheid bepaald wordt door de stortstrategie, met name de afstand tussen de bagger- en stortlocaties
- **Sedimenttransportcapaciteit**: deze zal bepalen in welke mate sediment aangevoerd kan worden naar een drempel en is dus gerelateerd aan de lokale hydrodynamische condities
- **Plaat-geul-uitwisseling**: WL Delft Hydraulics (1996) identificeert dat de plaat-geul-uitwisseling een belangrijke rol zal spelen als de onderhoudshoeveelheden zouden toenemen bij een verruiming

Er wordt tevens een analyse uitgevoerd van de voorspellingen van het onderhoudsbaggerwerk na de 2^e verruiming van de vaargeul. Hierin wordt verwezen naar [TSC, 1984] waarin een voorspelling wordt gemaakt van het onderhoudsbaggerwerk. Deze voorspelling komt neer op een toename van het onderhoudsbaggerwerk met 6,4 Mm³/jaar. Deze voorspelling is gebaseerd op een extrapolatie van de onderhoudshoeveelheden gerelateerd aan de “overdiepte” van de verschillende drempels. De grotere “overdiepte” zal via een empirische relatie met het onderhoud (die exponentieel/sterker dan lineair wordt beschouwd), aanleiding geven tot aanzienlijk grotere onderhoudsvolumes. Een second opinion door WL Delft Hydraulics [WL Delft Hydraulics, 1996] geeft aan dat dergelijke relatie niet algemeen geldig is en dat extrapolatie buiten het databereik twijfelachtig is. Uit de waarnemingen blijkt dat deze voorspelling aanzienlijk hoger ligt dan de werkelijke onderhoudshoeveelheden na de 2^e verruiming.

In het rapport voeren Kornman et al. (2002) een analyse uit van de bagger- en stortgegevens na de 2^e verruiming. Er wordt geconcludeerd dat de bijdrage van de overdiepte in het verleden overschat is. Het is eerder de oppervlakte van de drempel waar onderhoud nodig is, dat de onderhoudshoeveelheden bepaalt. Daarnaast wordt ook een verwijzing gemaakt van “opdringende platen” die kunnen zorgen voor een toename in het onderhoudsbaggerwerk. Tenslotte wordt ook aangegeven dat er geen directe relatie werd gevonden door baggerintensiteit en stortomvang in de nabije omgeving. Als verklaring wordt het belang van de lokale morfologie aangehaald in combinatie met de waterbeweging (beperking in sedimenttransportcapaciteit).

3.3 A model for predicting dredging requirement in the Westerschelde (Wang et al., 2003)

In deze paper wordt gebruik gemaakt van een model-concept waarbij uitgegaan wordt van een evenwichtsdiepte ter hoogte van drempels die verstoord wordt via het creëren van een “overdiepte” door baggerwerken. Hierdoor ontstaat een vraag naar sediment waardoor er sedimentatie kan optreden. Volgende factoren spelen een rol in de sedimentatiesnelheid:

- De oppervlakte van de drempel
- De overdiepte
- De sedimenttransportcapaciteit
- De verticale uitwisselingsnelheid ter hoogte van de drempel

De wordt weergegeven in volgende formule:

$$\frac{S}{\delta \cdot c_E} = \left(\frac{\frac{w_s \cdot A}{\delta}}{1 + \frac{w_s \cdot A}{\delta}} \right) \cdot \left(1 - \left(\frac{1}{1 + \frac{\Delta h}{h_e}} \right)^n \right)$$

Met: S = baggerbezwaar [m^3/s]

δ = horizontale uitwisselingscoëfficiënt [m^3/s]

c_E = sediment concentratie in de omgeving [-]

w_s = verticale uitwisselingscoëfficiënt [m/s]

A = oppervlakte van de drempel [m^2]

Δh = overdiepte [m]

h_e = evenwichtsdiepte [m]

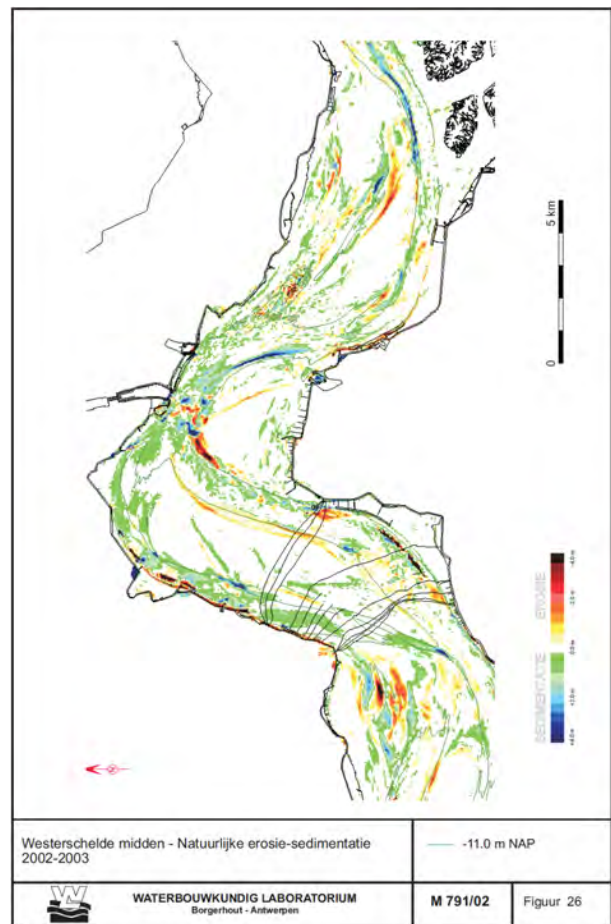
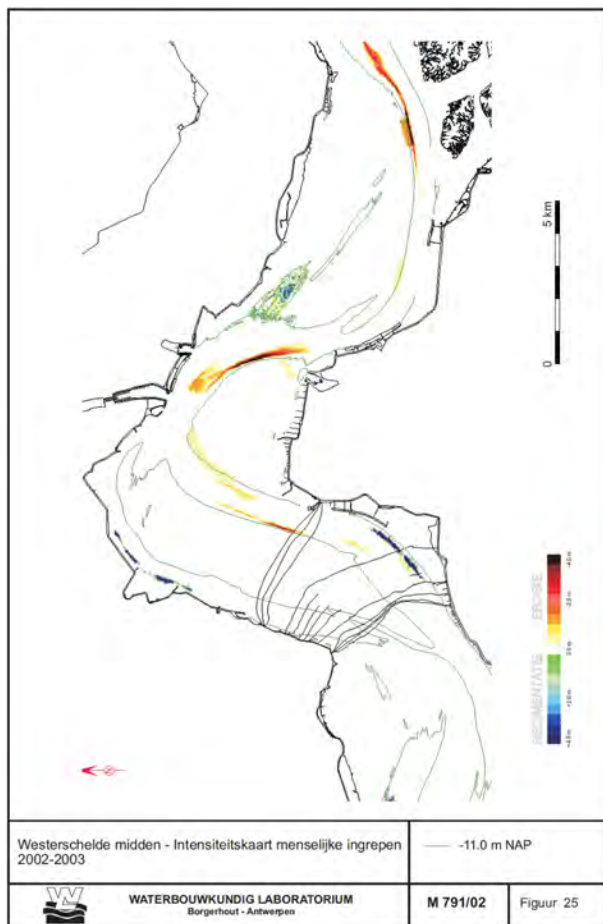
n = constante [-]

Wang et al. (2003) geeft aan dat zowel δ , c_E als h_e onbekend zijn en geschat dienen te worden. In de paper wordt een analyse uitgevoerd voor 4 drempels in de Westerschelde (Bath, Valkenisse, Hansweert en Borssele). Hieruit blijkt dat met name de oppervlakte van de drempel een bepalende factor is in de onderhouds-hoeveelheden.

3.4 Analyse bagger- en stortdata in de Westerschelde en de Beneden Zeeschelde (Ides et al., 2005)

In de studie “Analyse bagger- en stortdata in de Westerschelde en de Beneden Zeeschelde” [Ides et al., 2005] worden de erosie-sedimentatie patronen in de Beneden-Zeeschelde en Westerschelde in beeld gebracht voor de periode 2000-2005. Op basis van de ruimtelijke en temporele bagger- en stortgegevens (uit het BaggerInformatieSysteem, i.e. BIS-data) wordt een beeld gegeven van de sedimentatie ter hoogte van drempels alsook de verspreiding van gestorte sedimenten. Figuur 2 geeft een voorbeeld van deze ruimtelijke patronen ter hoogte van de drempel van Hansweert. Hieruit is duidelijk te zien dat de onderhoudsbaggerwerken niet over de volledige oppervlakte van de drempel plaatsvinden maar geconcentreerd zijn langs de rand van de Platen van Ossenisse.

Figuur 2 – Overzicht menselijke ingrepen (links) en natuurlijke erosie-sedimentatie nabij Hansweert
(bron: Ides et al., 2007)



4 Methodologie

4.1 Gebruikte data

4.1.1 Topo-bathymetrische gegevens

Voor het uitvoeren van dit onderzoek zal gebruik gemaakt worden van de beschikbare topo-bathymetrische gegevens. Deze dataset bestaat uit recente multibeam gegevens opgemeten in het kader van de opvolging van het project “verruiming vaargeul” (resolutie van 1x1m), en uit oudere singlebeam of multibeam gegevens¹ opgemeten in de reguliere opvolging van de onderhoudsbaggerwerken. Deze gegevens zullen in een GIS-omgeving verder geanalyseerd worden (verschilkaarten, sedimentatiesnelheden, trendanalyse...).

4.1.2 Bagger- en stortgegevens

In het BIS van afdeling Maritieme Toegang worden de bagger- en stortdata opgeslagen. Deze informatie (geaggregeerd tot op week-niveau) zal in eerste instantie gebruikt worden voor het afbakenen van baggervrije periodes om op deze manier periodes te kunnen selecteren waarbinnen een ‘natuurlijke’ ontwikkeling van de drempel opgevolgd kan worden en dus een sedimentatiesnelheid berekend kan worden.

4.2 Methode

4.2.1 Baggervrije periodes

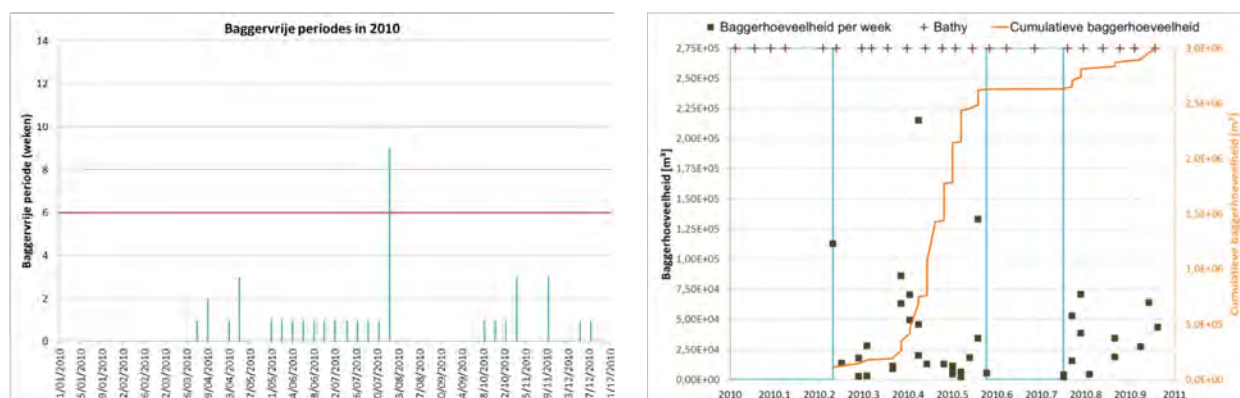
Om de sedimentatie op drempels in beeld te brengen is het belangrijk dat de invloed van menselijke activiteiten minimaal is. Hiervoor wordt in een eerste stap op basis van de BIS-gegevens voor beide te bestuderen drempels periodes geselecteerd waarin minstens 6 weken niet gebaggerd werd (zie Figuur 3 voor illustratie, volledige analyse is weergegeven in Figuur A 1 tot en met Figuur A 16).

¹ Aangezien voor 2007 de meeste peilingen singlebeam metingen zijn werd er in eerste instantie geopteerd om deze peilingen nog niet mee te nemen in de analyse en de analyse te beperken tot de periode 2007-2015, te meer omdat voor de jaren 2000, 2001, 2003 en 2004 geen baggervrije periodes konden gevonden worden in Hansweert.

SBES (Singlebeam echo sounder) metingen= gemeten raai die geïnterpoleerd wordt naar een grid

MBES (Multibeam echo sounder) metingen= gebiedsdekkend gemeten en vergrid naar een regelmatig rooster (puntendensiteit > 1/m²)

Figuur 3 – Links: Overzicht van de duur van de baggervrije periodes in 2010 in Hansweert, Rechts: Individuele² en cumulatieve baggerhoeveelheden en tijdstip van opname van bathymetrische peilingen in 2010 in Hansweert (baggervrije periodes worden aangeduid met een blauwe kader)



Zulke periode geeft een onverstoord beeld van de natuurlijke sedimentatiepatronen ter hoogte van de drempel. Vervolgens worden uit de beschikbare multibeam gegevens die opnames geselecteerd die binnen de in de eerste stap gedefinieerde ‘baggervrije periodes’ vallen. Hierbij wordt een buffer van een week in acht genomen. Hierdoor wordt een peiling, uitgevoerd in de week dat de baggeractiviteiten gestart zijn of gestopt zijn, alsnog mee in beschouwing genomen. Gelet op de beperkte beschikbaarheid van peilingen zorgt dit voor extra gegevens in de analyse. De eventuele baggerhoeveelheden in de periode tussen het uitvoeren van de peiling (bv. op donderdag) en het beginnen (bv. op dinsdag), resp. eindigen (bv. op zaterdag) van de baggerwerken, worden klein verondersteld (in bovenstaande voorbeelden telkens overlap van 2 dagen).

4.2.2 Verschilkaarten en erosie/sedimentatiesnelheden

De geselecteerde multibeam-gegevens worden vervolgens gebruikt voor het aanmaken van verschilkaarten. Bij het aanmaken van de verschilkaarten wordt telkens een verschil gemaakt tussen de eerste en de laatste peiling van de periode. Om de verschillen vergelijkbaar te maken wordt het verschil teruggebracht naar een erosie-/sedimentatiehoeveelheid per week (tijdsduur tussen twee opeenvolgende peilingen wordt gedeeld door aantal tussenliggende dagen en vermenigvuldigd met 7).

Om de erosie/sedimentatiesnelheden te kunnen vergelijken met de werkelijkheid, werd bij de keuze van de grenzen tussen de klassen in deze figuren rekening gehouden met de in de Wbr-vergunning toegelaten overdiepte in de Westerschelde: “De overdiepte³ mag niet meer dan 0,7 meter bedragen, met dien verstande dat de gemiddelde overdiepte van alle betreffende drempels tezamen niet meer dan 0,3 meter bedragen. De maximale tolerantie beneden de aldus bepaalde aanlegdiepte bedraagt 0,3 meter.”

De gehanteerde grenzen kunnen als volgt geïnterpreteerd worden:

- een erosie of sedimentatie van 1,25 cm/week komt overeen met 0,7 m op 12 maanden
- een erosie of sedimentatie van 2,50 cm/week komt overeen met 0,7 m op 6 maanden
- een erosie of sedimentatie van 5 cm/week komt overeen met 0,7 m op 3 maanden

Op deze manier kan dus ingeschat worden hoe snel een bepaalde zone opnieuw gebaggerd zal moeten worden. Als bv. de sedimentatie 5 cm/week bedraagt, zal, wanneer een overdiepte van 7 dm beneden het

² In de grafieken is het mogelijk dat er verschillende punten per week zichtbaar zijn. Elk punt geeft de wekelijkse hoeveelheid per stortlocatie weer. Meerdere punten betekent dat er meerdere stortlocaties zijn gebruikt op de vrijgekomen specie van het baggeren op de drempel terug te storten.

³ De overdiepte is de extra diepte beneden de vergunde getij-onafhankelijke diepgang. Zo bedraagt na de 3^e verruiming het interventiepeil -147 dm LAT (i.e. 131 dm + 12,5% kielspeling), en mag dus, rekening gehouden met 7 dm overdiepte, maximaal tot -154 dm LAT gebaggerd worden.

interventiepeil is gerealiseerd na een onderhoudscampagne, de drempel na 3 maanden opnieuw het interventiepeil bereiken.

4.2.3 Consistentiekaarten

Om een beeld te krijgen van de representativiteit van de erosie-sedimentatiepatronen afgeleid uit de verschilkaarten, worden ook consistentiekaarten opgemaakt. Dergelijke kaart geeft weer of een punt/gebied systematisch onderhevig is aan sedimentatie of erosie, of eerder gekenmerkt wordt door een afwisseling van erosie en sedimentatie. Een consistentiekaart wordt opgemaakt door de verschillende verschilkaarten onderling te vergelijken: per verschilkaart wordt een afgeleide kaart gemaakt waarbij de punten met erosie de waarde +1 toegekend wordt, die met sedimentatie -1. Door de som te maken van de verschillende afgeleide kaart ontstaat een consistentiekaart waarbij een punt dat “consistent” erodeert, resp. sedimenteert, een waarde +1 x aantal kaarten, dan wel -1 x aantal kaarten krijgt. Door de waarde te delen door het totaal aantal kaarten krijgt men een relatief beeld:

- +1: steeds erosie
-]+1, 0[: meer erosie dan sedimentatie
- 0: evenveel erosie dan sedimentatie
-]0, -1[: meer sedimentatie dan erosie
- -1: steeds sedimentatie

5 Resultaten

5.1 Drempel van Hansweert

5.1.1 Baggervrije periodes

Figuur A 1 tot en met Figuur A 18 geeft voor de drempel van Hansweert voor elk jaar enerzijds het aantal baggervrije weken weer, anderzijds een overzicht van de baggerhoeveelheden (per week en cumulatief). Daarnaast worden op de figuren met de baggerhoeveelheden de baggervrije periodes aangeduid en de timing van de bathymetrische opnames (kruisjes in onderste figuur).

In 2000, 2001, 2003 en 2004 komen geen baggervrije periodes voor die langer duren dan 6 weken. In 2002 is er 1 baggervrije periode waarbinnen slechts 1 (singlebeam) peiling gebeurde. In 2005 komen 3 baggervrije periodes voor van 6 weken (waarvan 1 doorloopt tot in 2006). In 2006 komen ook 3 baggervrije periodes voor waarvan ook de laatste weer doorloopt tot in 2007. In 2005 en 2006 zijn de meeste peilingen echter nog singlebeam, dus werd geadviseerd om pas vanaf 2007 analyses door te rekenen (de peilingsfrequentie verschilt tussen singlebeam (33 of 210 kHz) en multibeam (300 kHz) opnames wat problemen zou kunnen geven bij vergelijking tussen twee peilingen omdat de terugkaatsing van het signaal op een verschillende diepte (bodemdichtheid) gebeurt).

Tabel 1 – Overzicht van de start- en einddata van de geselecteerde baggervrije periodes voor de drempel van Hansweert

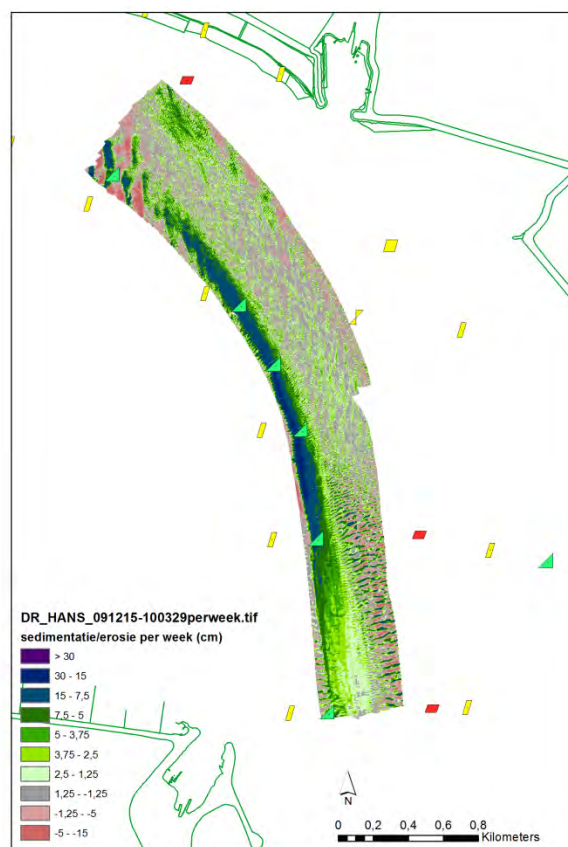
Startdatum Baggervrije periode	Einddatum Baggervrije periode	Aantal baggervrije weken	Datum eerste peiling	Datum laatste peiling	Aantal weken tss. uiterste peilingen
10/03/2007	05/05/2007	8	02/04/2007	30/04/2007	4
05/05/2007	28/07/2007	12	27/05/2007	23/07/2007	8
09/03/2008	01/06/2008	12	17/03/2008	27/05/2008	10
28/09/2008	16/11/2008	7	29/09/2008	10/11/2008	6
07/12/2008	02/03/2009	12	12/01/2009	23/02/2009	6
20/04/2009	08/06/2009	7	20/04/2009	16/06/2009	8
24/08/2009	09/11/2009	11	08/09/2009	03/11/2009	8
07/12/2009	23/03/2010	15	15/12/2009	29/03/2010	15
Uitvoering verruiming vaargeul tot 43' getij-onafhankelijk vaart					
27/07/2010	28/09/2010	9	02/08/2010	05/10/2010	9
04/05/2011	15/06/2011	6	16/05/2011	30/05/2011	2
10/08/2011	05/10/2011	8	10/08/2011	04/10/2011	8
12/01/2012	01/03/2012	7	31/01/2012	10/02/2012	1,5
17/05/2012	12/07/2012	8	31/05/2012	02/07/2012	5
01/11/2012	18/01/2013	11	05/11/2012	15/01/2013	10
05/07/2013	23/08/2013	7	16/07/2013	26/08/2013	6
15/11/2014	04/01/2015	7	28/11/2014	08/01/2015	6
22/05/2016	27/07/2016	10	25/05/2016	20/07/2016	8
08/08/2016	26/09/2016	7	16/08/2016	12/09/2016	4
07/12/2016	26/01/2017	7	09/12/2016	19/01/2017	6
04/04/2017	28/05/2017	8	12/04/2017	24/05/2017	6

Tabel 1 geeft een overzicht van de geselecteerde baggervrije periodes die meegenomen werden in de analyse. Het aantal baggervrije weken wordt eveneens aangeduid, alsook de datum van opname van de eerste en de laatste peiling die binnen deze baggervrije periode gebeurde en het aantal weken hiertussen. Indien er een peiling meegenomen wordt die valt binnen de bufferperiode van 1 week voor de start of na het einde van de baggervrije periode, wordt dit aangeduid door een oranje marking in de tabel. In 2010 werd de vaargeul verruimd (tot 43' getij-onafhankelijke vaart), dit moment wordt aangeduid in de tabel met een dubbele lijn.

5.1.2 Sedimentatiepatronen

Figuur 4 geeft voor de drempel van Hansweert voor de periode 15/12/2009 tot 23/3/2010 de sedimentatie- en erosiepatronen weer per week. Hierbij is te zien dat de sedimentatie op de drempel zich vooral voordoet aan de westelijke zijde van de gepeilde zone, meer bepaald ter hoogte van de groene boeienlijn ('drempelzone'). Er is eveneens een sedimentatiezone zichtbaar in het noordoosten van de gepeilde zone.

Figuur 4 –Wekelijkse sedimentatie- erosie ter hoogte van de drempel van Hansweert voor de periode 15/12/2009 tot 29/3/2010

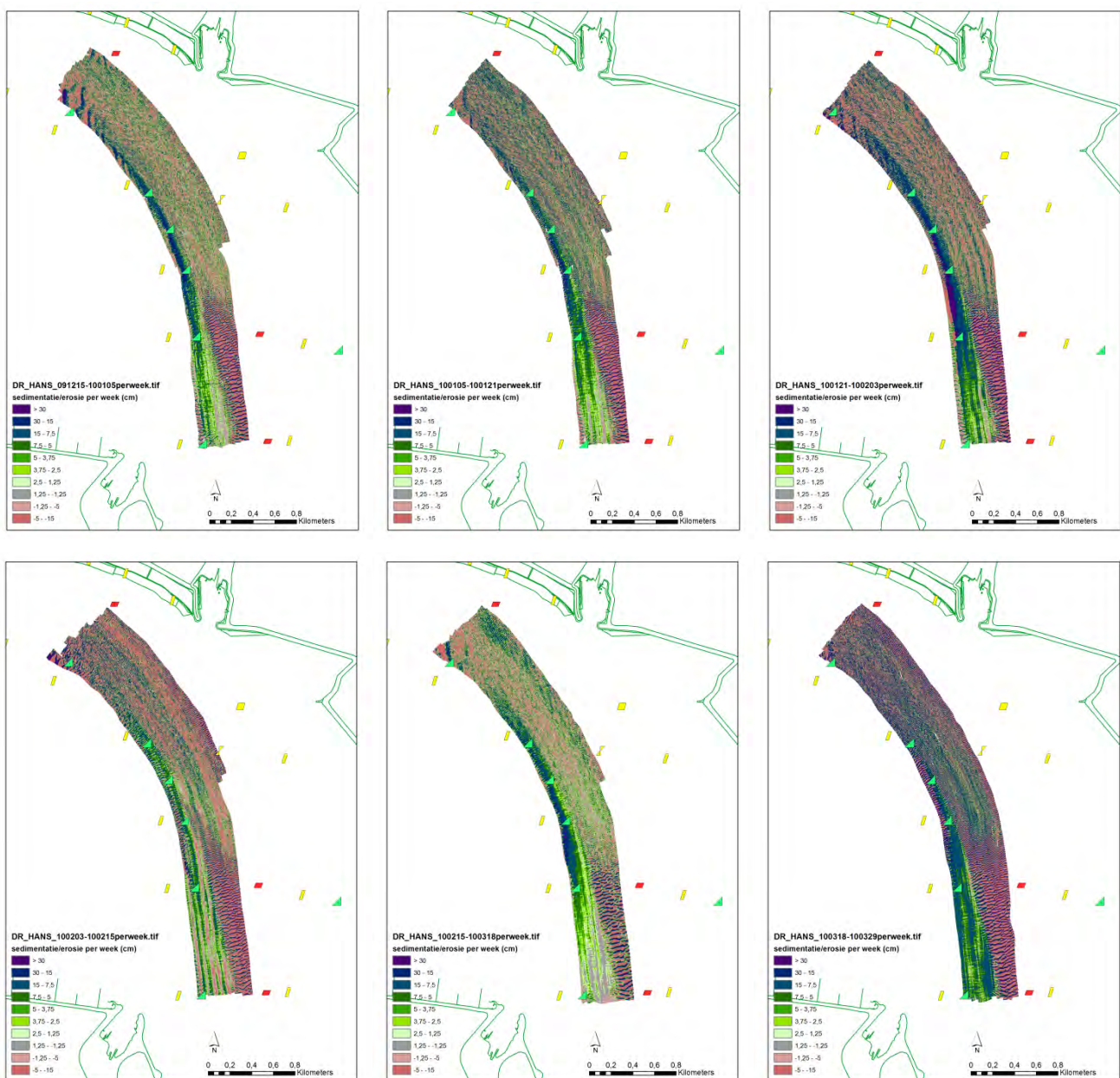


Figuur A 35 tot en met Figuur A 55 geeft voor alle periodes de sedimentatie-erosieplots weer. Doorheen de tijd blijft het zwaartepunt van de sedimentatie geconcentreerd in deze zone, maar breidt nu en dan meer noordelijk en/of zuidelijk uit. In het zuidoosten van de gepeilde zone is een duinenzone zichtbaar, evenals in de noordwestelijke hoek van de gepeilde zone. In de periode van 2/4/2007 tot 30/4/2007 (Figuur A 35) is een sedimentatiezone zichtbaar in het noordoosten van de gepeilde zone die tevens terugkomt in de periode 2/8/2010 tot 5/10/2010 (Figuur A 44). Voor het overige deel van de gepeilde zone is in sommige periodes (bv. 2/4/2007 tot 30/4/2007, 13/10/2008 tot 10/11/2008, 2/8/2010 tot 5/10/2010) eerder erosie merkbaar, terwijl in andere periodes (bv. 17/3/2008 tot 27/5/2008, 15/12/2009 tot 29/3/2010 en 5/11/2012 tot 15/1/2013) eerder sedimentatie zichtbaar. Dit lijkt niet seizoensgebonden te zijn. Wel is in de drempelzone duidelijk meer intense sedimentatie zichtbaar tijdens de langere periodes (bv. 17/3/2008 tot 27/5/2008 - Figuur A 37 en 15/12/2009 tot 29/3/2010 - Figuur A 43).

5.1.3 Sedimentatiepatronen op de korte termijn

Figuur 5 geeft voor de drempel van Hansweert voor de periode 9/12/2009 tot 29/3/2010 de sedimentatie- en erosiepatronen voor de verschillende deelperiodes. Hierbij worden de erosie-sedimentatie plots getoond voor de verschillende beschikbare deelperiodes. Hierbij is het duidelijk dat de erosie-sedimentatie patronen over een langere periode minder variabiliteit tonen dan de tussenliggende periodes. Voor bepaalde zones (zoals het zuid-oostelijke deel van de drempel) is dit gerelateerd aan de aanwezigheid van bodemvormen die continu migreren. Mogelijks manifesteren zich in de kortere tussenliggende periodes kleinere afwijkingen te wijten aan de uitvoering van de peilingen zich meer uitgesproken (e.g. gepeilde stroken volgens vaartracks die zichtbaar worden of kleine systematische verticale afwijkingen (getij-correctie)).

Figuur 5 –Wekelijkse sedimentatie- erosie ter hoogte van de drempel van Hansweert voor de periode 9/12/2009 tot 29/3/2010



5.1.4 Sedimentatiesnelheid

Binnen de dominante aanzandingszone ('drempelzone') werden vervolgens 9 polygonen (Figuur 6) afgebakend, waarbinnen de gemiddelde sedimentatiesnelheid per week en per oppervlak (m^2) berekend werd. Op deze manier kunnen zowel verschillen in tijd als wat betreft locatie geïdentificeerd worden. Polygonen 1 tot en met 5 focussen op de zone met de grootste sedimentatie langs de groene boeizijde, polygonen 6 en 7 liggen centraal, en polygonen 8 en 9 aan de oostzijde (rode boeizijde) van de gepeilde zone.

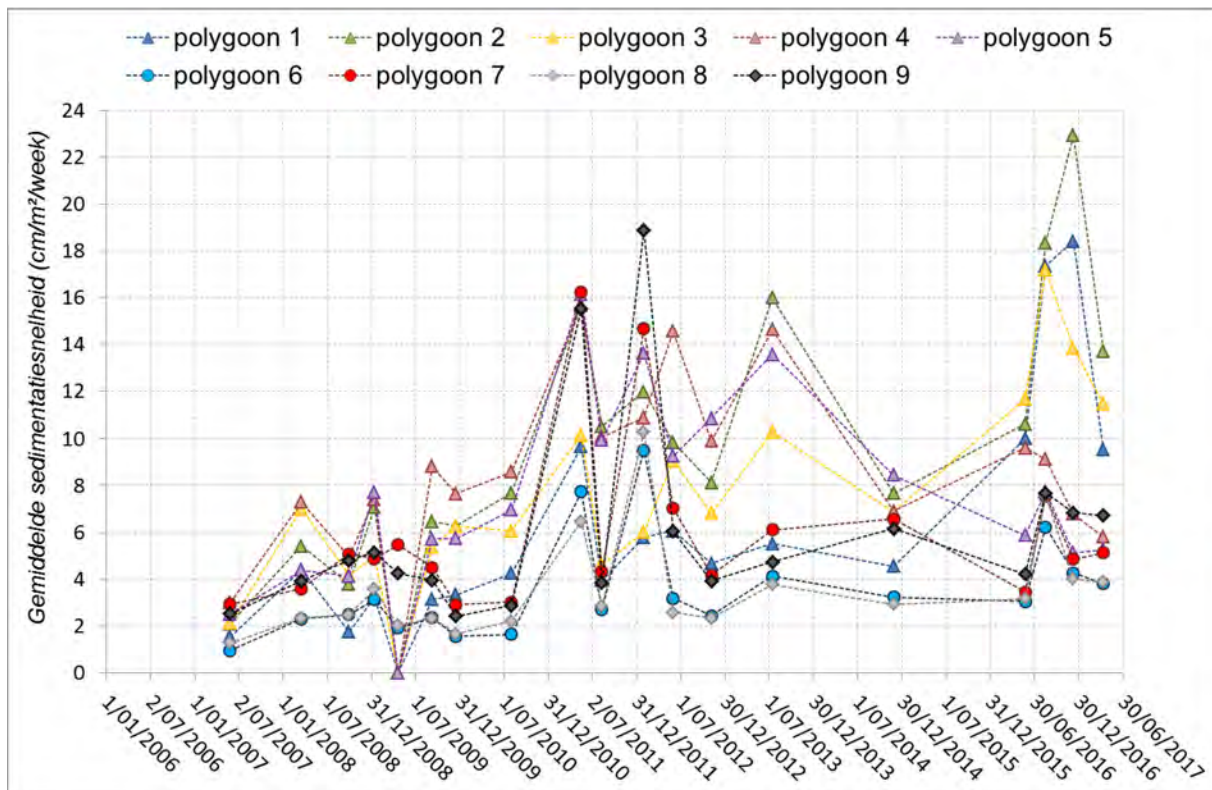
Figuur 6 – Ligging polygonen voor berekening van de gemiddelde sedimentatiesnelheid op de drempel van Hansweert



Figuur 7 geeft voor elk van de polygonen en voor elke baggervrije periode doorheen de tijd deze gemiddelde sedimentatiesnelheid weer (in cm/week). Er dient opgemerkt te worden dat de gepresenteerde sedimentatiesnelheden bepaald zijn door enkel de punten te beschouwen binnen de polygoon waar sedimentatie optreedt. In andere punten zal erosie optreden. In een gebied met bodemvormen, zal de verhouding sedimentatie-erosie eerder gelijk zijn door de migratie van de bodemvormen (bv. gebied 9) en zal de netto sedimentatie in dergelijk gebied eerder klein zijn. Wanneer echter het merendeel van het gebied gekenmerkt wordt door sedimentatie (bv. gebied 4), zal de netto sedimentatie groot zijn.

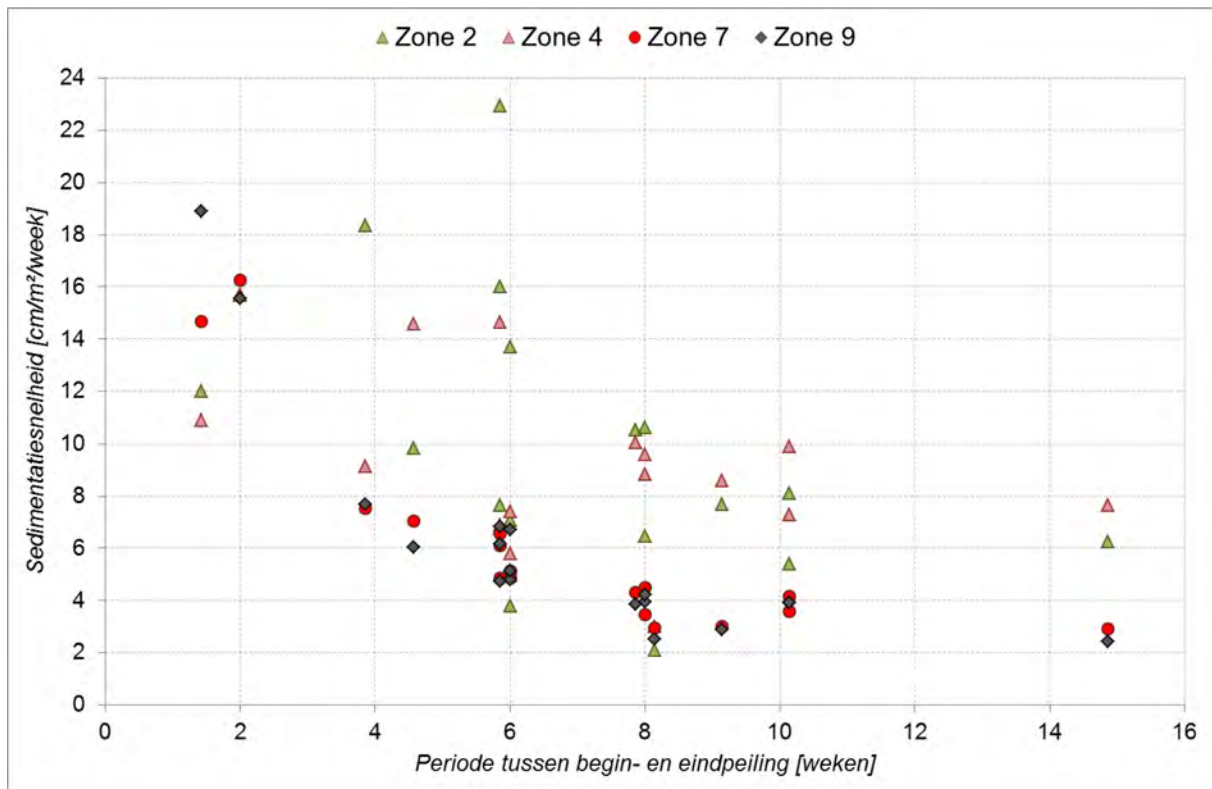
De sedimentatiesnelheden lijken toe te nemen na 2010, vooral langs de groene kant van de drempel (polygoon 1 tot en met 3). Dit kan mogelijk gerelateerd worden aan de verruiming van de vaargeul in 2010 en de bijbehorende morfologische aanpassingen die langs de vaargeul plaatsvinden, alsook aan de gewijzigde stortstrategie waarbij meer gestort wordt in de diepe delen van de vaargeul.

Figuur 7 – Gemiddelde sedimentatiesnelheid per afgebakende polygoon op de drempel van Hansweert

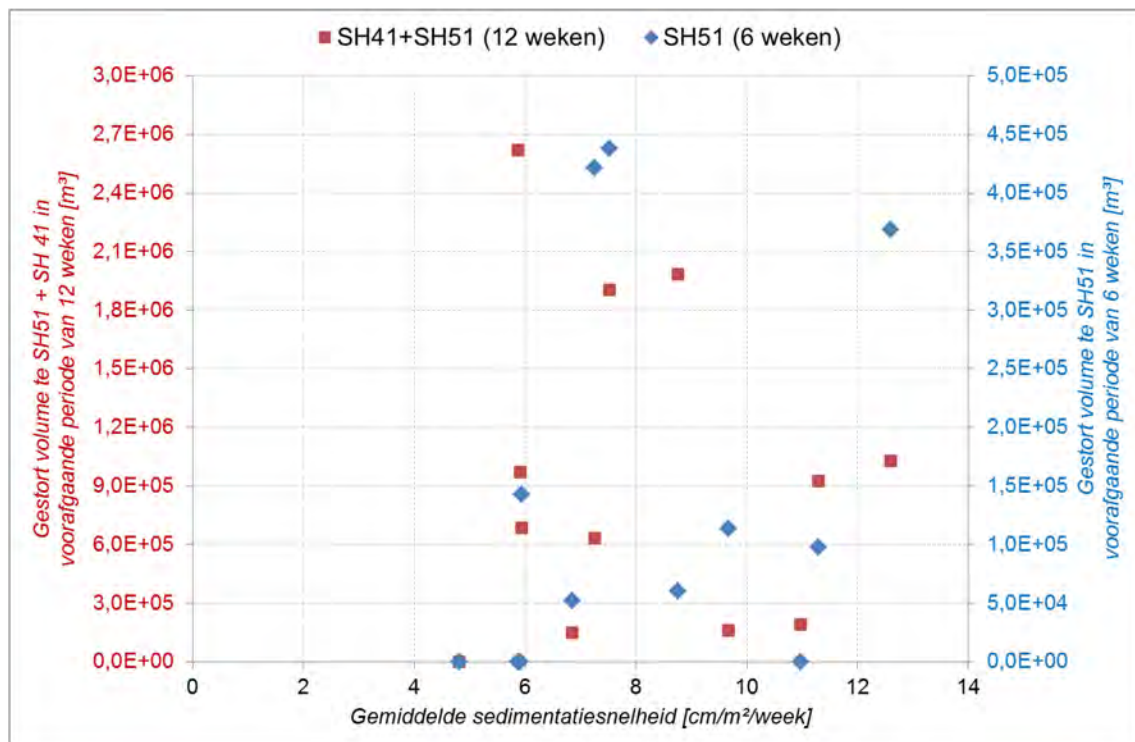


Een belangrijke kanttekening die dient toegevoegd worden is dat de hoogste sedimentatiesnelheden optreden in periodes die relatief kort zijn (< 6 weken) (Figuur 8) en dat uit de korte termijn analyse blijkt dat andere processen op deze tijdschaal een belangrijke rol spelen (o.a. bodemvorm migratie). Uit Figuur 9 blijkt tevens dat er geen éénduidige relatie kan vastgesteld worden tussen de sedimentatiesnelheden en de gestorte sedimentvolumes in de nabijgelegen stortvakken in de hoofdgeul, zijnde SH51 in het Zuidergat (opwaarts) en SH41 in het Gat van Ossensisse (afwaarts). De stortvolumes werden hiervoor gesommeerd over 6 weken (nabijgelegen vak SH51) en 12 weken (SH51 + SH41, dat verder van de drempel is gelegen). Verder onderzoek naar deze mogelijke relatie is aangewezen, aangezien hier enkel een eerste verkenning werd uitgevoerd.

Figuur 8 – Gemiddelde sedimentatiesnelheid per afgebakende polygoon in functie van periode tussen peilingen



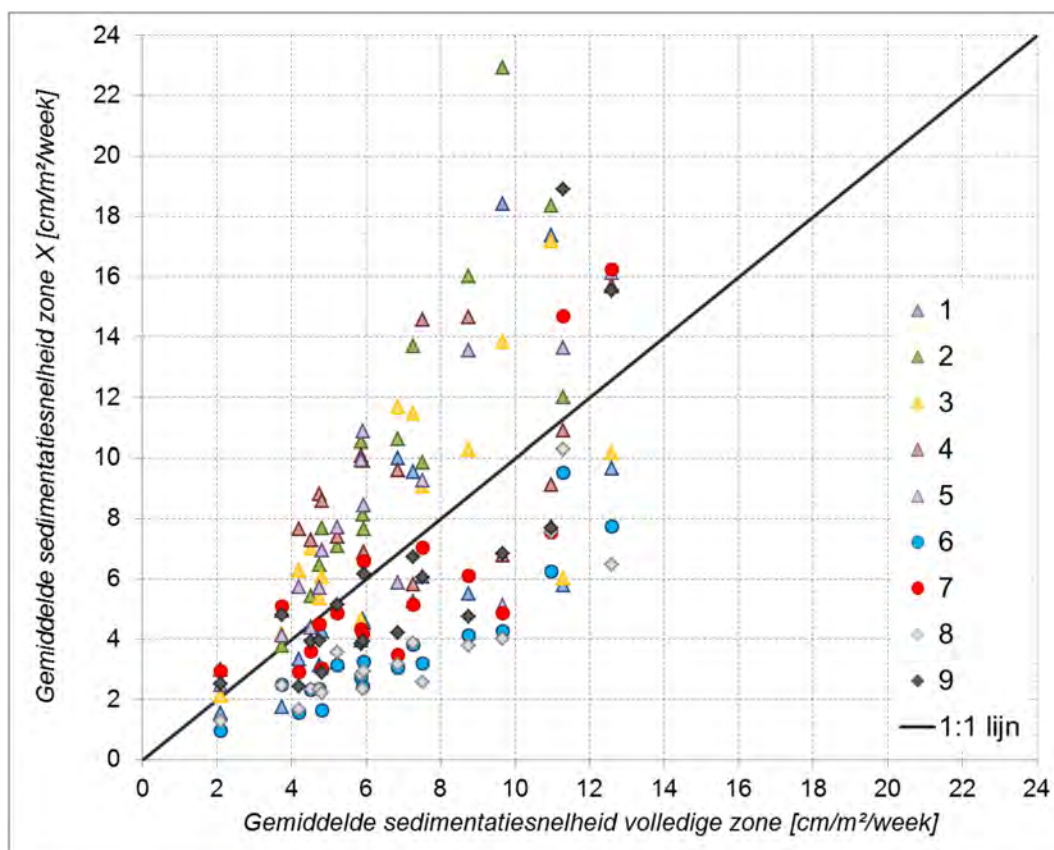
Figuur 9 – Gemiddelde sedimentatiesnelheid in functie van storthoeveelheden



Figuur 10 geeft de sedimentatiesnelheid weer voor de verschillende deelgebieden ten opzichte van de gemiddelde sedimentatiesnelheid. Zones 2, 3, 4, en 5 liggen hierbij systematisch boven het gemiddelde, terwijl zones 6, 8 en 9 er systematisch onder liggen. Zone 1 (noordelijk deel groene kant) en 7 (noordelijk centrale deel) vertonen waarden die rond het gemiddelde schommelen bij gemiddelde sedimentatiesnelheden. Bij hogere gemiddelde sedimentatiesnelheden liggen de sedimentatiesnelheden in deze zones boven het gemiddelde. Deze vaststelling is waarschijnlijk gerelateerd aan de kortere periode waarover de sedimentatiesnelheid is bepaald in combinatie met de lokale bodemvormdynamiek.

Figuur A 83 tot en met Figuur A 85 geeft het volume weer dat binnen elk van de afgebakende polygonen sedimenteerde binnen elk van de baggervrije periodes. Het verloop van deze grafieken en de grafieken met de gemiddelde sedimentatiesnelheid is gelijkaardig.

Figuur 10 – Gemiddelde sedimentatiesnelheid per afgebakende polygoon t.o.v. gemiddelde sedimentatiesnelheid

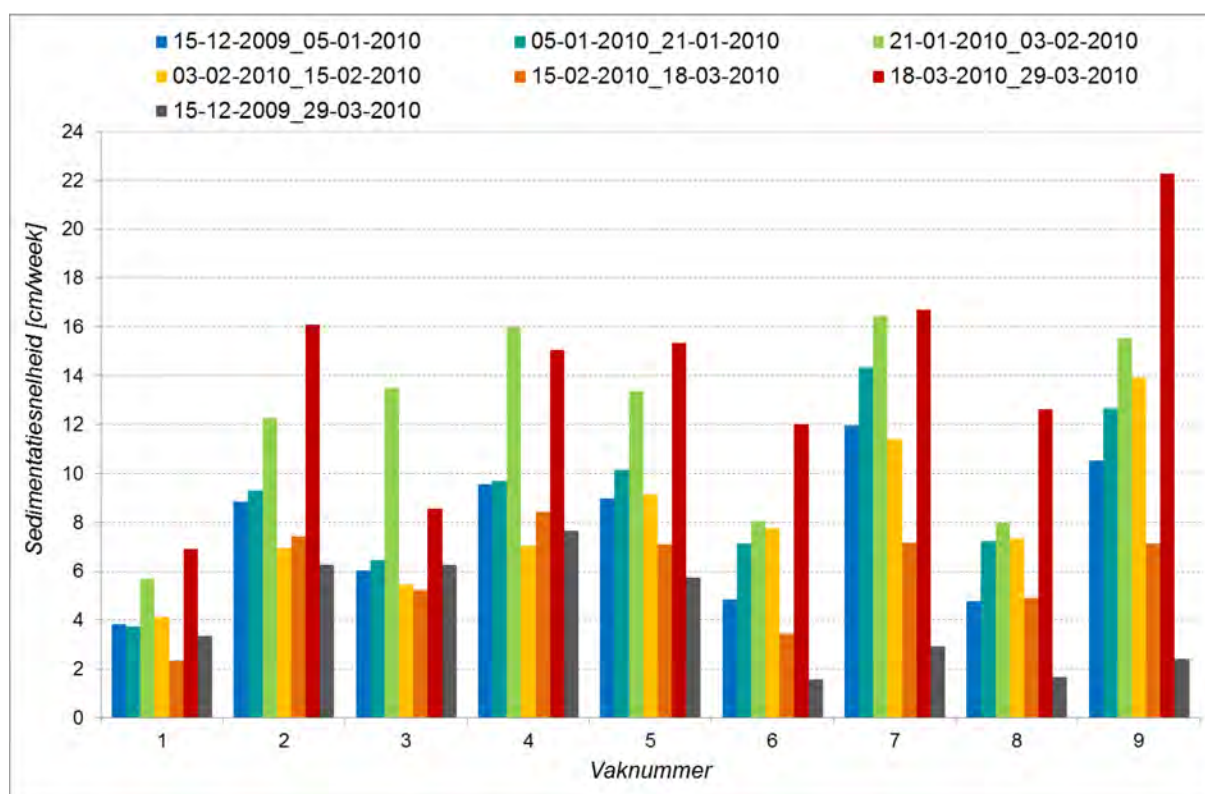


5.1.5 Sedimentatiesnelheid op de korte termijn

Om een idee te krijgen van het verloop van de sedimentatie binnen een baggervrije periode werd voor de periode 15/12/2009 tot 29/03/2010 de sedimentatiesnelheid berekend voor elk van de beschikbare deelperiodes (zie § 5.1.3 voor de bijbehorende verschilkaarten). Figuur 11 geeft een overzicht voor de verschillende zones en de verschillende deelperiodes. Hierbij valt het op dat de sterkere variatie in de erosie-sedimentatie patronen ook terug te vinden is in de wekelijkse sedimentatiesnelheden. De waarden voor de wekelijkse sedimentatiesnelheden liggen aanzienlijk hoger dan de sedimentatiesnelheid over de volledige periode. Dit wijst op een grotere sedimentdynamiek op de kortere termijn die deels teniet gedaan wordt op de langere termijn (cfr. migratie van bodemvormen, zie § 5.1.6). Er dient opgemerkt te worden dat de gepresenteerde waarden de sedimentatiesnelheid weergeeft voor de gebieden binnen de zones die aan sedimentatie onderhevig zijn. Binnen deze zones zal er dus ook erosie plaatsvinden (niet opgenomen in figuur). De gepresenteerde waarden mogen dan ook niet geëxtrapoleerd worden naar een langere termijn aangezien het veelal gaat over cyclische processen zoals te zien is in de waarden over de volledige periode.

Wanneer het verloop van de sedimentatie binnen een baggervrije periode wordt bekeken is op het eerste zicht geen significante trend waar te nemen in de tijd. De hypothese die o.a. door Allersma (1992) wordt geponeerd dat een grotere overdiepte aanleiding geeft tot snellere sedimentatie wordt hiermee niet bekrachtigd. Het lijkt dan ook dat de sedimentaanvoer naar de drempel toe bepalend is voor de sedimentatiesnelheid en dat deze niet beïnvloed wordt door de overdiepte.

Figuur 11 –Wekelijkse sedimentatiesnelheid per deelgebied ter hoogte van de drempel van Hansweert voor de periode 9/12/2009 tot 29/3/2010



5.1.6 Bodemvormen

De grotere dynamiek die in voorgaande paragraaf werd vastgesteld, wordt toegeschreven aan de migratie van bodemvormen. Om dit te onderbouwen werden een aantal (6) raaien (lengte ~ 500 m) gedefinieerd waarvoor de bodemligging op een aantal momenten is bepaald (2 momenten voor en 2 momenten na de verruiming). De exacte ligging van de raaien is weergegeven op Figuur 12. De diepteligging voor de verschillende tijdstippen is weergegeven in Figuur 13 (raai 1 tot 3 gelegen langs de groene boeizijde) en Figuur 14 (raai 4 tot 6 gelegen langs de rode boeizijde).

Raai 1 en 2 worden gekenmerkt door bodemvormen met een gemiddelde hoogte van ca. 50 cm en een lengte ca. 10 m. Raai 3, gelegen in zone 5 en 6 uit bovenstaande analyses, is quasi vlak. Aangezien de beschouwde peilingen zowel aan het begin als het einde van een baggervrije periode ligging, lijkt dit beeld representatief en maar deels verstoord door eventuele baggerwerken in de periode voorafgaand aan de peiling.

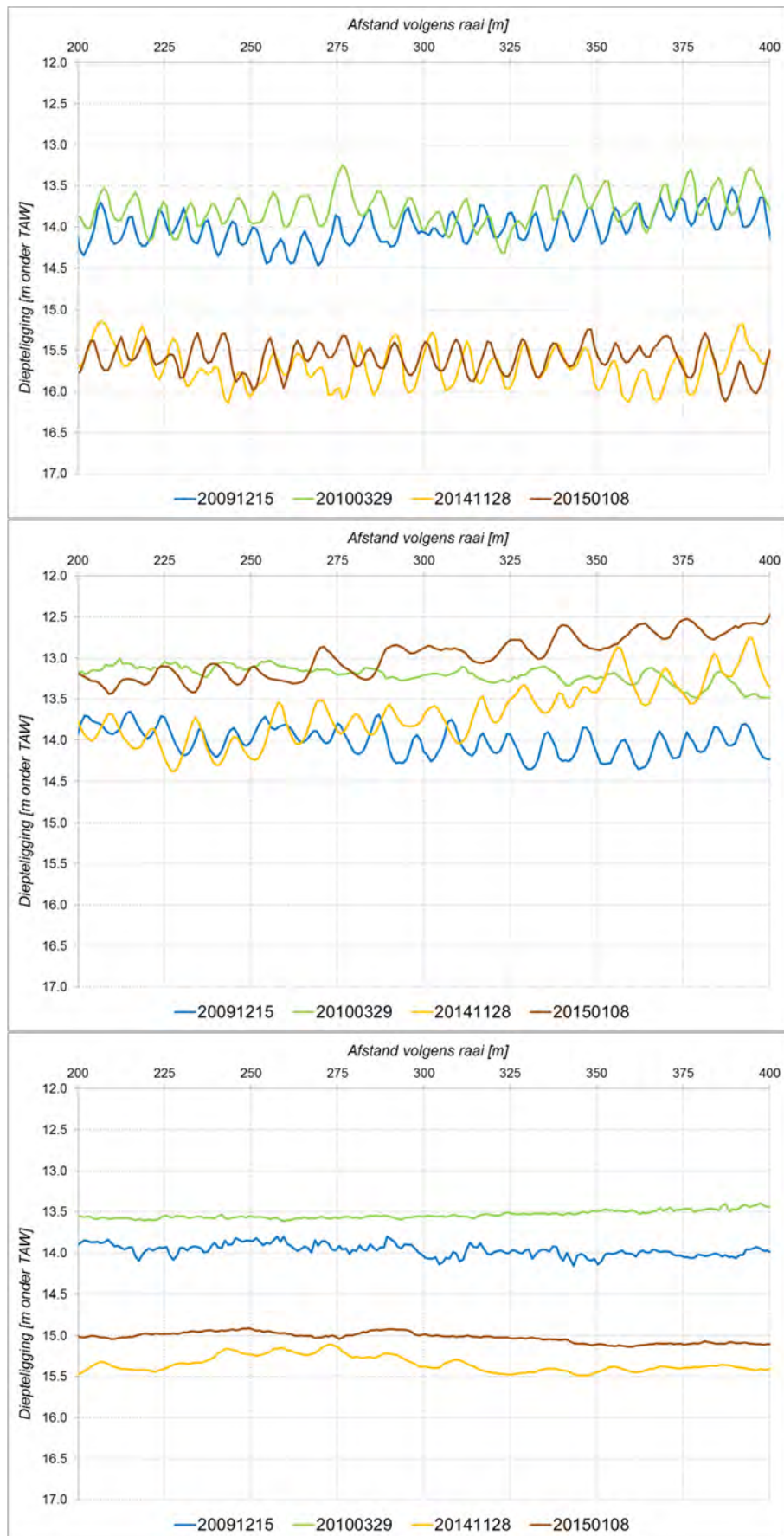
Raai 4, gelegen in het opwaartse deel van de drempel, wordt gekenmerkt door de grootste bodemvormen, met een hoogte tot 150 cm en een lengte van ca. 30 m. Raai 5 en 6 zijn dan weer gelijkaardig aan raai 1 en 2, met een gemiddelde hoogte van ca. 50 cm en een lengte ca. 10 m.

De grotere dynamiek op de korte tijdschaal in deelgebieden 7 en 9, kan weldegelijk toegeschreven worden aan de aanwezigheid van grotere bodemvormen, die langzaam migreren. Op basis van de geselecteerde tijdstippen kan een migratie van de duinen afgeleid worden van ca. 20 m in 6 weken, of een migratie van ca. 50 cm/dag, en dit in de ebrichting (afgeleid op basis van de asymmetrie van de bodemvormen voor deze raai). Rekening houdend met een lengte van de duinen van 30 m, is een verplaatsing van 15 m nodig opdat een top op de positie van een dal komt te liggen en vice versa. Hiervoor is, op basis van de bovenvermelde migratiesnelheden, ca. 4 weken nodig.

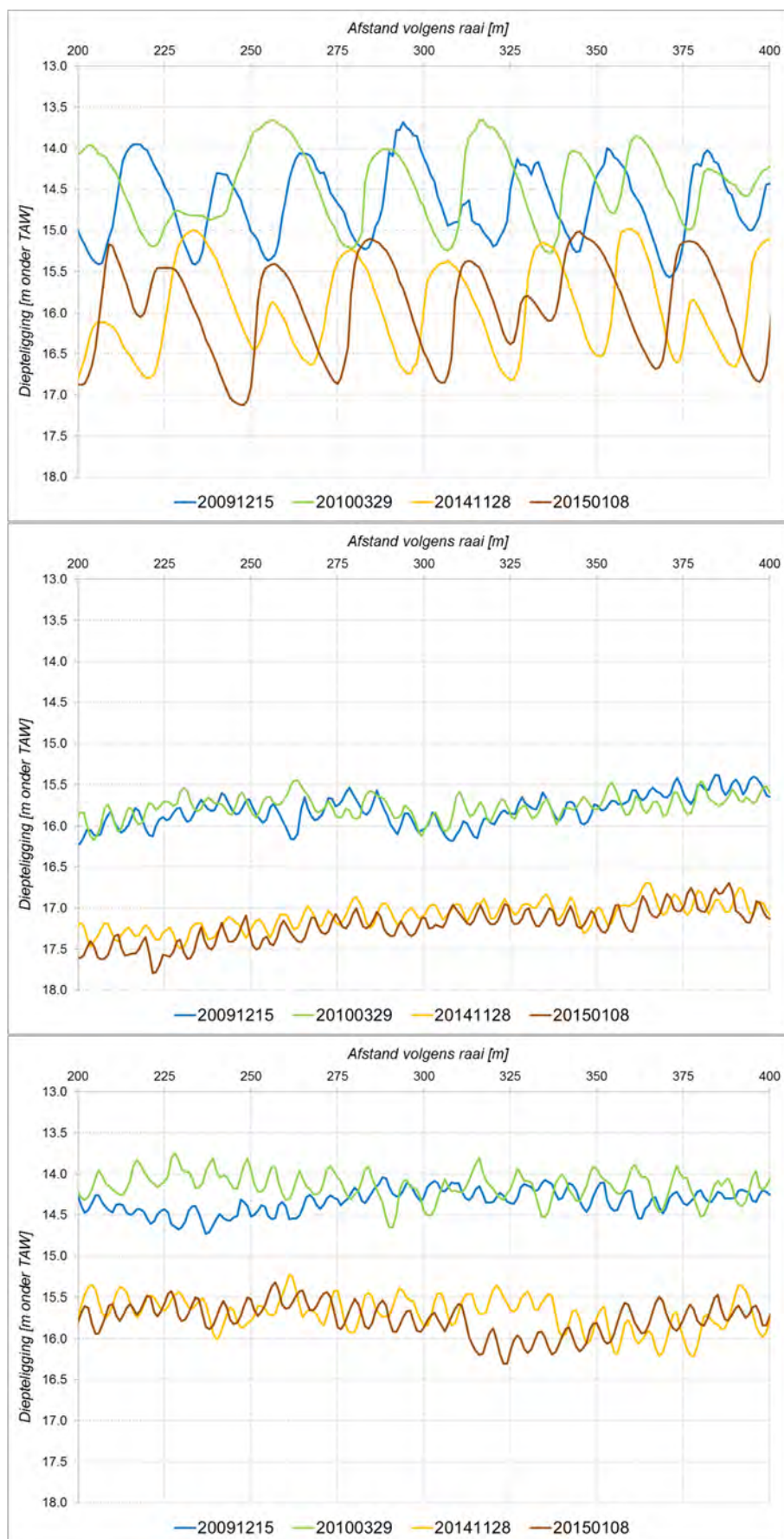
Figuur 12 – Overzicht ligging raaien t.b.v. analyse bodemvormen t.h.v. drempel van Hansweert



Figuur 13 – Overzicht bodemvormen t.h.v. drempel van Hansweert: raai 1 (boven), raai 2 (midden) en raai 3 (onder)



Figuur 14 – Overzicht bodemvormen t.h.v. drempel van Hansweert: raai 4 (boven), raai 5 (midden) en raai 6 (onder)



5.1.7 Consistentiekaarten

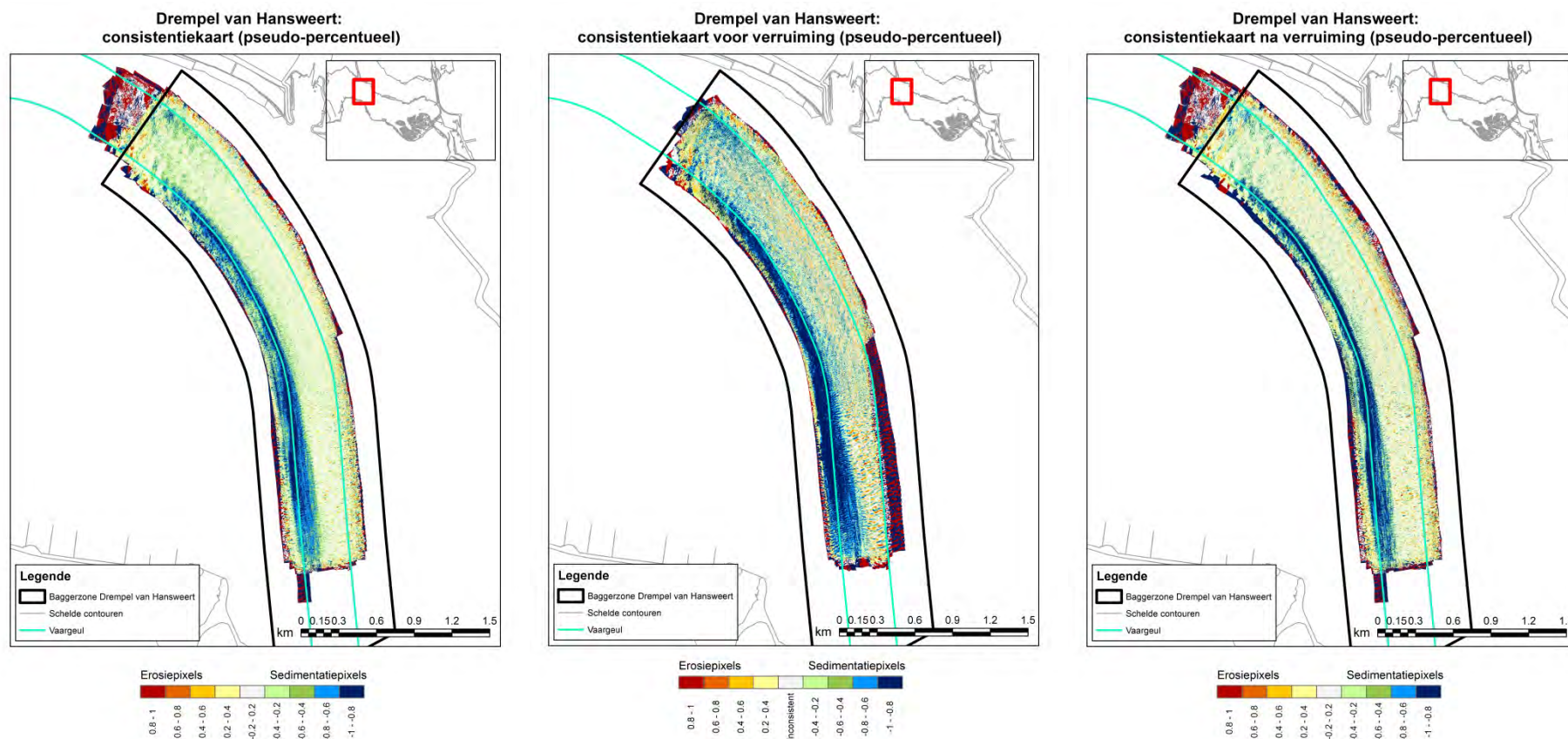
Om een beeld te krijgen van de representativiteit van de sedimentatie-erosiekaarten werden consistentiekaarten gemaakt. Aangezien de peilingen niet systematisch hetzelfde gebied bestreken, zijn er voor bepaalde zones meer verschilkaarten beschikbaar dan voor andere zones. In Figuur 15 wordt een overzicht gegeven van het aantal verschilkaarten dat er per punt beschikbaar is. In totaal zijn 15 periodes beschikbaar (7 voor en 8 na de verruiming uitgevoerd in 2010) voor deze zone.

Uit de consistentie kaarten (Figuur 16) blijkt dat het totale beeld weinig verschillende is van dit voor of na de verruiming: in alle periodes wordt de strook ter hoogte van de groene boeienzijde gekenmerkt door sedimentatie, terwijl de overige gebieden geen uitgesproken tendens tonen. Enige uitzondering is de afwaartse zone (rode kant) van de drempel die ook in het merendeel van de tijd onderhevig is aan sedimentatie.

Figuur 15 – Overzicht aantal beschikbare verschilkaarten drempel van Hansweert



Figuur 16 – Overzicht consistentiekaart drempel van Hansweert: totale periode (links), voor verruiming (midden) en na verruiming (rechts)



5.2 Drempel van Frederik

5.2.1 Baggervrije periodes

De drempel van Frederik heeft aan belang gewonnen sinds de opening van het Deurganckdok (6/7/2005). Voorheen werd de drempel onderhouden op een beperktere diepte ten behoeve van de scheepvaart naar de Boudewijn- en Van Cauwelaertsluis en de Kalloluis. De onderhoudsinspanning nam dan ook toe vanaf 2005 en mede gelet op de beschikbaarheid van multibeam-peilingen wordt voor de drempel van Frederik de analyse uitgevoerd voor 2006 – 2015. Bij de drempel van Frederik is er slechts 1 baggervrije periode voor 2006 waar 2 multibeam peilingen binnen een periode werden opgenomen, m.n. in mei en juni 2003. Deze peilingen lagen echter slechts 2 weken uit elkaar en zouden bovendien geen aansluiting hebben met de analyse van de latere peilingen (vanaf 2006), dus werden hier ook niet mee opgenomen.

Vanaf 2006 tot en met 2015 werden wel 17 periodes geselecteerd waarbinnen een analyse van de peilingen gebeurde. Deze worden weergegeven in Tabel 2. Indien er een peiling meegenomen wordt die valt binnen de bufferperiode van 1 week voor de start of na het einde van de baggervrije periode wordt dit aangeduid door een oranje markering in de tabel. Ook hier wordt het moment van de verruiming in de tabel aangeduid met een dubbele lijn.

Ter vergelijking met de drempel van Hansweert is het aantal beschikbare peilingen aanzienlijk minder: voor de drempel van Hansweert is er ongeveer elke 2 weken een peiling beschikbaar, terwijl dit voor de drempel van Frederik slechts eens per 4 weken is.

Tabel 2 – Overzicht van de start- en einddata van de geselecteerde baggervrije periodes voor de drempel van Frederik

Startdatum Baggervrije periode	Einddatum Baggervrije periode	Aantal baggervrije weken	Datum eerste peiling	Datum laatste peiling	Aantal weken tss. uiterste peilingen
10/2/2006	31/3/2006	7	10/2/2006	16/3/2006	5
23/6/2006	8/12/2006	24	27/7/2006	14/11/2006	16
3/3/2007	28/4/2007	8	2/3/2007	6/4/2007	5
5/5/2007	21/7/2007	11	9/5/2007	5/7/2007	8
20/4/2008	15/6/2008	8	25/4/2008	11/6/2008	7
31/8/2008	2/11/2008	9	15/9/2008	31/10/2008	7
7/12/2008	2/3/2009	12	14/1/2009	18/2/2009	5
30/3/2009	20/7/2009	16	16/4/2009	29/6/2009	11
Uitvoering verruiming vaargeul tot 43' getij-onafhankelijk vaart					
24/8/2010	19/10/2010	8	14/9/2010	15/10/2010	4
16/2/2012	10/5/2012	12	17/2/2012	25/4/2012	10
13/9/2012	13/12/2012	13	24/9/2012	20/11/2012	8
8/2/2013	19/4/2013	10	15/2/2013	17/4/2013	9
31/5/2014	16/8/2014	11	20/6/2014	14/8/2014	8
13/9/2014	6/12/2014	12	15/9/2014	14/11/2014	9
11/1/2015	5/4/2015	12	13/1/2015	30/3/2015	11
31/5/2015	30/8/2015	13	9/7/2015	4/8/2015	4
13/9/2015	15/11/2015	9	21/9/2015	18/11/2015	8

5.2.2 Sedimentatiepatronen

Figuur 17 geeft voor de drempel van Frederik de periode 15/09/2014 tot 14/11/2014 de sedimentatie- en erosiepatronen weer. Hier is erosie zichtbaar aan de zijkanten van de vaargeul, terwijl centraal (en dan meer aan de westelijke zijde) sedimentatie optreedt. Figuur A 56 tot en met Figuur A 72 geeft voor de verschillende beschikbare periodes de sedimentatie-erosiehoeveelheid per week weer. Hierbij is er bij de eerste figuren behoorlijk wat variatie te zien. Figuur A 57 geeft voor de tweede helft van 2006 geen erosie weer, enkel sedimentatie. Het gaat hier wel om een extreem lange periode (15 weken) wat dit effect mogelijk kan verklaren. Bij Figuur A 58 (2/3/2007 tot 6/4/2007) zijn er duidelijk erosieve zones te zien, vooral op de locatie van de drempel. De peiling van 2/3/2007 is echter een peiling genomen in de bufferzone van 1 week voor het begin van de baggervrije periode en is dus waarschijnlijk genomen voor het einde van de baggerwerkzaamheden. Figuur A 59 geeft slechts heel beperkte sedimentatie aan en veel erosie over de hele zone. Vanaf de sedimentatie-erosiekaart van 25/4/2008 tot 11/6/2008 (Figuur A 60) is echter eenzelfde patroon zichtbaar, een vrij sterke sedimentatie centraal in de geul, waarbij het zwaartepunt nu eens meer links en dan eens meer rechts gelokaliseerd is. Ook de intensiteit lijkt overal gelijkend te zijn, met uitzondering van periode 24/09/2012 en 20/11/2012 (Figuur A 66), periode 20/6/2014 tot 14/8/2014 (Figuur A 68) en periode 21/9/2015 tot 18/11/2015 (Figuur A 72).

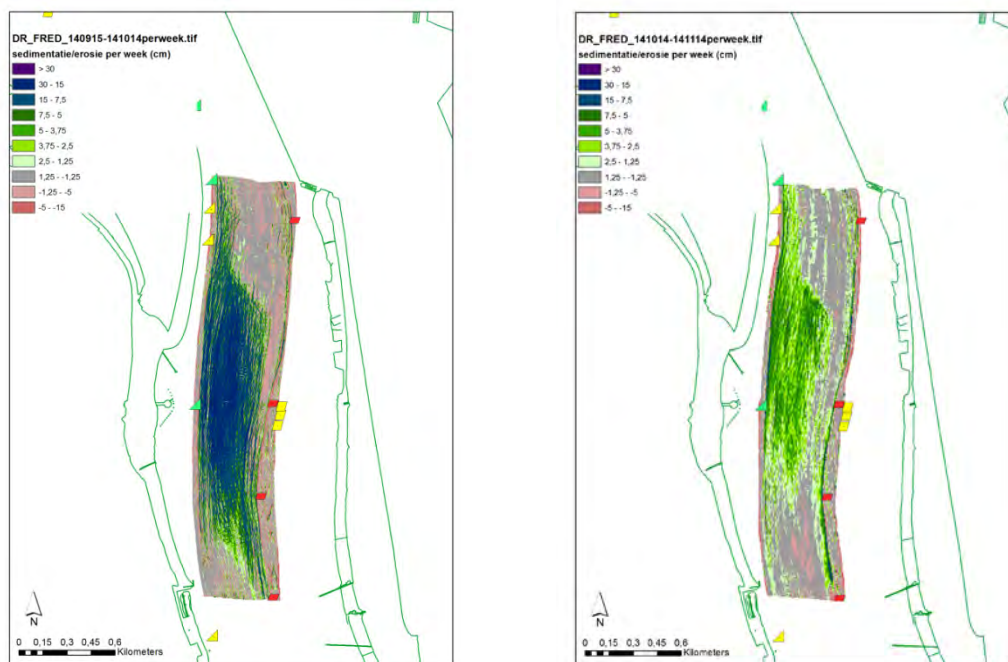
Figuur 17 – Wekelijkse sedimentatie- erosie ter hoogte van de drempel van Frederik voor de periode 15/09/2014 tot 14/11/2014



5.2.3 Sedimentatiepatronen op korte termijn

Figuur 18 geeft voor de drempel van Frederik voor de periode 15/09/2014 tot 14/11/2014 de sedimentatie- en erosiepatronen voor de verschillende deelperiodes. Hierbij worden de erosie-sedimentatie plots getoond voor de twee beschikbare deelperiodes. Hierbij valt het op dat de sedimentatie aanzienlijk sterker is tijdens de eerste periode van ca. 1 maand in vergelijking met de tweede periode van ca. 1 maand. Dit kan toe te schrijven zijn aan de grotere waterdiepte die ontstaat na het uitvoeren van een baggercampagne, waarbij de lokale sedimenttransportcapaciteit afneemt en de sedimentatie sneller kan plaatsvinden. Een andere factor die mogelijks van invloed is de sedimentbeschikbaarheid die varieert over de periode van ca. 2 maanden. Figuur 19 geeft het verloop weer van de gemiddelde sedimentconcentratie bij vloed te Oosterweel [Vanlierde et al., 2015]. Hieruit blijkt dat de gemiddelde sedimentconcentratie ca. 65% hoger ligt tijdens de eerste periode van ca. een maand van de beschouwd periode in vergelijking met de tweede periode van ca. een maand.

Figuur 18 –Wekelijkse sedimentatie-erosie ter hoogte van de drempel van Frederik voor de periode 15/09/2014-14/10/2014 (links) en 14/10/2014-14/11/2014 (rechts)



Figuur 19 –Verloop van gemiddelde sediment concentratie tijdens vloed te Oosterweel (bovenste sensor) (verticale lijnen = peiling)



5.2.4 Sedimentatiesnelheid

Ook bij de drempel van Frederik werden 6 polygonen afgebakend (Figuur 20), waarbinnen de gemiddelde sedimentatiesnelheid per week en per m² berekend werd.

Figuur 20 – Ligging polygonen voor berekening van de gemiddelde sedimentatiesnelheid op de drempel van Frederik



Figuur 21 geeft deze sedimentatiesnelheden weer voor elk van de polygonen en voor elke baggervrije periode doorheen de tijd weer (in cm/week). De sterkste sedimentatie (ca. 5 cm/m²/week) treedt op ter hoogte van zone 2, 4 en 5. Zone 1 en 6 geeft de laagste sedimentatiesnelheden (ca. 3 cm/m²/week).

Periodes met grotere en kleinere sedimentatiesnelheid wisselen elkaar af en is de spreiding groot. In het algemeen blijkt de sedimentatiesnelheid voor 2010 lager is dan deze erna. Dit is het sterkst zichtbaar in polygoon 2 en 4 (+0,4 cm/jaar) en in mindere mate in polygoon 1 en 3 (+0,15 cm/jaar). Voor polygoon 5 en 6 blijft de sedimentatiesnelheid ongeveer gelijk of neemt ze ietwat af over de periode.

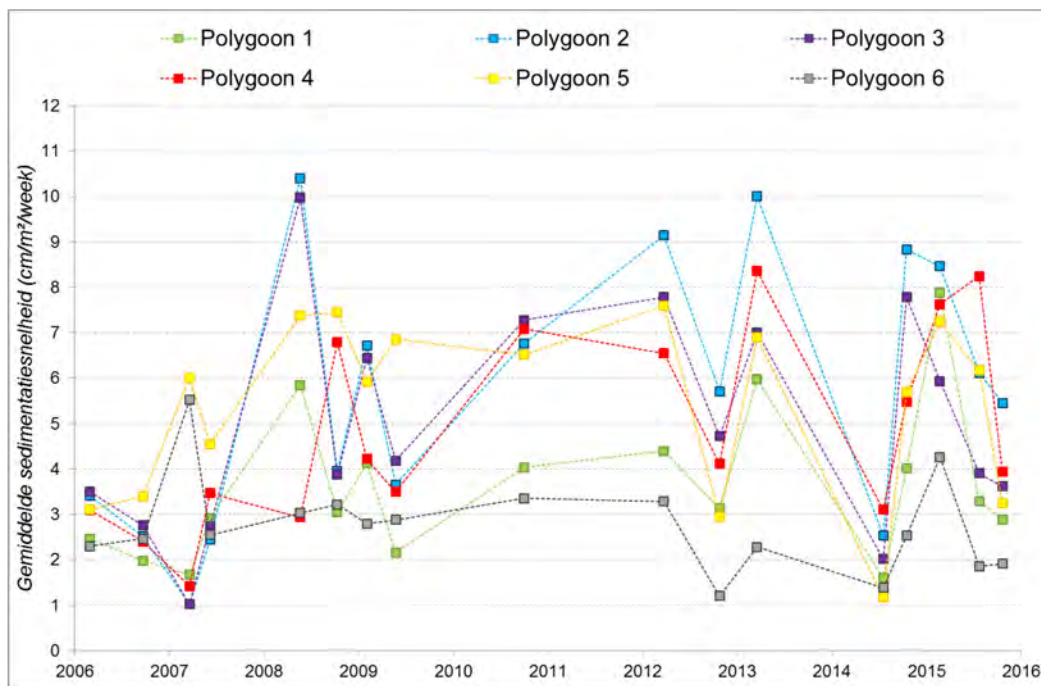
Figuur A 86 geeft het volume weer dat binnen elk van de afgebakende polygonen sedimenterde binnen elk van de baggervrije periodes. Het verloop van deze grafiek en de grafiek met de gemiddelde sedimentatiesnelheid is gelijkaardig.

5.2.5 Sedimentatiesnelheid op korte termijn

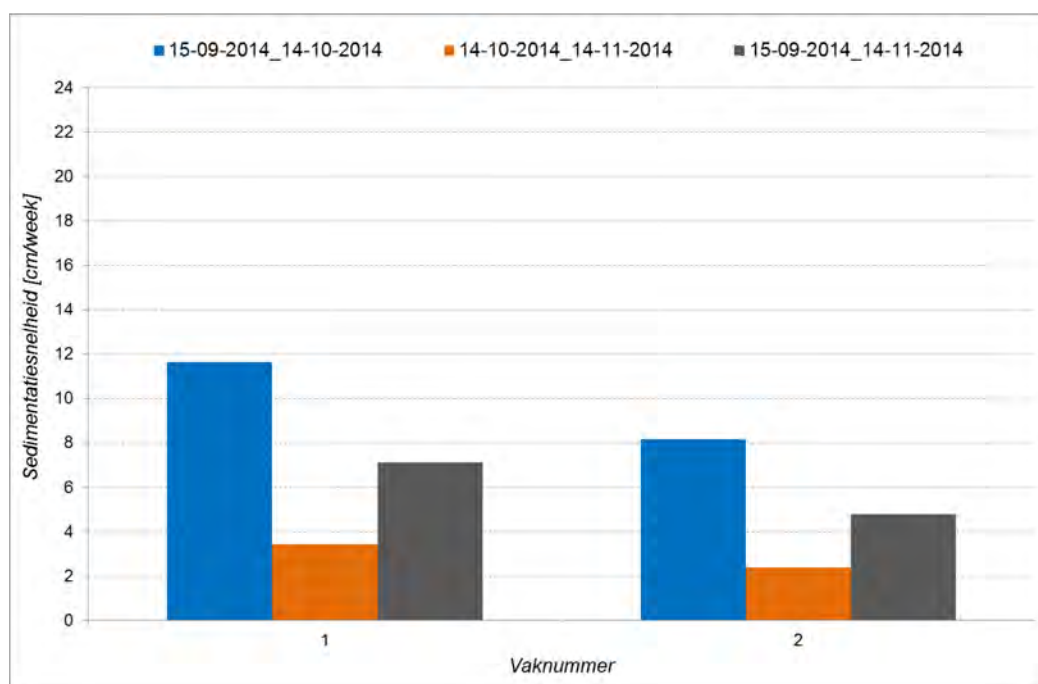
Om een idee te krijgen van het verloop van de sedimentatie binnen een baggervrije periode werd voor de periode 15/09/2014 tot 14/11/2014 de sedimentatiesnelheid berekend voor elk van de beschikbare

deelperiodes (zie § 5.2.3 voor de bijbehorende verschilkaarten). Figuur 22 geeft een overzicht voor de verschillende zones (geaggregeerd tot 2 zones, enerzijds deze langs de groene (1-3), anderzijds langs de rode (4-6) boeienzijde) en de verschillende deelperiodes. Hierbij komt ook het verschil in sedimentatiesnelheid tot uiting tussen beide periodes (factor 3 à 4). Voor beide deelgebieden is dit gelijkaardig.

Figuur 21 – Gemiddelde sedimentatiesnelheid per afgebakende polygoon op de drempel van Frederik



Figuur 22 –Wekelijkse sedimentatiesnelheid per deelgebied ter hoogte van de drempel van Frederik voor de periode 15/09/2014 tot 14/11/2014



5.2.6 Consistentiekaarten

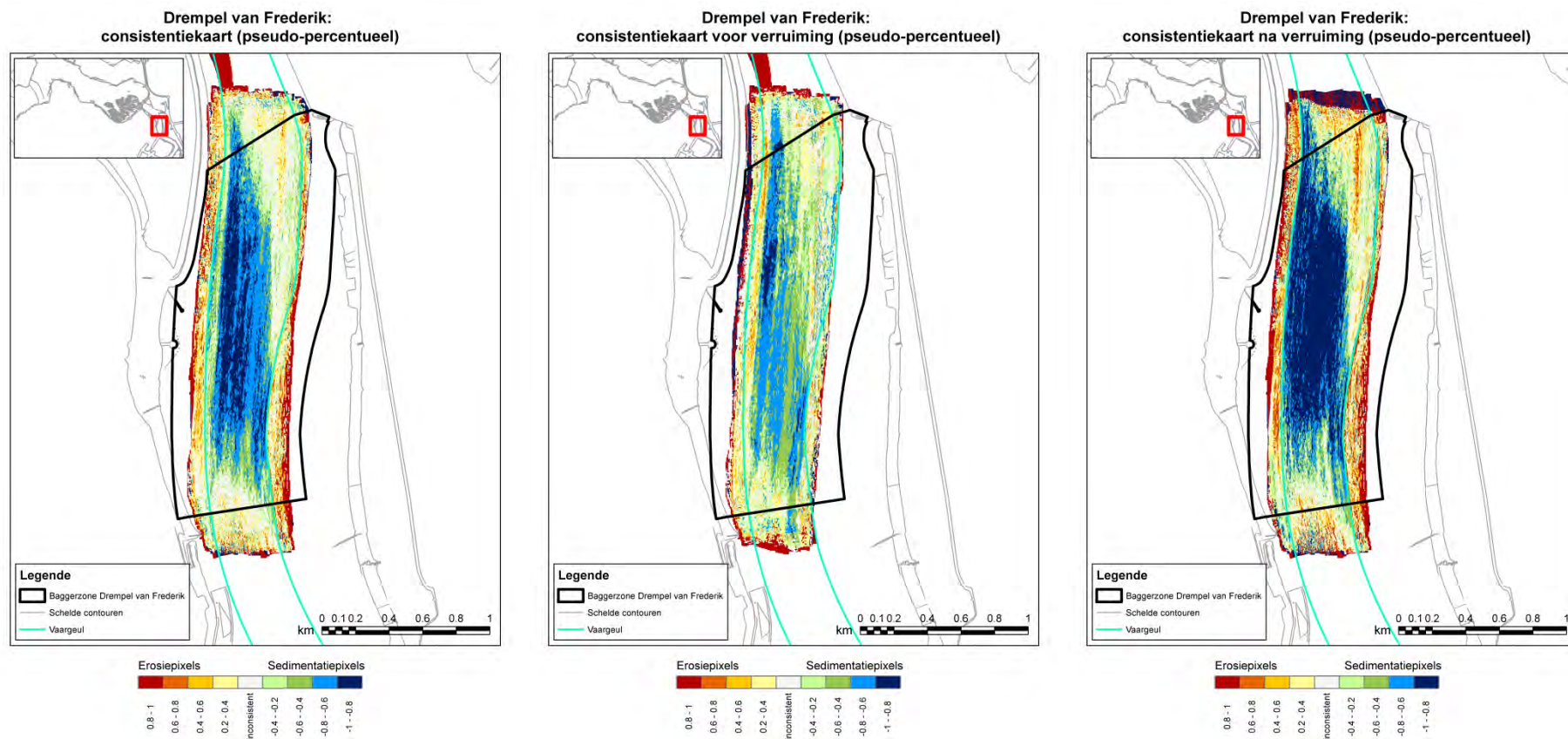
Om een beeld te krijgen van de representativiteit van de sedimentatie-erosiekaarten werden consistentiekaarten gemaakt. Aangezien de peilingen niet systematisch hetzelfde gebied bestreken, zijn er voor bepaalde zones meer verschilkaarten beschikbaar dan voor andere zones. In Figuur 23 wordt een overzicht gegeven van het aantal verschilkaarten dat er per punt beschikbaar is. In totaal zijn 17 periodes beschikbaar (8 voor en 9 na de verruiming uitgevoerd in 2010) voor deze zone.

Uit de consistentie kaarten (Figuur 24) blijkt dat het patroon voor en na de verruiming enigszins anders is: voor de verruiming in 2010 trad de sedimentatie vooral op langs de groene boeizijde en in de opwaartse zone langs de rode boeizijde. Sinds 2010 treedt de sedimentatie op op quasi de volledige drempel.

Figuur 23 – Overzicht aantal beschikbare verschilkaarten drempel van Frederik



Figuur 24 – Overzicht consistentiekaart drempel van Frederik: totale periode (links), voor verruiming (midden) en na verruiming (rechts)



6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

In het kader van het project “Morfologie mesoschaal” binnen de Agenda voor de toekomst, werd binnen voorliggend rapport een analyse uitgevoerd naar de sediment op twee belangrijke drempels (drempel van Hansweert en drempel van Frederik) in de vaargeul in het Schelde-estuarium. Op basis van de beschikbare multibeam echo-sounding peilingen werden de sedimentatiepatronen en –snelheden in beeld gebracht ter hoogte van deze drempels. Aangezien onderhoudsbaggerwerken frequent (quasi continu) plaatsvinden, werd eerst een selectie gemaakt van periodes waarin enerzijds niet gebaggerd werd en anderzijds ook peilingen voor beschikbaar waren.

Voor de drempel van Hansweert bleek het sedimentatiepatroon gelijkaardig te zijn door de jaren heen: de sterkste sedimentatie treedt op ter hoogte van de groene boeierzijde, i.e. langs de Platen van Ossensisse. Het centrale deel van de drempel en de zone langs de rode boeierzijde (kant Plaat van Walsoorden) kent een beperktere sedimentatie. Ter hoogte van zuid-oostelijke zone van de drempel is er een zone met aanzienlijke bodemvormen (“duinen”), die gekenmerkt worden door een grote dynamiek (migratie). De sedimentatiesnelheden variëren tussen 2 en 5 cm/week in het centrale deel en langs de rode boeierzijde, terwijl deze langs de groene boeierzijde aanzienlijk hoger zijn: voor 2010 tussen 4 en 8 cm/week, nadien nog hoger tot 10 à 12 cm/week. Dit verschil in sedimentatie kan te wijten zijn aan de verruiming met de nieuwe stortstrategie (meer storten in diepe delen van de vaargeul SH51 – Zuidergat en SH41 – Gat van Ossensisse en nabij de Plaat van Walsoorden) waardoor de sedimentbeschikbaarheid ter hoogte van de drempel van Hansweert is toegenomen, maar kan tevens te wijten zijn aan de kortere periodes waarop de sedimentatiesnelheden zijn berekend. Verder onderzoek via numerieke modelsimulaties zal moeten nagaan wat de invloed van de stortingen op de sedimentatie ter hoogte van drempel kan zijn.

Wanneer meer gefocust werd op de patronen binnen een periode, kon er een grotere dynamiek vastgesteld worden in de deelperiodes (ca. 2 weken) in vergelijking met de totaal periode (> 8 weken). Een belangrijk aspect hierbij is de migratie van de bodemvormen die op de korte termijn zorgen voor sterke verschillen, doch op de langere termijn uitgevlakte worden doordat het gaat om een cyclisch patroon (nu eens erosie, dan weer sedimentatie). Dit is verschillend aan de sedimentatie nabij de groene boeierzijde die zich, weliswaar per deelperiode minder uitgesproken, consistent manifesteert over de volledige periode en aanleiding geeft tot een grotere netto-sedimentatie. Daarnaast blijkt uit de analyse op de korte termijn dat de hypothese die o.a. door Allersma (1992) poneert dat een grotere overdiepte aanleiding geeft tot snellere sedimentatie, niet wordt bekrachtigd. Het lijkt dan ook dat de sedimetaanvoer naar de drempel toe bepalend is voor de sedimentatiesnelheid en dat deze niet beïnvloed wordt door de overdiepte.

De drempel van Frederik wordt pas sinds de opening van het Deurganckdok in 2005 als “volwaardige” drempel beschouwd. Het aantal beschikbare peilingen is hiervoor ook beperkter (4-wekelijks) in vergelijking met de drempel van Hansweert (2-wekelijks). Voor 2010 vertonen de sedimentatiepatronen een verschillende beeld dan na 2010: voor 2010 trad de sedimentatie voornamelijk langs de groene boeierzijde op. Na 2010 en het op diepte brengen van de drempel conform de verruiming tot 131 dm, vindt de sedimentatie plaats over de volledige oppervlakte van de drempel. Vanaf 2005 neemt de sedimentatiesnelheid toe van 2 à 3 cm/week tot 6 à 8 cm/week in 2010. Een aantal punten vertonen ook aanzienlijk lagere sedimentatiesnelheden.

De gedetailleerde analyse binnen een bagger-vrije periode, bracht een verschil in de sedimentatiesnelheid naar boven. In de eerste deelperiode bleek de sedimentatiesnelheid een factor 3 hoger dan in de tweede deelperiode. Een eerste analyse van de sedimentconcentraties (metingen nabij de drempel ter hoogte van boei 84) toonde aan dat er tussen beide deelperiodes een aanzienlijk verschil optrad in de gemiddelde sedimentconcentratie. Ook hier zal op basis van de toekomstige modelsimulaties onderzocht moeten worden in welke mate variatie in sedimentbeschikbaarheid een bijdrage levert aan de sedimentatiesnelheid ter hoogte van de drempel.

6.2 Aanbevelingen

Binnen voorliggend rapport werd gefocust op de sedimentatiepatronen en –snelheden ter hoogte van twee belangrijke drempels in het Schelde-estuarium, de drempel van Hansweert in de Westerschelde en de drempel van Frederik in de Beneden-Zeeschelde. Er werd vooralsnog niet uitgebreid ingegaan op verklarende factoren van de waargenomen verschillen. Het verdient dan ook de aanbeveling om de analyse naar factoren die een rol spelen uit te breiden. Hierbij wordt o.a. gedacht aan de invloed van stortingen in de onmiddellijke nabijheid van de drempels en de sedimentconcentratie ter hoogte van drempel in de betreffende periodes. Aansluitend hieraan verdient het de aanbeveling de peilingen (tijdelijk – één baggervrije periode en één baggercampagne) met een hogere frequentie (minstens wekelijks) uit te voeren om de korte termijn processen beter in beeld te brengen en relatie te kunnen leggen tussen de sedimentatie en de sturende factoren.

Een andere uitbreiding die als aanbeveling wordt voorgesteld, is ook een analyse uit te voeren in periode met baggerwerken, mits de gedetailleerde baggertracks beschikbaar zijn. Allereerst kan bekeken worden of de baggercijfers consistent zijn met de sedimentatiesnelheden bepaald in deze studie. Daarnaast kan nagegaan worden of de sedimentatiesnelheden gelijkaardig zijn in deze periode, rekening houdend met de morfologische veranderingen ten gevolge van de onderhoudsbaggerwerken.

De analyse werd uitgevoerd op basis van beschikbare MBES-peilingen. Deze geven een goed beeld van de sedimentatiepatronen ter hoogte van de drempels. De oorzaak van de sedimentatie is hiermee echter nog niet bestudeerd. Het verdient dan ook de aanbeveling om hierop verder te werken, waarbij volgende aspecten zouden kunnen worden bestudeerd:

- Uitvoeren van sedimenttransportmetingen over langere periode (minstens 2 weken, volledige springtij-doodtij-cyclus) bij verschillende condities (periode met/zonder stortingen in de omgeving)
- Opzetten van een gedetailleerd numeriek model om de stroming en sedimenttransportpatronen nabij de drempel in beeld te brengen (voorzien in de 2^e fase van de studie)

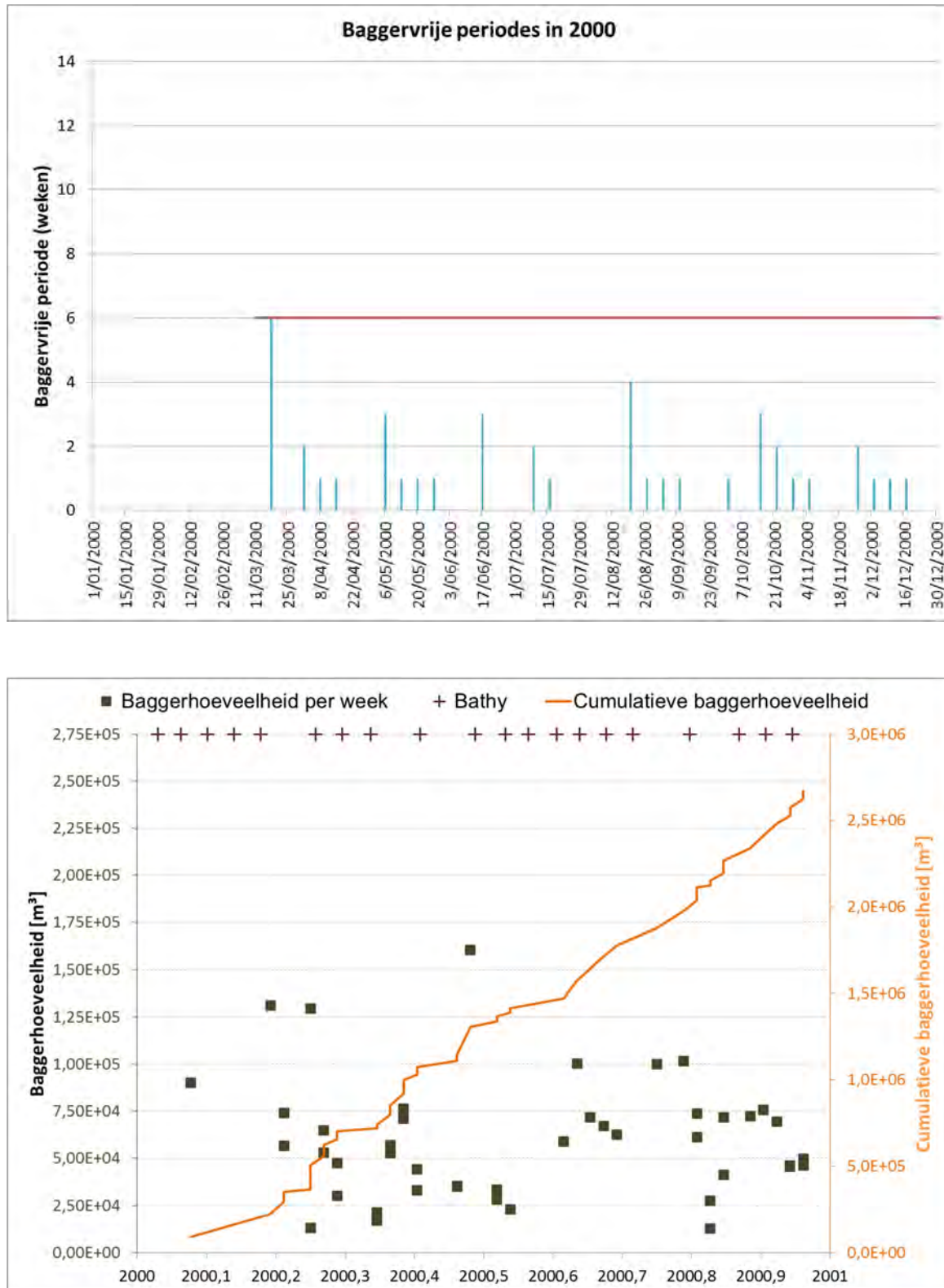
Uit de uitgevoerde analyse blijkt dat de sedimentatiepatronen verschillend zijn tussen verschillende drempels, maar tevens kunnen verschillen in de tijd voor één drempel. Dit impliceert dat de sedimentatiepatronen sterk afhankelijk zijn van de lokale stromings- en sedimenttransportprocessen en dus ook beïnvloed worden door de lokale morfologie (mesoschaal). Dit is tevens geldig voor andere drempels. Indien men de sturende factoren voor overige drempels in beeld wil brengen, is een gelijkaardige analyse nodig voor de andere drempels. Het in beeld brengen van de sedimenttransportpaden die een drempel “voeden”, zijn dan ook belangrijk met het oog op het optimaliseren van de baggerstrategie.

7 Referenties

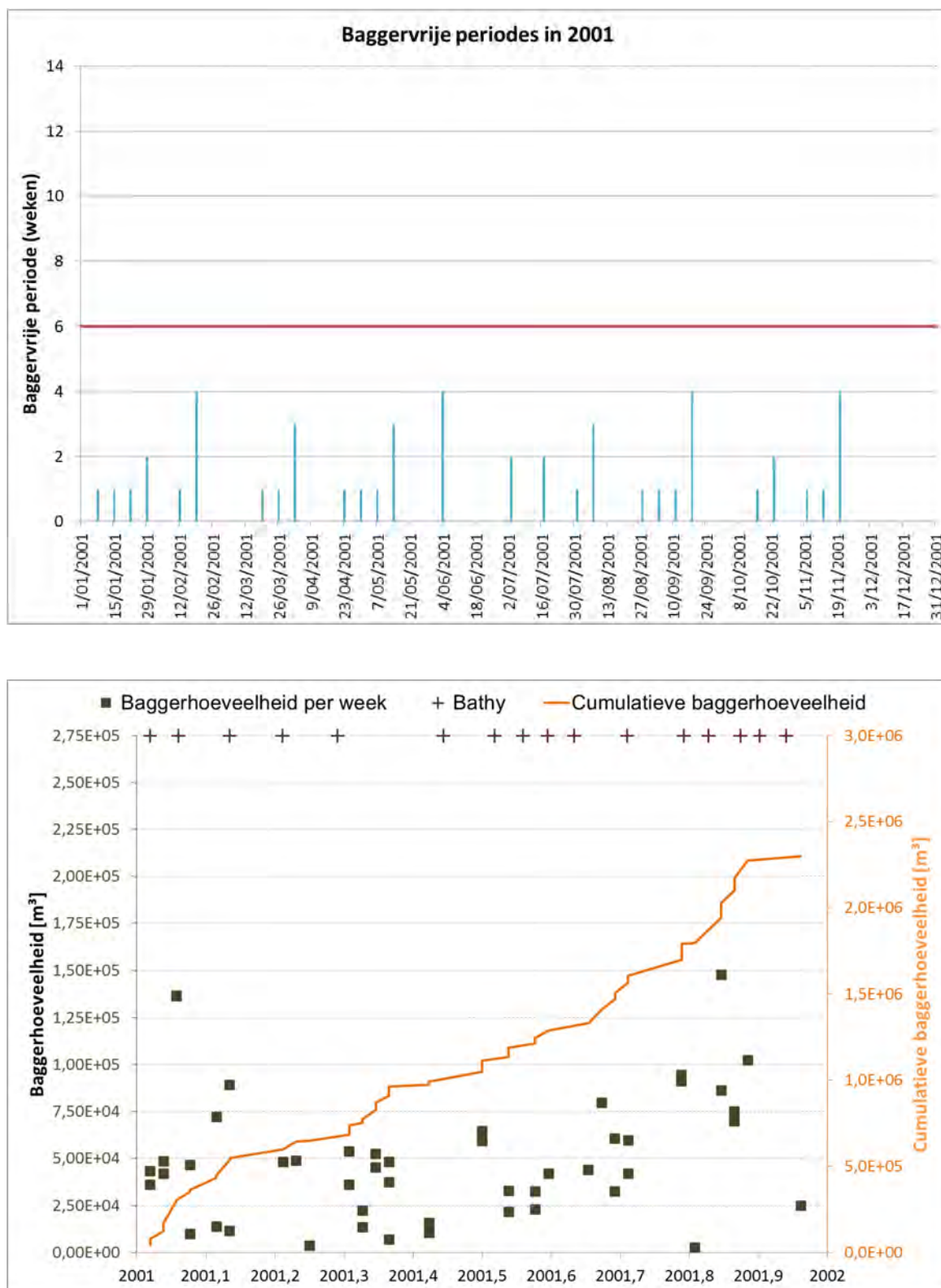
- Allersma, E.** (1992). Studie inrichting oostelijk deel Westerschelde. Analyse van het fysische systeem. Waterloopkundig Laboratorium Z368.
- Beirinckx, K.; Taal, M.; Plancke, Y.; Van den Bergh, E.** (2014). Plan van Aanpak Onderzoek Agenda voor de Toekomst (versie april 2014).
- Groenewoud, M.D.** (1997). Modellering morfodynamisch gedrag van de Drempel van Hansweert: fase 1. Modelbouwen simulatie huidige situatie. Rijksinstituut voor Kust en Zee (RIKZ): [s.l.]. 46 pp.
- Ides, S.; Plancke, Y.; De Mulder, T.; Mostaert, F.** (2007). Morfologische analyse van de bagger- en stortintensiteitsdata van de Beneden Zee- en Westerschelde van 2000 tot en met 2005. *WL Rapporten*, 791/02. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. V, 70 + appendices, figures pp.
- Kornman, B., Liek, G.J. en H. Schippers,**(2002). Baggeren en storten in de Westerschelde, een nieuwe kijk op het onderhoudsbaggerwerk, Werkdocument RIKZ/AB/2002.840x.
- Pieters, T.; Storm, C.; Walhout, T.; Ysebaert, T.** (1991). Het Schelde-estuarium, méér dan een vaarweg. Nota GWWS-91.081, Dienst getijdewateren, Directie Zeeland.
- Technische Scheldecommissie (TSC)** (1984). Studierapport verdieping Westerschelde, programma 48'/43'. Subcommissie Technische Scheldecommissie.
- Vandenbruwaene, W.; Vos, G.; Plancke, Y.; Mostaert, F.** (2012). Werkgroep O&M - Projectgroep Veiligheid en Toegankelijkheid: onderzoek naar de morfologie op meso-schaal ter hoogte van stortlocaties. Versie 3.0. *WL Rapporten*, 791_10a. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. VI, 50 + 51 p. appendices, 4 p. tables pp.
- Verbeek, H.; Tank, F.T.G.; Groenewoud, M.D.** (1998). Drempels in de Westerschelde. Natuur en mens samen aan het werk. RIKZ: Middelburg. ISBN 9036934729
- Vroon, J.; Pieters, T.; Storm, C.** (1993). Het Schelde-estuarium, de verdieping 48'/43'. Adviezen en witte vlekken. Werkdocument GWWS-93.858x, RWS-DGW.
- Wang, Z.B.; Jeuken, C.; Kornman, B.** (2003). A model for predicting dredging requirement in the Westerschelde. International Conference on Estuaries and Coasts. November 2013, Hangzhou, China.
- WL Delft Hydraulics** (1996). Kwaliteitstoets Oost-West. Rapport VR1247.96/Z1021.

8 Figuren

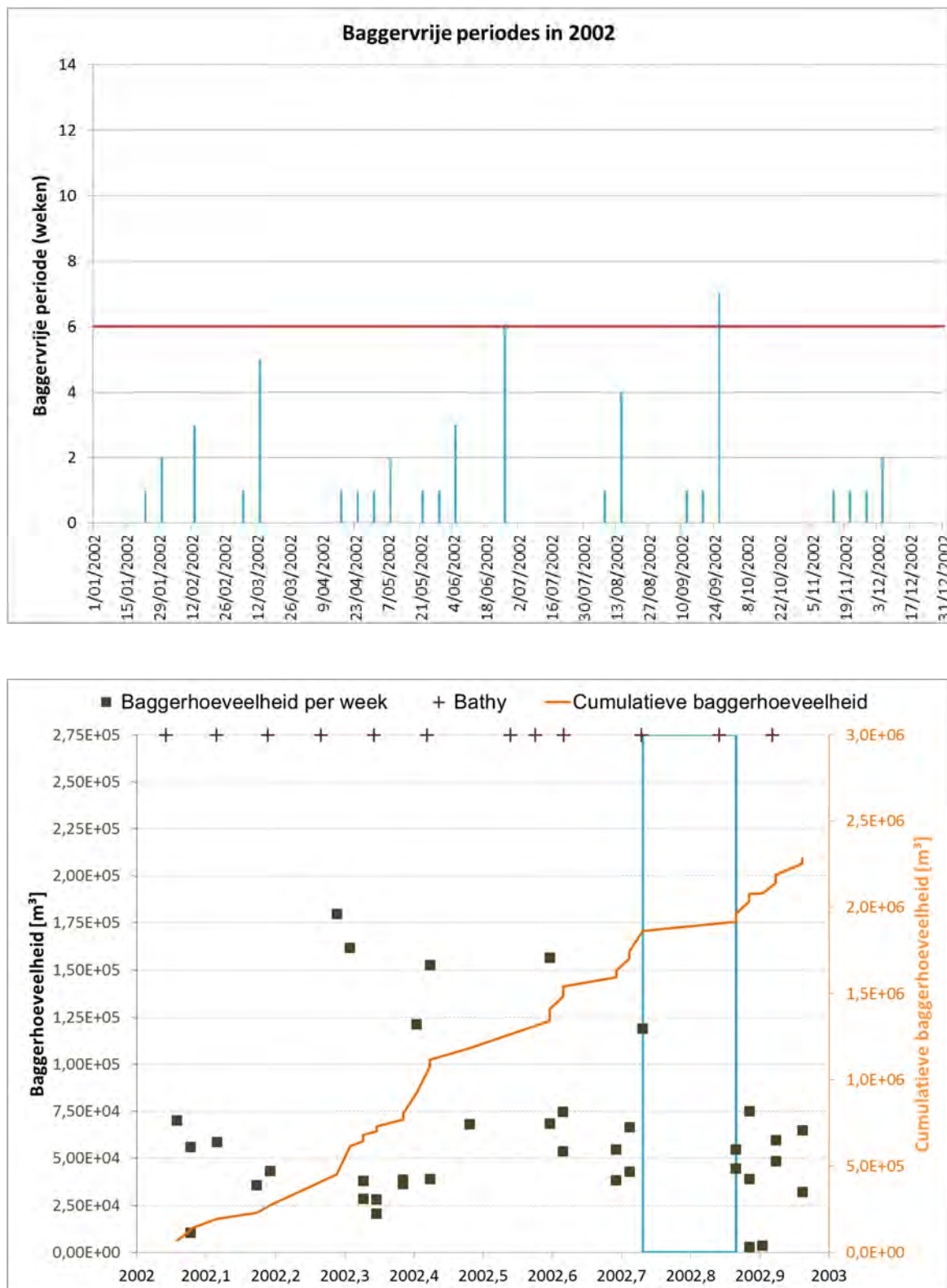
Figuur A 1 – Boven: Overzicht van de duur van de baggervrije periodes in 2000 in Hansweert,
Onder: Individuele en cumulatieve baggerhoeveelheden en tijdstip van opname van bathymetrische peilingen in 2000 in Hansweert
(baggervrije periodes worden aangeduid met een blauwe kader)



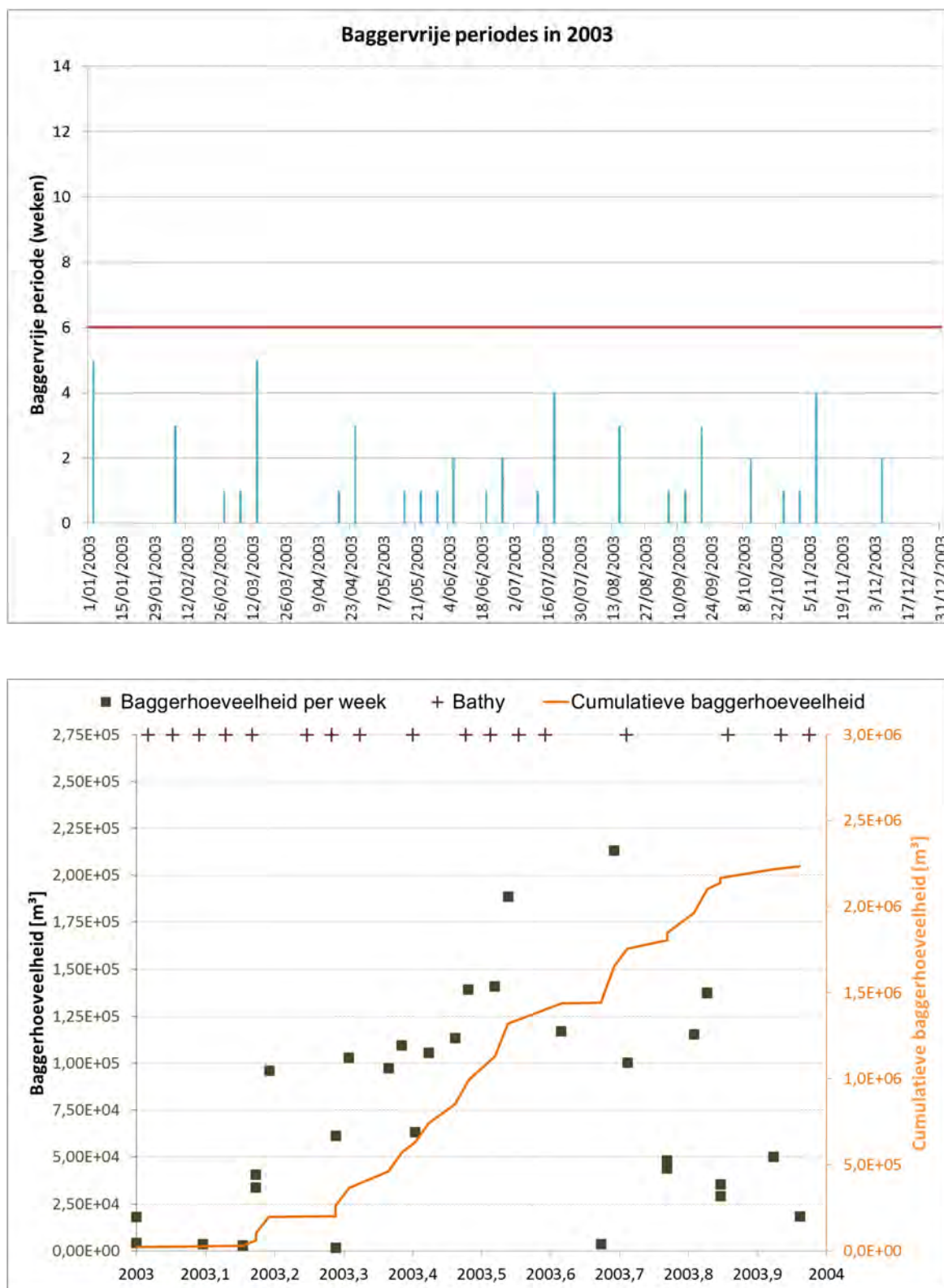
Figuur A 2 – Boven: Overzicht van de duur van de baggervrije periodes in 2001 in Hansweert,
Onder: Individuele en cumulatieve baggerhoeveelheden en tijdstip van opname van bathymetrische peilingen in 2001 in Hansweert
(baggervrije periodes worden aangeduid met een blauwe kader)



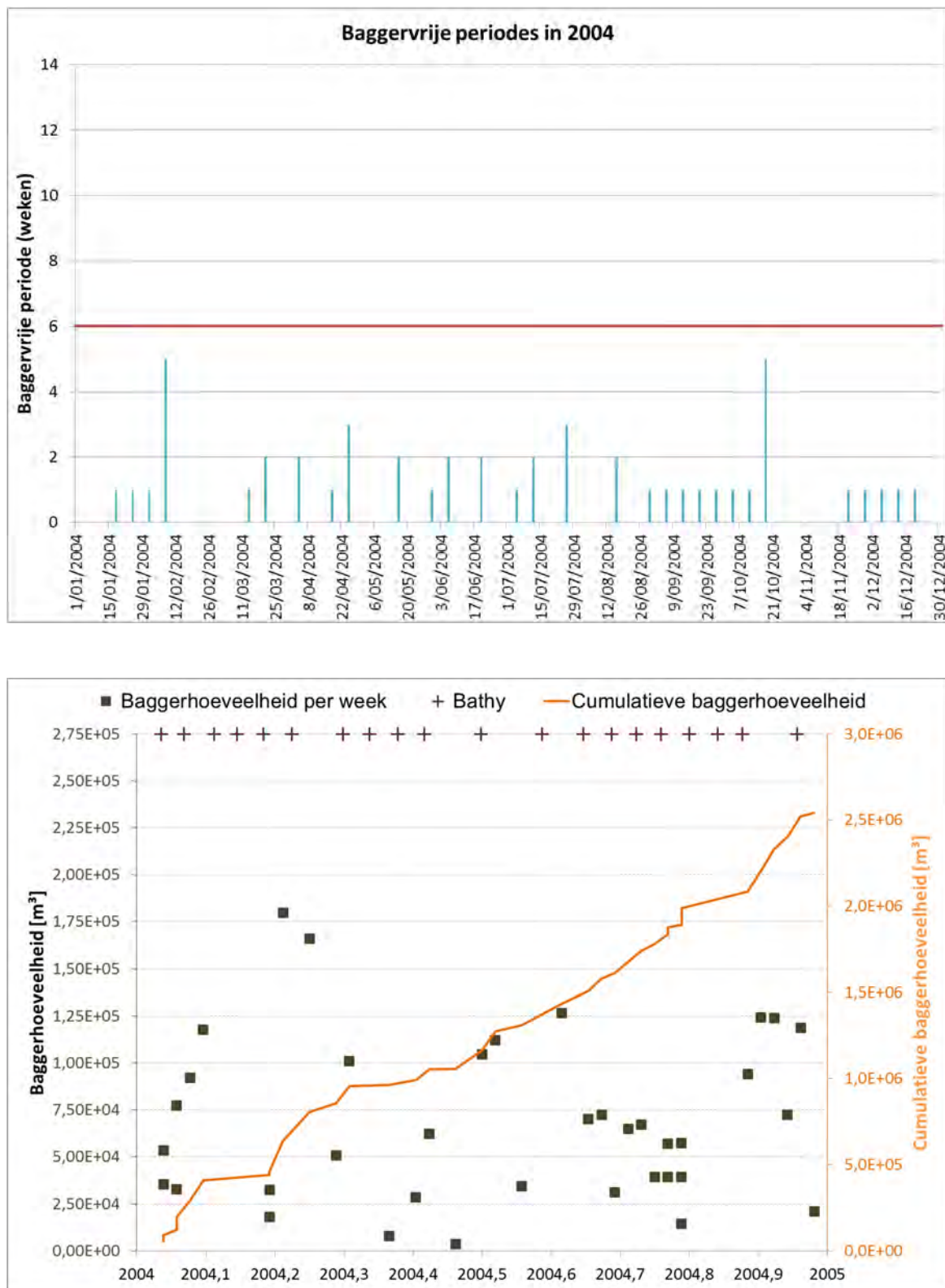
Figuur A 3 – Boven: Overzicht van de duur van de baggervrije periodes in 2002 in Hansweert,
Onder: Individuele en cumulatieve baggerhoeveelheden en tijdstip van opname van bathymetrische peilingen in 2002 in Hansweert
(baggervrije periodes worden aangeduid met een blauwe kader)



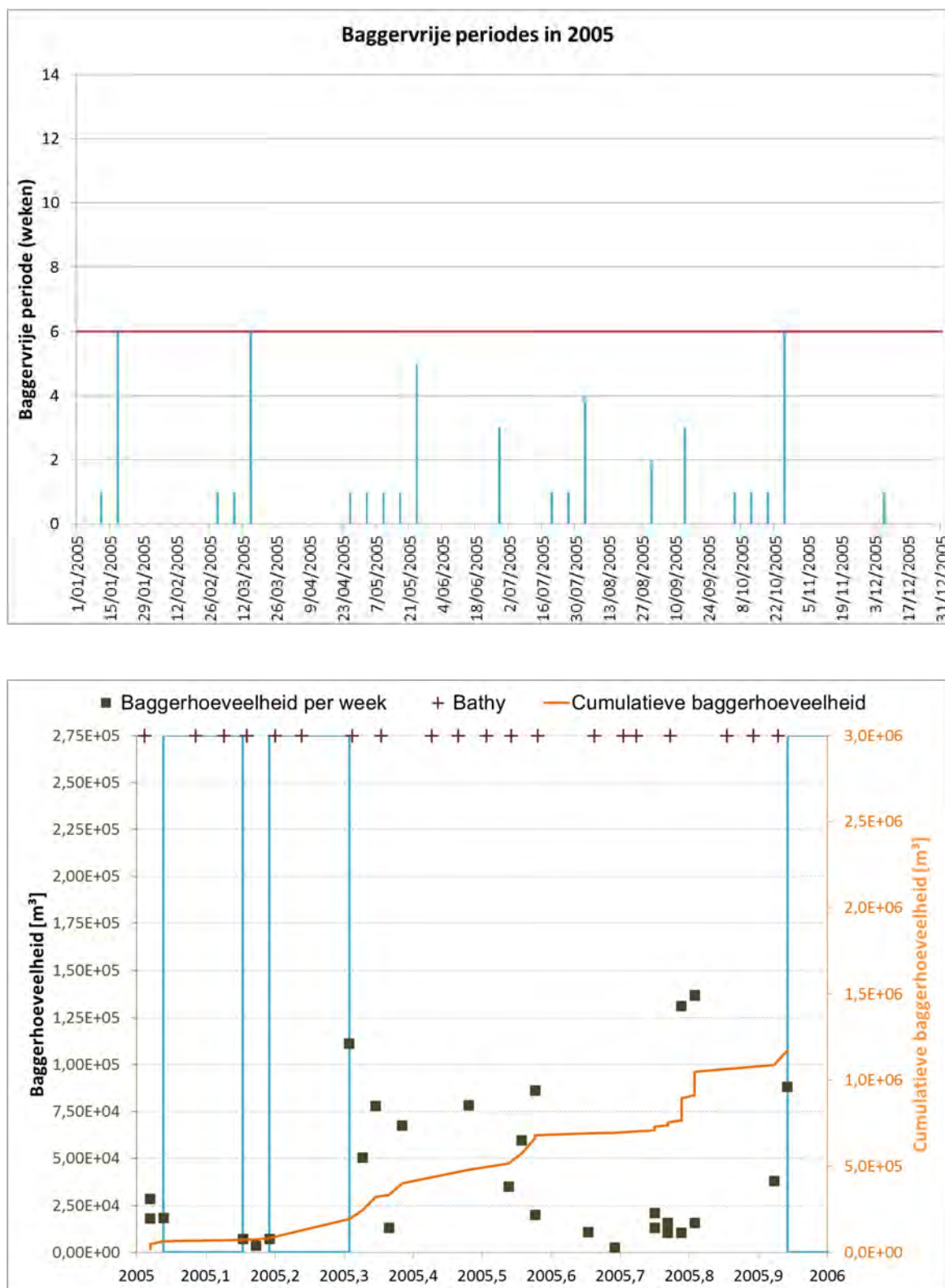
Figuur A 4 – Boven: Overzicht van de duur van de baggervrije periodes in 2003 in Hansweert,
Onder: Individuele en cumulatieve baggerhoeveelheden en tijdstip van opname van bathymetrische peilingen in 2003 in Hansweert
(baggervrije periodes worden aangeduid met een blauwe kader)



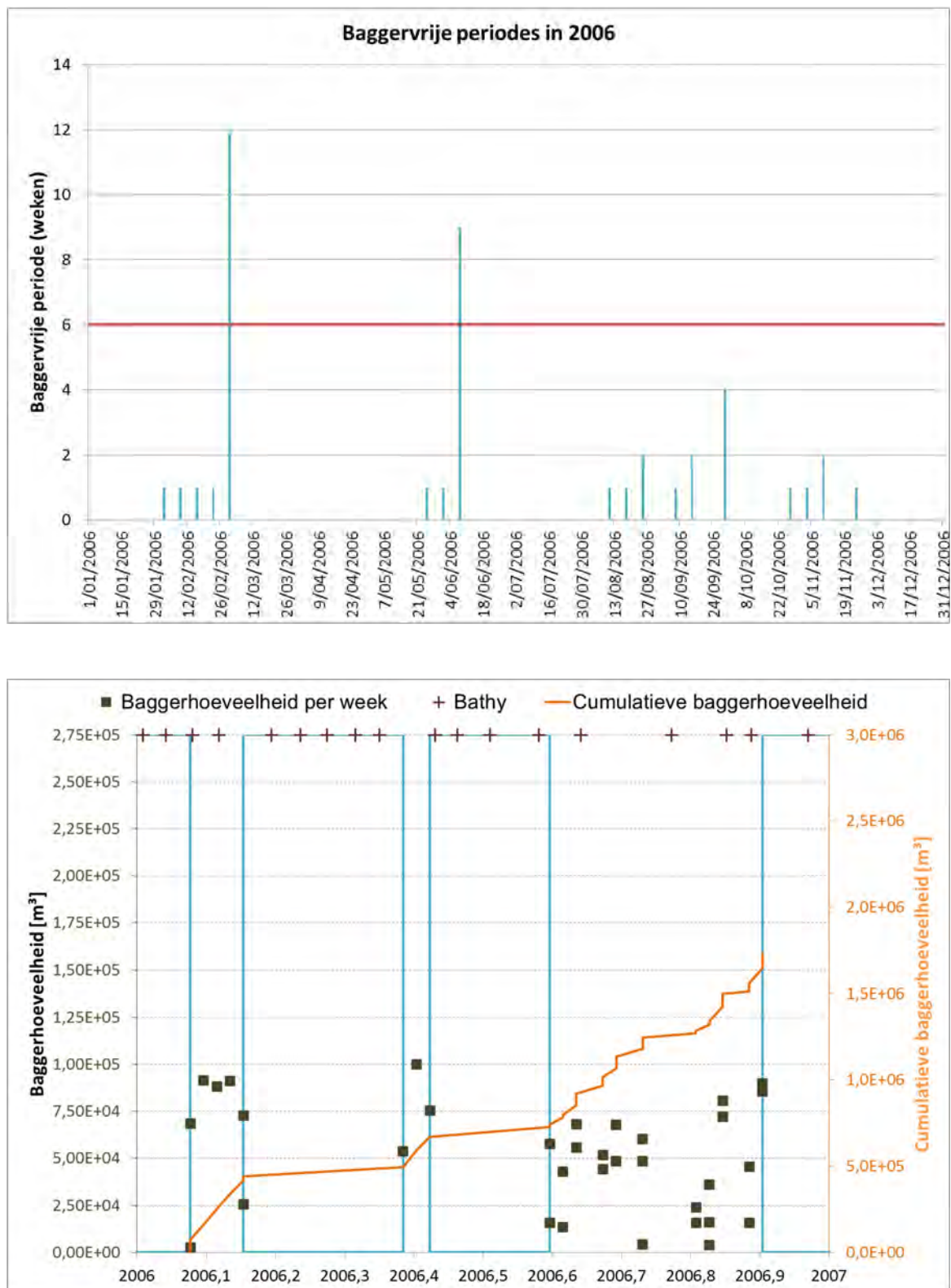
Figuur A 5 – Boven: Overzicht van de duur van de baggervrije periodes in 2004 in Hansweert,
Onder: Individuele en cumulatieve baggerhoeveelheden en tijdstip van opname van bathymetrische peilingen in 2004 in Hansweert
(baggervrije periodes worden aangeduid met een blauwe kader)



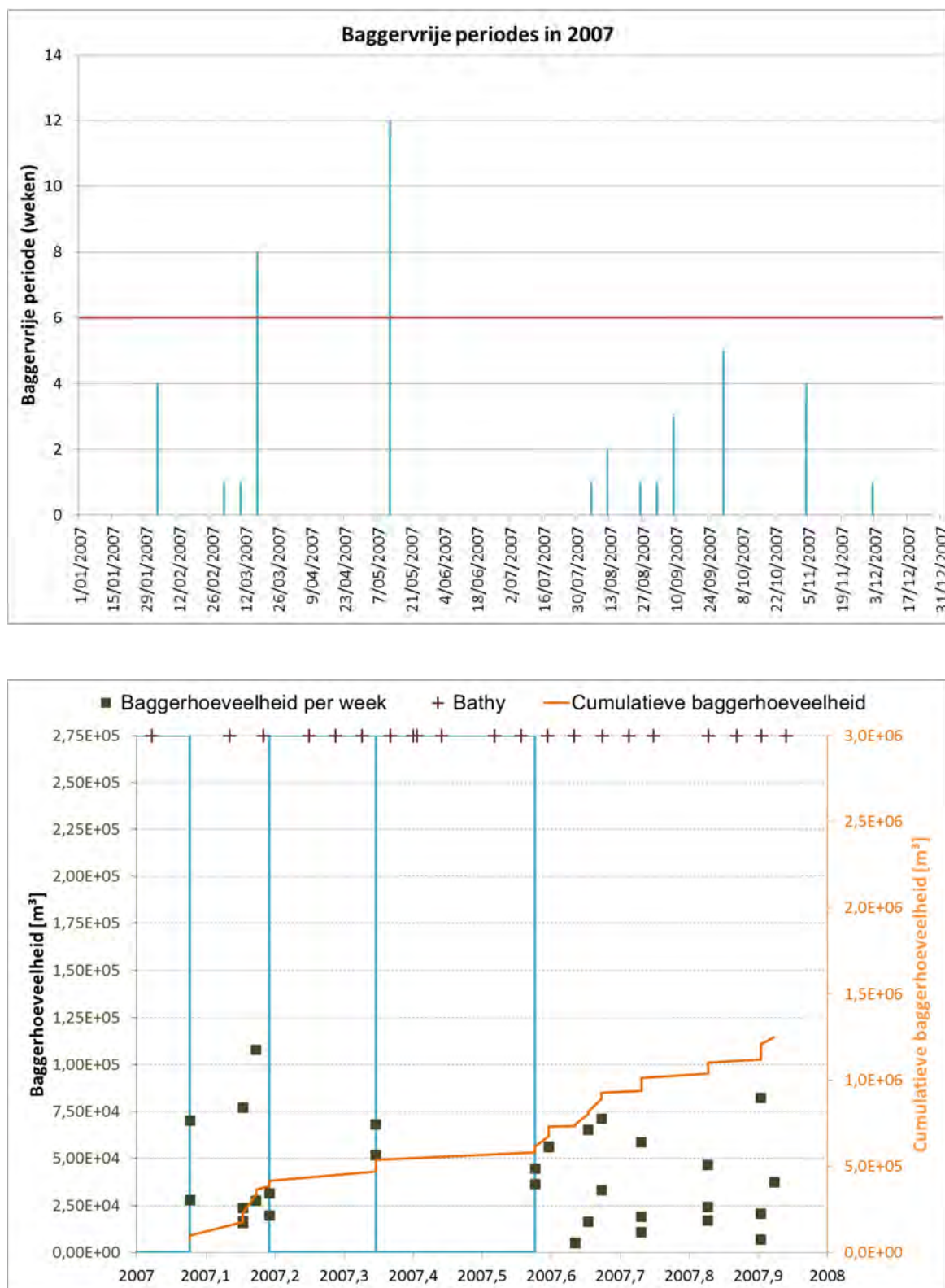
Figuur A 6 – Boven: Overzicht van de duur van de baggervrije periodes in 2005 in Hansweert,
Onder: Individuele en cumulatieve baggerhoeveelheden en tijdstip van opname van bathymetrische peilingen in 2005 in Hansweert
(baggervrije periodes worden aangeduid met een blauwe kader)



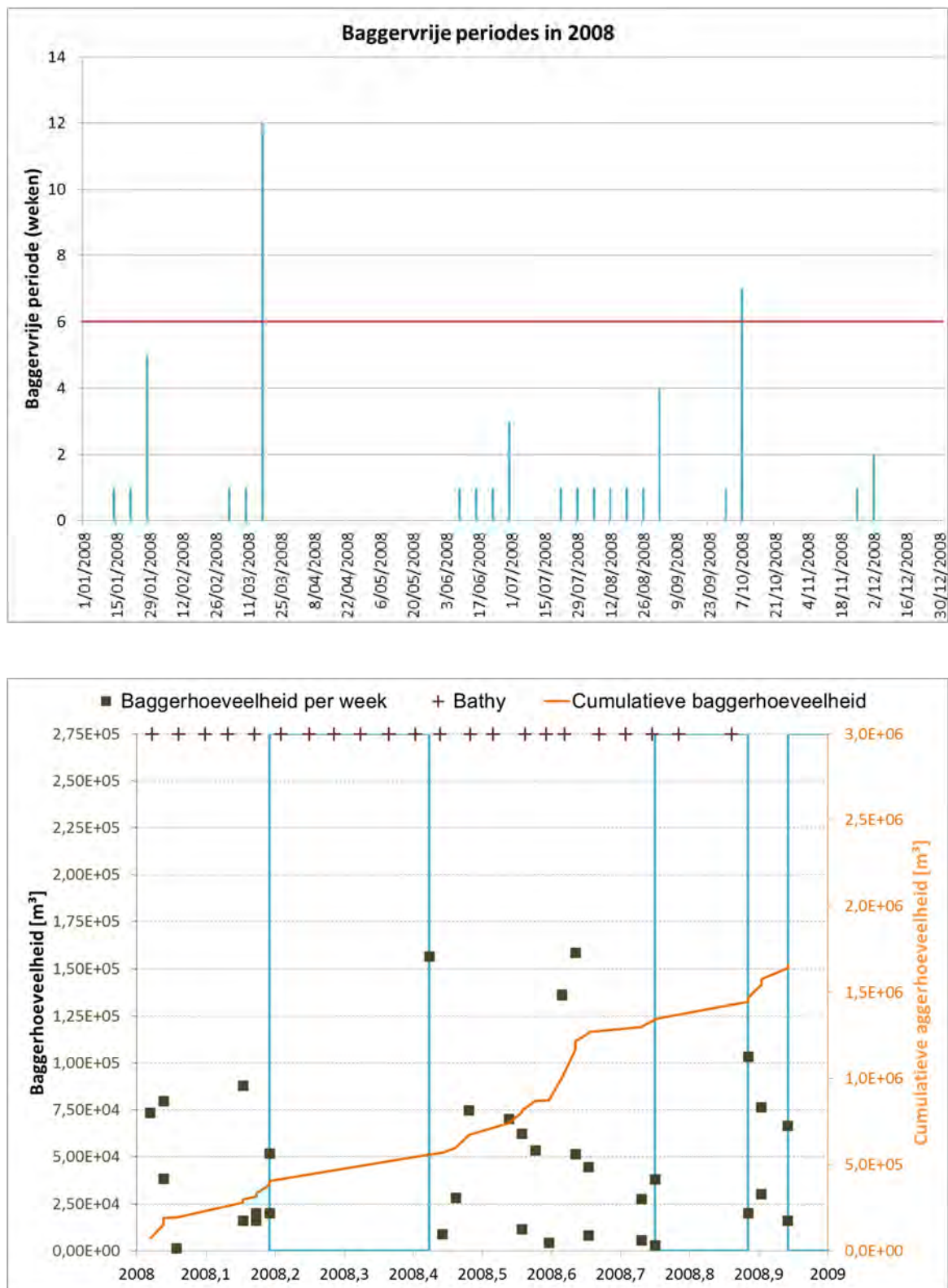
Figuur A 7 – Boven: Overzicht van de duur van de baggervrije periodes in 2006 in Hansweert,
Onder: Individuele en cumulatieve baggerhoeveelheden en tijdstip van opname van bathymetrische peilingen in 2006 in Hansweert
(baggervrije periodes worden aangeduid met een blauwe kader)



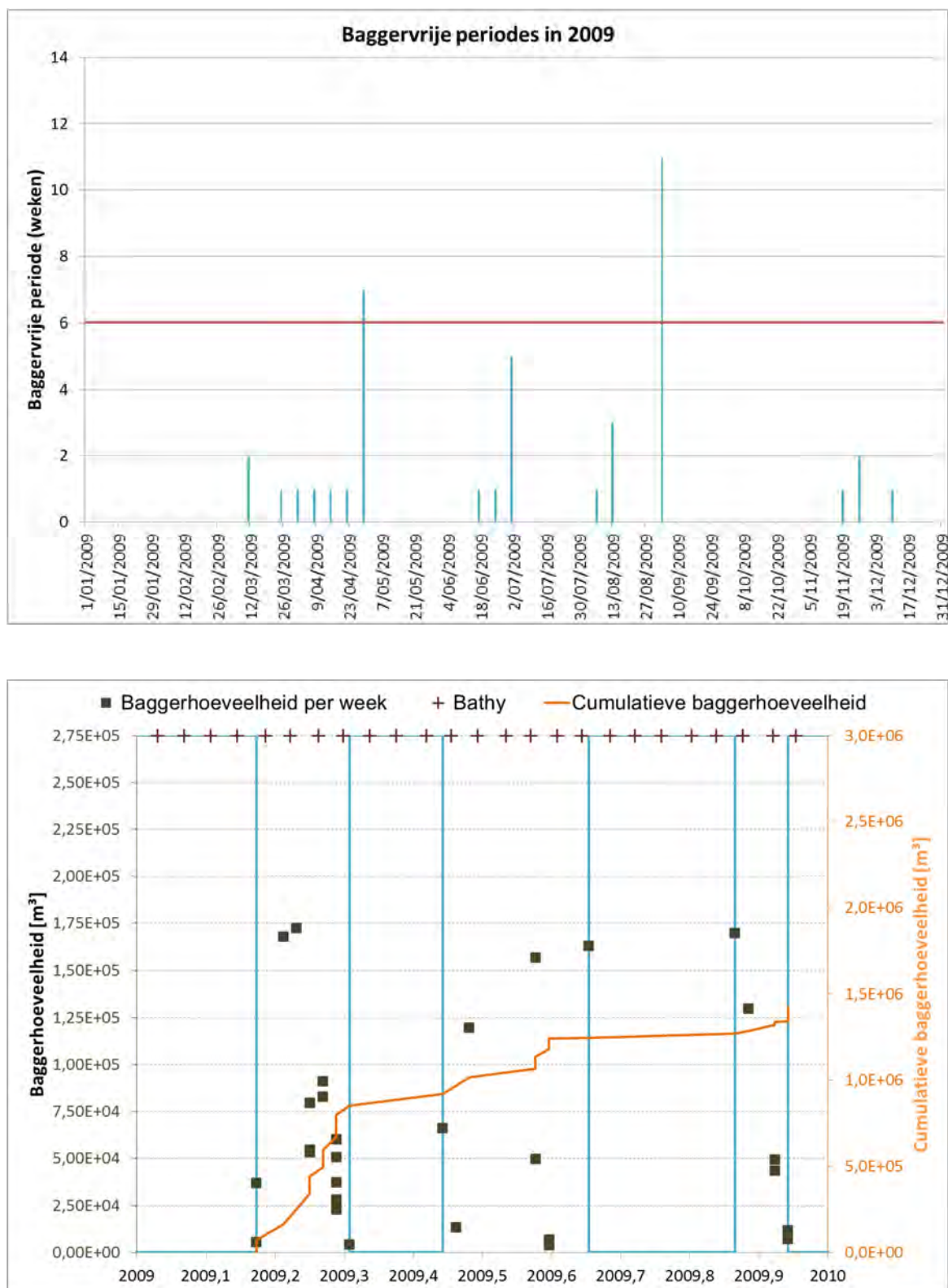
Figuur A 8 – Boven: Overzicht van de duur van de baggervrije periodes in 2007 in Hansweert,
Onder: Individuele en cumulatieve baggerhoeveelheden en tijdstip van opname van bathymetrische peilingen in 2007 in Hansweert
(baggervrije periodes worden aangeduid met een blauwe kader)



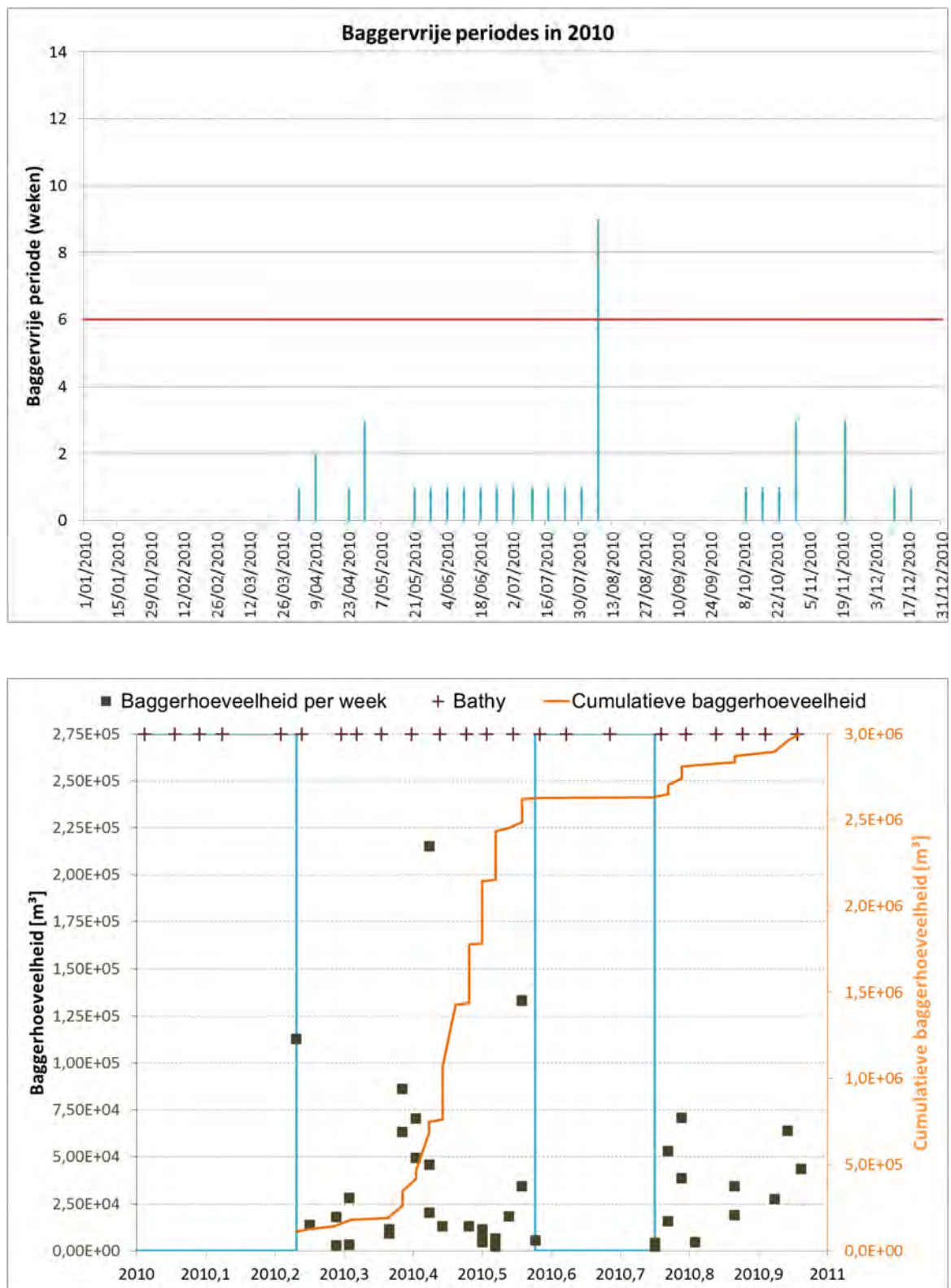
Figuur A 9 – Boven: Overzicht van de duur van de baggervrije periodes in 2008 in Hansweert, Onder: Individuele en cumulatieve baggerhoeveelheden en tijdstip van opname van bathymetrische peilingen in 2008 in Hansweert (baggervrije periodes worden aangeduid met een blauwe kader)



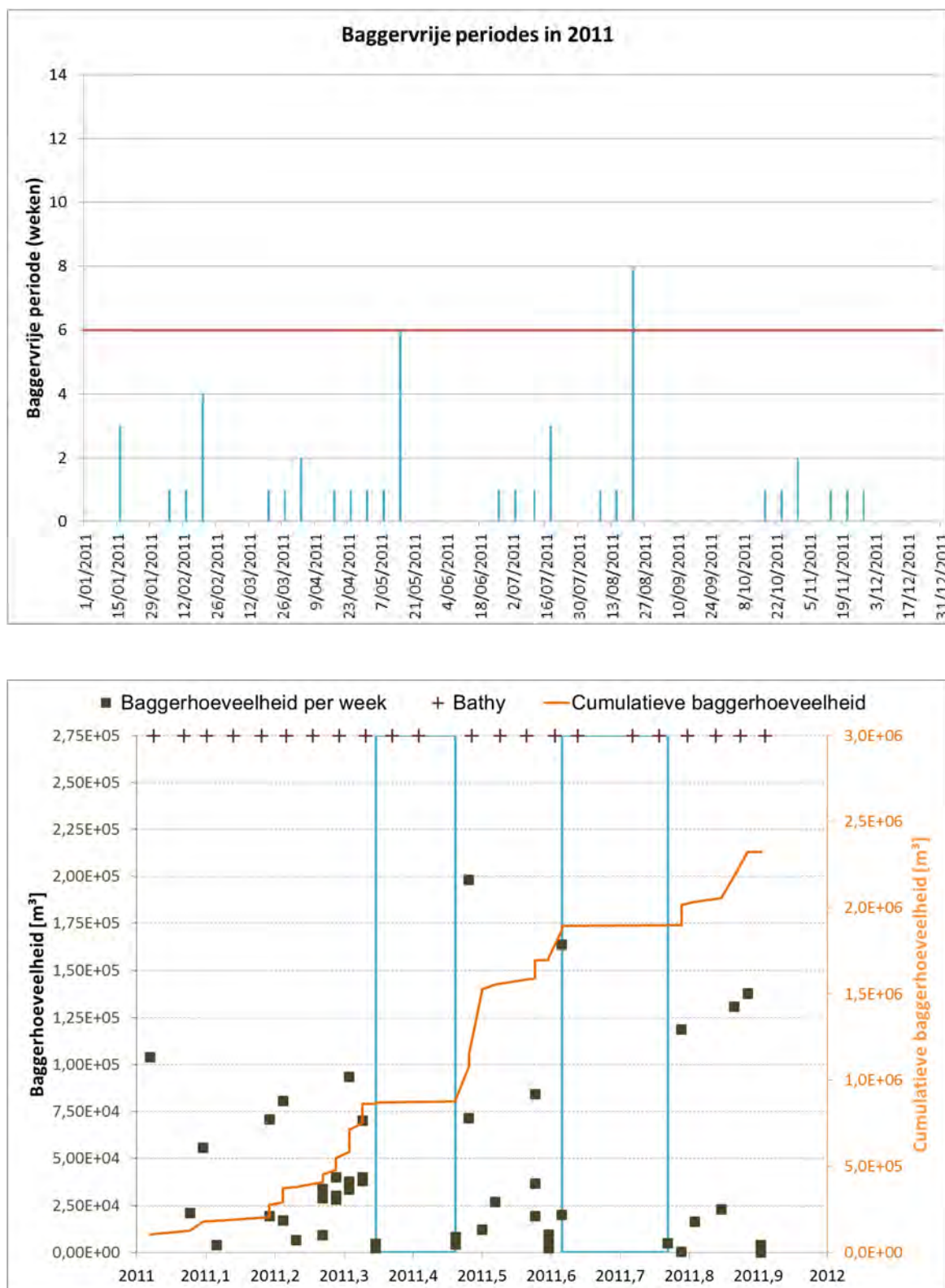
Figuur A 10 – Boven: Overzicht van de duur van de baggervrije periodes in 2009 in Hansweert, Onder: Individuele en cumulatieve baggerhoeveelheden en tijdstip van opname van bathymetrische peilingen in 2009 in Hansweert (baggervrije periodes worden aangeduid met een blauwe kader)



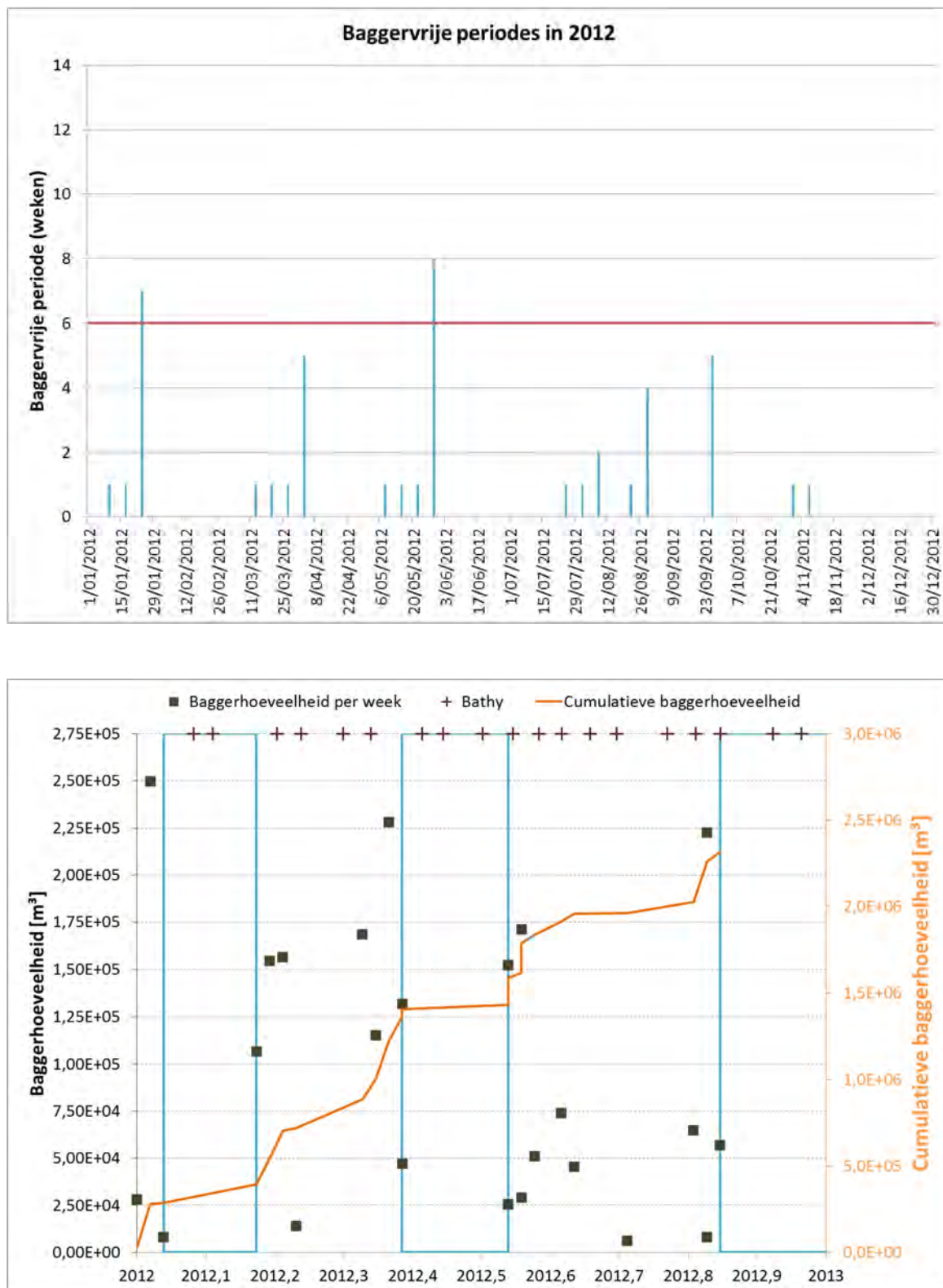
Figuur A 11– Boven: Overzicht van de duur van de baggervrije periodes in 2010 in Hansweert,
Onder: Individuele en cumulatieve baggerhoeveelheden en tijdstip van opname van bathymetrische peilingen in 2010 in Hansweert
(baggervrije periodes worden aangeduid met een blauwe kader)



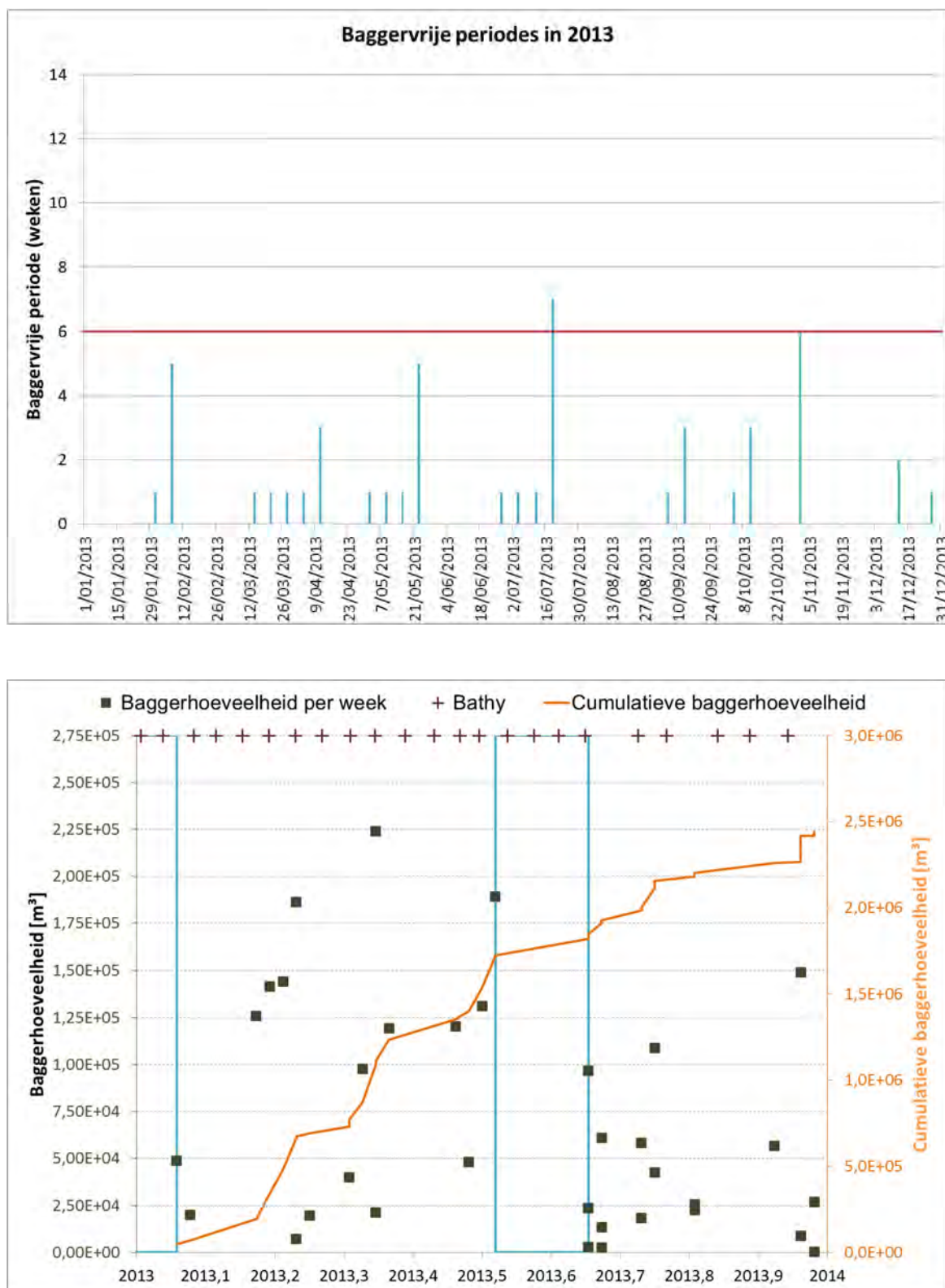
Figuur A 12 – Boven: Overzicht van de duur van de baggervrije periodes in 2011 in Hansweert,
Onder: Individuele en cumulatieve baggerhoeveelheden en tijdstip van opname van bathymetrische peilingen in 2011 in Hansweert
(baggervrije periodes worden aangeduid met een blauwe kader)



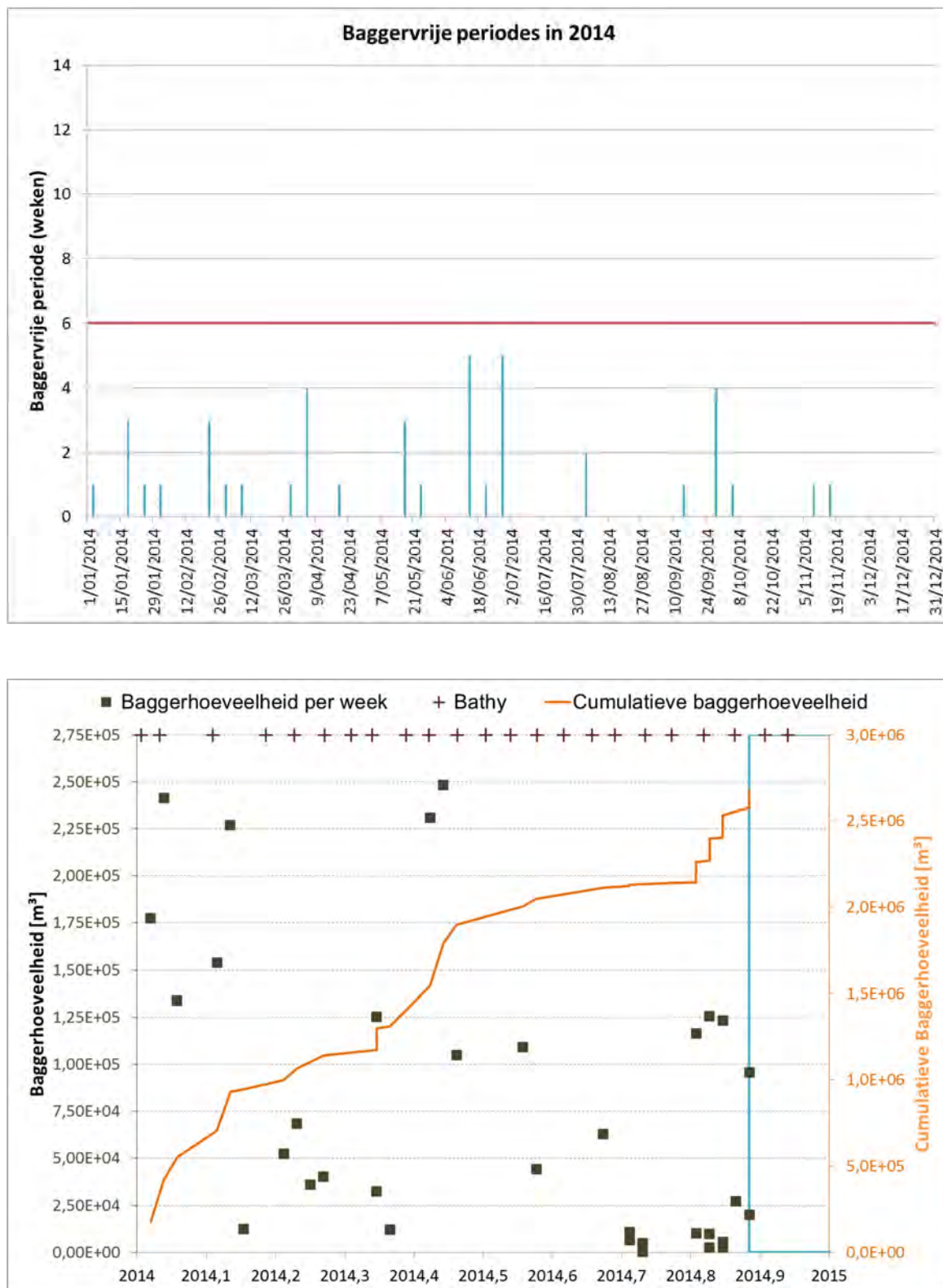
Figuur A 13– Boven: Overzicht van de duur van de baggervrije periodes in 2012 in Hansweert,
Onder: Individuele en cumulatieve baggerhoeveelheden en tijdstip van opname van bathymetrische peilingen in 2012 in Hansweert
(baggervrije periodes worden aangeduid met een blauwe kader)



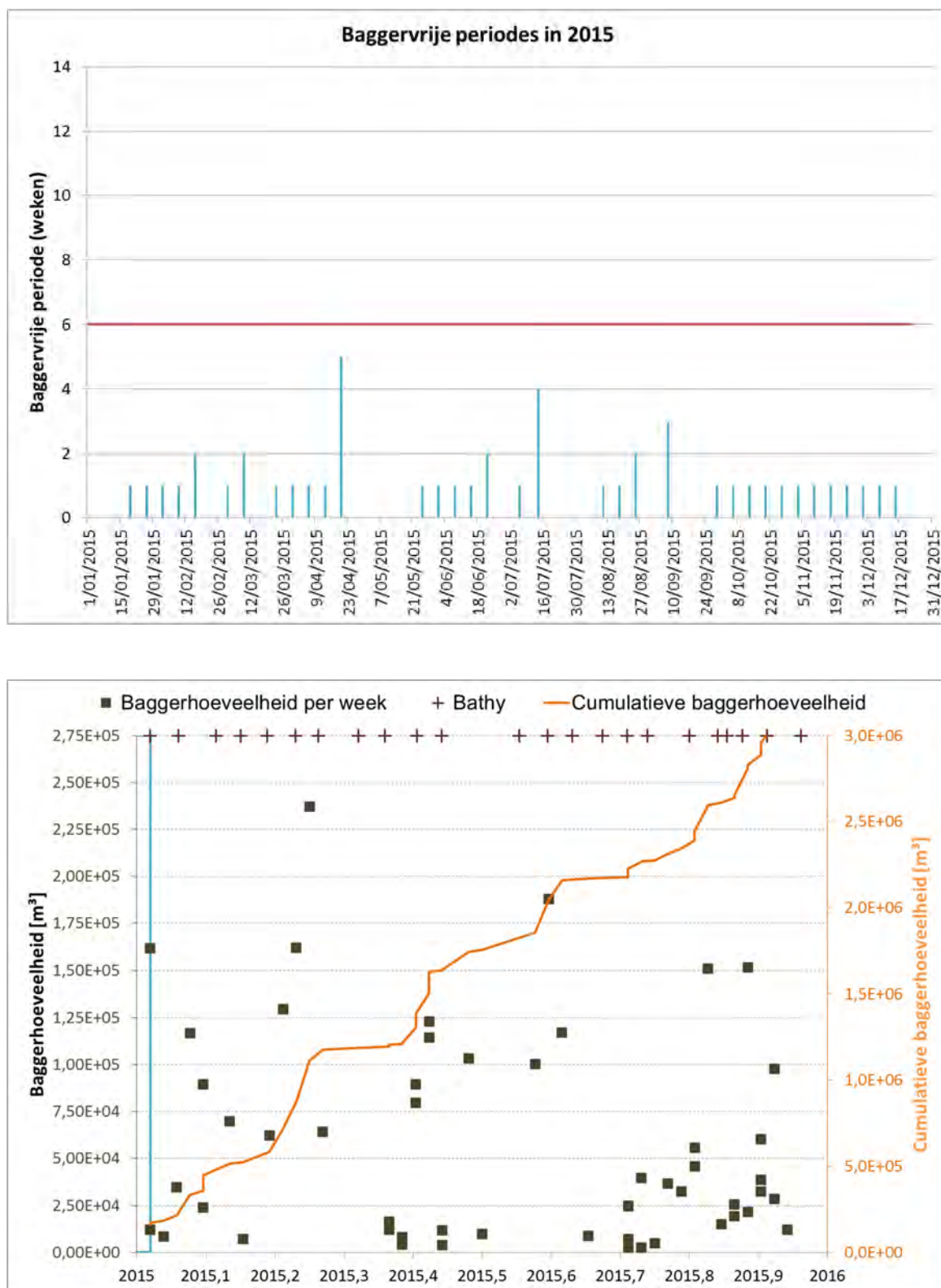
Figuur A 14 – Boven: Overzicht van de duur van de baggervrije periodes in 2013 in Hansweert,
Onder: Individuele en cumulatieve baggerhoeveelheden en tijdstip van opname van bathymetrische peilingen in 2013 in Hansweert
(baggervrije periodes worden aangeduid met een blauwe kader)



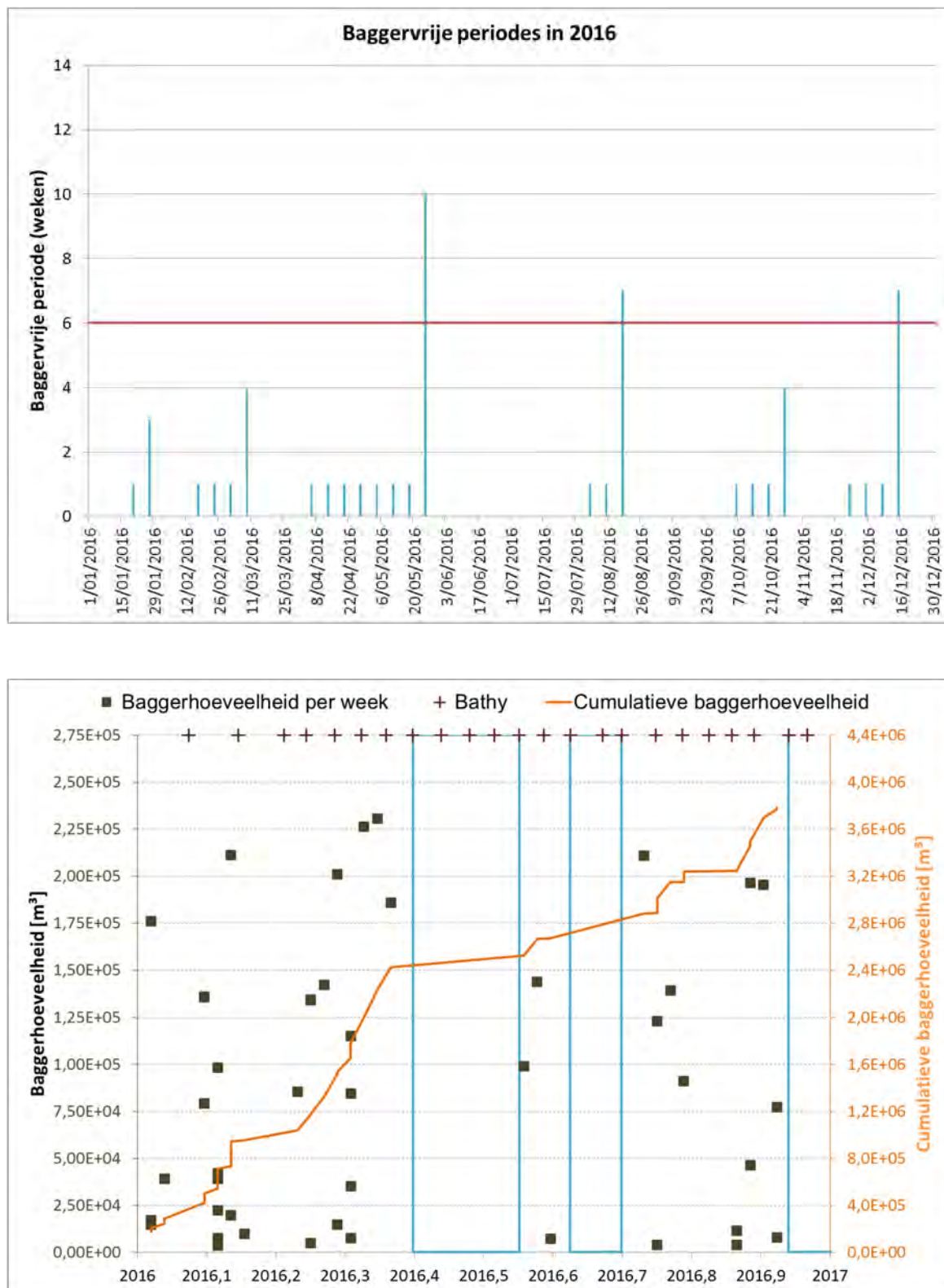
Figuur A 15 – Boven: Overzicht van de duur van de baggervrije periodes in 2014 in Hansweert,
Onder: Individuele en cumulatieve baggerhoeveelheden en tijdstip van opname van bathymetrische peilingen in 2014 in Hansweert
(baggervrije periodes worden aangeduid met een blauwe kader)



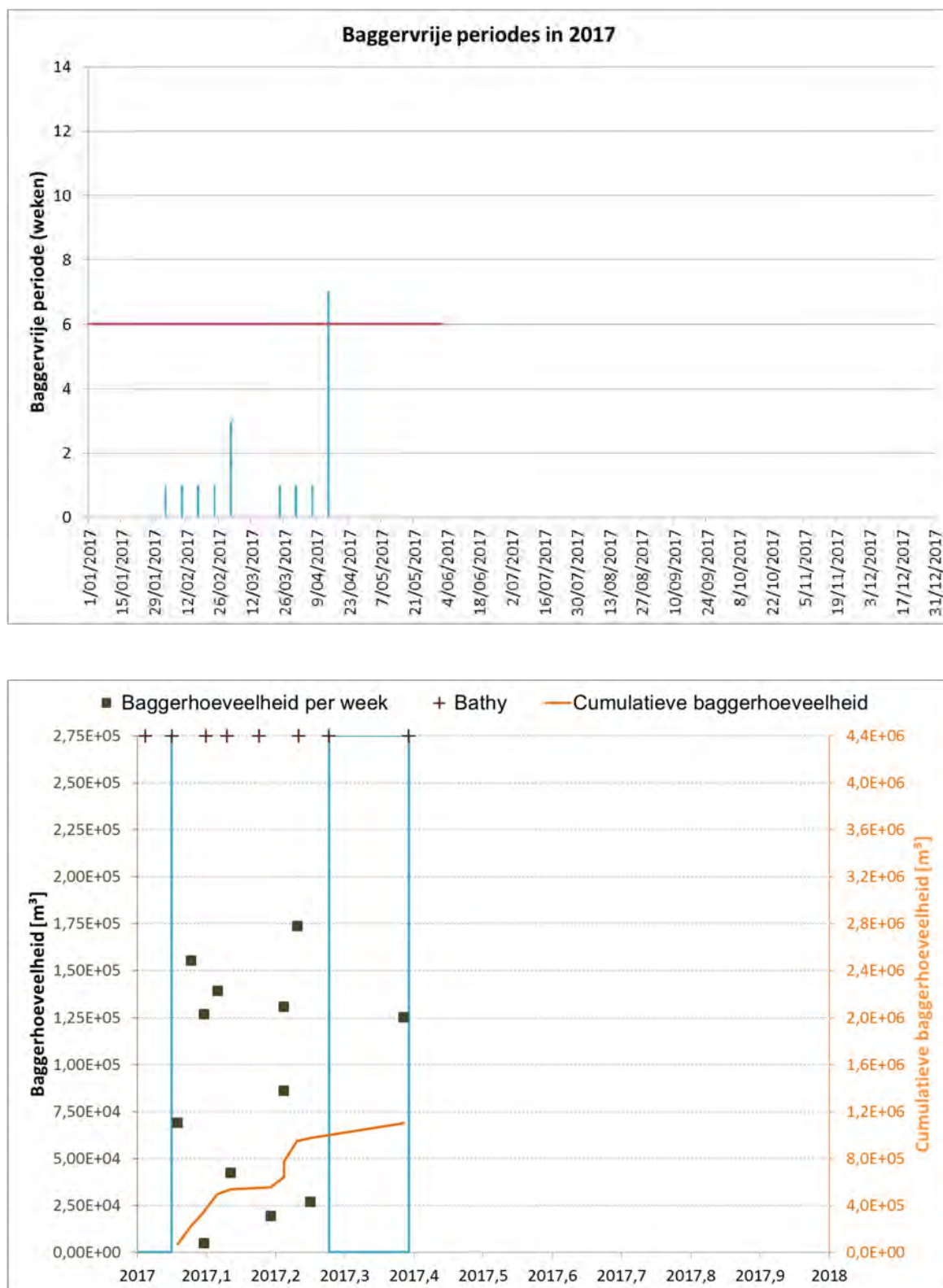
Figuur A 16 – Boven: Overzicht van de duur van de baggervrije periodes in 2015 in Hansweert,
Onder: Individuele en cumulatieve baggerhoeveelheden en tijdstip van opname van bathymetrische peilingen in 2015 in Hansweert
(baggervrije periodes worden aangeduid met een blauwe kader)



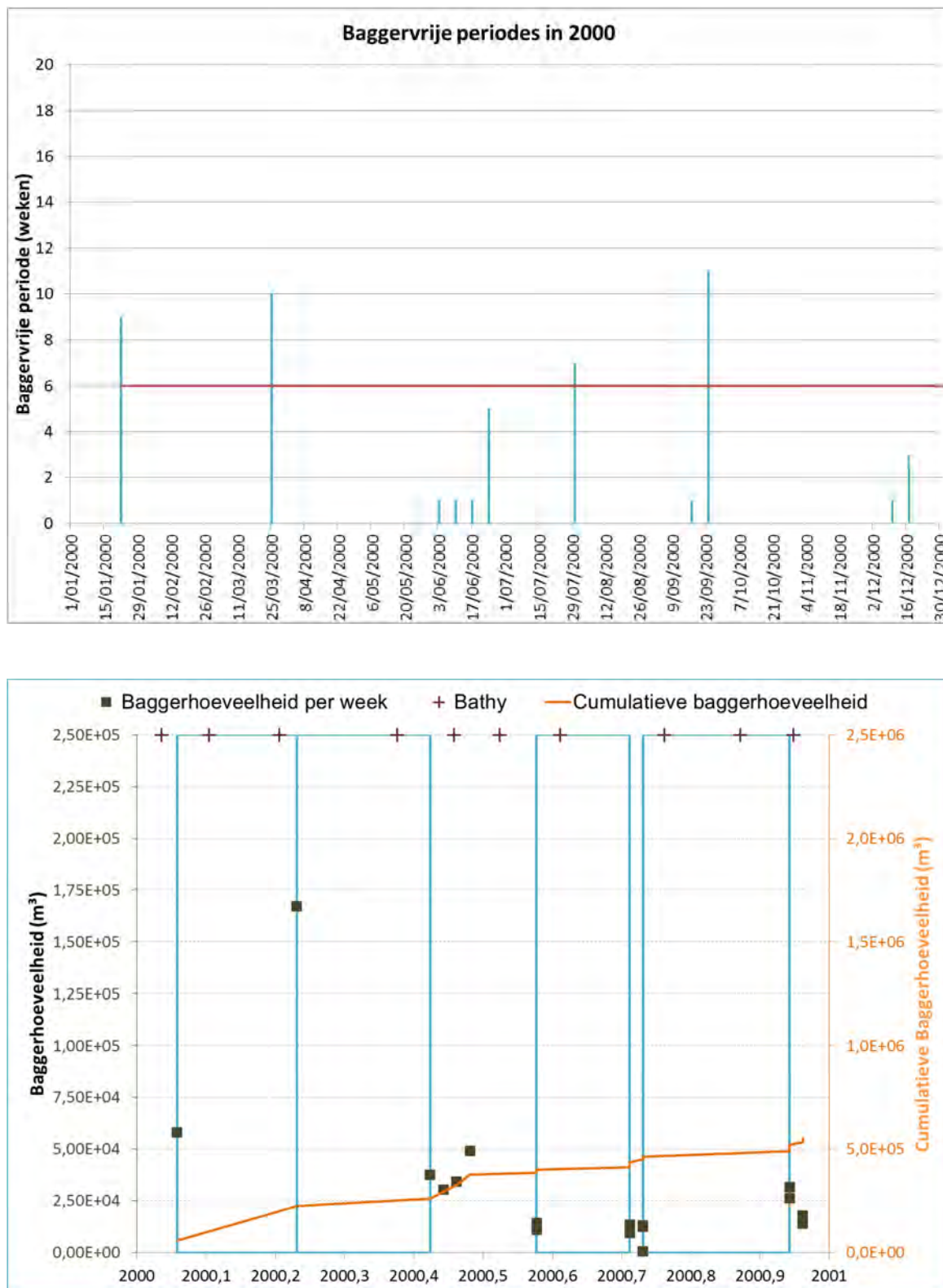
Figuur A 17 – Boven: Overzicht van de duur van de baggervrije periodes in 2016 in Hansweert,
Onder: Individuele en cumulatieve baggerhoeveelheden en tijdstip van opname van bathymetrische peilingen in 2016 in Hansweert
(baggervrije periodes worden aangeduid met een blauwe kader)



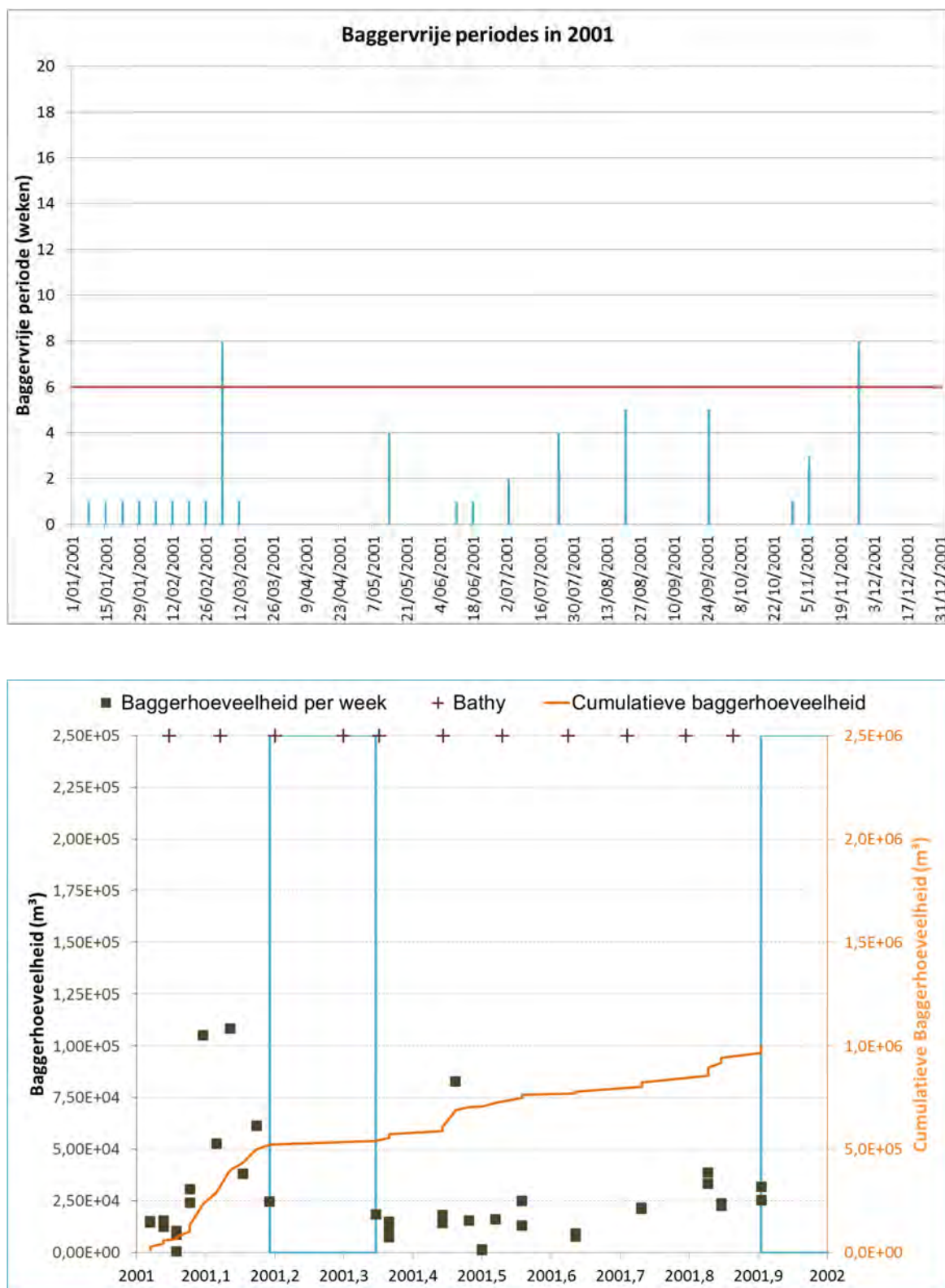
Figuur A 18 – Boven: Overzicht van de duur van de baggervrije periodes in 2017 in Hansweert,
Onder: Individuele en cumulatieve baggerhoeveelheden en tijdstip van opname van bathymetrische peilingen in 2017 in Hansweert
((baggervrije periodes worden aangeduid met een blauwe kader)



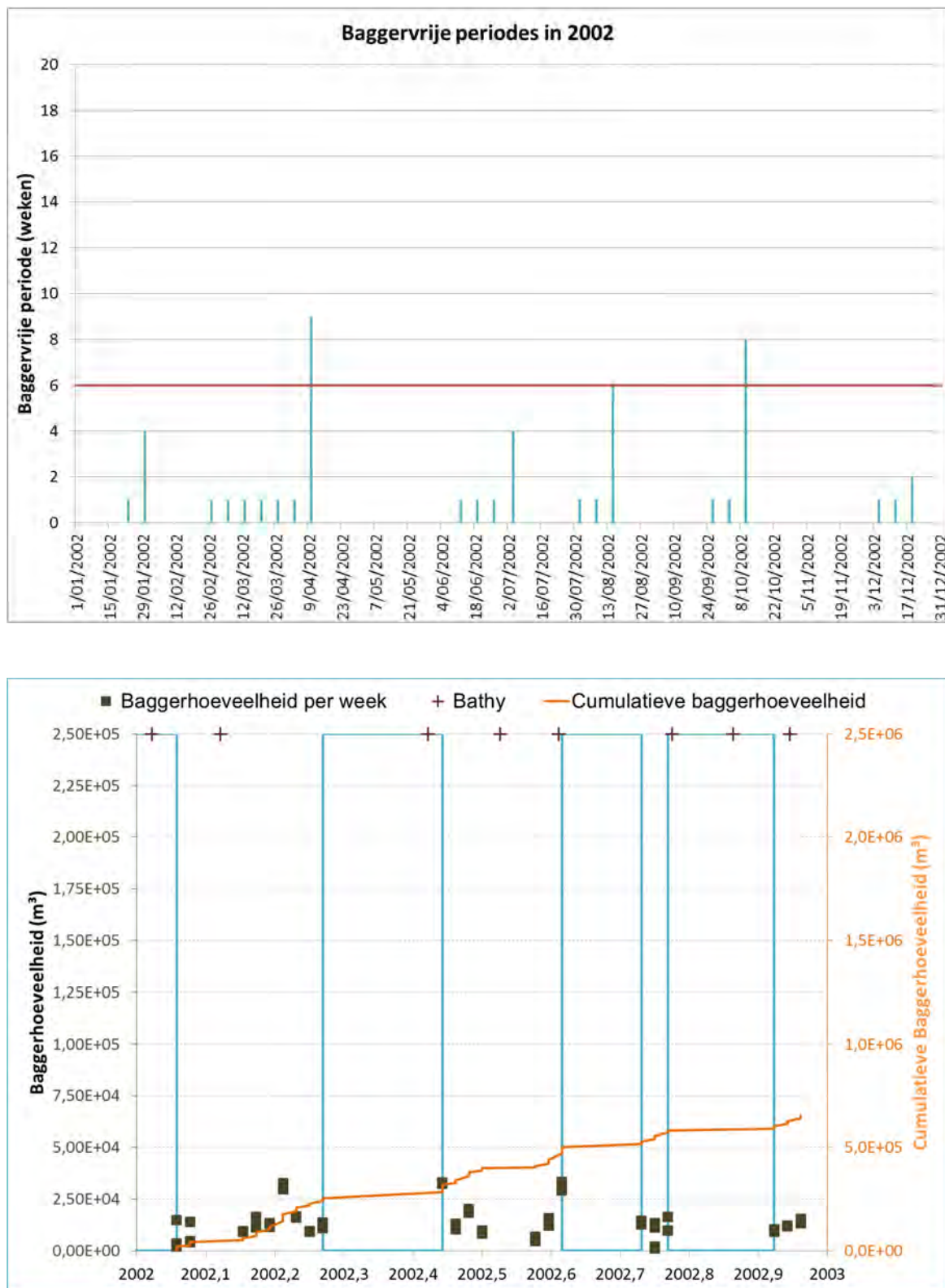
Figuur A 19 – Boven: Overzicht van de duur van de baggervrije periodes in 2000 bij drempel van Frederik, Onder: Individuele en cumulatieve baggerhoeveelheden en tijdstip van opname van bathymetrische peilingen in 2000 bij drempel van Frederik (baggervrije periodes worden aangeduid met een blauwe kader)



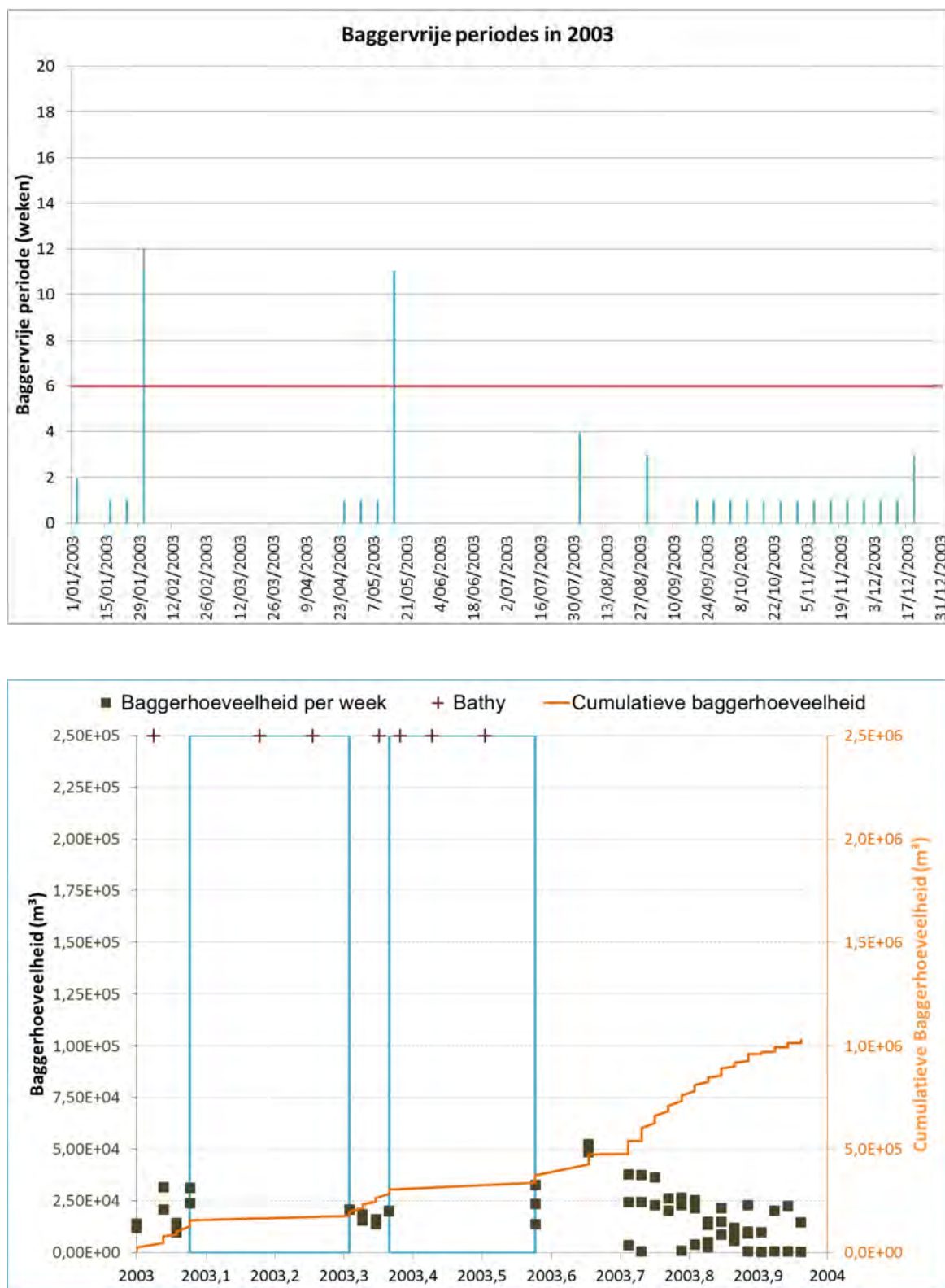
Figuur A 20 – Boven: Overzicht van de duur van de baggervrije periodes in 2001 bij drempel van Frederik, Onder: Individuele en cumulatieve baggerhoeveelheden en tijdstip van opname van bathymetrische peilingen in 2001 bij drempel van Frederik (baggervrije periodes worden aangeduid met een blauwe kader)



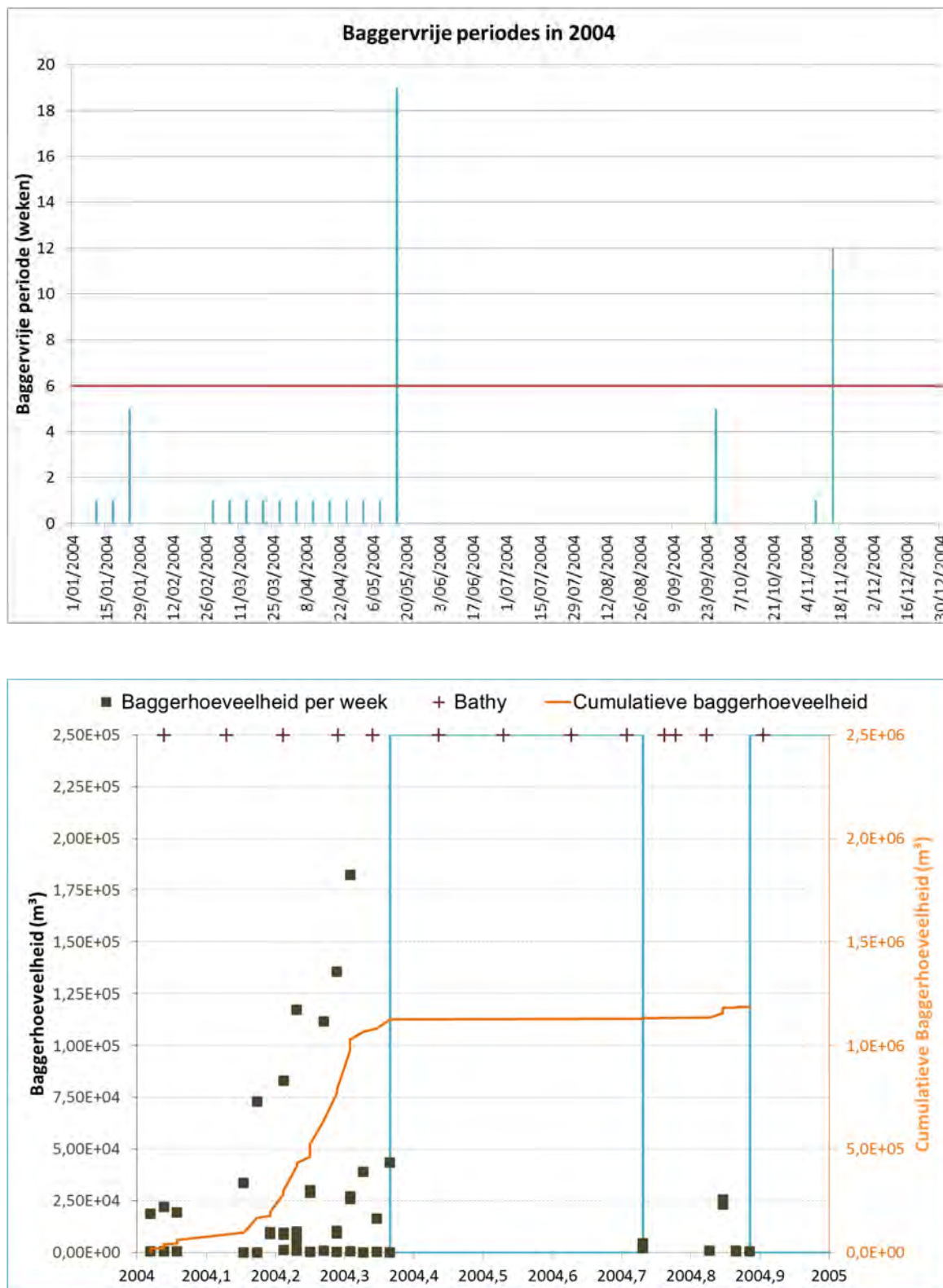
Figuur A 21 – Boven: Overzicht van de duur van de baggervrije periodes in 2002 bij drempel van Frederik, Onder: Individuele en cumulatieve baggerhoeveelheden en tijdstip van opname van bathymetrische peilingen in 2002 bij drempel van Frederik (baggervrije periodes worden aangeduid met een blauwe kader)



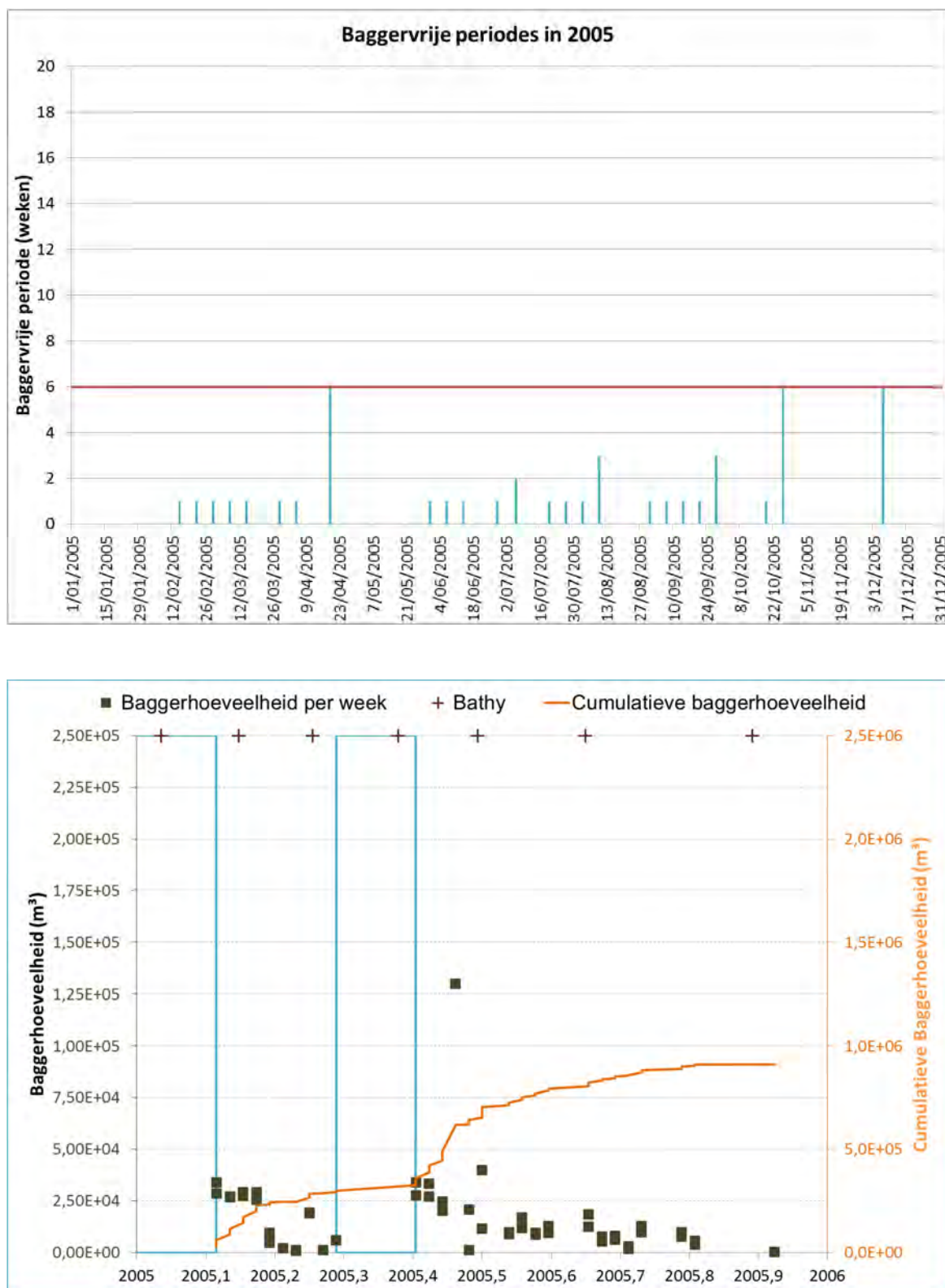
Figuur A 22 – Boven: Overzicht van de duur van de baggervrije periodes in 2003 bij drempel van Frederik, Onder: Individuele en cumulatieve baggerhoeveelheden en tijdstip van opname van bathymetrische peilingen in 2003 bij drempel van Frederik (baggervrije periodes worden aangeduid met een blauwe kader)



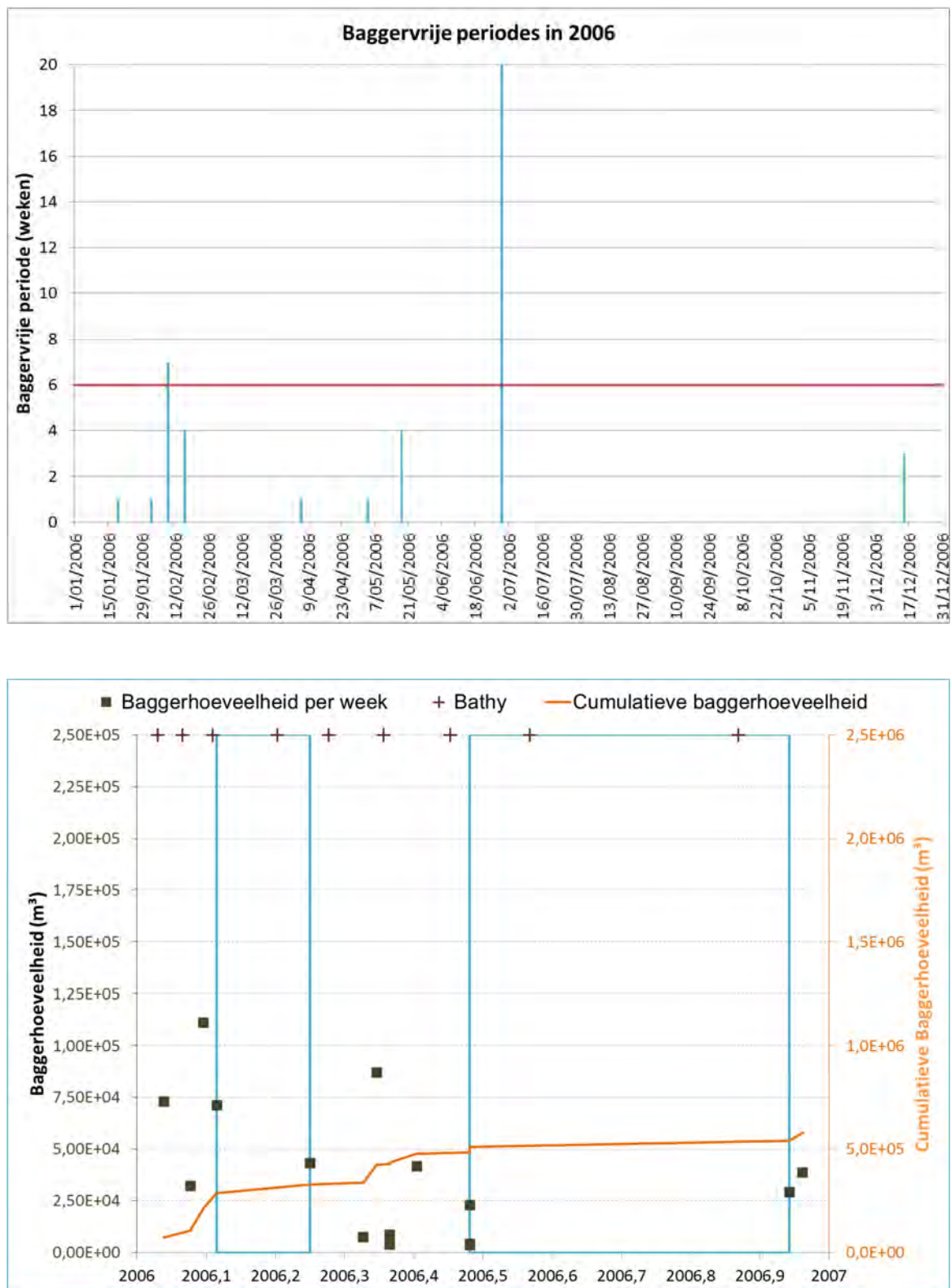
Figuur A 23 – Boven: Overzicht van de duur van de baggervrije periodes in 2004 bij drempel van Frederik, Onder: Individuele en cumulatieve baggerhoeveelheden en tijdstip van opname van bathymetrische peilingen in 2004 bij drempel van Frederik (baggervrije periodes worden aangeduid met een blauwe kader)



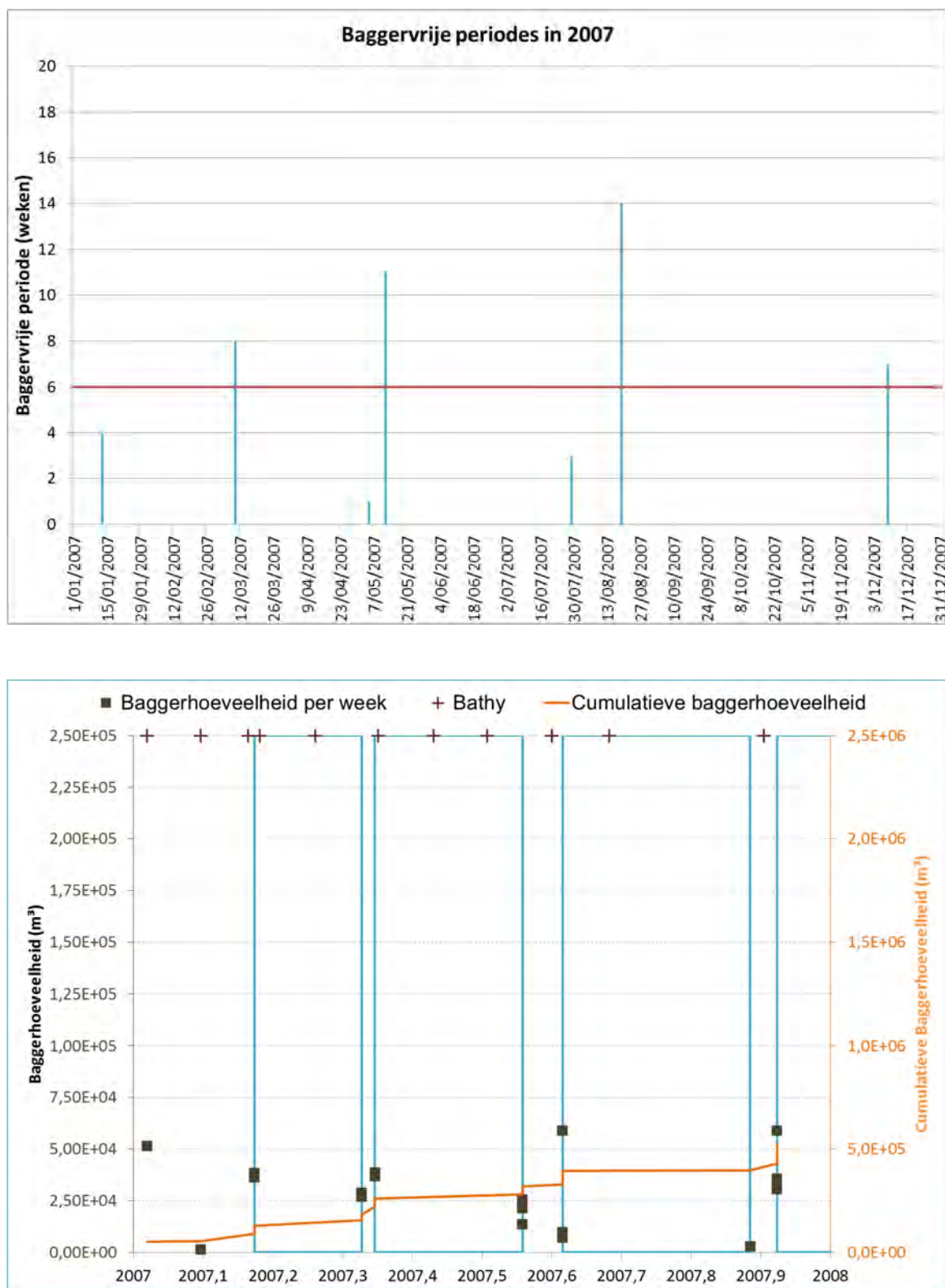
Figuur A 24 – Boven: Overzicht van de duur van de bagger vrije periodes in 2005 bij drempel van Frederik, Onder: Individuele en cumulatieve baggerhoeveelheden en tijdstip van opname van bathymetrische peilingen in 2005 bij drempel van Frederik (bagger vrije periodes worden aangeduid met een blauwe kader)



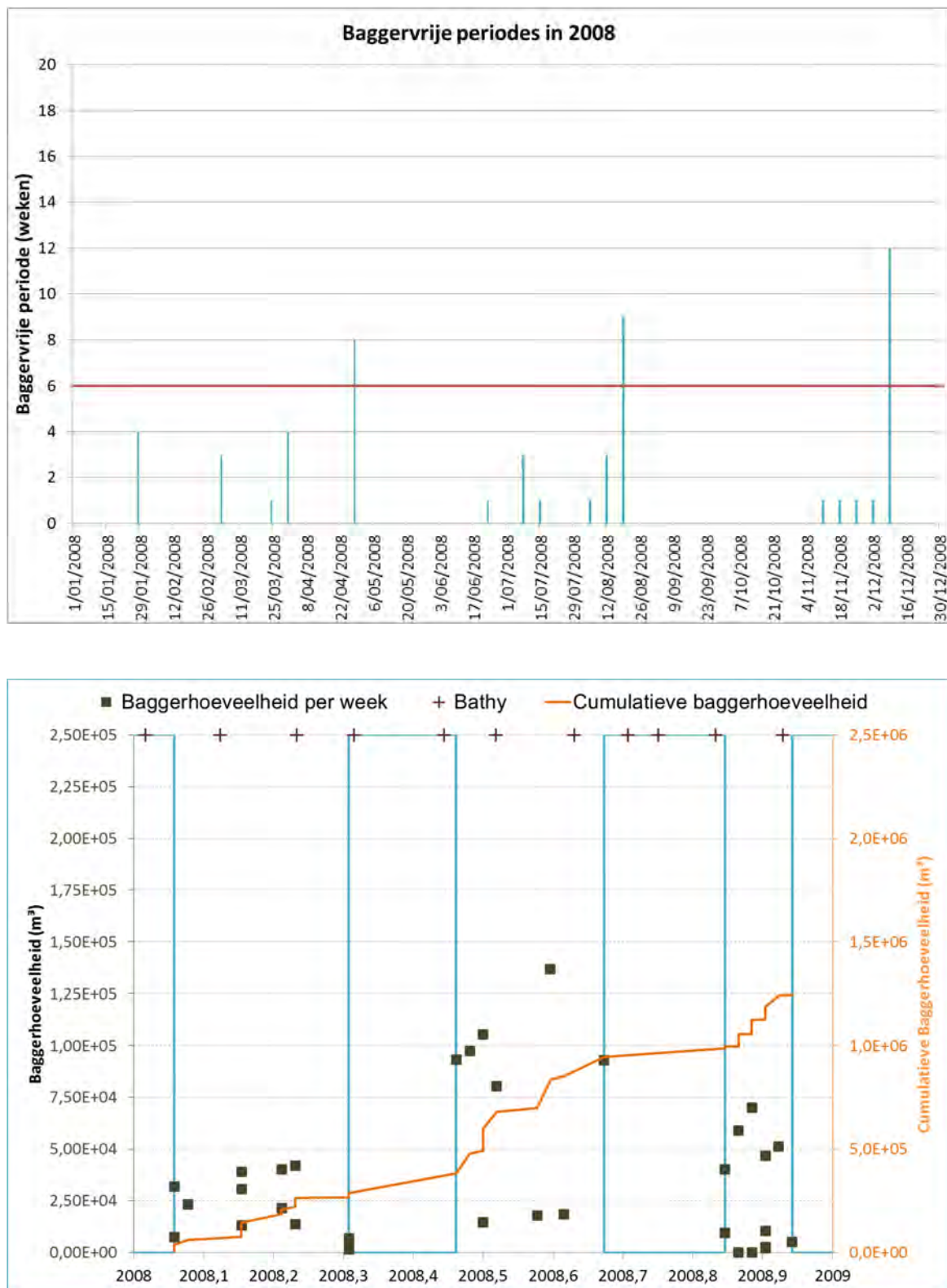
Figuur A 25 – Boven: Overzicht van de duur van de baggervrije periodes in 2006 bij drempel van Frederik, Onder: Individuele en cumulatieve baggerhoeveelheden en tijdstip van opname van bathymetrische peilingen in 2006 bij drempel van Frederik (baggervrije periodes worden aangeduid met een blauwe kader)



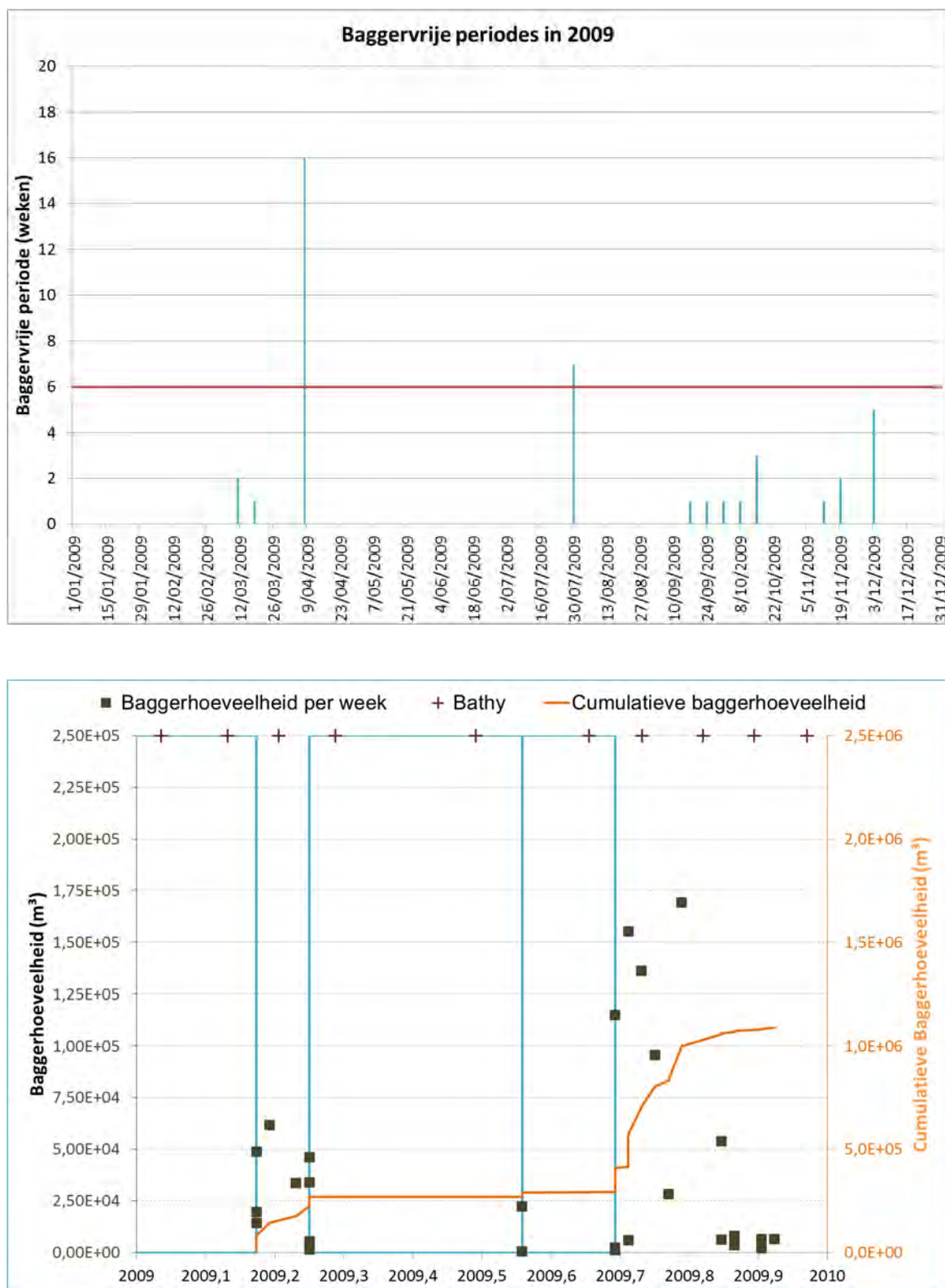
Figuur A 26 – Boven: Overzicht van de duur van de baggervrije periodes in 2007 bij drempel van Frederik, Onder: Individuele en cumulatieve baggerhoeveelheden en tijdstip van opname van bathymetrische peilingen in 2007 bij drempel van Frederik (baggervrije periodes worden aangeduid met een blauwe kader)



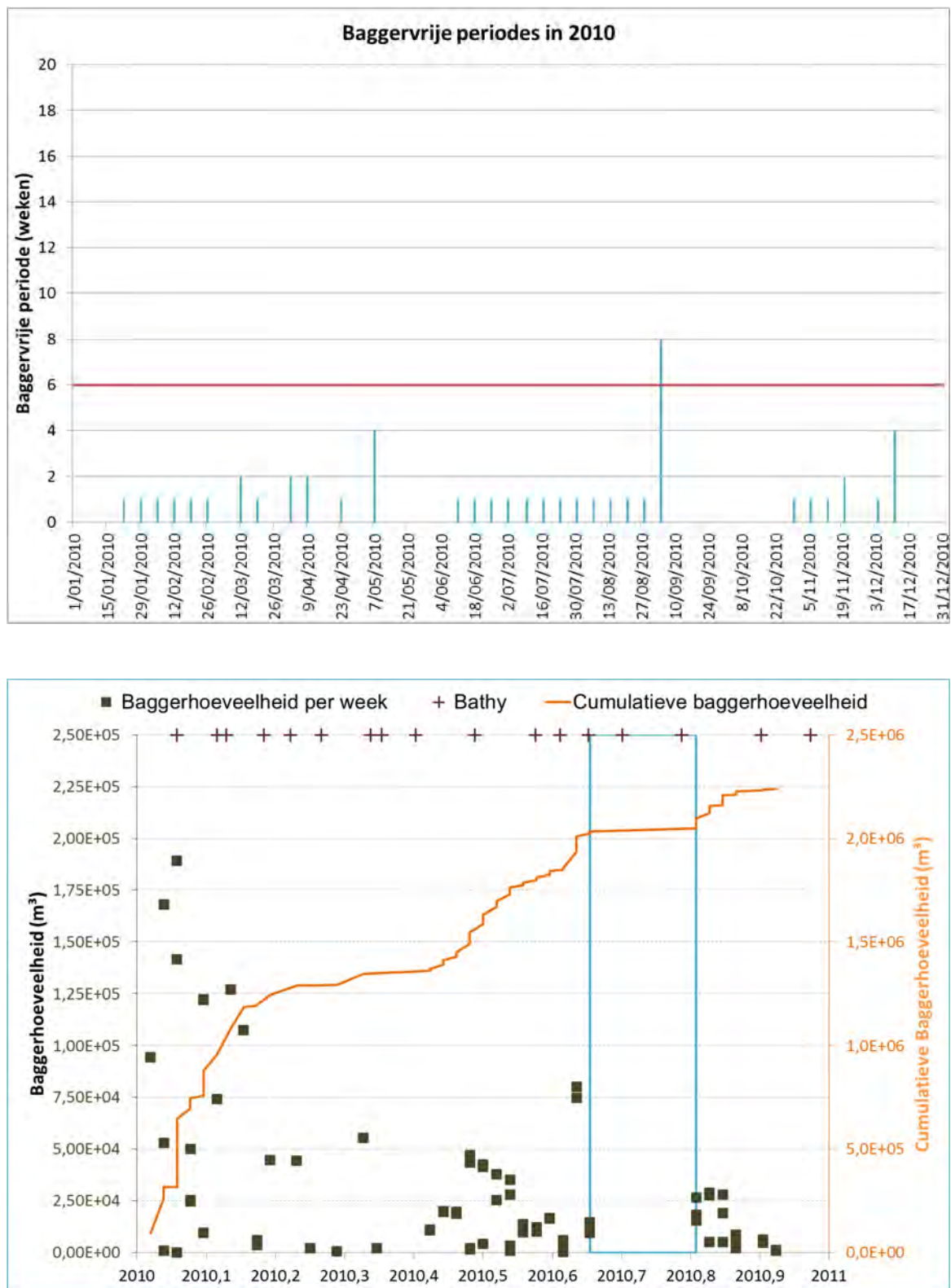
Figuur A 27 – Boven: Overzicht van de duur van de baggervrije periodes in 2008 bij drempel van Frederik, Onder: Individuele en cumulatieve baggerhoeveelheden en tijdstip van opname van bathymetrische peilingen in 2008 bij drempel van Frederik (baggervrije periodes worden aangeduid met een blauwe kader)



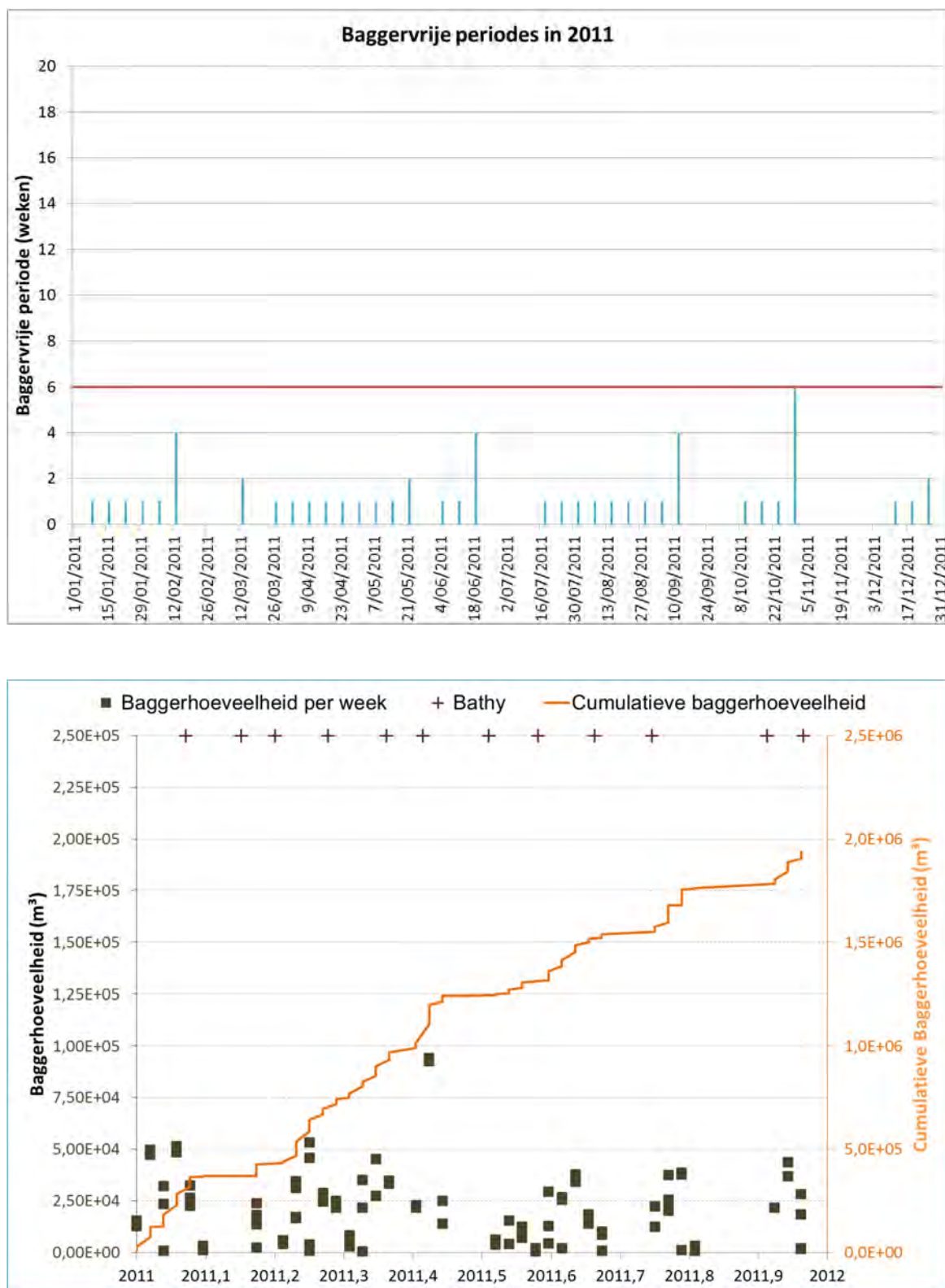
Figuur A 28 – Boven: Overzicht van de duur van de baggervrije periodes in 2009 bij drempel van Frederik, Onder: Individuele en cumulatieve baggerhoeveelheden en tijdstip van opname van bathymetrische peilingen in 2009 bij drempel van Frederik (baggervrije periodes worden aangeduid met een blauwe kader)



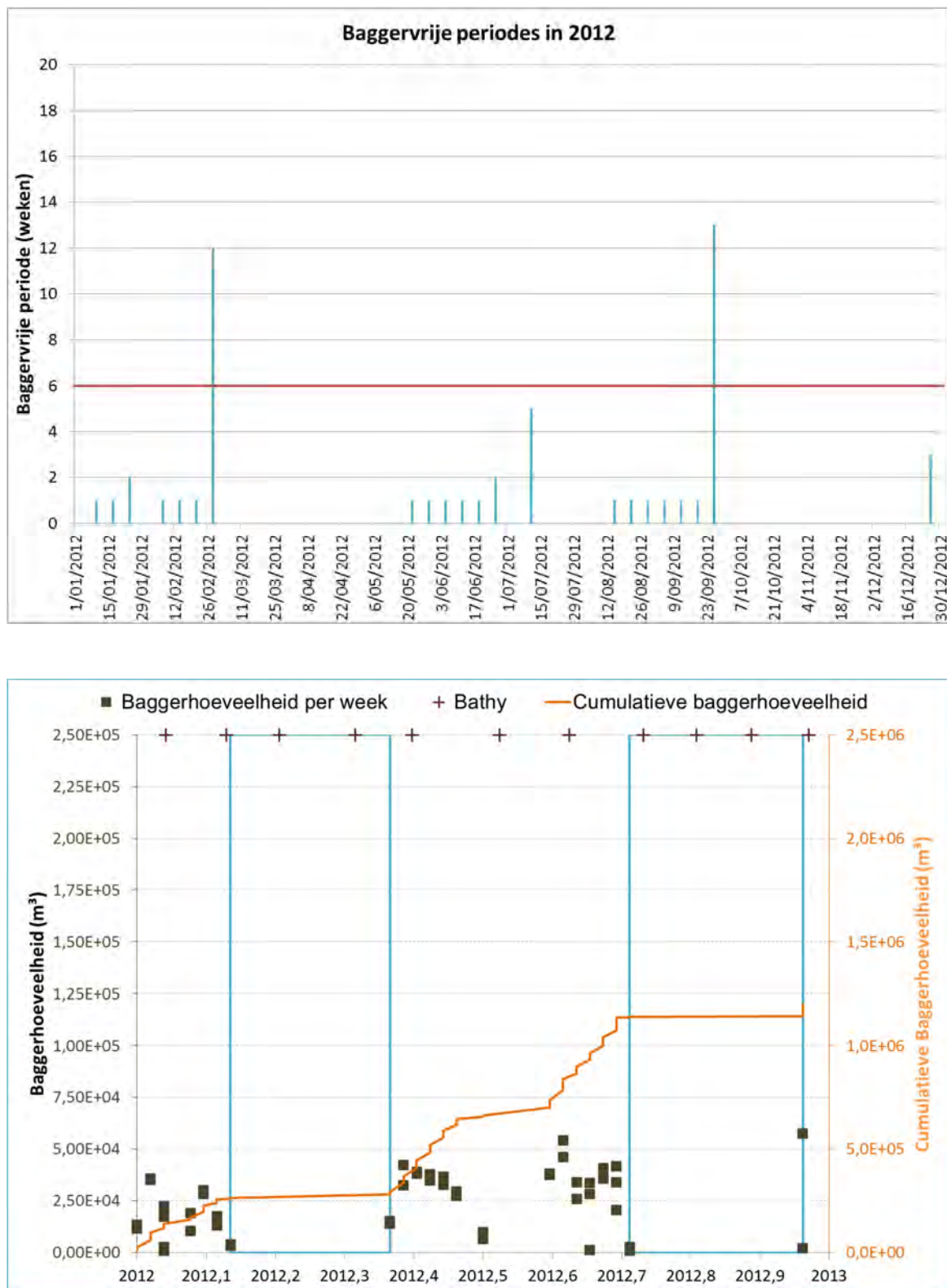
Figuur A 29 – Boven: Overzicht van de duur van de baggervrije periodes in 2010 bij drempel van Frederik, Onder: Individuele en cumulatieve baggerhoeveelheden en tijdstip van opname van bathymetrische peilingen in 2010 bij drempel van Frederik (baggervrije periodes worden aangeduid met een blauwe kader)



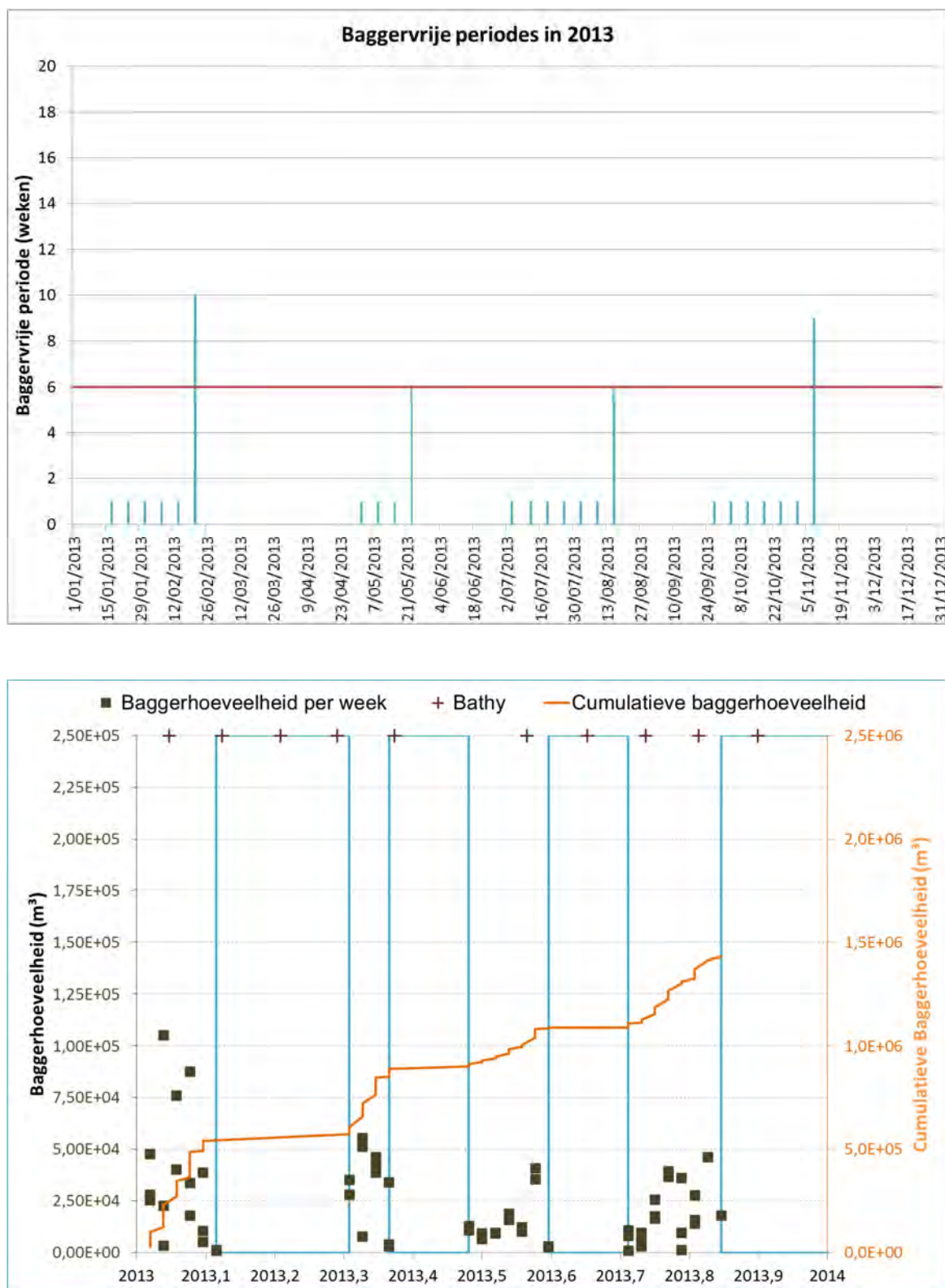
Figuur A 30 – Boven: Overzicht van de duur van de baggervrije periodes in 2011 bij drempel van Frederik, Onder: Individuele en cumulatieve baggerhoeveelheden en tijdstip van opname van bathymetrische peilingen in 2011 bij drempel van Frederik (baggervrije periodes worden aangeduid met een blauwe kader)



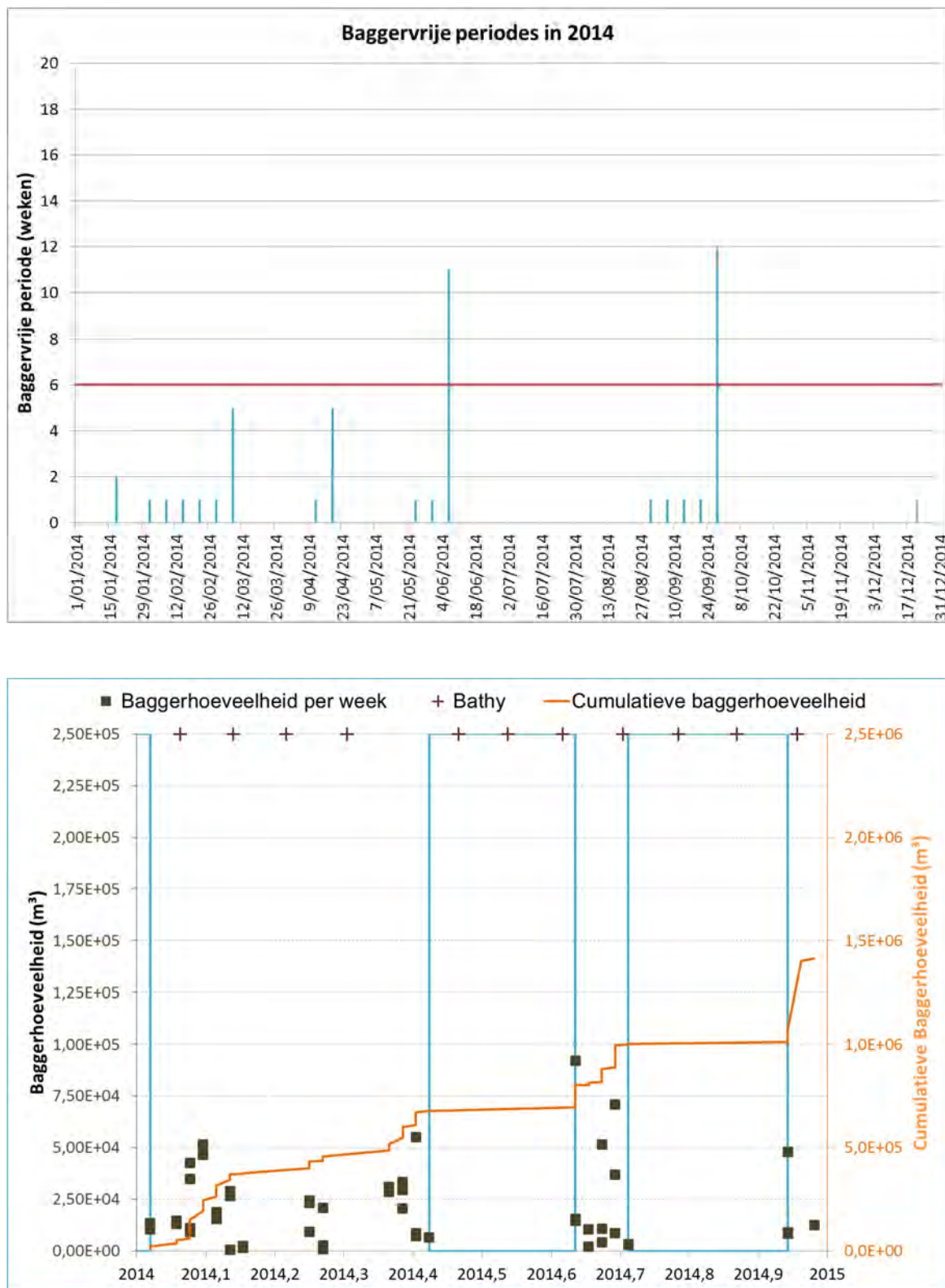
Figuur A 31 – Boven: Overzicht van de duur van de baggervrije periodes in 2012 bij drempel van Frederik, Onder: Individuele en cumulatieve baggerhoeveelheden en tijdstip van opname van bathymetrische peilingen in 2012 bij drempel van Frederik (baggervrije periodes worden aangeduid met een blauwe kader)



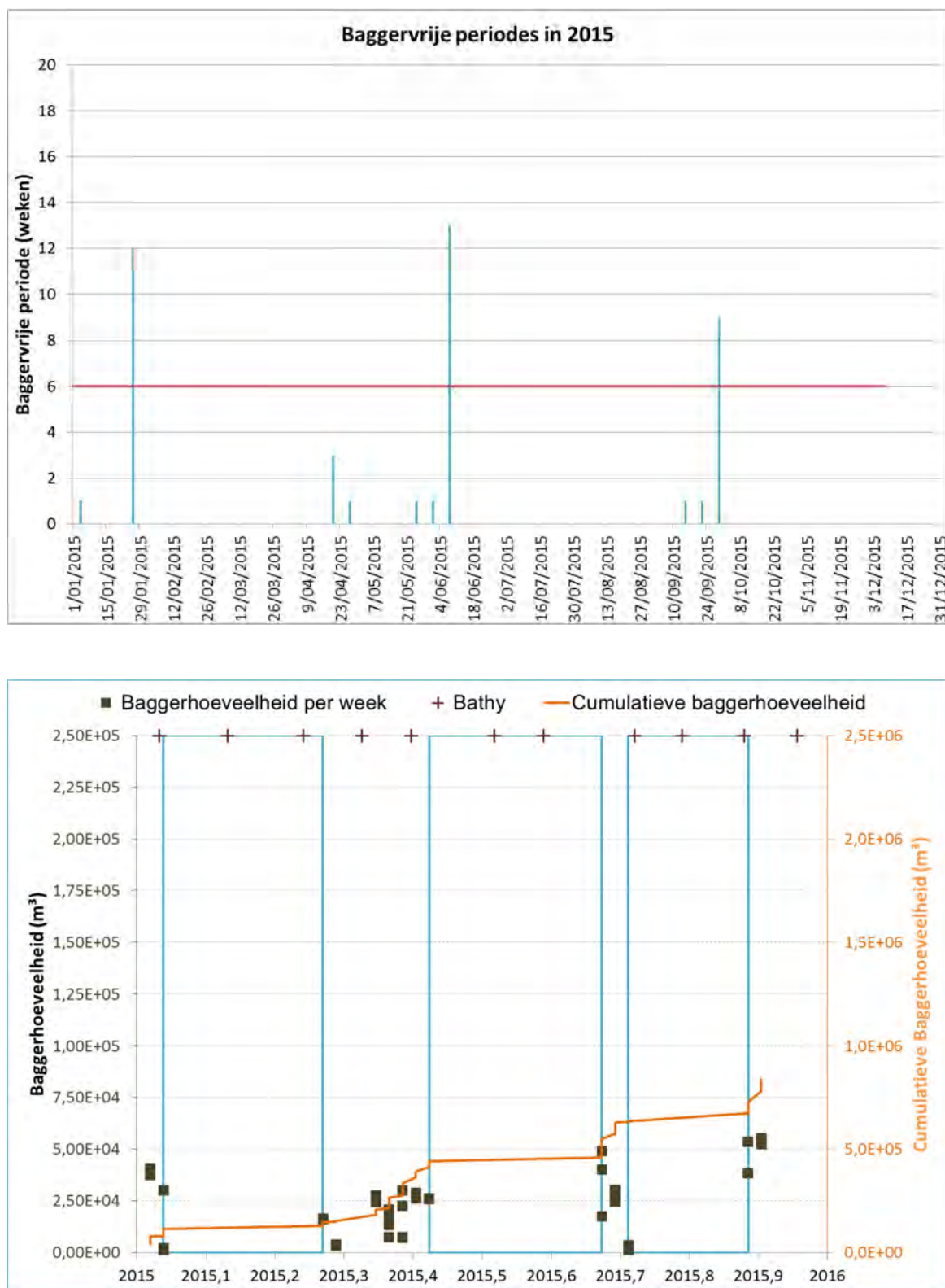
Figuur A 32 – Boven: Overzicht van de duur van de baggervrije periodes in 2013 bij drempel van Frederik, Onder: Individuele en cumulatieve baggerhoeveelheden en tijdstip van opname van bathymetrische peilingen in 2013 bij drempel van Frederik (baggervrije periodes worden aangeduid met een blauwe kader)



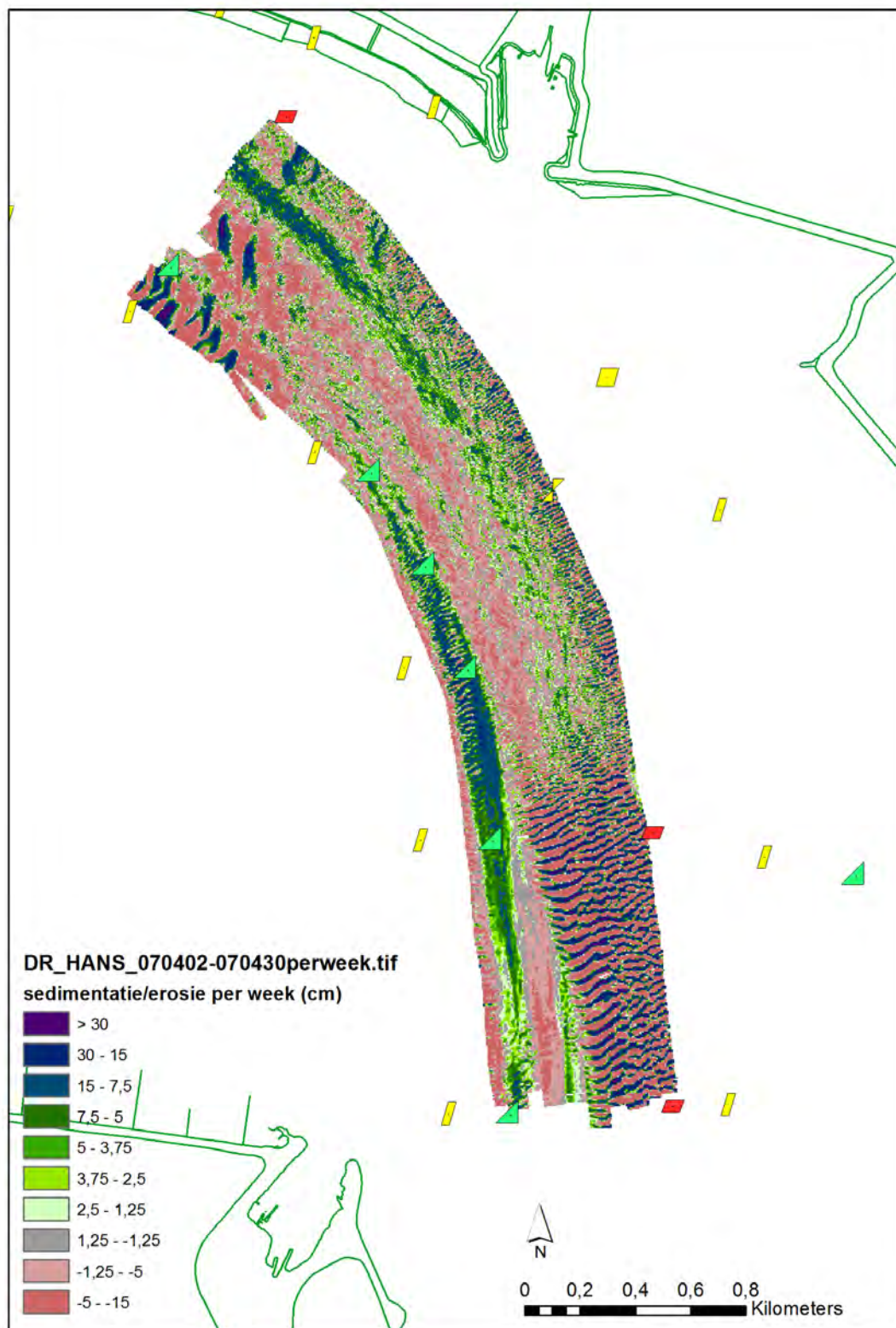
Figuur A 33 – Boven: Overzicht van de duur van de baggervrije periodes in 2013 bij drempel van Frederik, Onder: Individuele en cumulatieve baggerhoeveelheden en tijdstip van opname van bathymetrische peilingen in 2013 bij drempel van Frederik (baggervrije periodes worden aangeduid met een blauwe kader)



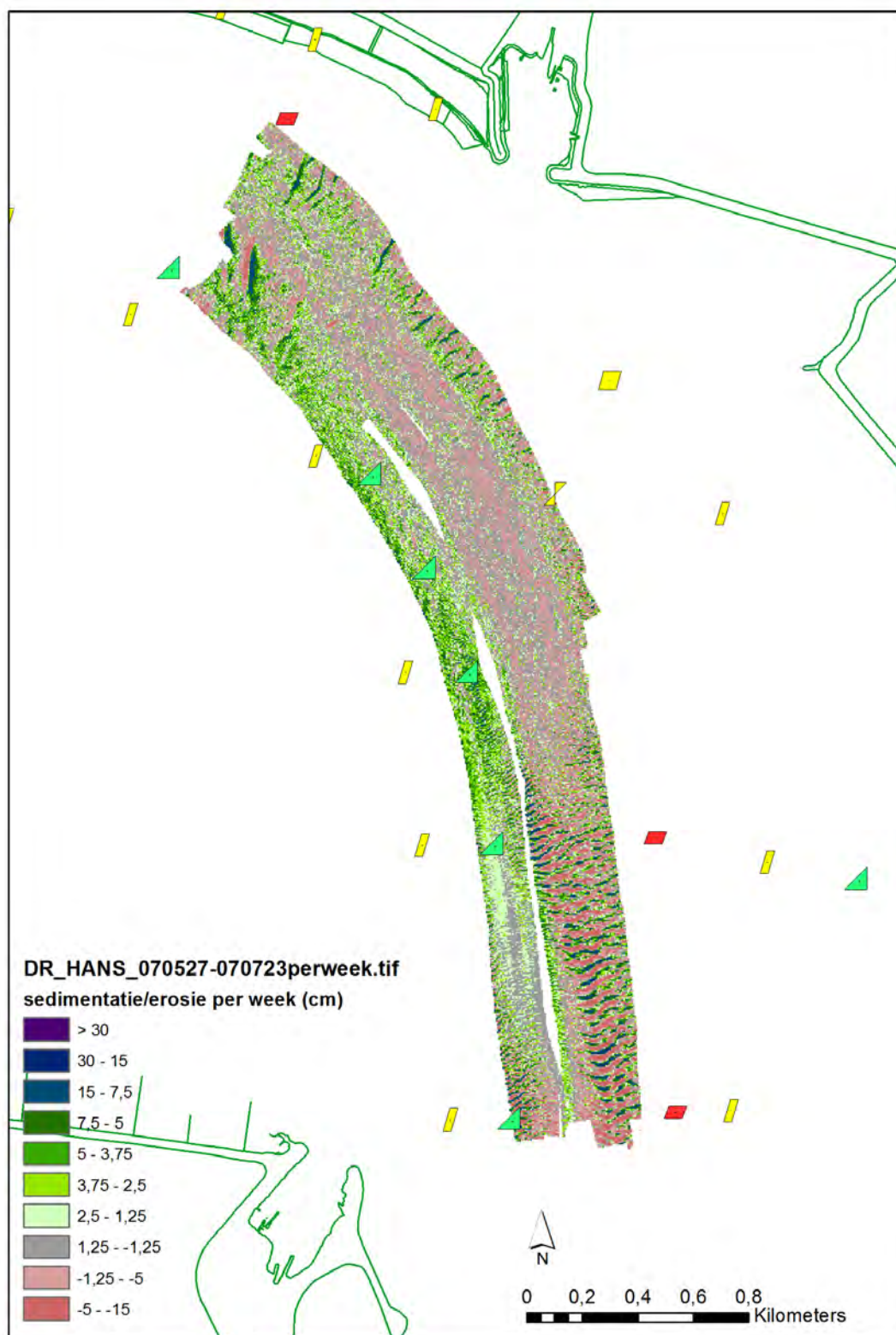
Figuur A 34 – Boven: Overzicht van de duur van de baggervrije periodes in 2015 bij drempel van Frederik, Onder: Individuele en cumulatieve baggerhoeveelheden en tijdstip van opname van bathymetrische peilingen in 2015 bij drempel van Frederik (baggervrije periodes worden aangeduid met een blauwe kader)



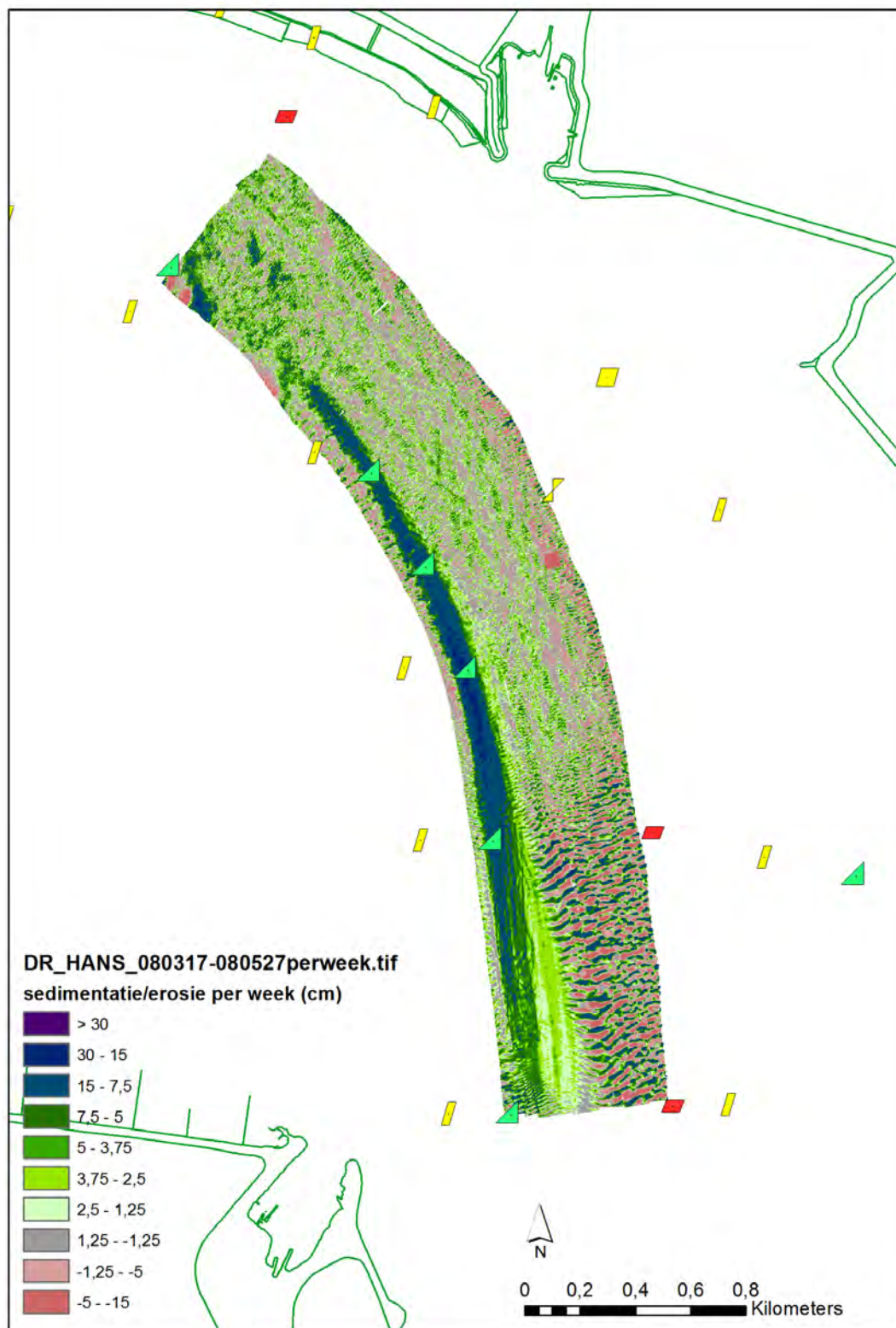
Figuur A 35 – Wekelijkse sedimentatie- erosie ter hoogte van de drempel van Hansweert voor de periode 2/4/2007 en 30/4/2007



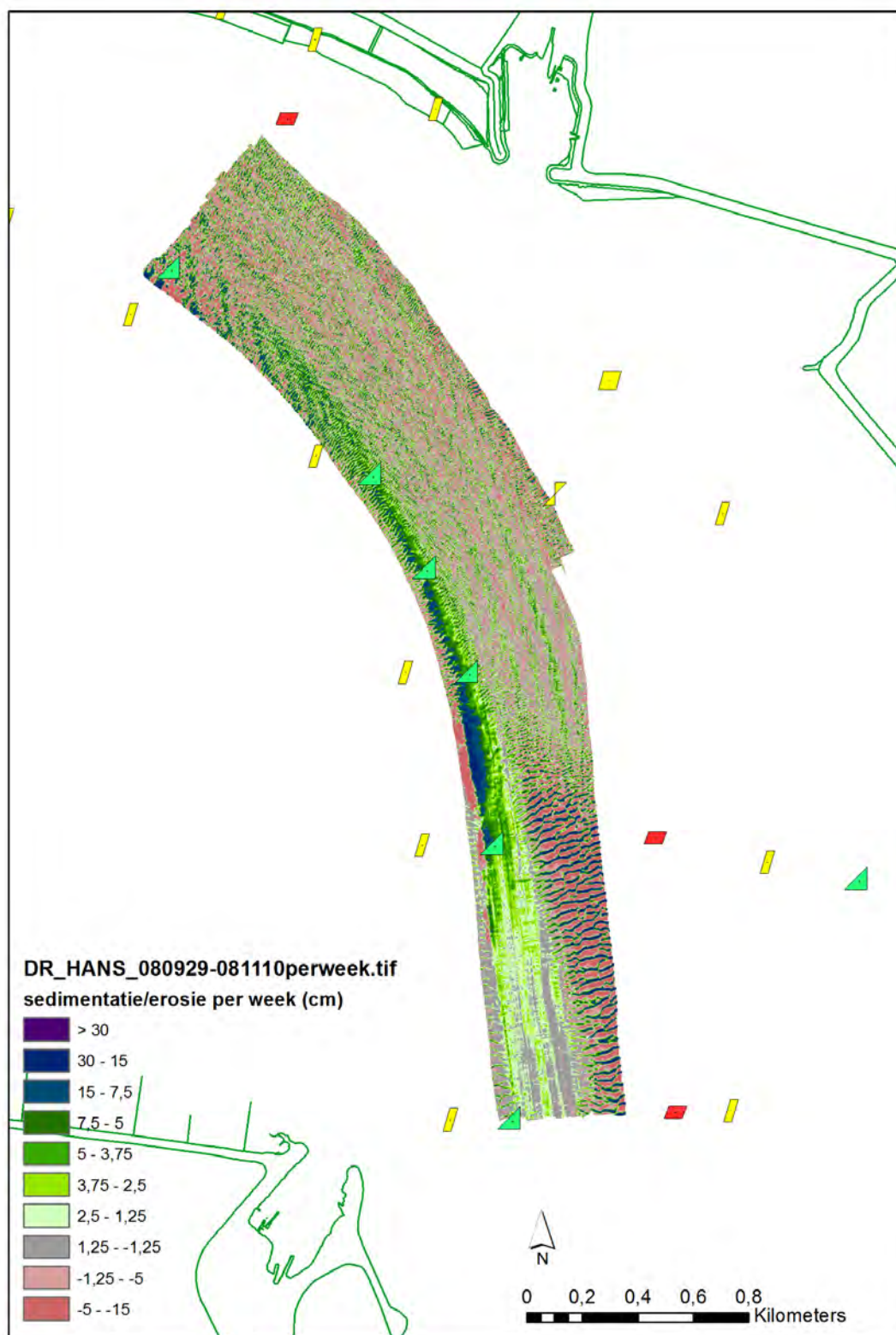
Figuur A 36 – Wekelijkse sedimentatie- erosie ter hoogte van de drempel van Hansweert voor de periode 27/5/2007 en 23/7/2007



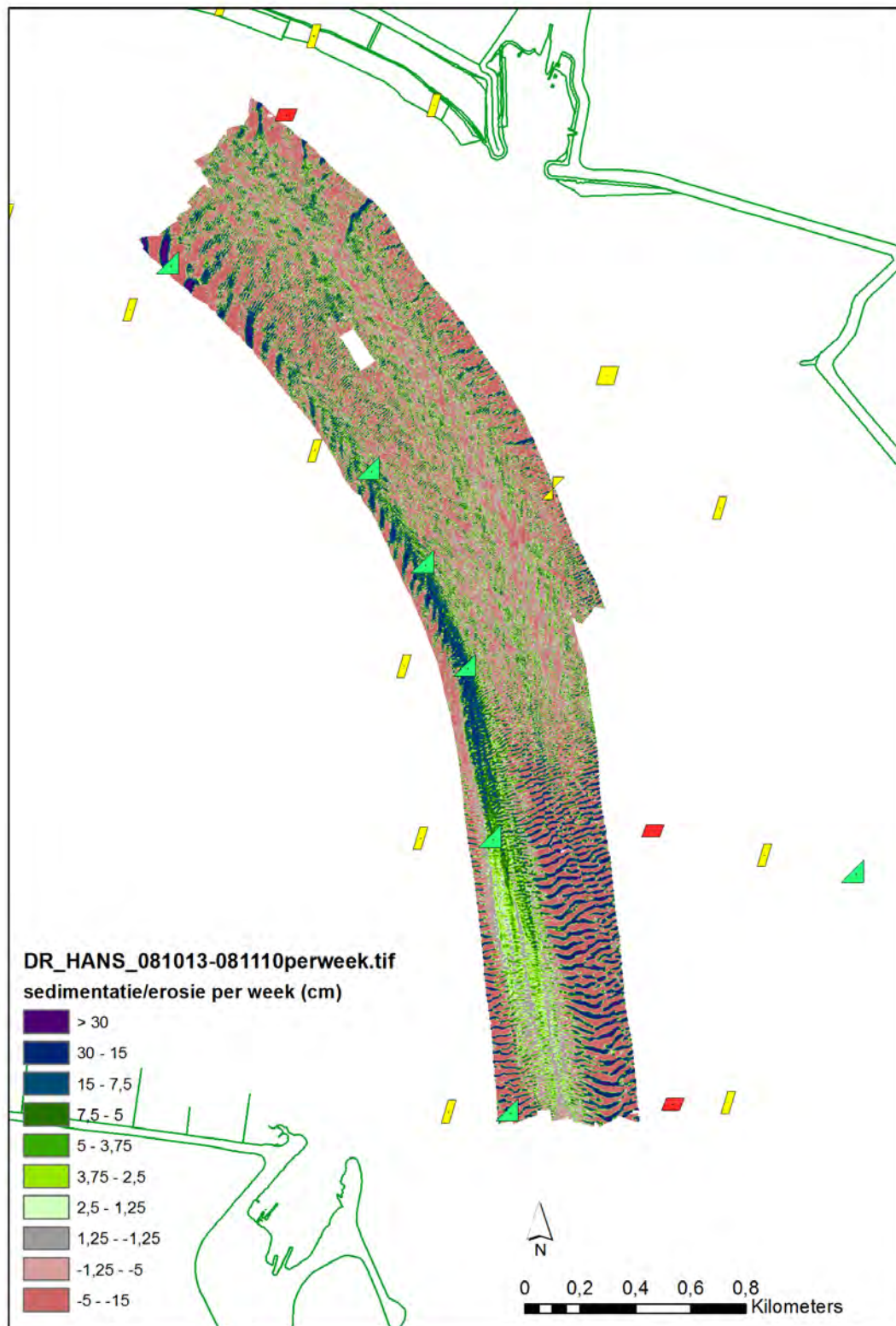
Figuur A 37 – Wekelijkse sedimentatie- erosie ter hoogte van de drempel van Hansweert voor de periode 17/3/2008 en 27/5/2008



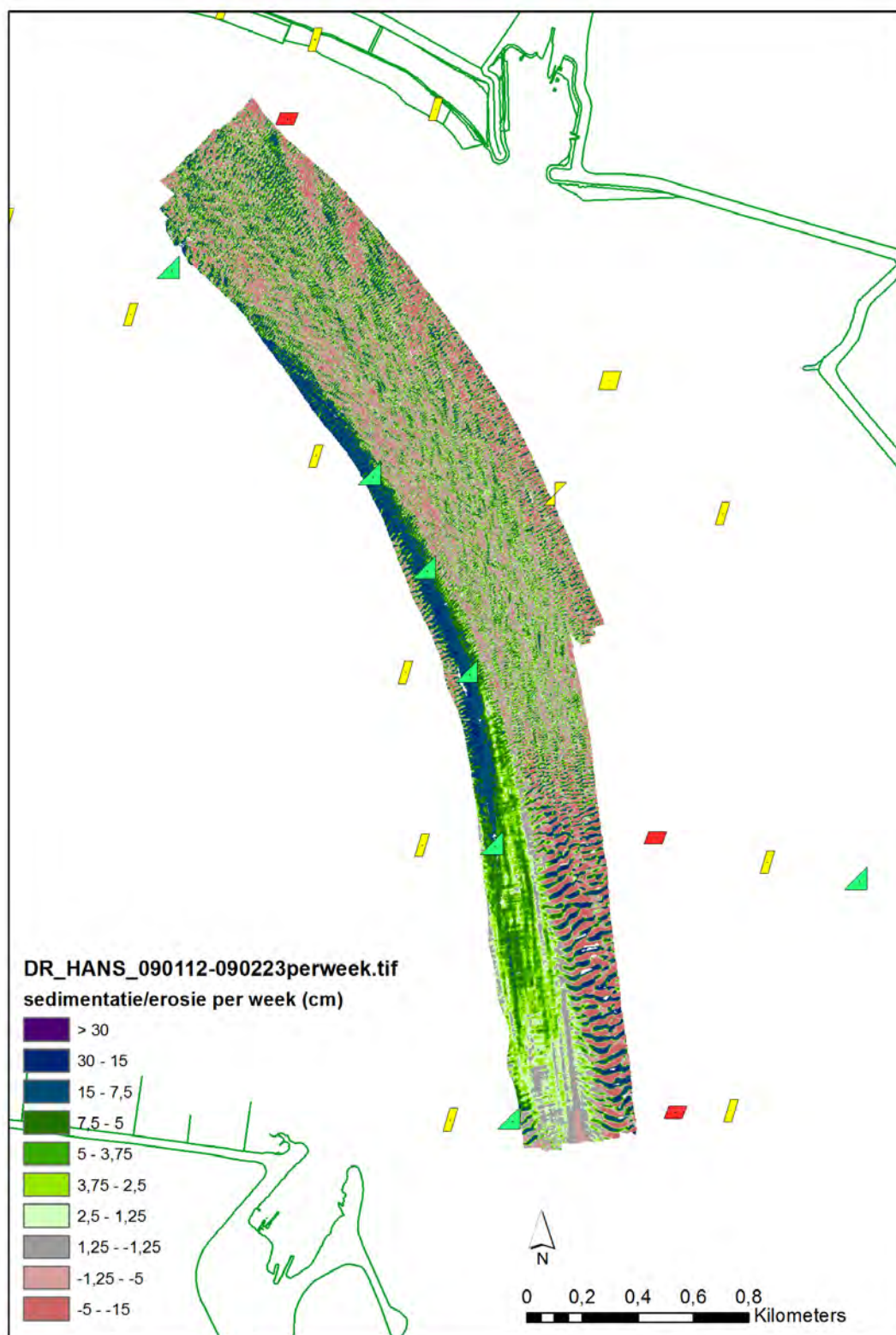
Figuur A 38 – Wekelijkse sedimentatie- erosie ter hoogte van de drempel van Hansweert voor de periode 29/9/2008 en 10/11/2008



Figuur A 39 – Wekelijkse sedimentatie- erosie ter hoogte van de drempel van Hansweert voor de periode 13/10/2008 en 10/11/2008



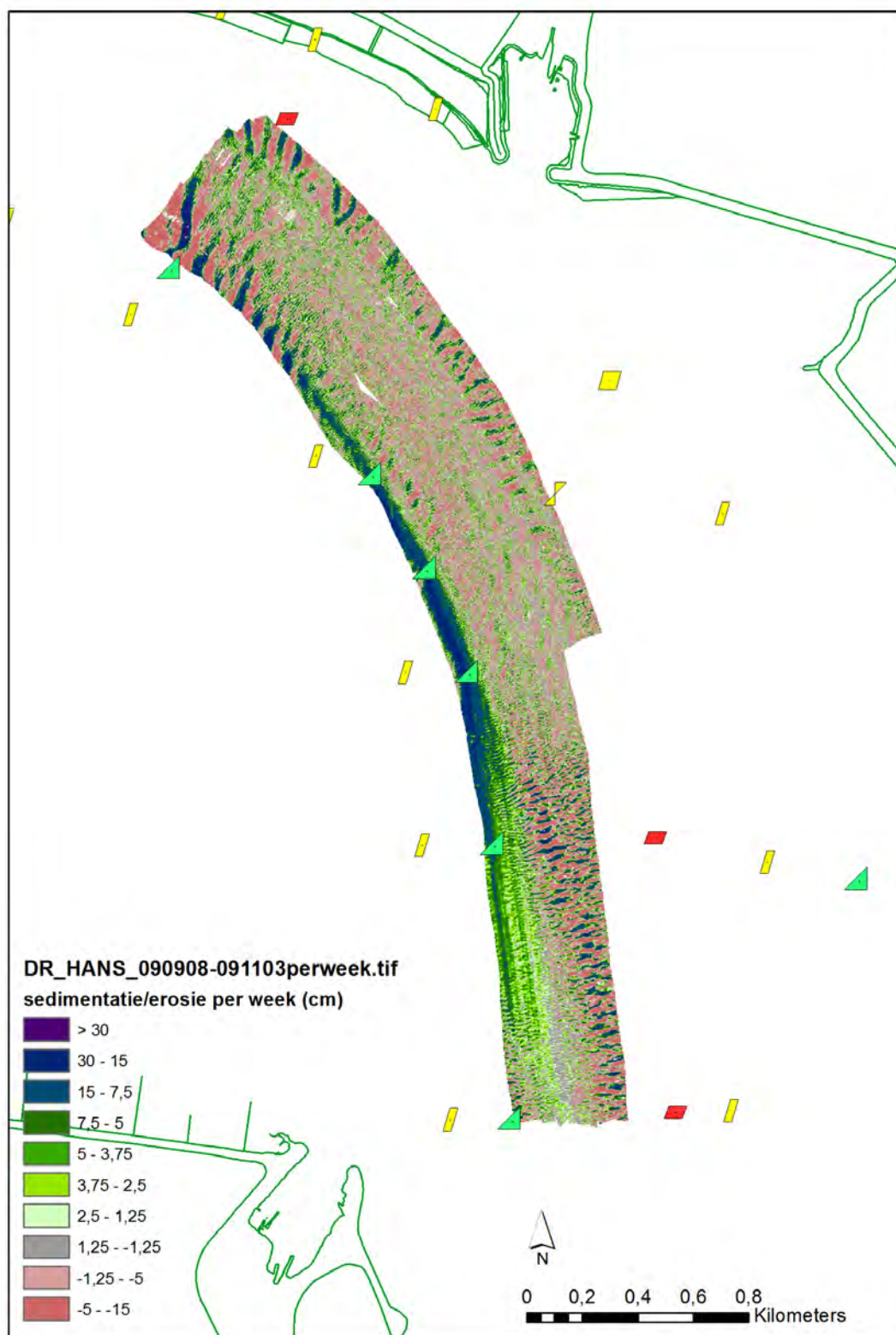
Figuur A 40 – Wekelijkse sedimentatie- erosie ter hoogte van de drempel van Hansweert voor de periode 12/1/2009 en 23/2/2009



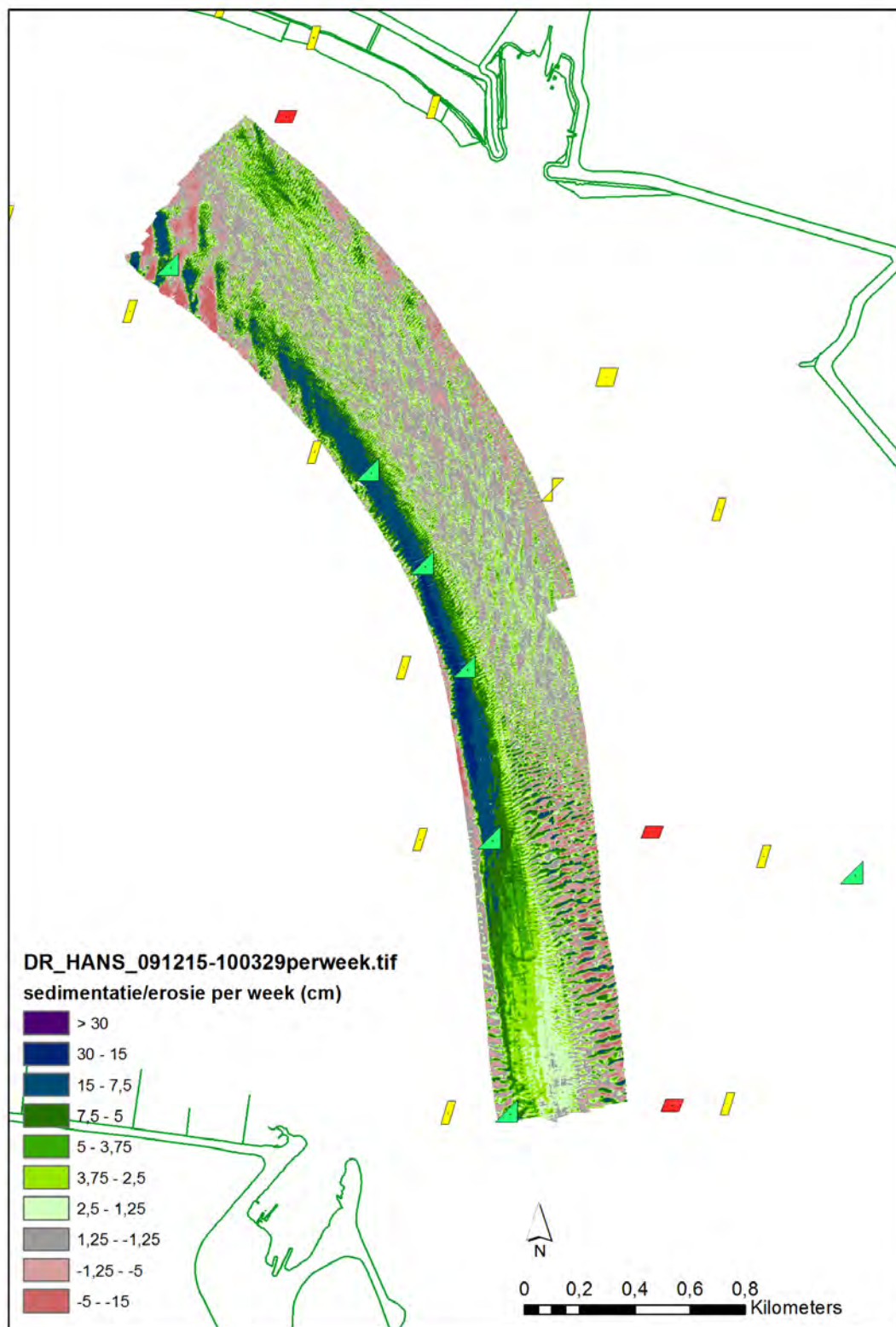
Figuur A 41 – Wekelijkse sedimentatie- erosie ter hoogte van de drempel van Hansweert voor de periode 20/4/2009 en 16/6/2009



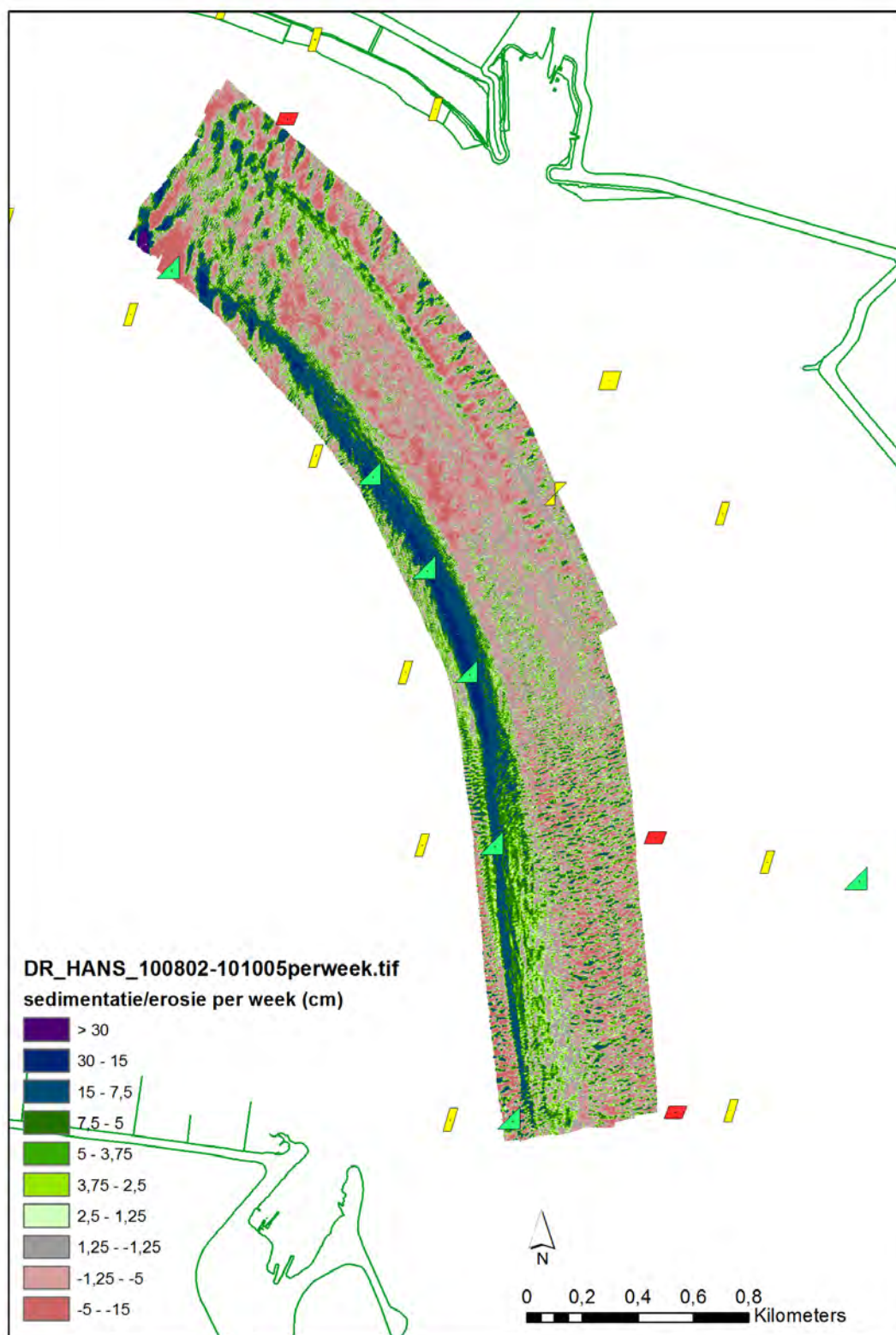
Figuur A 42 – Wekelijkse sedimentatie- erosie ter hoogte van de drempel van Hansweert voor de periode 8/9/2009 en 3/11/2009



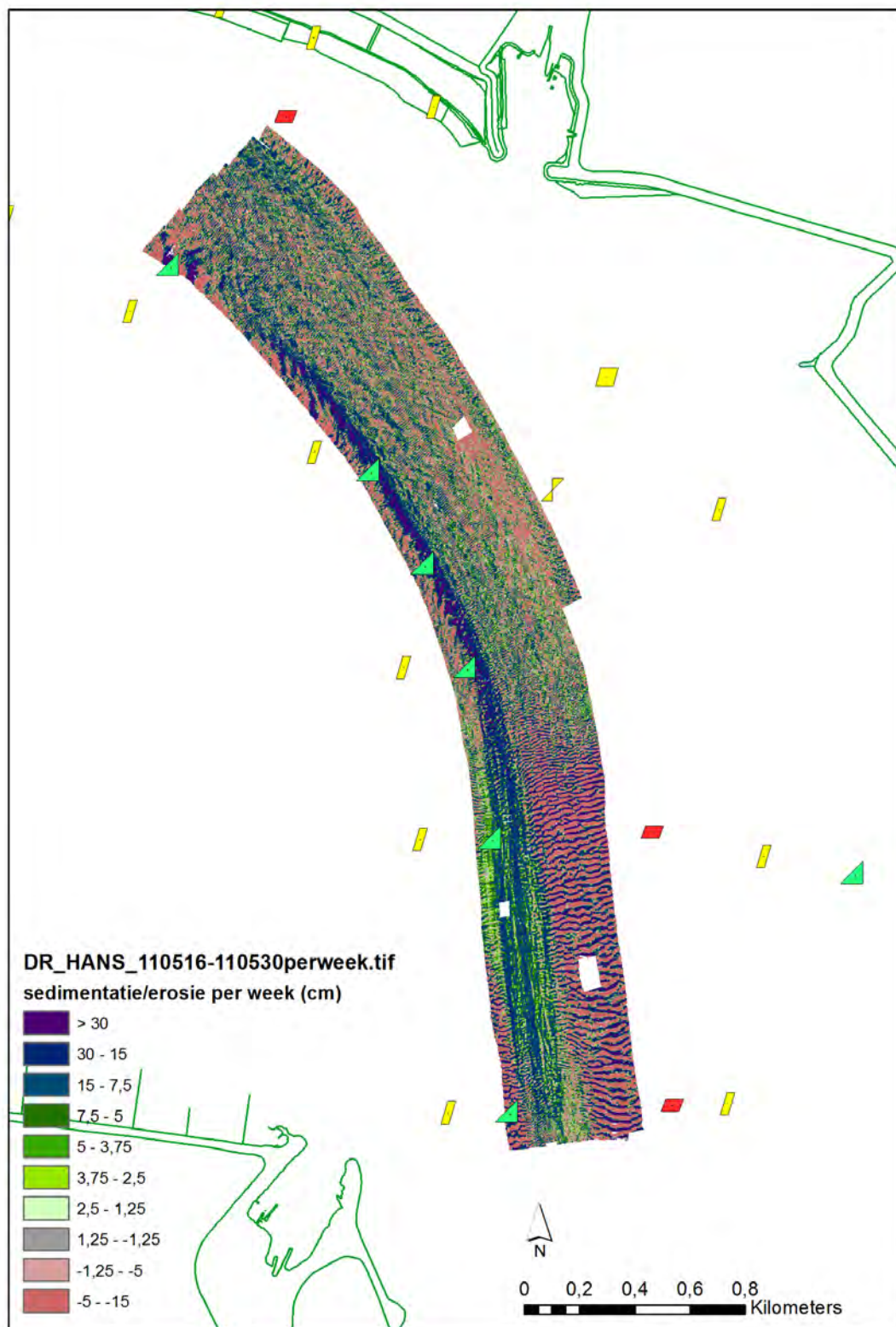
Figuur A 43 – Wekelijkse sedimentatie- erosie ter hoogte van de drempel van Hansweert voor de periode 15/12/2009 en 29/3/2010



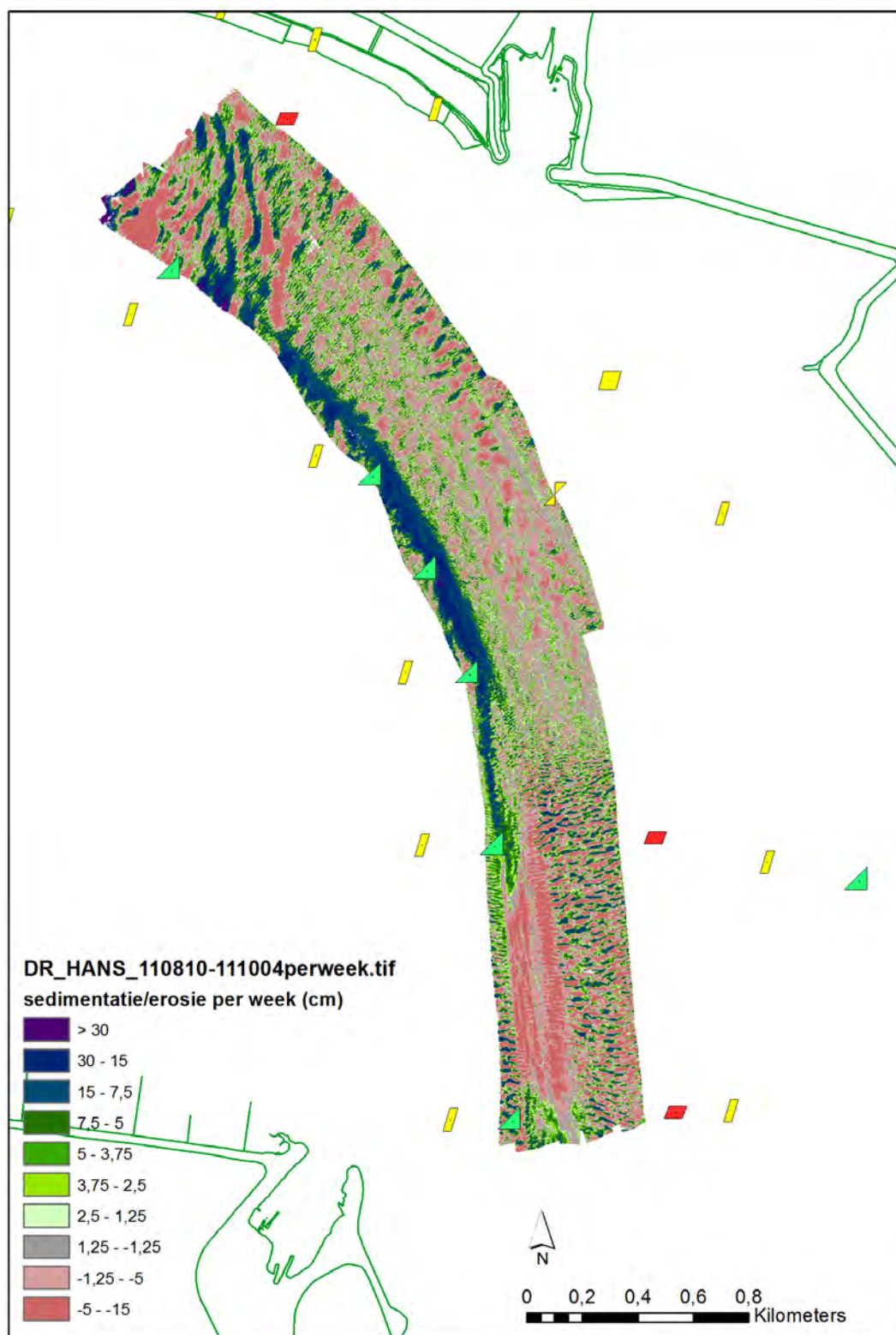
Figuur A 44 – Wekelijkse sedimentatie- erosie ter hoogte van de drempel van Hansweert voor de periode 2/8/2010 en 5/10/2010



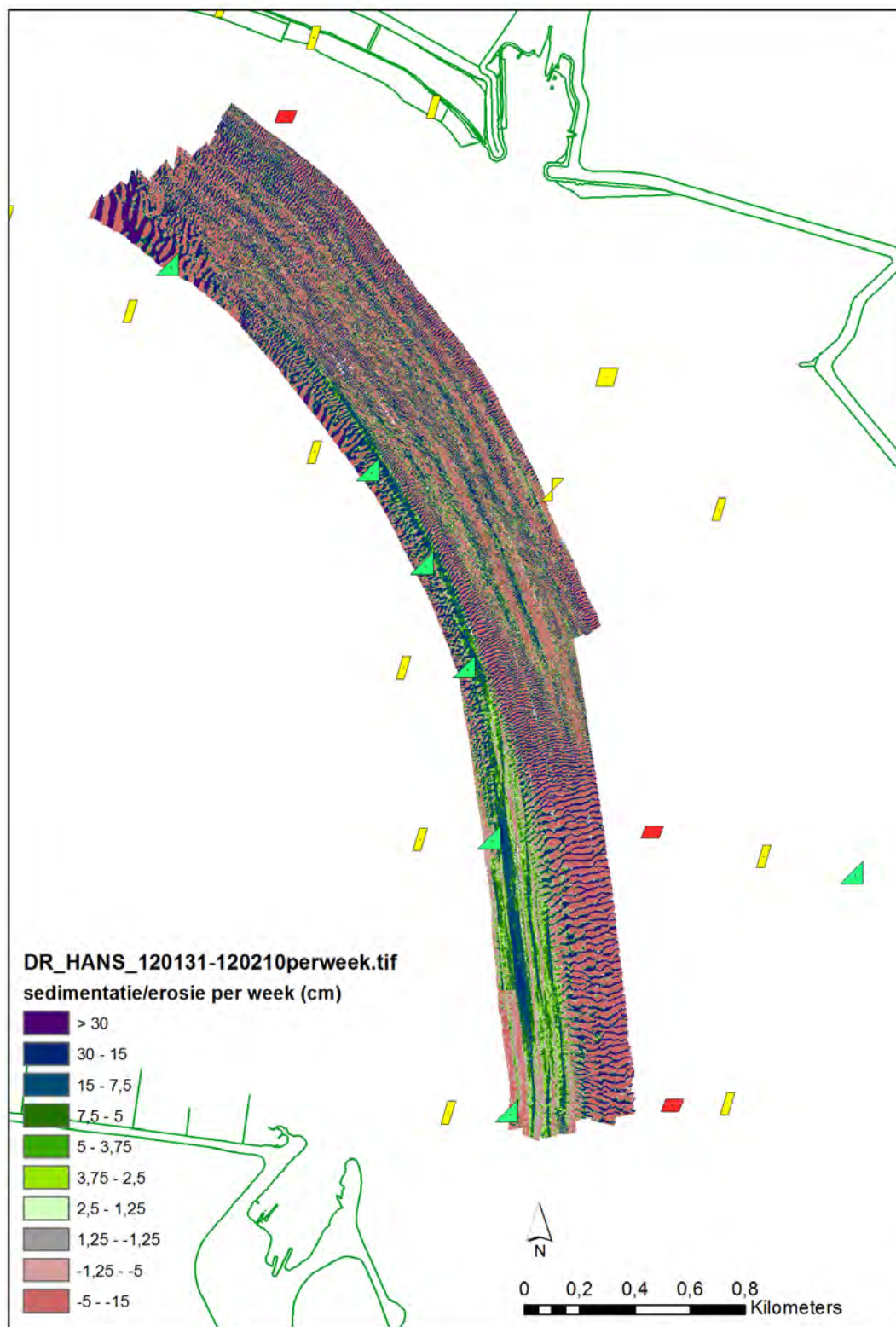
Figuur A 45 – Wekelijkse sedimentatie- erosie ter hoogte van de drempel van Hansweert voor de periode 16/5/2011 en 30/5/2011



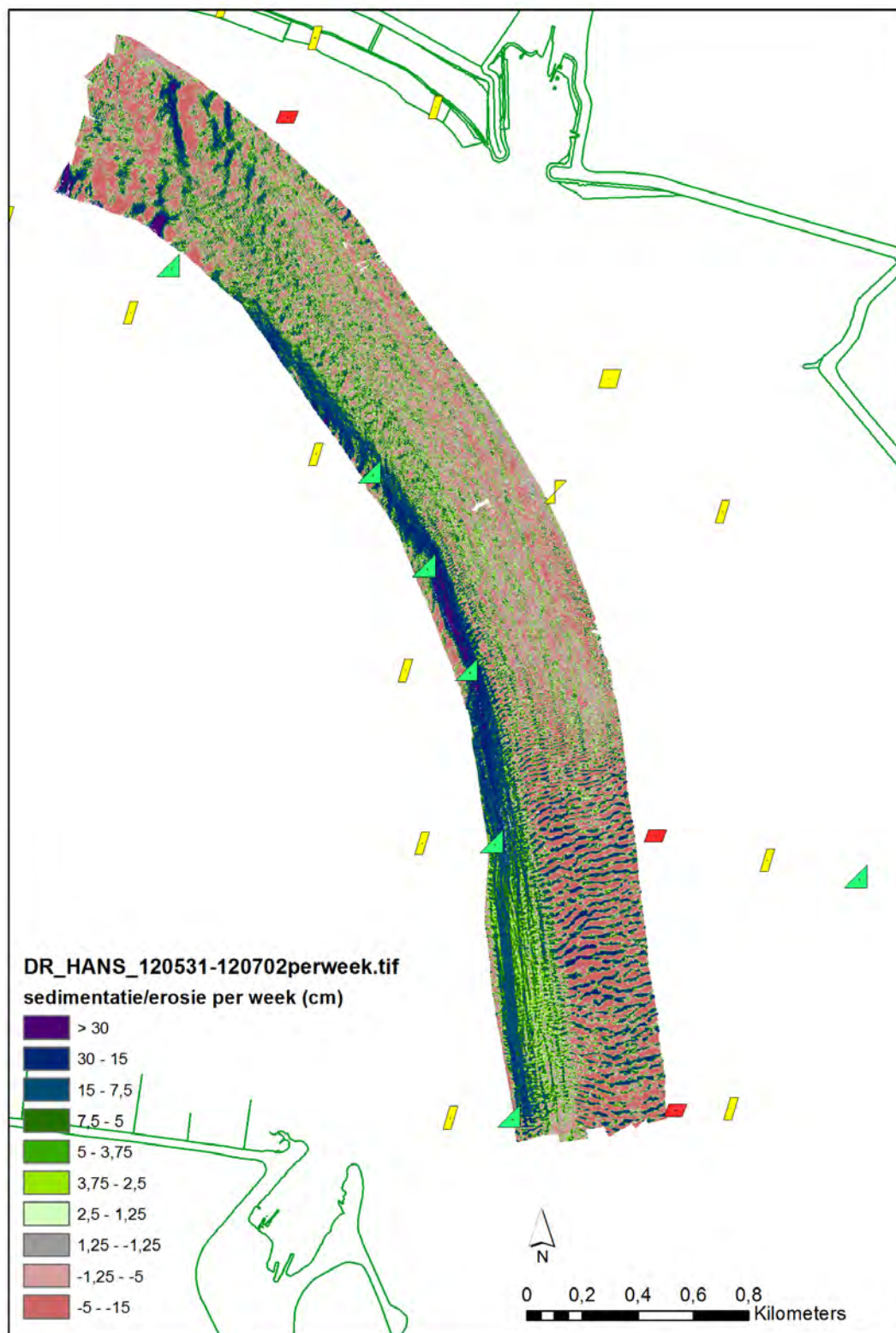
Figuur A 46 – Wekelijkse sedimentatie- erosie ter hoogte van de drempel van Hansweert voor de periode 10/8/2011 en 4/10/2011



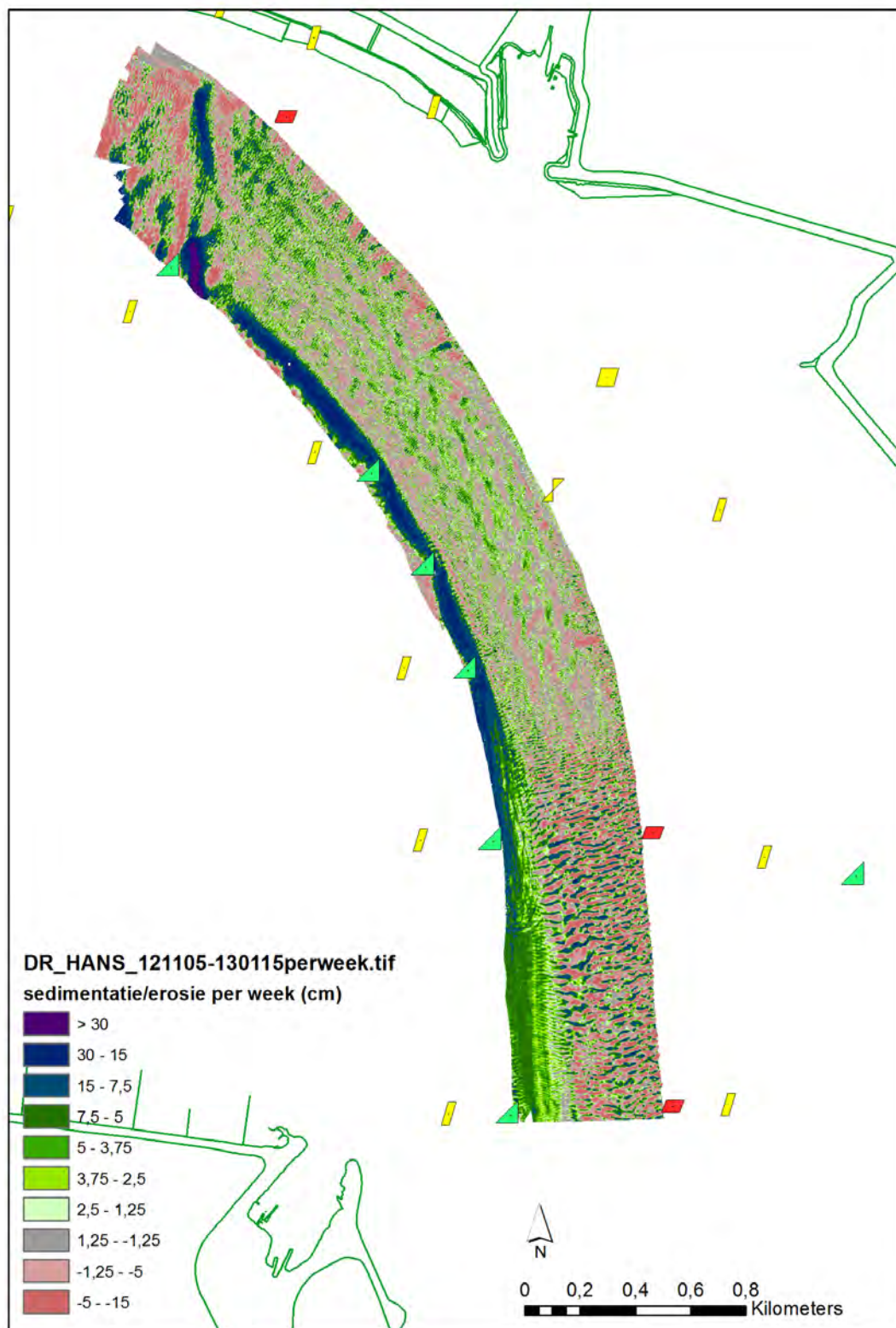
Figuur A 47 – Wekelijkse sedimentatie- erosie ter hoogte van de drempel van Hansweert voor de periode 31/1/2012 en 10/2/2012



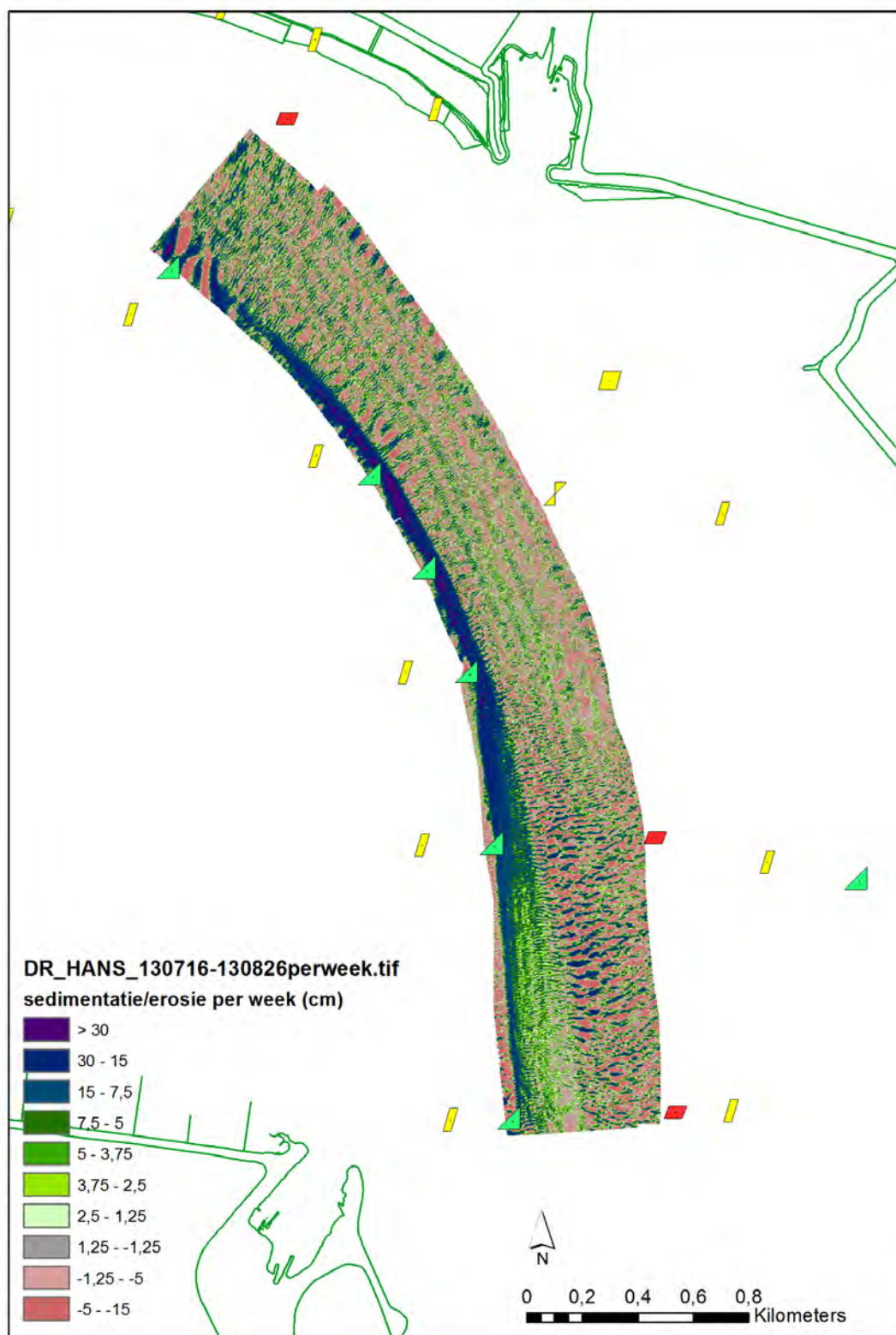
Figuur A 48 – Wekelijkse sedimentatie- erosie ter hoogte van de drempel van Hansweert voor de periode 31/5/2012 en 2/7/2012



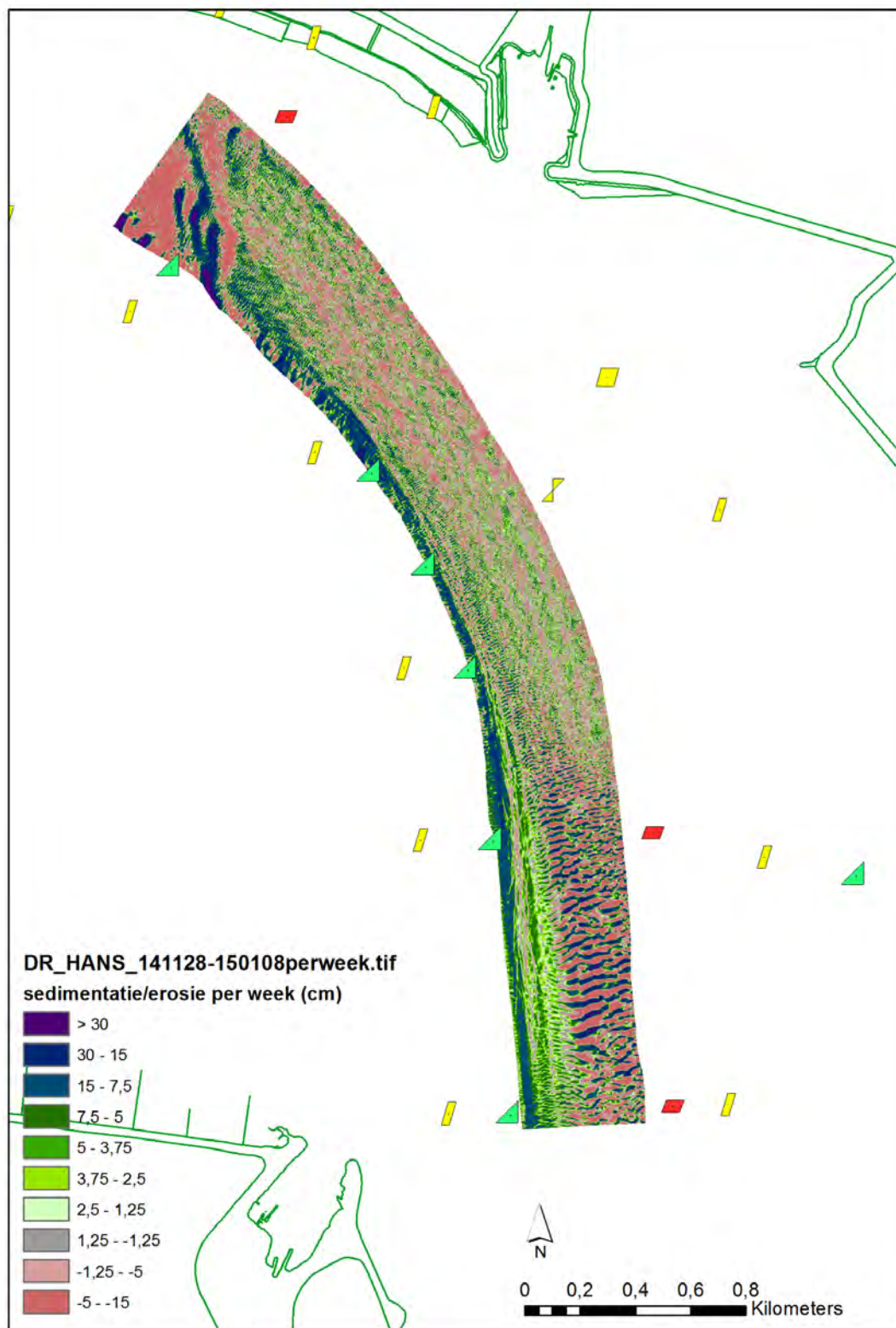
Figuur A 49 – Wekelijkse sedimentatie- erosie ter hoogte van de drempel van Hansweert voor de periode 5/11/2012 en 15/1/2013



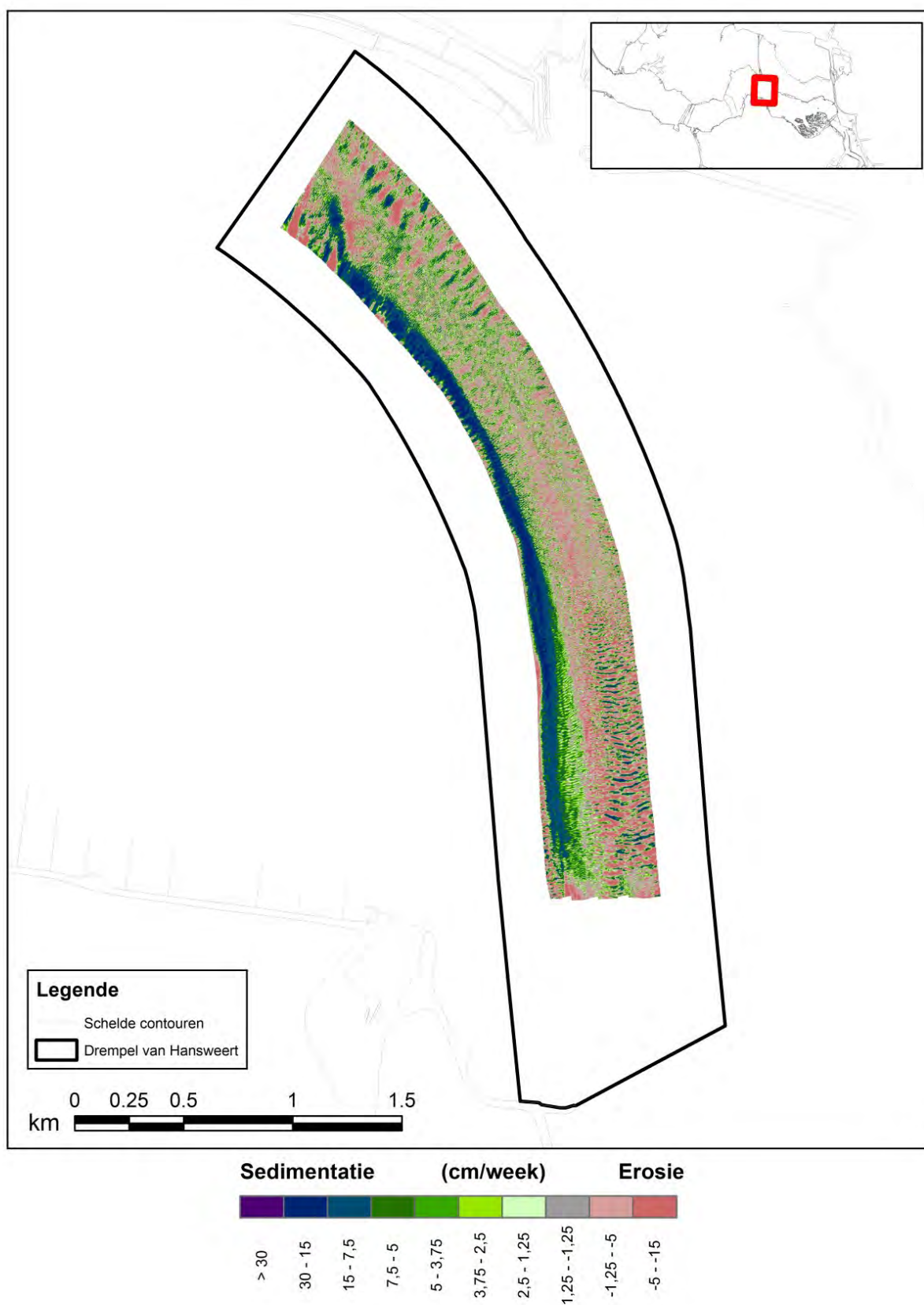
Figuur A 50 – Wekelijkse sedimentatie- erosie ter hoogte van de drempel van Hansweert voor de periode 16/7/2013 en 26/8/2013



Figuur A 51 – Wekelijkse sedimentatie- erosie ter hoogte van de drempel van Hansweert voor de periode 28/11/2014 en 8/1/2015



Figuur A 52 – Wekelijkse sedimentatie- erosie ter hoogte van de drempel van Hansweert voor de periode 25/5/2016 en 20/7/2016



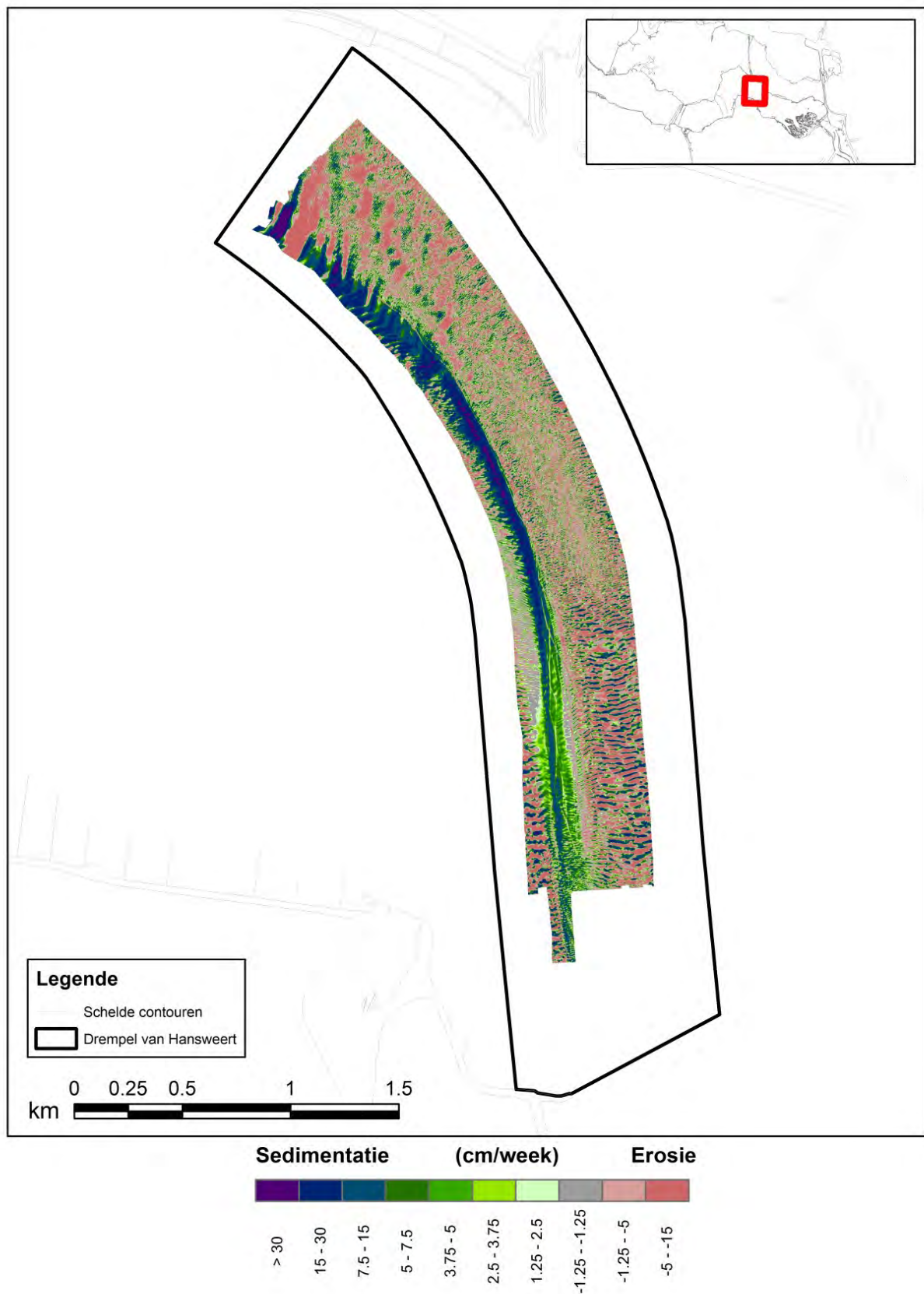
Figuur A 53 – Wekelijkse sedimentatie- erosie ter hoogte van de drempel van Hansweert voor de periode 16/8/2016 en 12/9/2016



Figuur A 54 – Wekelijkse sedimentatie- erosie ter hoogte van de drempel van Hansweert voor de periode 9/12/2016 en 19/1/2017



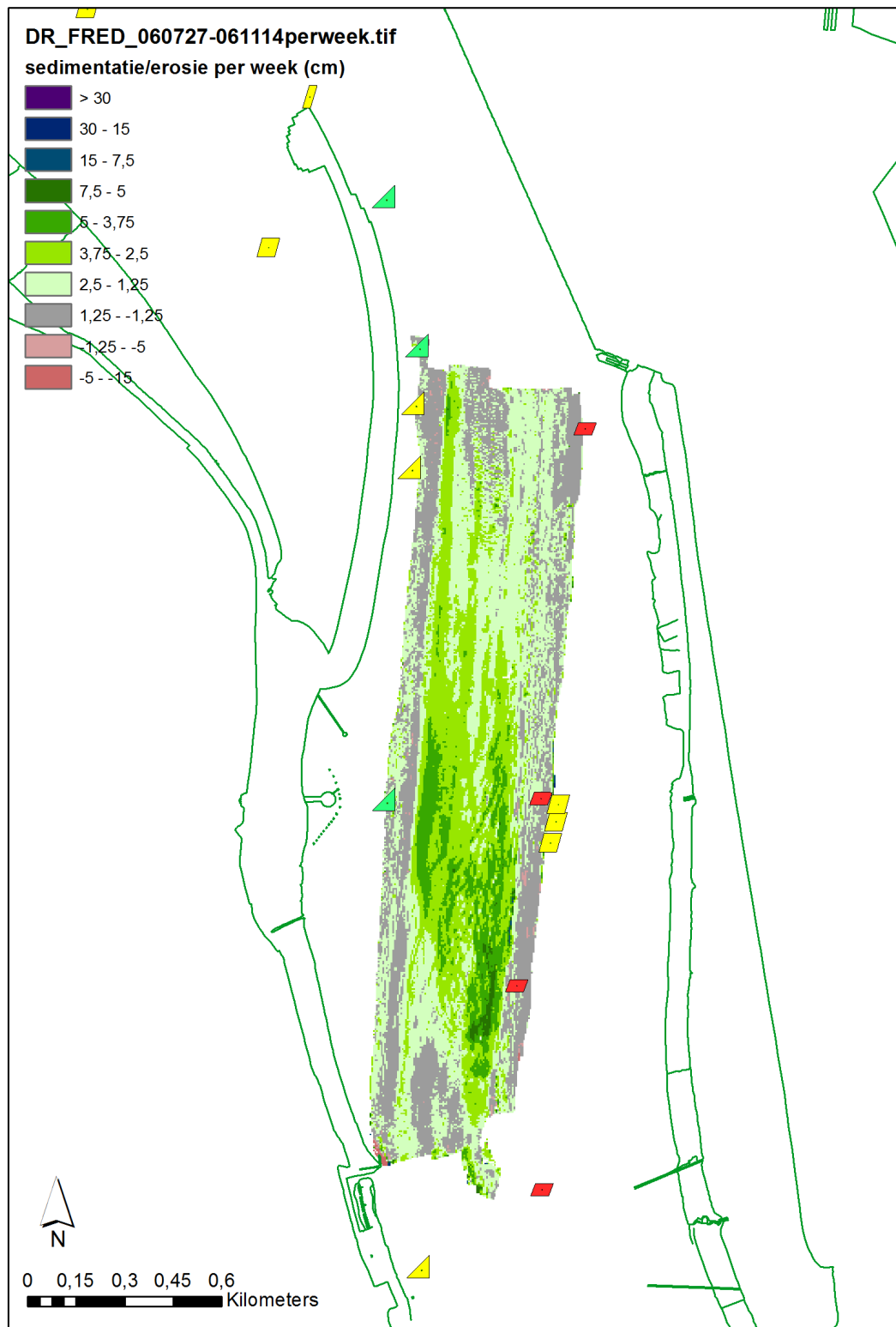
Figuur A 55 – Wekelijkse sedimentatie- erosie ter hoogte van de drempel van Hansweert voor de periode 12/04/2017 en 24/5/2017



Figuur A 56 – Wekelijkse sedimentatie- erosie ter hoogte van de drempel van Frederik voor de periode 10/2/2006 en 16/3/2006



Figuur A 57 – Wekelijkse sedimentatie- erosie ter hoogte van de drempel van Frederik voor de periode 27/7/2006 en 14/11/2006



Figuur A 58 – Wekelijkse sedimentatie- erosie ter hoogte van de drempel van Frederik voor de periode 2/3/2007 en 6/4/2007



Figuur A 59 – Wekelijkse sedimentatie- erosie ter hoogte van de drempel van Frederik voor de periode 9/5/2007 en 7/6/2007



Figuur A 60 – Wekelijkse sedimentatie- erosie ter hoogte van de drempel van Frederik voor de periode 25/4/2008 en 11/6/2008



Figuur A 61 – Wekelijkse sedimentatie- erosie ter hoogte van de drempel van Frederik voor de periode 15/9/2008 en 31/10/2008



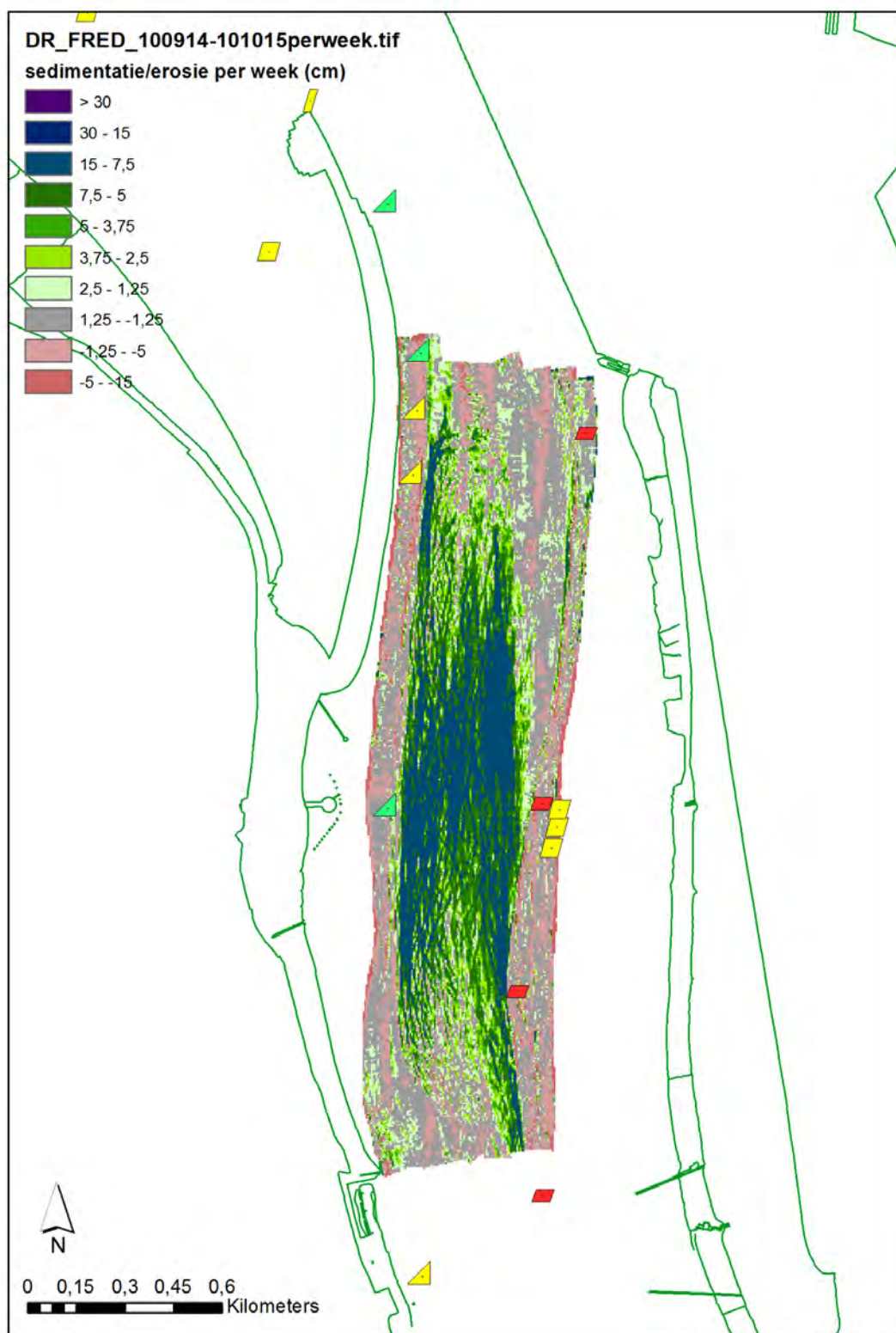
Figuur A 62 – Wekelijkse sedimentatie- erosie ter hoogte van de drempel van Frederik voor de periode 14/1/2009 en 18/2/2009



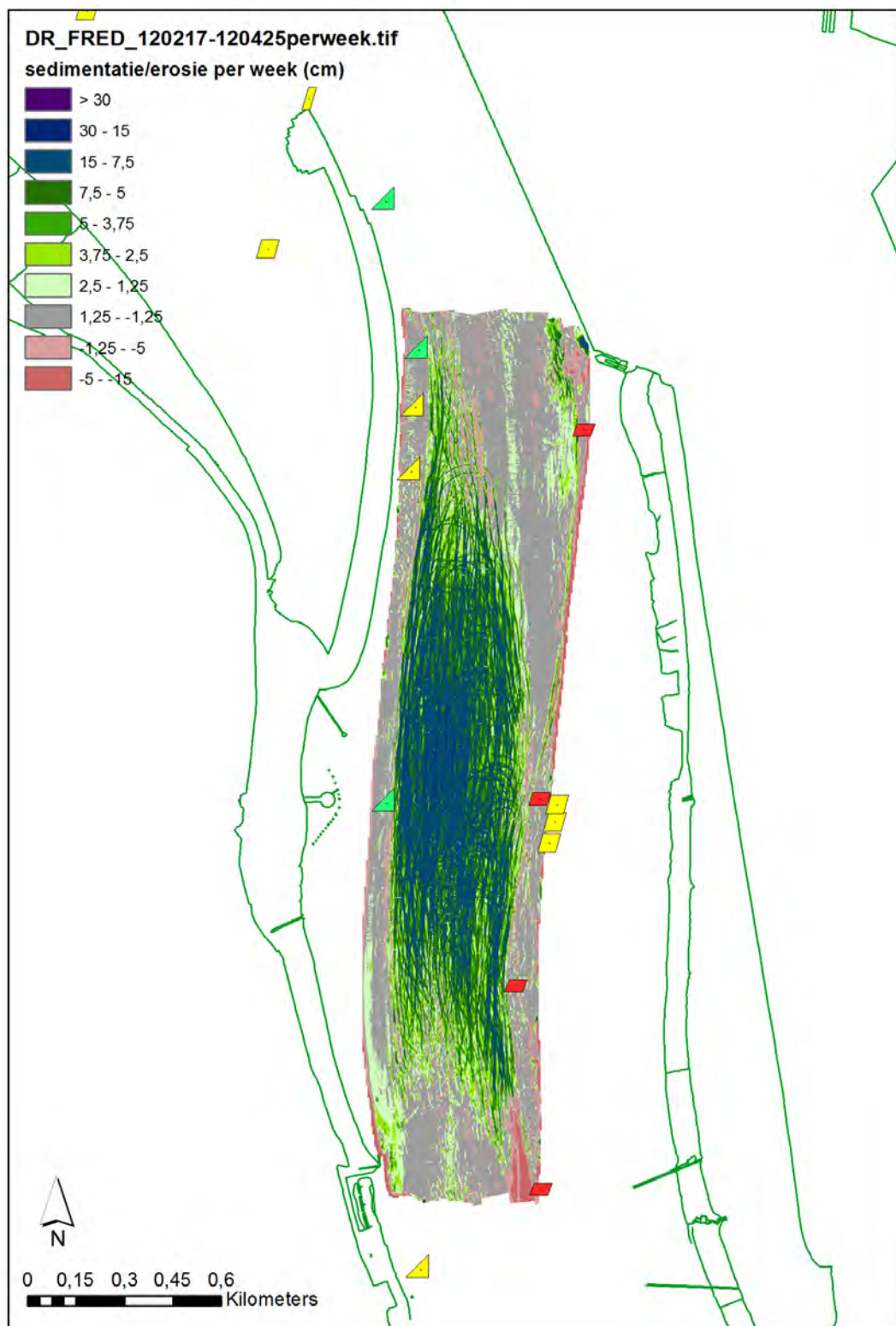
Figuur A 63 – Wekelijkse sedimentatie- erosie ter hoogte van de drempel van Frederik voor de periode 16/4/2009 en 29/6/2009



Figuur A 64 – Wekelijkse sedimentatie- erosie ter hoogte van de drempel van Frederik voor de periode 14/9/2010 en 15/10/2010



Figuur A 65 – Wekelijkse sedimentatie- erosie ter hoogte van de drempel van Frederik voor de periode 17/2/2012 en 25/4/2012



Figuur A 66 – Wekelijkse sedimentatie- erosie ter hoogte van de drempel van Frederik voor de periode 24/09/2012 en 20/11/2012



Figuur A 67 – Wekelijkse sedimentatie- erosie ter hoogte van de drempel van Frederik voor de periode 15/2/2013 en 17/4/2013



Figuur A 68 – Wekelijkse sedimentatie- erosie ter hoogte van de drempel van Frederik voor de periode 20/6/2014 en 14/8/2014



Figuur A 69 – Wekelijkse sedimentatie- erosie ter hoogte van de drempel van Frederik voor de periode 15/9/2014 en 14/11/2014



Figuur A 70 – Wekelijkse sedimentatie- erosie ter hoogte van de drempel van Frederik voor de periode 13/1/2015 en 30/3/2015



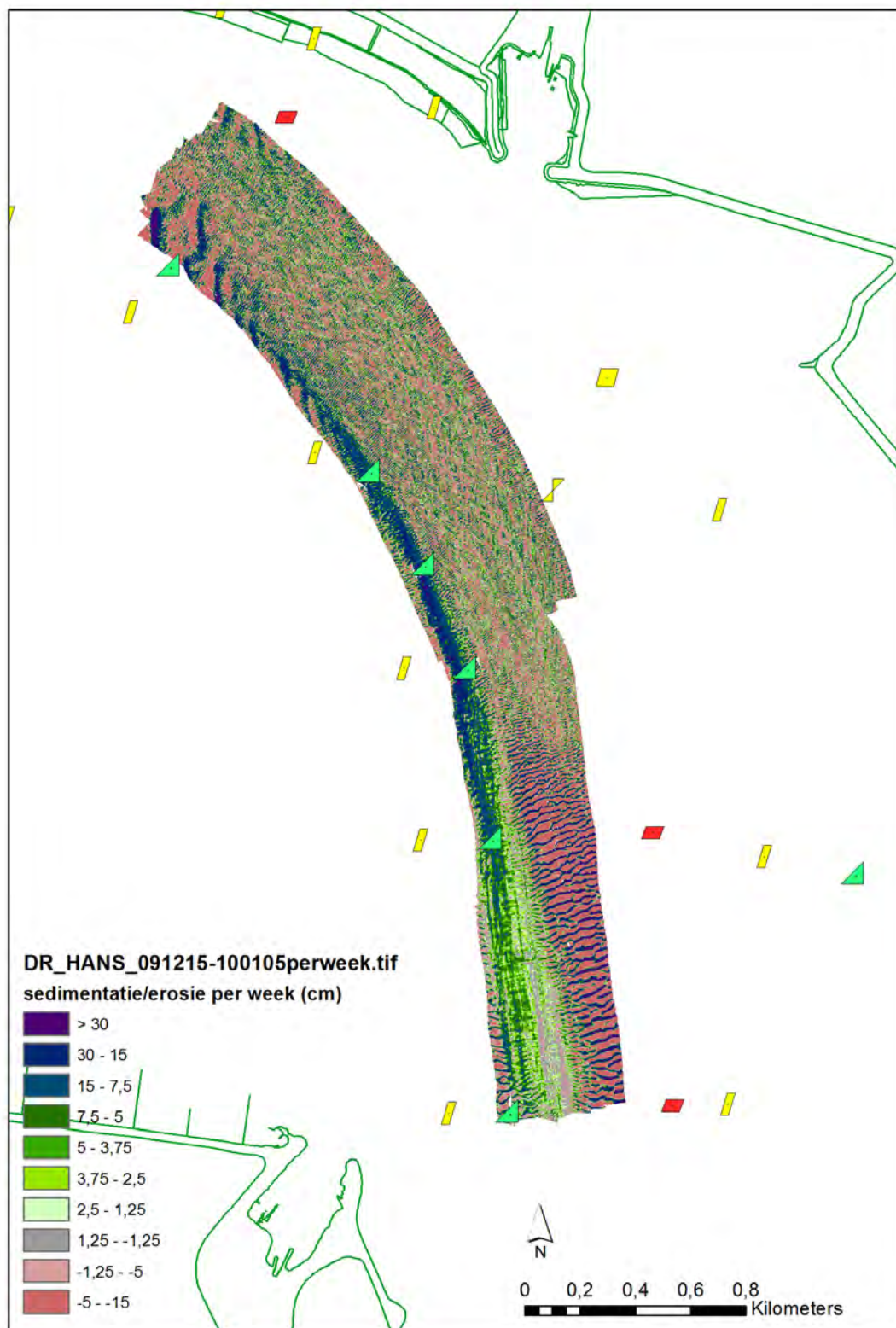
Figuur A 71 – Wekelijkse sedimentatie- erosie ter hoogte van de drempel van Frederik voor de periode 9/7/2015 en 4/8/2015



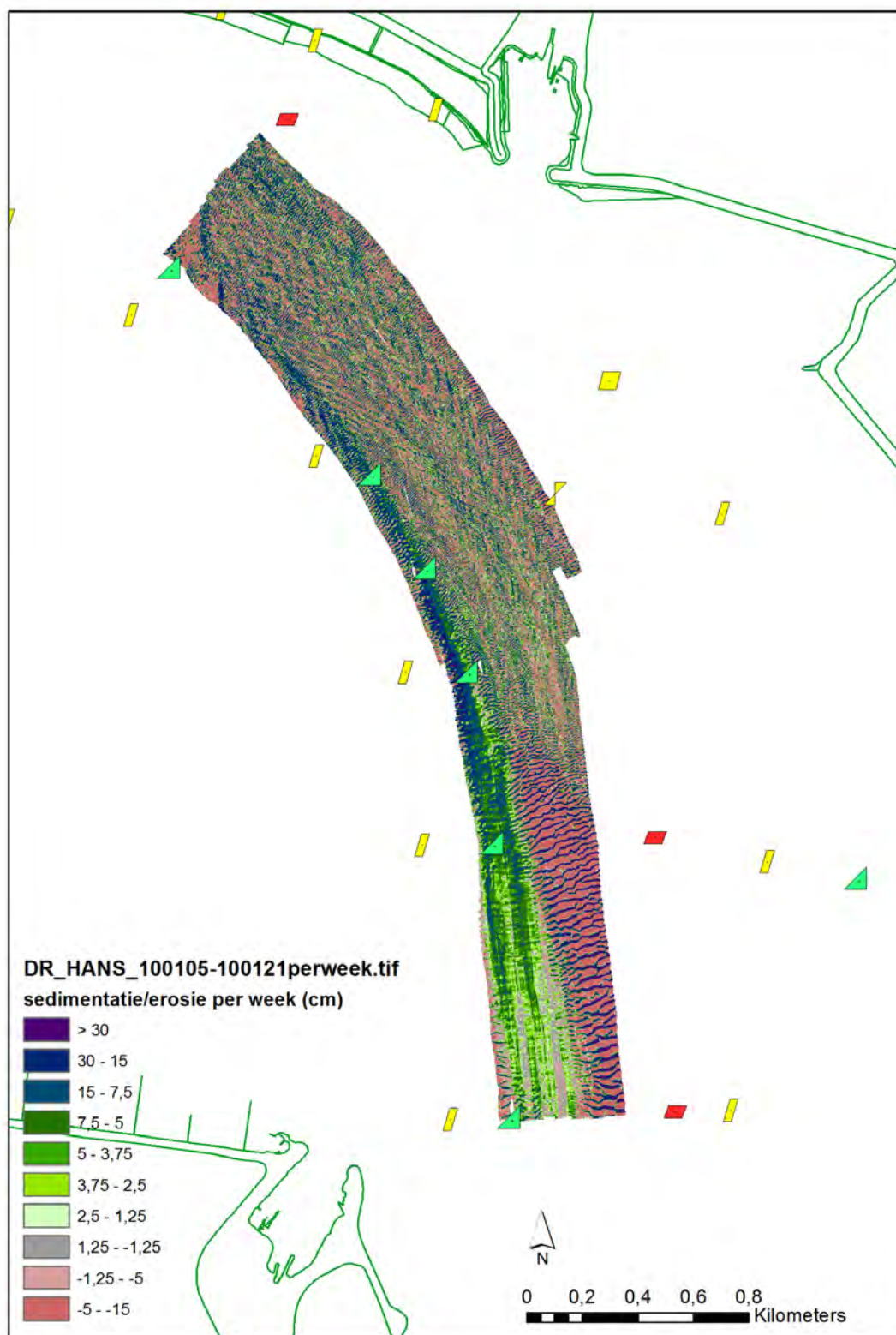
Figuur A 72 – Wekelijkse sedimentatie- erosie ter hoogte van de drempel van Frederik voor de periode 21/9/2015 en 18/11/2015



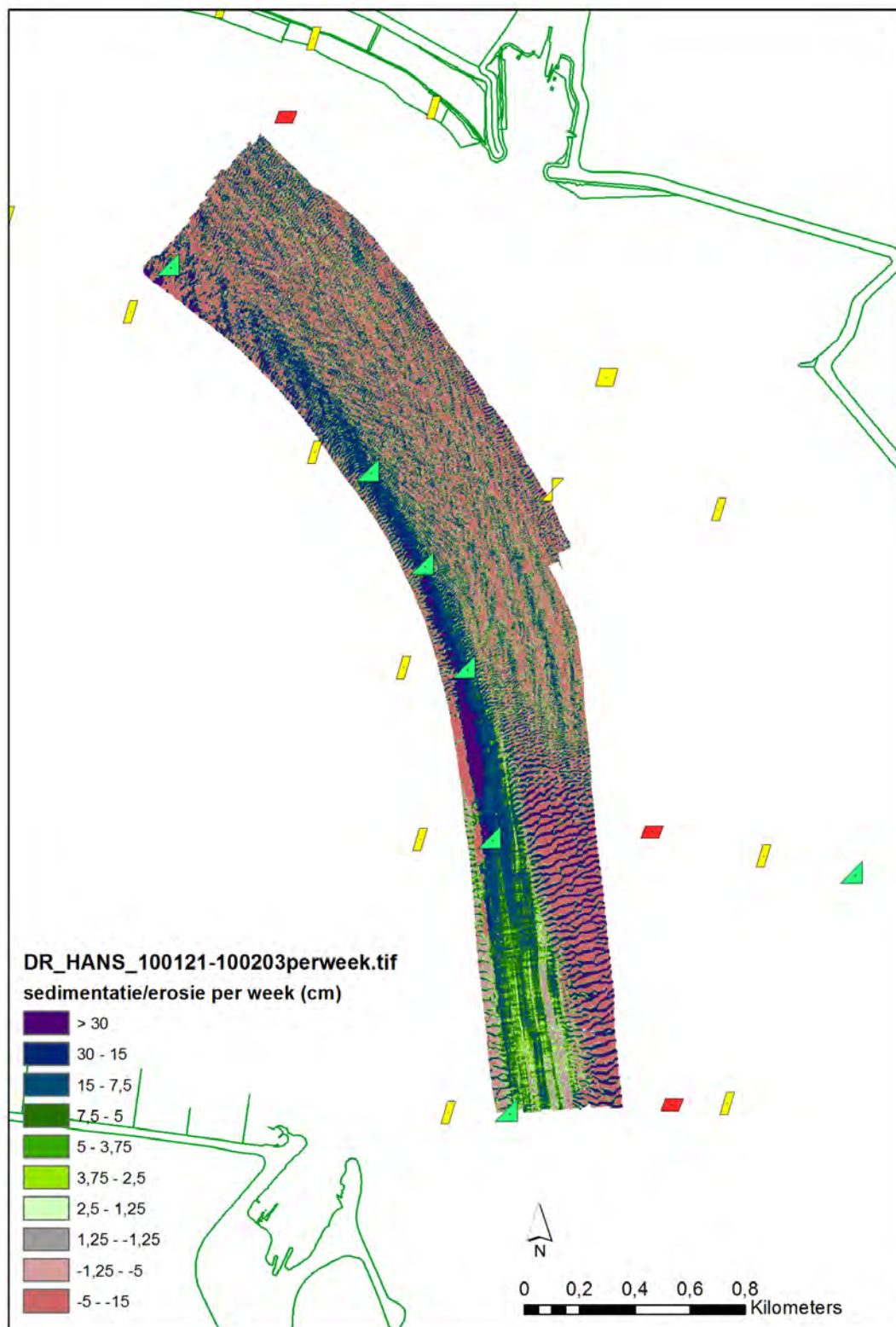
Figuur A 73 – Wekelijkse sedimentatie- erosie ter hoogte van de drempel van Hansweert voor de periode 15/12/2009 en 5/1/2010



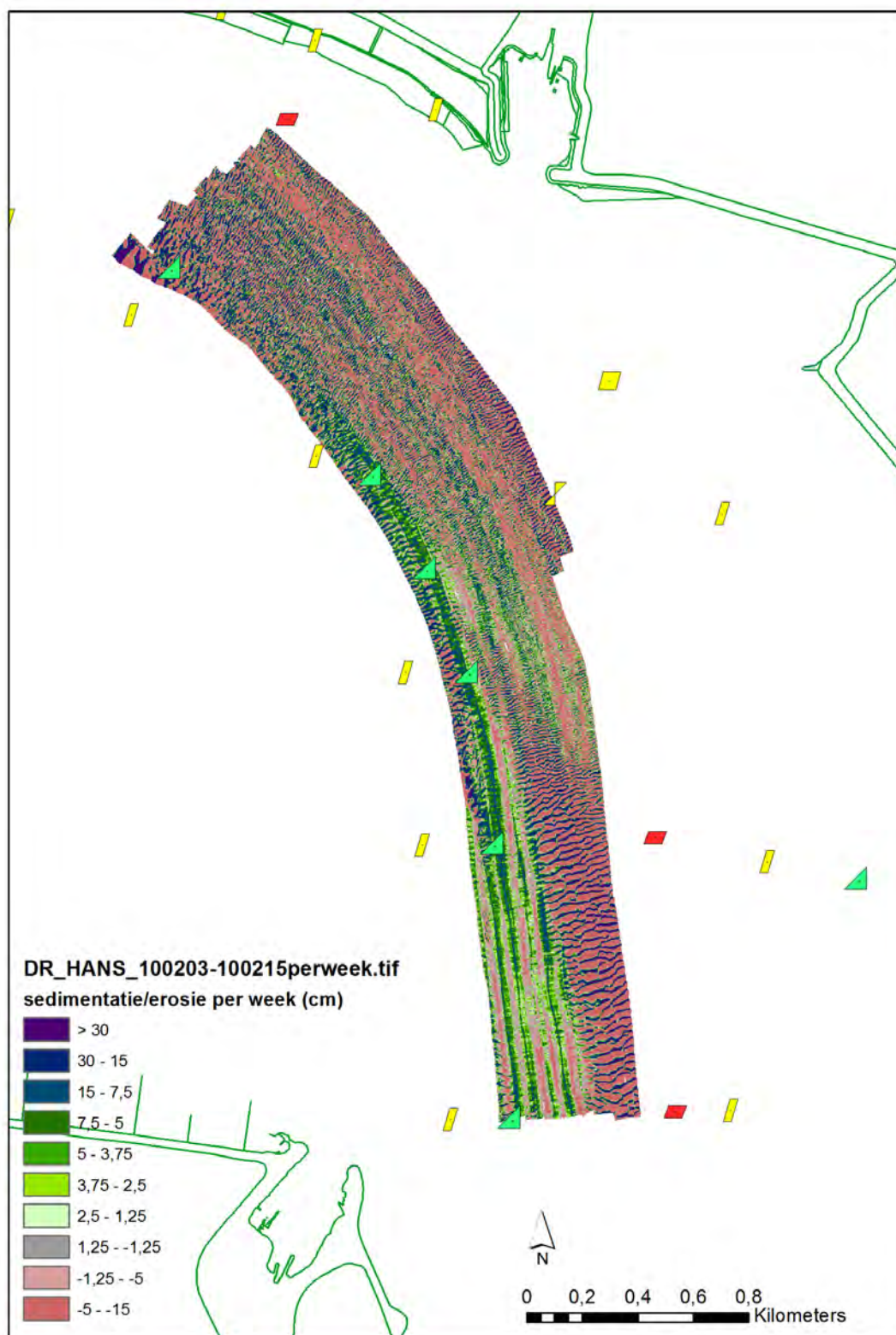
Figuur A 74 – Wekelijkse sedimentatie- erosie ter hoogte van de drempel van Hansweert voor de periode 5/1/2010 en 21/1/2010



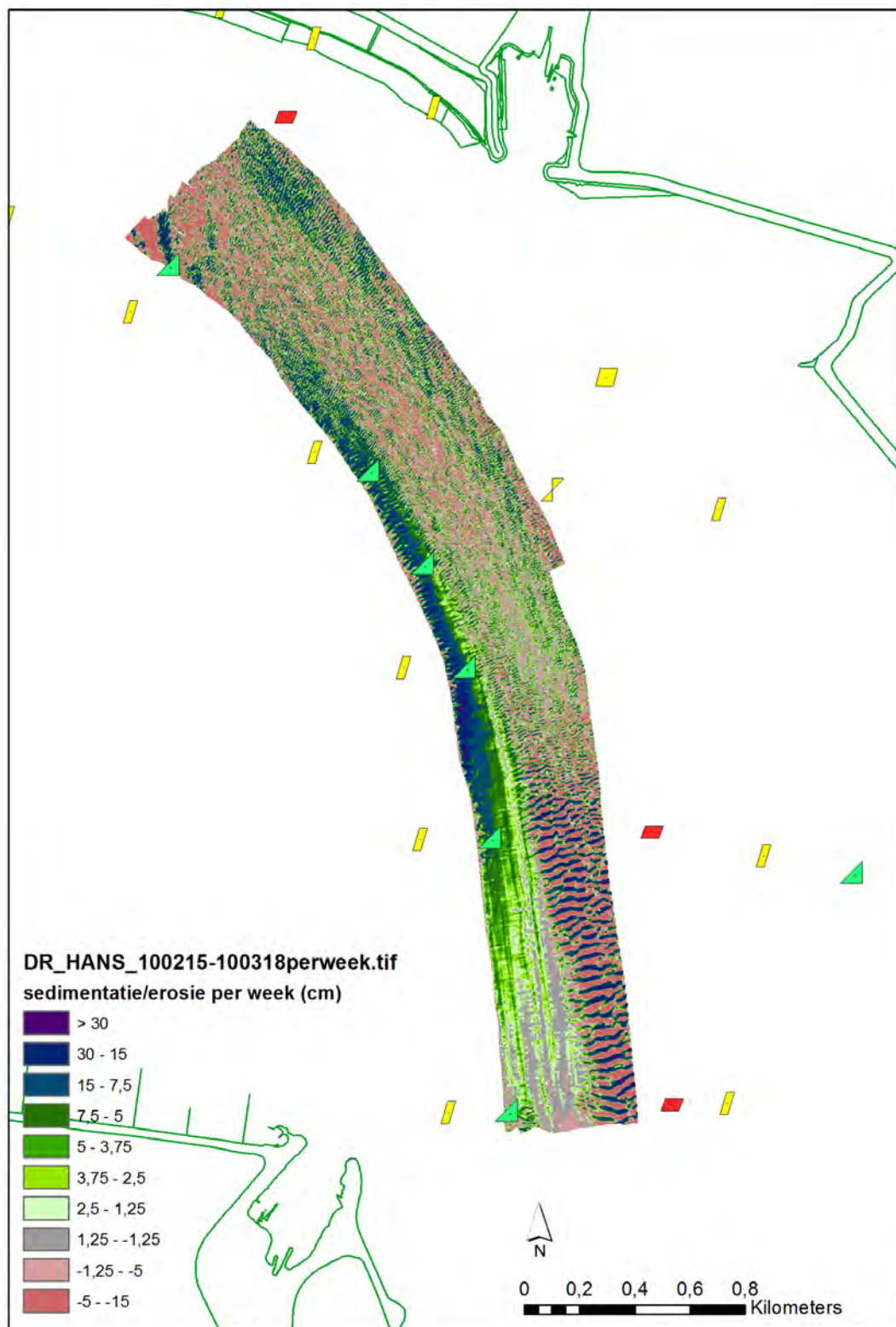
Figuur A 75– Wekelijkse sedimentatie- erosie ter hoogte van de drempel van Hansweert voor de periode 21/1/2010 en 3/2/2010



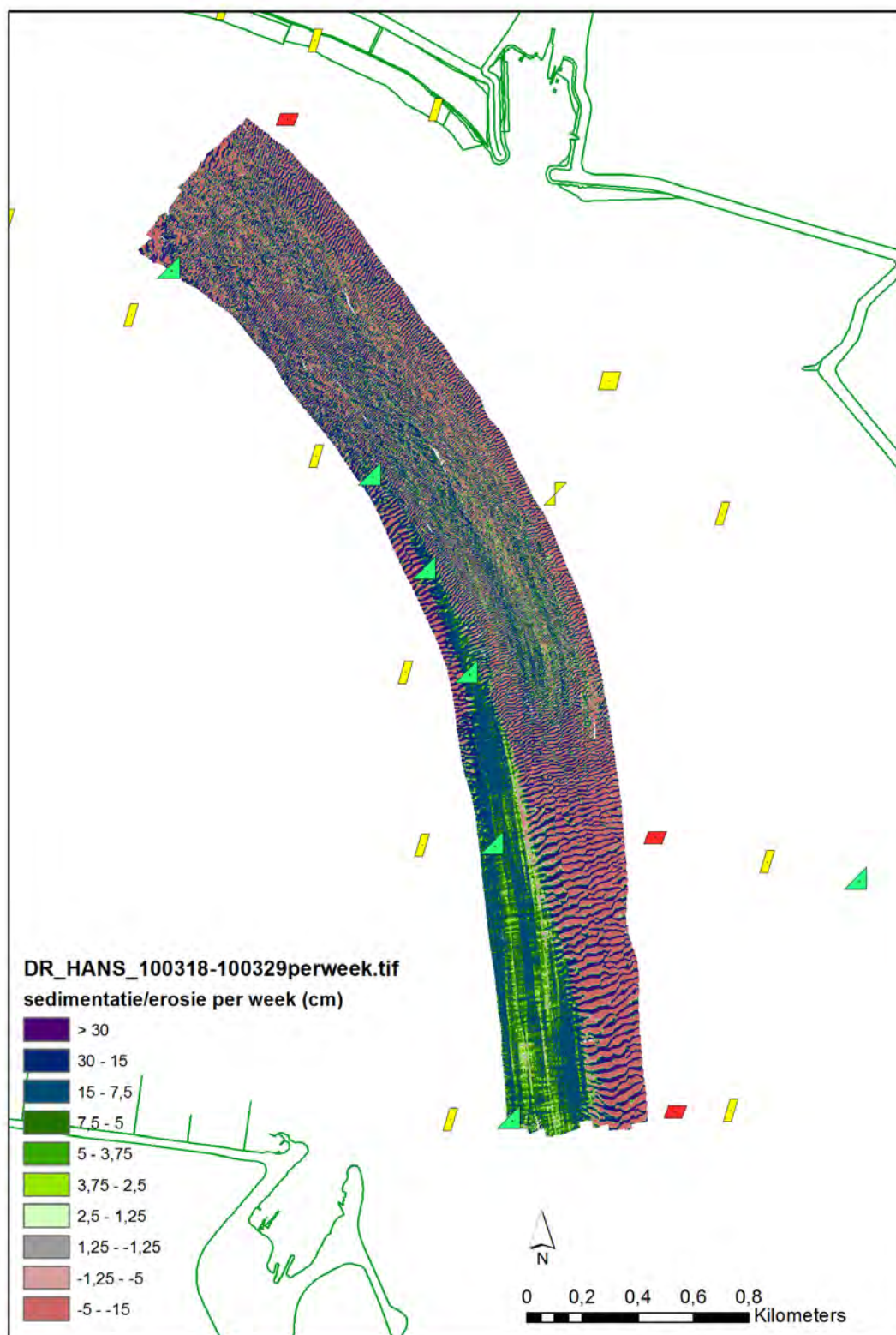
Figuur A 76– Wekelijkse sedimentatie- erosie ter hoogte van de drempel van Hansweert voor de periode 3/2/2010 en 15/2/2010



Figuur A 77– Wekelijkse sedimentatie- erosie ter hoogte van de drempel van Hansweert voor de periode 15/2/2010 en 18/3/2010



Figuur A 78 – Wekelijkse sedimentatie- erosie ter hoogte van de drempel van Hansweert voor de periode 18/3/2010 en 29/3/2010



Figuur A 79 – Wekelijkse sedimentatie- erosie ter hoogte van de drempel van Frederik voor de periode 24/9/2012 en 22/10/2012



Figuur A 80 – Wekelijkse sedimentatie- erosie ter hoogte van de drempel van Frederik voor de periode 22/10/2012 en 20/11/2012



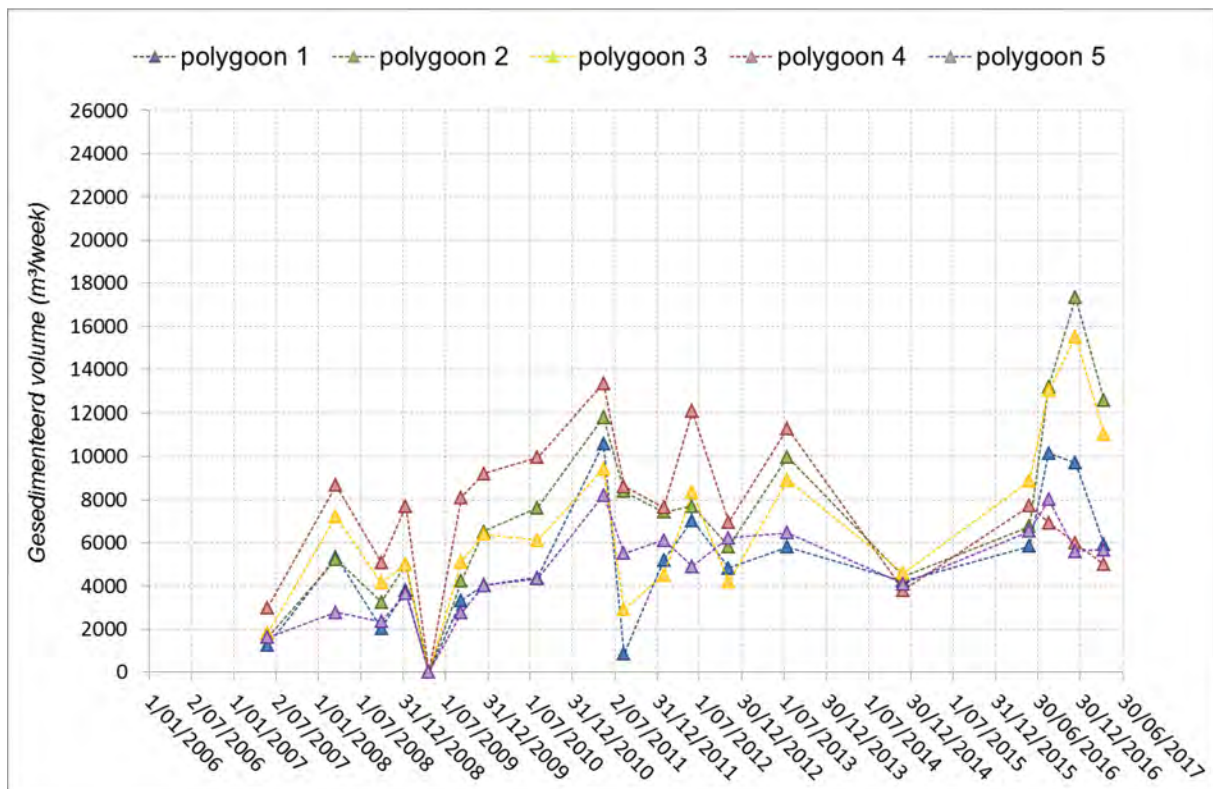
Figuur A 81 – Wekelijkse sedimentatie- erosie ter hoogte van de drempel van Frederik voor de periode 15/9/2014 en 14/10/2014



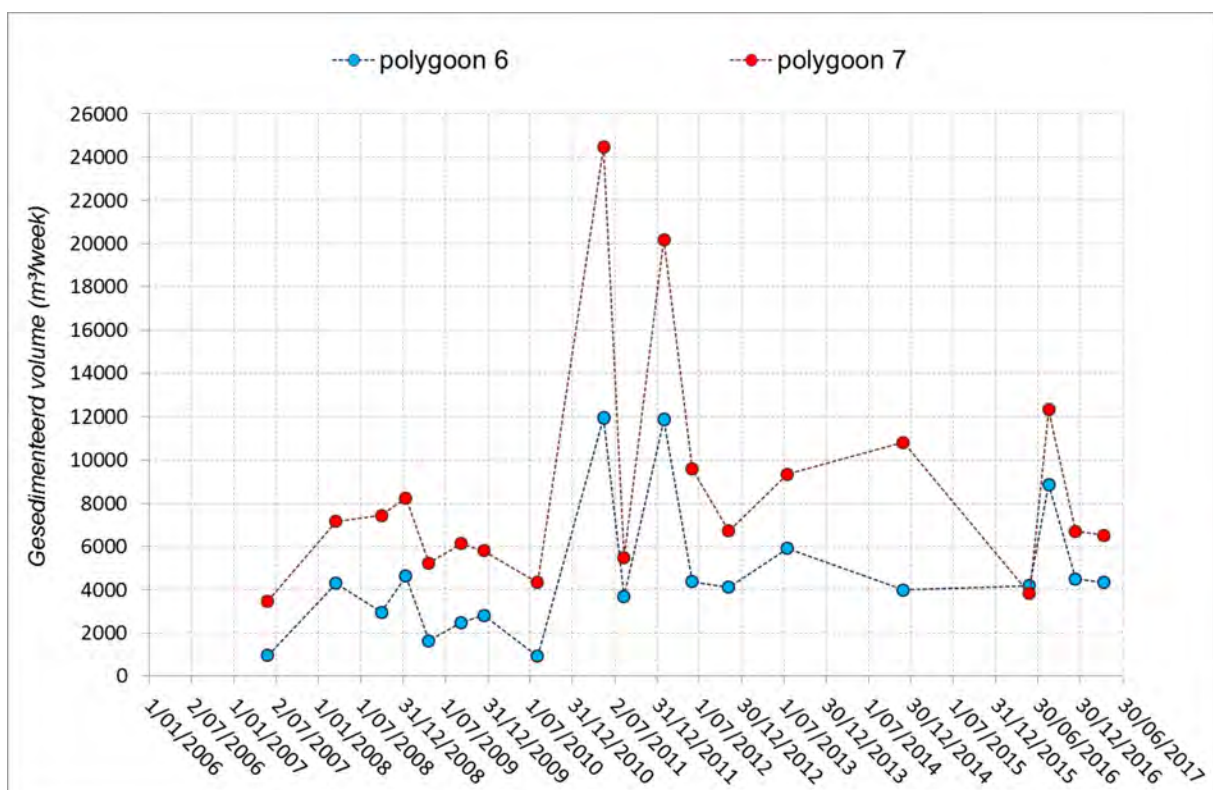
Figuur A 82 – Wekelijkse sedimentatie- erosie ter hoogte van de drempel van Frederik voor de periode 14/10/2014 en 14/11/2014



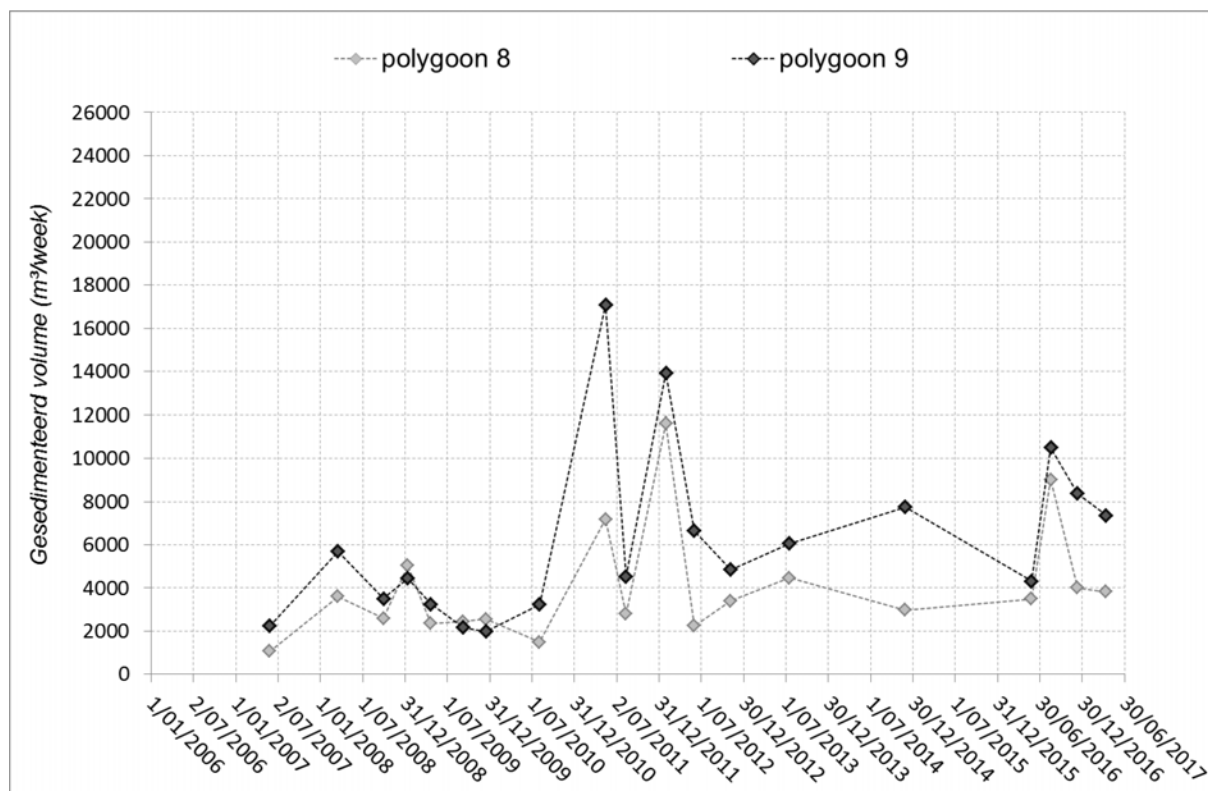
Figuur A 83 – Gesedimenteerd volume per afgebakende polygoon voor polygonen 1 tot en met 5 op de drempel van Hansweert



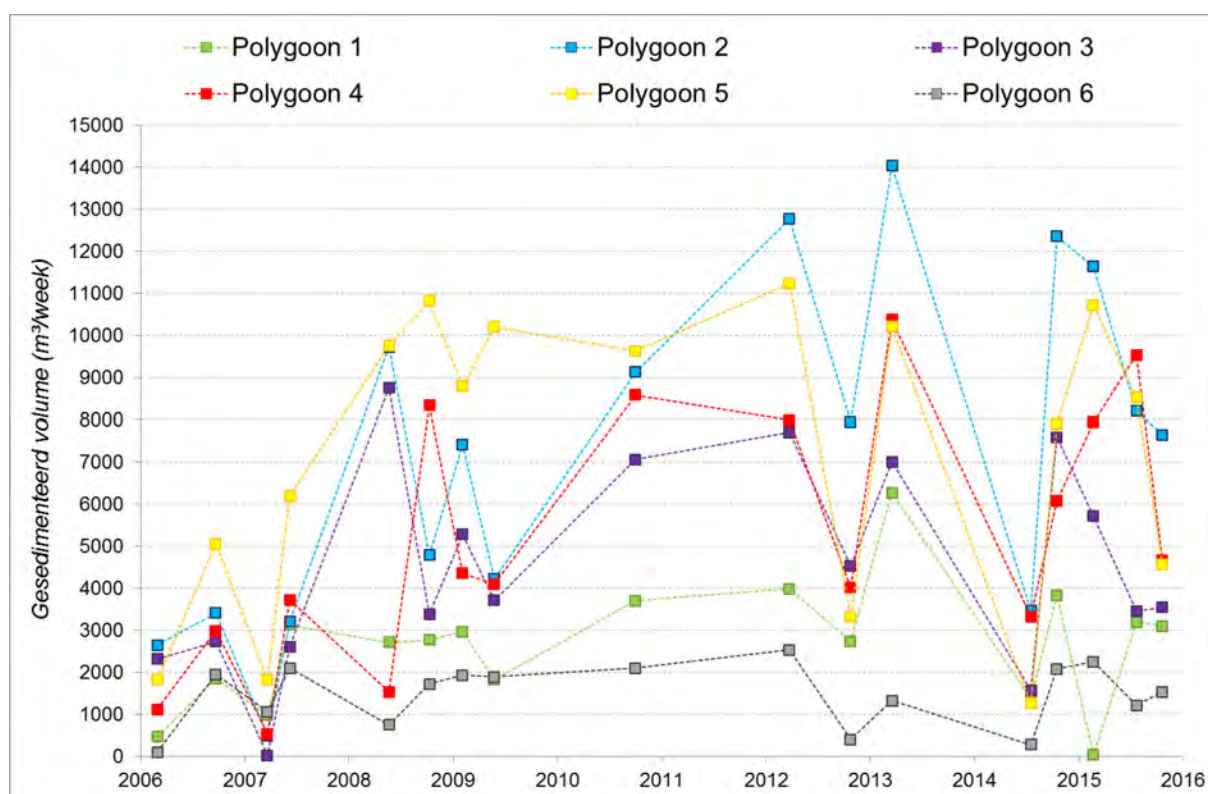
Figuur A 84 – Gesedimenteerd volume per afgebakende polygoon voor polygonen 6 en 7 op de drempel van Hansweert



Figuur A 85 – Gesedimenteerd volume per afgebakende polygoon voor polygoon 8 en 9 op de drempel van Hansweert



Figuur A 86 – Gesedimenteerd volume per afgebakende polygoon op de drempel van Frederik



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