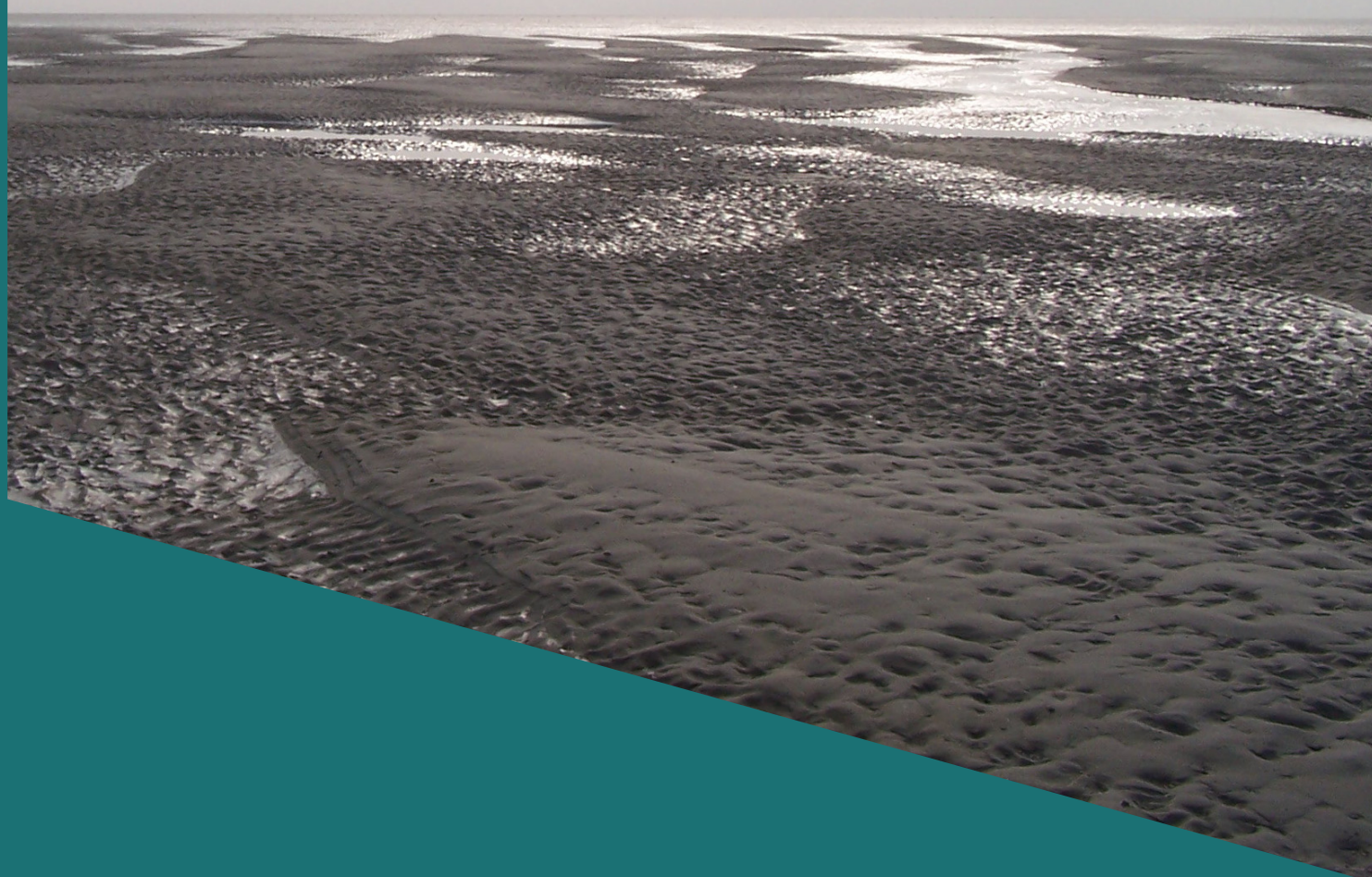




Vlaanderen
is wetenschap



14_024_13
WL rapporten

Morfologie Mesoschaal – stortscenario's geulen

Deelrapport 13
Stortscenario's hoofd- en nevengeulen

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Morfologie Mesoschaal – stortscenario's geulen

Deelrapport 13 – Stortscenario's hoofd- en nevengeulen

Coen, L.; Plancke, Y.; De Maerschalck, B.; 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 2019
D/2019/3241/205

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Coen, L.; Plancke, Y.; De Maerschalck, B.; Mostaert, F. (2019). Morfologie Mesoschaal – stortscenario's geulen: Deelrapport 13 – Stortscenario's hoofd- en nevengeulen. Versie 4.0. WL Rapporten, 14_024_13. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

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

Documentidentificatie

Opdrachtgever:	VNSC	Ref.:	WL2019R14_024_13
Keywords (3-5):	Numerieke modellering, Westerschelde, sediment, storten		
Tekst (p.):	51	Bijlagen (p.):	36
Vertrouwelijk:	☒ Nee ☒ Online beschikbaar		

Auteur(s):	Plancke, Y.; Coen, L.
------------	-----------------------

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	De Maerschalck, B.	Getekend door: Bart De Maerschalck (Signa) Getekend op: 2019-11-29 13:33:47 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Bart De Maerschalck</i>
Projectleider:	Plancke, Y.	Getekend door: Yves Plancke (Signature) Getekend op: 2019-11-29 13:16:23 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Yves Plancke</i>

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Mostaert, F.	Getekend door: Frank Mostaert (Signature) Getekend op: 2019-11-29 13:11:06 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Frank Mostaert</i>
-----------------	--------------	---



Abstract

In het kader van de Agenda voor de Toekomst vindt onderzoek plaats naar de 'Hydro- en sedimentdynamische en morfologische processen op mesoschaal'. In voorliggend rapport wordt een bijdrage geleverd aan de invulling van de toekomstige sedimentstrategie in de Westerschelde. Daartoe wordt onderzocht wat de verwachte wijzigingen zijn in het sedimenttransport wanneer binnen een bepaalde zone sediment gestort wordt. Deze wijzigingen kunnen gebruikt worden als indicatie voor de verwachte stabiliteit van gestorte specie binnen een bepaald gebied. Hierbij wordt zowel gekeken naar stortvakken in de hoofd- en nevengeul, alsook in het westelijke en oostelijke deel van de Westerschelde.

Uit de scenario's volgt dat er ter hoogte van de gemodelleerde stortzones overal een toename optreedt in de sedimenttransporten, wat erop wijst dat het gestorte sediment zal geërodeerd worden. Daarnaast is er initieel ook een afname van het sedimenttransport te zien in zones rond de storting in de geul waar gestort wordt en zal, door een herverdeling van de debieten in de hoofd- en nevengeul, in de andere geul binnen de macrocel het sedimenttransport initieel toenemen.

De interpretatie naar de te verwachte morfologische veranderingen is moeilijk en is afhankelijk van hoe het gestorte sediment zich uiteindelijk verspreidt.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de tabellen.....	VII
Lijst van de figuren	VIII
Lijst van de figuren in BIJLAGE A.....	X
1 Situering.....	1
2 Numerieke modellering.....	2
2.1 Modelbeschrijving	2
2.1.1 2D-model	2
2.1.2 Bathymetrie	3
2.1.3 Randvoorwaarden	3
2.1.4 Ruwheid	4
2.1.5 Tijdstap	4
2.1.6 Sedimenttransport	5
2.1.7 Uitvoerpunten	6
2.2 Verwerking	8
2.2.1 Waterstanden.....	8
2.2.2 Debieten	8
2.2.3 Sedimenttransport	8
2.3 Model-validatie.....	10
2.3.1 Validatie waterpeilen en debieten	10
2.3.2 Validatie sedimenttransport.....	10
3 Scenario's.....	13
3.1 Beschrijving scenario's.....	13
3.2 Resultaten scenario's.....	15
3.2.1 Referentiescenario FSK001.....	15
3.2.2 Stortvak SN31	20
3.2.3 Stortvak SH41	23
3.2.4 Stortvak SN41	26
3.2.5 Stortvak DPHW	29
3.2.6 Stortvak SH51	32
3.2.7 Stortvak SN51	35

3.3	Vergelijking scenario's	40
3.3.1	Waterstanden.....	40
3.3.2	Getijvolumes.....	40
3.3.3	Sedimenttransport	43
3.4	Interpretatie effecten stortingen	44
4	Conclusies	50
5	Referenties	51
BIJLAGE A	- Kaarten sedimenttransport	B1
BIJLAGE B	- Figuren eb- en vloedvolumes	B34

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Overzicht metingen Drempel van Hansweert.....	11
Tabel 2 – Overzicht volume storting en diepte opgehoogd per scenario	14
Tabel 3 – Wijziging bruto sedimenttransport per macrocel in geul met storten en in geul zonder storten ..	43

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Illustratie van het NEVLA rooster	2
Figuur 2 – Cyclisch morfologisch getij ter hoogte van Westkapelle en Cadzand [mTAW].....	3
Figuur 3 – Origineel ruwheidsveld in het NEVLA model, uitgedrukt als Manning coëfficiënt	4
Figuur 4 – Ruimtelijk variërende D50 [μm], gebaseerd op maximale stroomsnelheid.....	6
Figuur 5 – Situering uitvoerpunten	7
Figuur 6 – Schematische voorstelling duur bepaling sedimenttransport over 2 getijcycli	8
Figuur 7 – Dwarsdoorsneden gedefinieerd langs eb- en vloedgeul Westerschelde.....	9
Figuur 8 – Locaties meetframes ter hoogte van drempel van Hansweert en drempel van Frederik	11
Figuur 9 – Gemeten en gesimuleerd bruto sedimenttransport voor drie meetlocaties ter hoogte van Drempel van Hansweert.....	12
Figuur 10 – Overzicht stortvakken en macrocellen in de Westerschelde	13
Figuur 11 – Bruto sedimenttransport over dwarsdoorsneden langs ebgeul (boven) en vloedgeul (onder) voor referentiescenario FSK001	16
Figuur 12 – Netto sedimenttransport over dwarsdoorsneden langs ebgeul (boven) en vloedgeul (onder) voor referentiescenario FSK001	17
Figuur 13 – Bruto sedimenttransport (links) en bruto bodemsedimenttransport (rechts) over dwarsdoorsneden langs vloedgeul (boven) en ebgeul (onder) voor referentiescenario FSK001.....	18
Figuur 14 – Netto sedimenttransport (links) en netto bodemsedimenttransport (rechts) over dwarsdoorsneden langs vloedgeul (boven) en ebgeul (onder) voor referentiescenario FSK001.....	19
Figuur 15 – Situering dwarsdoorsneden nabij stortvak SN31	20
Figuur 16 – Bruto sedimenttransport over dwarsdoorsneden langs ebgeul (boven) en vloedgeul (onder) voor scenario's met stortingen in stortvak SN31	21
Figuur 17 – Bruto sedimenttransport over dwarsdoorsneden langs ebgeul (boven) en vloedgeul (onder) nabij stortvak SN31 voor scenario's met stortingen in stortvak SN31.....	21
Figuur 18 – Verschilkaart bruto sedimenttransport FSK323 tov FSK001	22
Figuur 19 – Situering dwarsdoorsneden nabij stortvakken SH41 en SN41	23
Figuur 20 – Bruto sedimenttransport over dwarsdoorsneden langs ebgeul (boven) en vloedgeul (onder) voor scenario's met stortingen in stortvak SH41	24
Figuur 21 – Bruto sedimenttransport over dwarsdoorsneden nabij stortvak SH41 langs ebgeul (boven) en vloedgeul (onder) voor scenario's met stortingen in stortvak SH41.....	24
Figuur 22 – Verschilkaart bruto sedimenttransport FSK433 tov FSK001	25
Figuur 23 – Bruto sedimenttransport over dwarsdoorsneden langs ebgeul (boven) en vloedgeul (onder) voor scenario's met stortingen in stortvak SN41	27
Figuur 24 – Bruto sedimenttransport over dwarsdoorsneden langs ebgeul (boven) en vloedgeul (onder) nabij stortvak SN41 voor scenario's met stortingen in stortvak SN41.....	27
Figuur 25 – Verschilkaart bruto sedimenttransport FSK423 tov FSK001	28
Figuur 26 – Situering dwarsdoorsneden nabij stortvak DPHW	29

Figuur 27 – Bruto sedimenttransport over dwarsdoorsneden langs ebgeul (boven) en vloedgeul (onder) voor scenario's met stortingen in stortvak DPHW	30
Figuur 28 – Bruto sedimenttransport over dwarsdoorsneden langs ebgeul (boven) en vloedgeul (onder) nabij Diepe Put van Hansweert voor scenario's met stortingen in stortvak DPHW	30
Figuur 29 – Verschilkaart bruto sedimenttransport FSKHW3 tov FSK001	31
Figuur 30 – Situering dwarsdoorsneden nabij stortvak SH51	32
Figuur 31 – Bruto sedimenttransport over dwarsdoorsneden langs ebgeul (boven) en vloedgeul (onder) voor scenario's met stortingen in stortvak SH51	33
Figuur 32 – Bruto sedimenttransport over dwarsdoorsneden langs ebgeul (boven) en vloedgeul (onder) nabij stortvak SH51 voor scenario's met stortingen in stortvak SH51	33
Figuur 33 – Verschilkaart bruto sedimenttransport FSK533 tov FSK001	34
Figuur 34 – Situering dwarsdoorsneden nabij stortvak SN51	36
Figuur 35 – Bruto sedimenttransport over dwarsdoorsneden langs ebgeul (boven) en vloedgeul (onder) voor scenario's met stortingen in stortvak SN51	37
Figuur 36 – Bruto sedimenttransport over dwarsdoorsneden nabij stortvak SH51 langs ebgeul (boven) en vloedgeul (onder) voor scenario's met stortingen in stortvak SN51	38
Figuur 37 – Verschilkaart bruto sedimenttransport FSK523 tov FSK001	39
Figuur 38 – Vergelijking waterpeilen thv meetposten Westerschelde voor scenario's met storting 4 Mm ³ .	41
Figuur 39 – Lengteprofielen Westerschelde – Zeeschelde tot Antwerpen met verschil in (tijd van) HW/LW tov FSK001 voor scenario's met storting 4 Mm ³	41
Figuur 40 – Vloed- en ebvolumes in vloed- en ebgeul ter hoogte van raaien 7, 6, 5a, 2 en 1 voor scenario's met storting 4 Mm ³	42
Figuur 41 – Situering polygonen geulen met of zonder storten	44
Figuur 42 – Cumulatief debiet [m ³] over raai5a vloed bij scenario's met storting in stortvak SN51	45
Figuur 43 – Verschilkaart bruto sedimenttransport FSK524 tov FSK001	46
Figuur 44 – Verschilkaart bruto sedimenttransport FSK525 tov FSK001	47
Figuur 45 – Verschilkaart bruto sedimenttransport FSK527 tov FSK001	48
Figuur 46 – Verschilkaart bruto sedimenttransport FSK528 tov FSK001	49

Lijst van de figuren in BIJLAGE A

Figuur A 1 – Bruto sedimenttransport in de Westerschelde – referentiescenario FSK001	B2
Figuur A 2 – Netto sedimenttransport in de Westerschelde – referentiescenario FSK001	B3
Figuur A 3 – Bruto bodemsedimenttransport in de Westerschelde – referentiescenario FSK001.....	B4
Figuur A 4 – Netto bodemsedimenttransport in de Westerschelde – referentiescenario FSK001.....	B5
Figuur A 5 – Verhouding (%) bruto bodemsedimenttransport ten opzichte van totaal brutosedimenttransport in de Westerschelde – referentiescenario FSK001	B6
Figuur A 6 – Bruto sedimenttransport in de Westerschelde – scenario FSK322.....	B7
Figuur A 7 – Bruto sedimenttransport in de Westerschelde – scenario FSK323.....	B8
Figuur A 8 – Bruto sedimenttransport in de Westerschelde – scenario FSK324.....	B9
Figuur A 9 – Bruto sedimenttransport in de Westerschelde – scenario FSK325.....	B10
Figuur A 10 – Bruto sedimenttransport in de Westerschelde – scenario FSK432.....	B11
Figuur A 11 – Bruto sedimenttransport in de Westerschelde – scenario FSK433.....	B12
Figuur A 12 – Bruto sedimenttransport in de Westerschelde – scenario FSK434.....	B13
Figuur A 13 – Bruto sedimenttransport in de Westerschelde – scenario FSK421.....	B14
Figuur A 14 – Bruto sedimenttransport in de Westerschelde – scenario FSK422.....	B15
Figuur A 15 – Bruto sedimenttransport in de Westerschelde – scenario FSK423.....	B16
Figuur A 16 – Bruto sedimenttransport in de Westerschelde – scenario FSKHW2.....	B17
Figuur A 17 – Bruto sedimenttransport in de Westerschelde – scenario FSKHW3.....	B18
Figuur A 18 – Bruto sedimenttransport in de Westerschelde – scenario FSKHW4.....	B19
Figuur A 19 – Bruto sedimenttransport in de Westerschelde – scenario FSKHW5.....	B20
Figuur A 20 – Bruto sedimenttransport in de Westerschelde – scenario FSK531.....	B21
Figuur A 21 – Bruto sedimenttransport in de Westerschelde – scenario FSK532.....	B22
Figuur A 22 – Bruto sedimenttransport in de Westerschelde – scenario FSK533.....	B23
Figuur A 23 – Bruto sedimenttransport in de Westerschelde – scenario FSK534.....	B24
Figuur A 24 – Bruto sedimenttransport in de Westerschelde – scenario FSK520.....	B25
Figuur A 25 – Bruto sedimenttransport in de Westerschelde – scenario FSK521.....	B26
Figuur A 26 – Bruto sedimenttransport in de Westerschelde – scenario FSK522.....	B27
Figuur A 27 – Bruto sedimenttransport in de Westerschelde – scenario FSK523.....	B28
Figuur A 28 – Bruto sedimenttransport in de Westerschelde – scenario FSK524.....	B29
Figuur A 29 – Bruto sedimenttransport in de Westerschelde – scenario FSK525.....	B30
Figuur A 30 – Bruto sedimenttransport in de Westerschelde – scenario FSK526.....	B31
Figuur A 31 – Bruto sedimenttransport in de Westerschelde – scenario FSK527.....	B32
Figuur A 32 – Bruto sedimenttransport in de Westerschelde – scenario FSK528.....	B33

1 Situering

Dit rapport is een onderdeel van het project 'Hydro- en sedimentdynamische en morfologische processen op mesoschaal', dat kadert binnen Agenda voor de Toekomst. 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 Schelde-Commissie (VNSC) heeft met deze Agenda ingestemd op de najaarsvergadering van 2013. Hierop volgend werd een Plan van Aanpak opgemaakt (Beirinckx *et al.*, 2013), dat de leidraad vormt voor het onderzoek 2014-2017.

Het project 'Hydro- en sedimentdynamische en morfologische processen op mesoschaal', dat onderdeel is van thema 7 uit de Agenda "Morfologische en ecologische effecten sedimentstrategie", tracht de inzichten in de hydro- en sediment-dynamische en morfologische processen op mesoschaal te verbeteren.

Doel van voorliggend rapport is het leveren van een bijdrage aan de invulling van de toekomstige sedimentstrategie in de Westerschelde. Daartoe wordt onderzocht wat de verwachte wijzigingen zijn in het sedimenttransport wanneer binnen een bepaalde zone sediment gestort wordt. Deze wijzigingen kunnen gebruikt worden als indicatie voor de verwachte stabiliteit van gestorte specie binnen een bepaald gebied. Hierbij wordt zowel gekeken naar stortvakken in de hoofd- en nevengeul, alsook in het westelijke en oostelijke deel van de Westerschelde.

2 Numerieke modellering

2.1 Modelbeschrijving

2.1.1 2D-model

Het numeriek 2D-model gebruikt in deze studie is het zogenaamde NEVLA-model. Het NEVLA-model is een hydrodynamisch model ontwikkeld binnen de SIMONA software omgeving (Maximova *et al.*, 2009; Verheyen *et al.*, 2012). Dit model omvat het volledige Schelde-estuarium: een deel van de Noordzee, de Vlake van de Raan, de Westerschelde, Zeeschelde en de getijgebonden zijrivieren in Vlaanderen. De afwaartse rand van het NEVLA-model is gelegen in de Noordzee. De opwaartse randen zijn gelegen aan de grenzen van het tijgebied. De resolutie van de rekenrooster varieert van ongeveer 400 m op de Noordzee en neemt geleidelijk af tot ongeveer 30 meter in de buurt van Schelle.

In deze studie wordt de afwaartse rand van het model afgesneden ter hoogte van de lijn Westkapelle – Cadzand, zoals aangeduid in Figuur 1. Het gedeelte van het grid in de Noordzee wordt dus buiten beschouwing gelaten.

Figuur 1 – Illustratie van het NEVLA rooster



De witte lijn illustreert de lijn Westkapelle-Cadzand, waar het model wordt afgesneden.

2.1.2 Bathymetrie

De topo-bathymetrie van de Westerschelde is gebaseerd op metingen van 2015 aangeleverd door Rijkswaterstaat. De topo-bathymetrie van de Beneden-Zeeschelde is gebaseerd op metingen van 2011 aangeleverd door Vlaamse Hydrografie. De bathymetrie van de intertidale gebieden is gebaseerd op LIDAR-metingen van 2011. Bij overlap tussen LIDAR en bathymetrische gegevens, is voorkeur gegeven aan bathymetrie. TAW wordt gebruikt als verticaal referentievlak.

De bathymetrische data van de Westerschelde zijn beschikbaar met een resolutie van 20x20m (interpolatie van single-beam echosounding raaien). De bathymetrische data van de Zeeschelde zijn beschikbaar met een resolutie van 1x1m (gebiedsdekkende multibeam peilingen). Deze werden ten behoeve van deze studie omgezet naar een 5x5m grid om de totale bestandsgrootte van het samengestelde bathymetrische grid werkbaar te houden. Aangezien de gridcellen van het model groter zijn dan 5x5m vormt dit geen probleem voor het aanmaken van de modelbathymetrie.

2.1.3 Randvoorwaarden

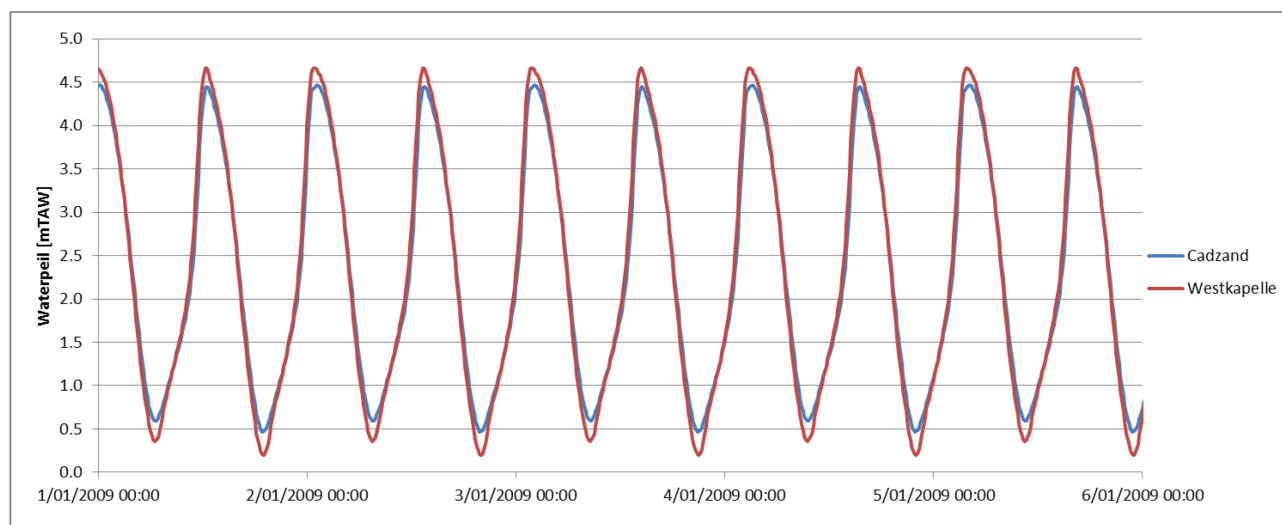
Opwaartse randvoorwaarden

Aan de opwaartse rand worden debieten opgelegd, meer bepaald gemiddelde dagelijkse meetwaarden van het jaar 2009. Aangezien het interessegebied hier voornamelijk Westerschelde en het meest afwaartse deel van de Beneden-Zeeschelde betreft, zullen deze randvoorwaarden de resultaten nauwelijks beïnvloeden.

Afwaartse randvoorwaarden

De afwaartse rand wordt opgelegd tussen Westkapelle en Cadzand. Als randvoorwaarde wordt een waterhoogte opgelegd. Voor dit scenario-onderzoek is ervoor geopteerd te werken met een cyclisch morfologisch getij. Het morfologisch maatgevend getij voor de Westerschelde wordt gekarakteriseerd door een getijfactor van 1,08 (Tank, 1996). Er is geopteerd om een opeenvolging van twee opgetreden getijden (duur = 24u50) in de tijd te herhalen. Figuur 2 geeft de twee zich herhalende getijden weer te Westkapelle en Cadzand.

Figuur 2 – Cyclisch morfologisch getij ter hoogte van Westkapelle en Cadzand [mTAW]



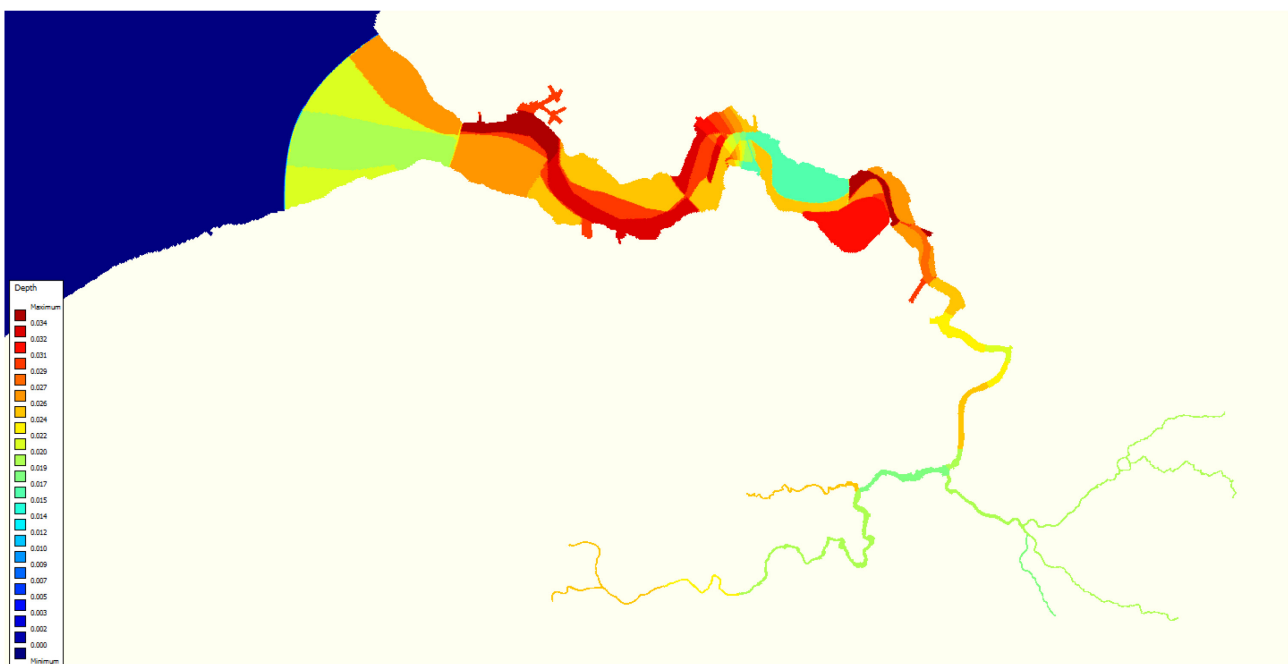
Sedimentrandvoorwaarden

Als instroom van sediment (zand) aan de opwaartse rand wordt een constante waarde van 0 kg/m^3 opgelegd. Aangezien ter hoogte van de opwaartse randen de sedimentaanvoer voornamelijk bestaat uit slib, wat deze aanname verantwoord. Aan de afwaartse rand wordt een evenwichtsconcentratie ($0,05 \text{ kg/m}^3$) opgelegd. In het model wordt, gezien het interessegebied vooral de Westerschelde is, enkel zandtransport in beschouwing genomen.

2.1.4 Ruwheid

In Figuur 3 is het originele ruwheidsveld weergegeven (Maximova *et al.*, 2009), welk ruimtelijk variërend is zowel in longitudinale en laterale richting.

Figuur 3 – Origineel ruwheidsveld in het NEVLA model, uitgedrukt als Manning coëfficiënt



2.1.5 Tijdstap

Voor de scenarioberekeningen wordt gebruik gemaakt van een tijdstap van 0,05 min (gelijk aan 3 s).

2.1.6 Sedimenttransport

Het sedimenttransport wordt in Delft3D berekend op basis van de transportformule van Van Rijn (Van Rijn, 1993).

De sedimenttransportformule van Van Rijn (1993) maakt een onderscheid tussen sedimenttransport over de bodem (q_b [$\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$]) en in suspensie (q_s [$\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$]) (zie o.a. (Deltares, 2011)). In afwezigheid van golven wordt het bodemtransport berekend als:

$$|q_b| = \alpha_b \rho_s U h (D_{50}/h)^{1.2} (M_e)^\eta$$

met:

- α_b en η , constanten [-]
- ρ_s , de dichtheid van het sediment [kg m^{-3}]
- h , de waterdiepte [m]
- $M_e = \frac{(U - U_{kr})}{(4.9.D_{50})^{0.5}}$, het 'overmatig' mobiliteitsgetal [-]
- U_{kr} , de kritische dieptegemiddelde stroomsnelheid [m s^{-1}]

Voor het suspensietransport wordt gebruik gemaakt van volgende uitdrukking:

$$q_s = \int_a^h \left(u C_a - \varepsilon \frac{\partial c}{\partial x} \right) dz$$

met:

- ε = eddy – diffusiviteit van de sedimentfractie [$\text{m}^2 \text{s}^{-1}$]
- $C_a = 0.015 \rho_s \frac{D_{50}.T_a^{1.5}}{a.D_*^{0.3}}$ de referentieconcentratie [kg m^{-3}]

Hierin zijn D_{50} en T_a de non-dimensionale sedimentdiameter en de non-dimensionale bodemschuifspanning en is C_a de referentieconcentratie. Deze wordt bepaald op referentiehoogte a , die functie is van de stroming-gerelateerde ruwheidshoogte. Sedimenttransport boven deze referentiehoogte wordt beschouwd als suspensietransport en onder de referentiehoogte als bodemtransport.

De specifieke dichtheid en het drooggewicht voor niet-cohesief sediment (zand) zijn respectievelijk: $\rho_s = 2650 \text{ kg/m}^3$ en $\rho_w = 1600 \text{ kg/m}^3$. Het niet-cohesief sediment heeft een initiële laagdikte van 5 m.

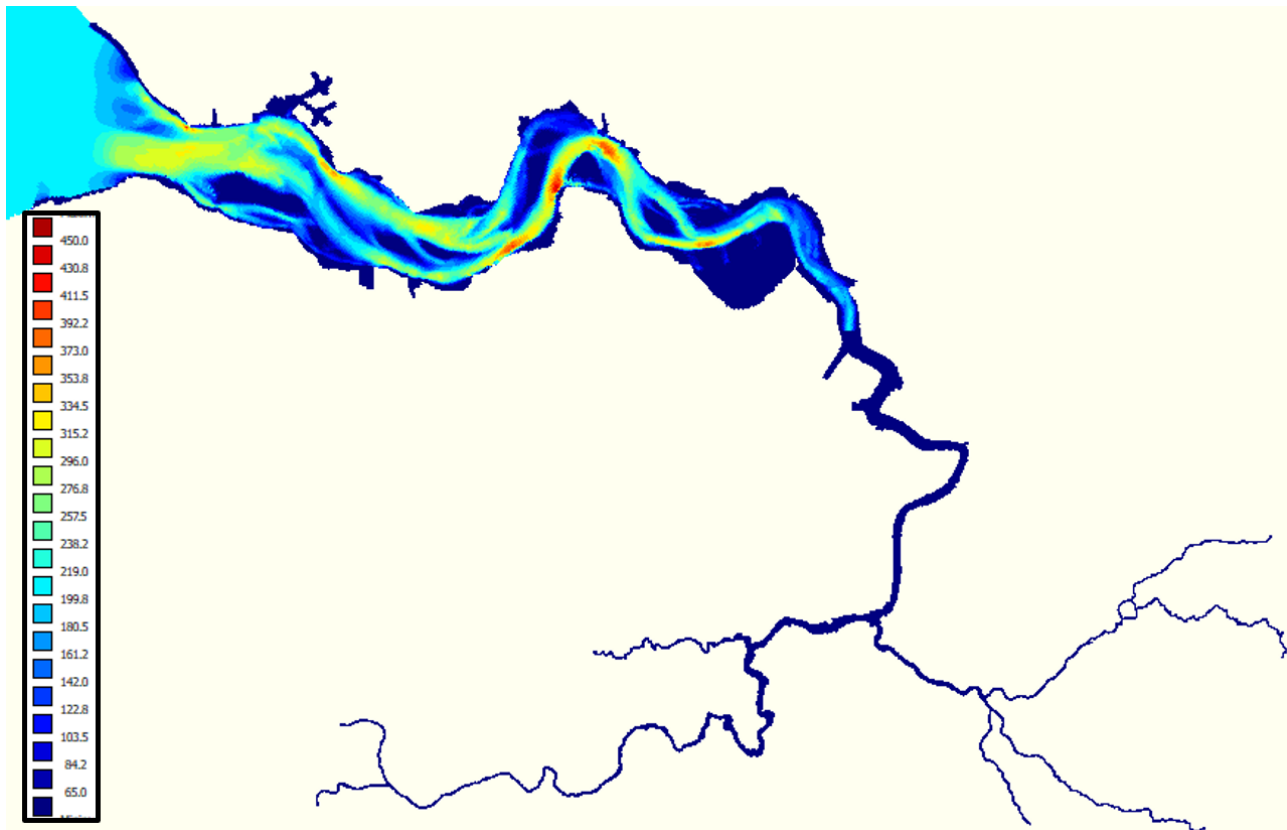
Er is een ruimtelijk variërende mediane korrelgrootte (D_{50}) opgelegd (Figuur 4), die wordt bepaald op basis van de maximale stroomsnelheid, volgens volgende formule:

$$D_{50} [\mu\text{m}] = 192,1 * v_{\max} - 59,53$$

waarbij $v_{\max}$ uitgedrukt wordt in [m/s].

Als minimale waarde op platen en schorren werd $63 \mu\text{m}$ genomen. Voor de Noordzee werd een uniforme korrelgrootte van $200 \mu\text{m}$ genomen.

De bodem zelf wordt tijdens de simulatie niet geüpdatet (geen morfologisch model)

Figuur 4 – Ruimtelijk variërende D50 [μm], gebaseerd op maximale stroomsnelheid

2.1.7 Uitvoerpunten

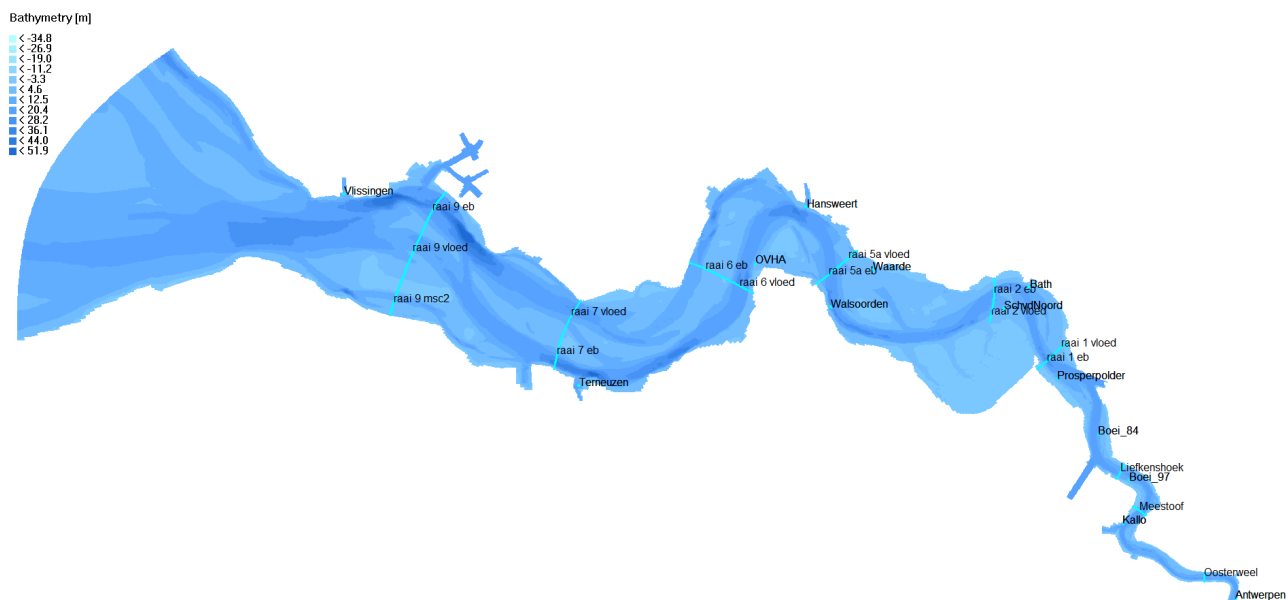
Figuur 5 geeft de gebruikte uitvoerpunten en debietraaien weer die in het model gedefinieerd werden. Hierbij werd gebruik gemaakt van stations en raaien waar metingen (waterstanden, debieten) beschikbaar zijn. De debietraaien zijn verdeeld over de eb- en de vloedgeul. Volgende locaties werden meegenomen in de analyse:

- Stations (history punten)
 - Vlissingen
 - Terneuzen
 - Hansweert
 - Bath
 - Liefkenshoek
 - Antwerpen-Loodsgebouw
- Raaien
 - Raai 7 (macrocel 3)
 - Raai 6 (macrocel 4)
 - Raai 5a (macrocel 5)
 - Raai 2 (macrocel 6)
 - Raai 1 (macrocel 7)

De simulatieresultaten in de uitvoerpunten en raaien worden elke 10 minuten uitgevoerd.

Daarnaast worden eveneens ruimtelijk dekkende resultaten (map-files) weggeschreven gedurende 2 volledige getijden na het 3^{de} hoogwater, met een tussentijd van 15 minuten. Naast de waterstanden bevatten deze files ook o.a. de stroomsnelheden en de sedimenttransporten.

Figuur 5 – Situering uitvoerpunten



Licht blauwe lijnen: debietraaien; Licht blauwe punten: uitvoer waterpeilen.

2.2 Verwerking

2.2.1 Waterstanden

De uitvoer van de waterstanden bestaat uit 10-minuutelijkse tijdreeksen ter hoogte van de meetposten.

2.2.2 Debieten

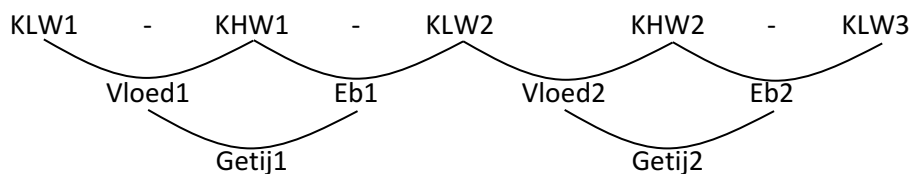
Ter hoogte van de raaien worden 10-minuutelijkse debietreeksen uitgevoerd. Hieruit worden cumulatieve debieten berekend per debietraai, i.e. getijvolumes.

2.2.3 Sedimenttransport

Het sedimenttransport wordt door Delft3D berekend op basis van de transportformule van Van Rijn (1993), zoals beschreven in §2.1.6.

Op basis van de map-files wordt voor elk roosterpunt het sedimenttransport bepaald over twee volledige getijcycli, twee maal gaande van kentering laagwater over kentering hoogwater tot kentering laagwater (Figuur 6). Op basis van deze tijdreeks en de kenteringen wordt het eb- en vloedtransport bepaald. Vervolgens wordt het bruto- en netto-sedimenttransport berekend.

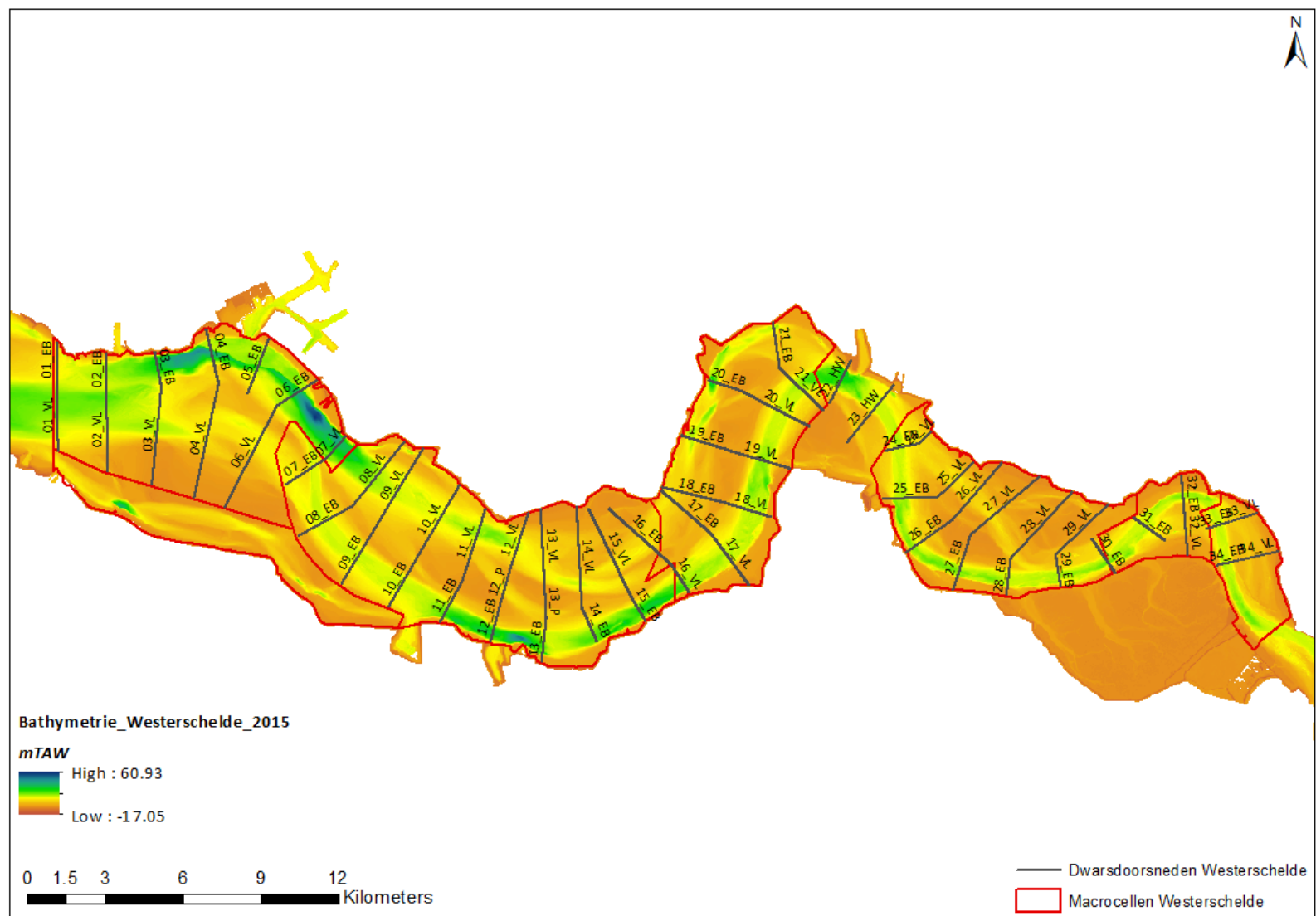
Figuur 6 – Schematische voorstelling duur bepaling sedimenttransport over 2 getijcycli



Het bruto-sedimenttransport is de som van de absolute waarde van het sedimenttransport bij eb en vloed. Het netto-sedimenttransport is het verschil tussen de absolute waarden van het sedimenttransport bij eb en vloed en dus het residueel transport.

Dwars op de hoofd- en nevengeulen van de Westerschelde zijn dwarsdoorsneden gedefinieerd met een tussenafstand van circa 2 km (Figuur 7). In macrocel 3 werden tevens twee dwarsdoorsneden gedefinieerd over de Middelpaas ten oosten van de geul Zuid-Everingen. Over de dwarsdoorsneden wordt het totale sedimenttransport berekend over twee getijcycli. Het berekende sedimenttransport wordt uitgezet relatief ten opzichte van het referentiescenario.

Figuur 7 – Dwarsdoorsneden gedefinieerd langs eb- en vloedgeul Westerschelde



2.3 Model-validatie

2.3.1 Validatie waterpeilen en debieten

Het model werd reeds toegepast voor scenarioberekeningen in verband met 'Fysieke Systeemkenmerken Schelde-estuarium'. In dit kader werd het model gevalideerd voor zowel een gemiddelde getijcyclus als enkele stormen. De resultaten van deze validatie worden beschreven in (Coen *et al.*, 2019).

2.3.2 Validatie sedimenttransport

Het sedimenttransport in het model wordt gevalideerd op basis van metingen ter hoogte van de Drempel van Hansweert. In (Stark *et al.*, 2019) worden de stroomsnelheidsmetingen en de daarop gebaseerde sedimenttransportmetingen uitgebreid besproken.

Ter hoogte van de Drempel van Hansweert werd er over de periode 28/04/2016 - 26/05/2016 gemeten op vier verschillende locaties (Figuur 3). Deze metingen zijn uitgevoerd door RWS. Er wordt gebruik gemaakt van de metingen op locaties H1, H2 en H4. Locaties H1 en H2 zijn gelegen in de buurt van de Platen van Ossensisse, op een plateau tussen de plaat en de vaargeul. Locatie H4 is gelegen langs de Plaat van Walsoorden (Figuur 3). Beschouwen we de bodempeilen van de meetlocaties dan is H1 de meest ondiepe locatie, H4 de diepste locatie, en heeft locatie H2 een tussenliggende diepte.

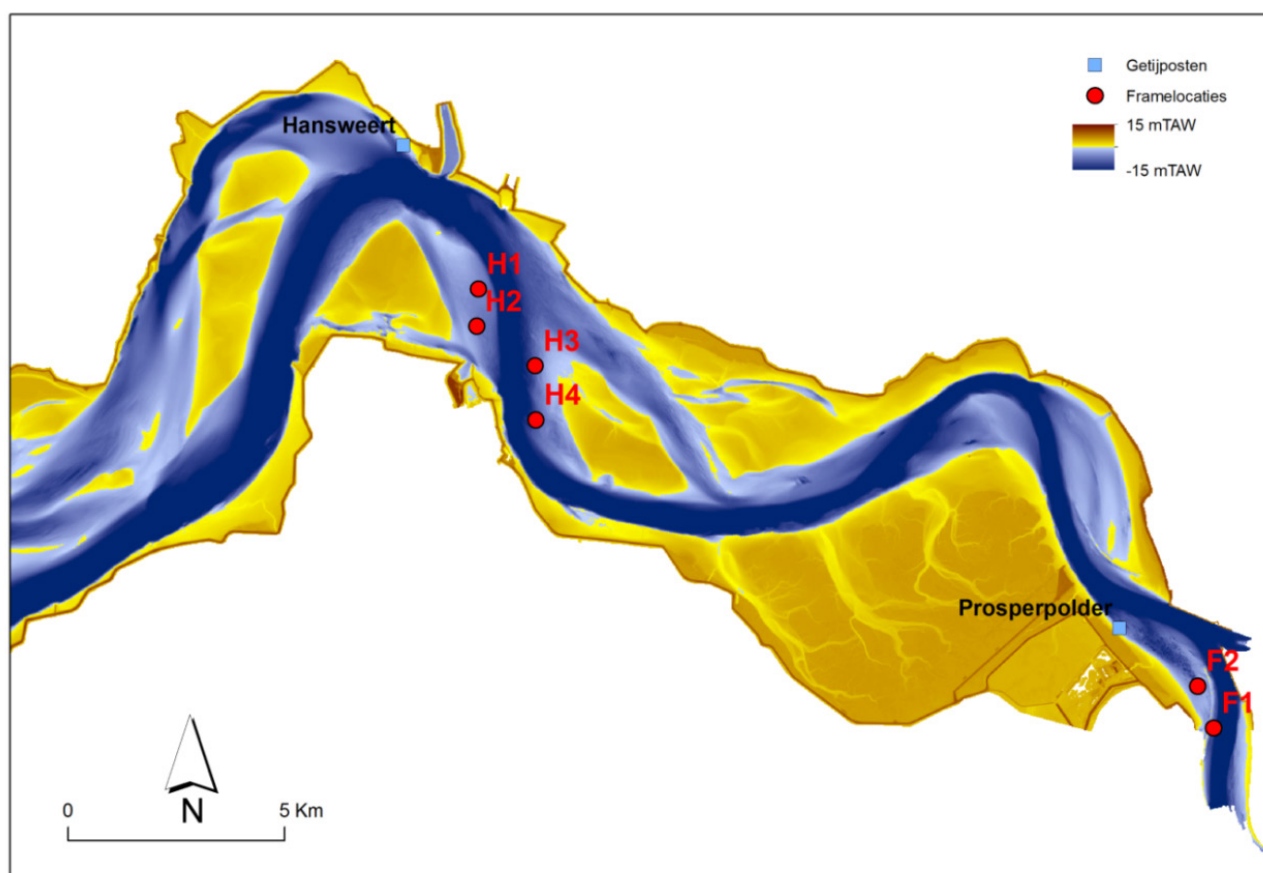
In de meetreeks van de waterpeilen ter hoogte van Hansweert werden twee opeenvolgende hoog- en laagwaters gezocht die overeenkomen met de gesimuleerde hoog- en laagwaters in het morfologisch getij. Voor deze twee getijden wordt het gemeten en gesimuleerde bruto sedimenttransport ter hoogte van de drie meetlocaties weergegeven in Figuur 9.

Omwille van onderschatting van de vloedsnelheden ter hoogte van locaties H1 en H2 wordt ook het bruto sedimenttransport tijdens vloed onderschat. Ter hoogte van meetlocatie H1 wordt het sedimenttransport tijdens eb redelijk goed gesimuleerd. Ter hoogte van meetlocatie H2 wordt het sedimenttransport tijdens eb eveneens onderschat. Ter hoogte van meetpunt H4 wordt de vloedsnelheid overschat in de simulaties. Hierdoor wordt ook het sedimenttransport bij vloed overschat. Het sedimenttransport bij eb wordt weerom onderschat.

Door (Stark *et al.*, 2019) werd een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd en werd het model verder gekalibreerd voor stroomsnelheid en sedimenttransport. Dit resulteerde in een verbetering van het gesimuleerde sedimenttransport. Aangezien deze studie parallel met voorliggende studie uitgevoerd werd, zijn deze resultaten niet geïmplementeerd in het toegepaste model voor berekening van de scenario's voor morfologisch beheer.

De resultaten van de berekeningen voor sedimenttransport dienen met de nodige voorzichtigheid geïnterpreteerd te worden. Er zal vooral naar relatieve effecten gekeken worden.

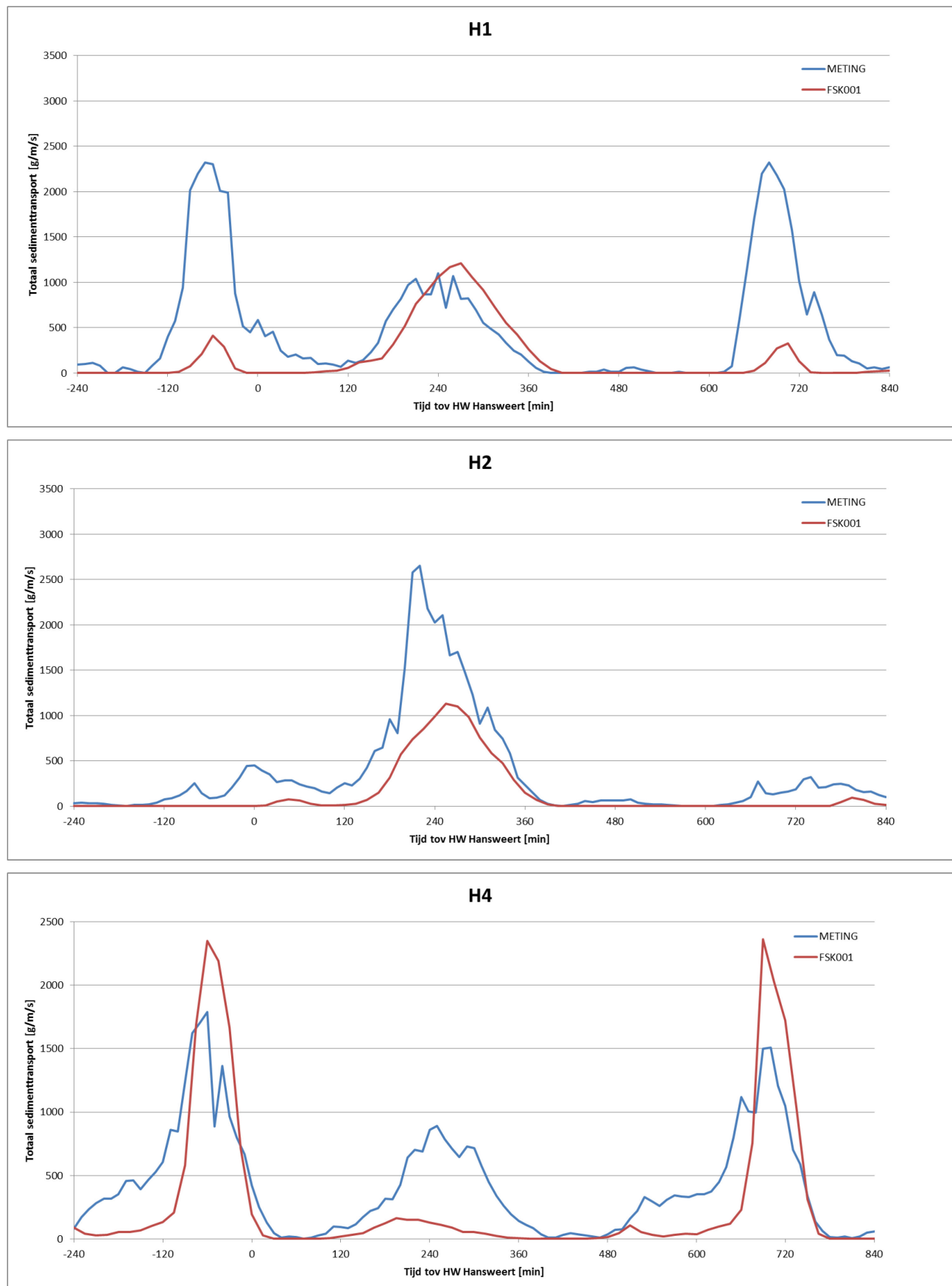
Figuur 8 – Locaties meetframes ter hoogte van drempel van Hansweert en drempel van Frederik



Tabel 1 – Overzicht metingen Drempel van Hansweert

Drempel	Hansweert		
Meetlocatie	H1	H2	H4
Meetperiode	28/04/2016 tot 26/05/2016	28/04/2016 tot 10/05/2016	28/04/2016 tot 11/05/2016
Bodempeil [m TAW]	-4.3	-5.9	-9.9

Figuur 9 – Gemeten en gesimuleerd brute sedimenttransport voor drie meetlocaties ter hoogte van Drempel van Hansweert



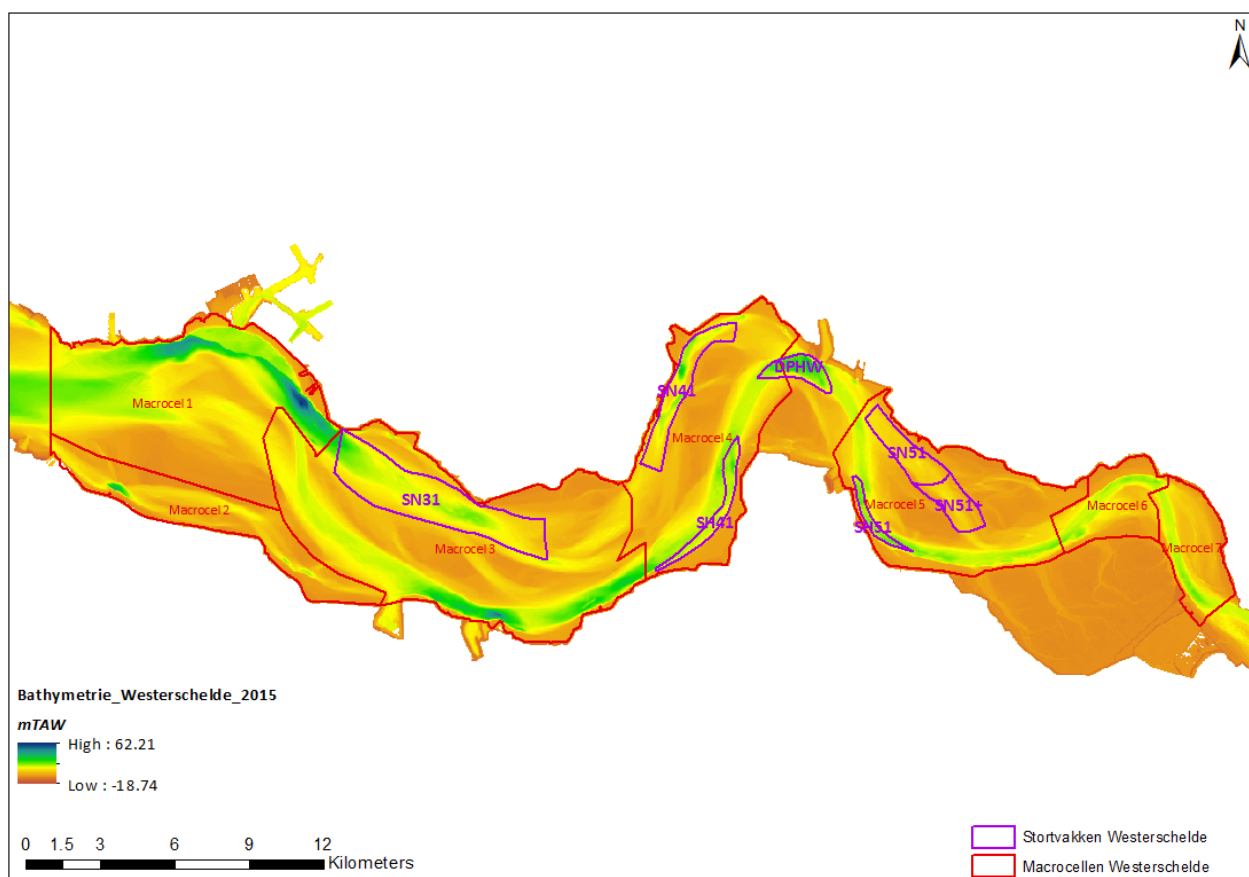
3 Scenario's

3.1 Beschrijving scenario's

Het doel van de scenarioberekeningen is na te gaan wat de impact is van een storting op het sedimenttransport. Indien het sedimenttransport stijgt na een storting, kan verwacht worden dat het gestorte sediment opgeruimd zal worden. Indien het sedimenttransport daalt na een storting, kan het gestorte sediment blijven liggen. Er wordt enkel gekeken naar het initieel effect na het storten. In het model worden geen morfologische updates doorgevoerd. In situ zal echter het sediment wel getransporteerd worden en zal de bodem veranderen.

Het basisscenario FSK001 is een weergave van de huidige situatie. In de overige scenario's wordt een bepaald volume sediment gestort in één stortvak in de Westerschelde. De storting wordt gesimuleerd als een opvulling van een deel van het stortvak tot een bepaalde diepte overeenkomstig met het te storten volume. Figuur 10 geeft een overzicht van de stortvakken en de macrocellen in de Westerschelde.

Figuur 10 – Overzicht stortvakken en macrocellen in de Westerschelde



De naam van de eerste reeks scenario's is opgebouwd uit 3 delen "FSKXYZ":

- 'FSK' staat voor Fysieke Systeemkenmerken. Het onderzoek waarbinnen de scenario's doorgerekend worden;
- X = 1/3/4/5: het nummer van de macrocel waarin de ingre(e)p(en) uitgevoerd worden;
- Y = 2/3 : respectievelijk voor storting in de nevengeul (2) of in de hoofdgeul (3)
 - Bij storting in de Put van Hansweert worden X en Y samengevoegd als 'HW'
- Z = 0/1/2/3/4/5 : respectievelijk voor storting van 0,5; 1; 2; 4; 8; 16 Mm³
 - in stortvak SN51 werden extra scenario's doorgerekend waarbij Z aangepast is

De verschillende scenario's worden weergegeven in Tabel 2.

Tabel 2 – Overzicht volume storting en diepte opgehoogd per scenario

Stortvak	Scenario	Volume storting [m ³]	Polygoon opgevuld onder [mTAW]
SN31	FSK322	2	-20,7
	FSK323	4	-18,7
	FSK324	8	-16,8
	FSK325	16	-14,7
SH41	FSK432	2	-16,9
	FSK433	4	-15,4
	FSK434	8	-13,1
SN41	FSK421	1	-19,2
	FSK422	2	-17,2
	FSK423	4	-15
DPHW	FSKHW2	2	-24,4
	FSKHW3	4	-22,4
	FSKHW4	8	-19,3
	FSKHW5	16	-14,5
SH51	FSK531	1	-19,1
	FSK532	2	-17,5
	FSK533	4	-14,6
	FSK534	8	-9,1
SN51	FSK520	0.5	-8,3
	FSK521	1	-7,8
	FSK522	2	-7,0
	FSK523	4	-6,0

Stortvak	Scenario	Volume storting [m ³]	Polygoon opgevuld onder [mTAW]
	FSK524	8	-4,5
	FSK525	12	-3,1
	FSK526	16	-1,8
SN51+ (in combinatie met FSK524)	FSK527	~2.0	1 m opgehoogd
	FSK528	4	-3,2

3.2 Resultaten scenario's

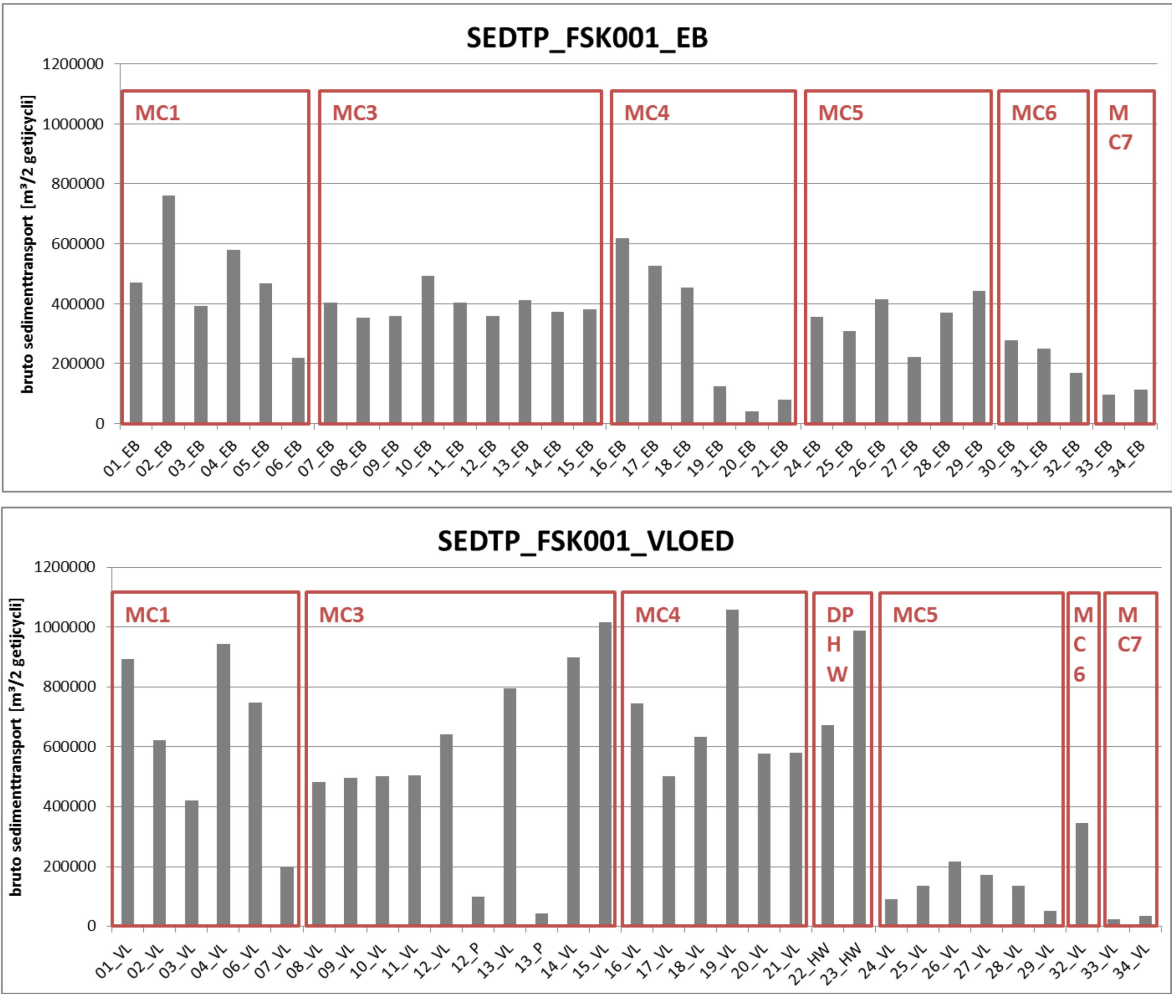
De kaarten van de Westerschelde met het bruto sedimenttransport per scenario worden weergegeven in BIJLAGE A. In volgende paragraaf wordt het sedimenttransport besproken voor het referentiescenario FSK001. Daarna wordt per stortlocatie ingegaan op de wijziging in de waterbeweging en het sedimenttransport. Uiteindelijk wordt in § 3.3 een vergelijking gemaakt tussen de verschillende stortlocaties waarbij eenzelfde volume (4 Mm³) aangebracht is.

3.2.1 Referentiescenario FSK001

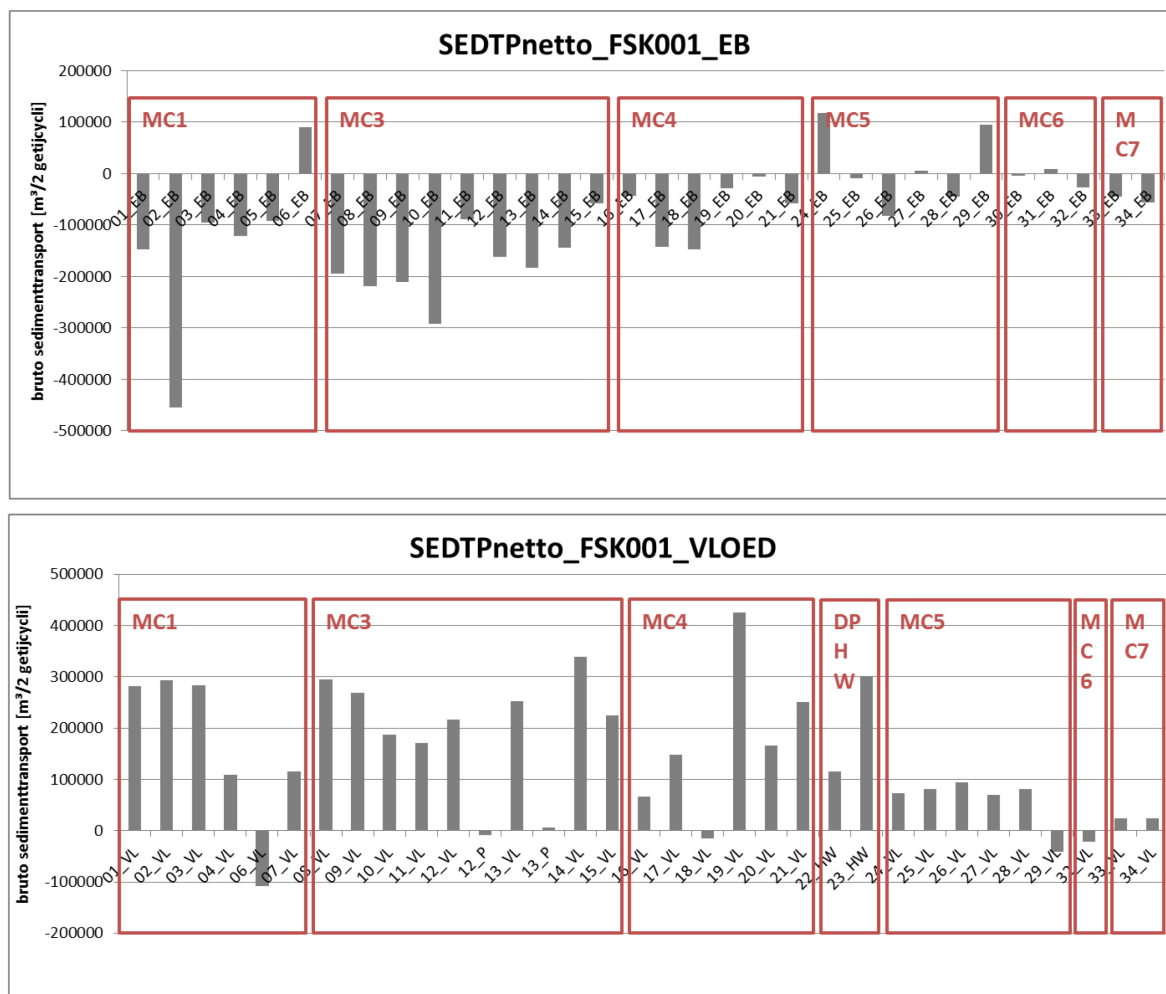
Bruto en netto sedimenttransport

Figuur 11 geeft het bruto sedimenttransport over de dwarsdoorsneden langs de eb- en de vloedgeul in de Westerschelde. De ligging van de dwarsdoorsneden wordt weergegeven in Figuur 7. Figuur 12 geeft het netto sedimenttransport over de dwarsdoorsneden langs de eb- en vloedgeul in de Westerschelde. Figuur A 1 en Figuur A 2 in BIJLAGE A geven de overzichtskaarten voor respectievelijk het bruto en netto sedimenttransport voor referentiescenario FSK001. Hieruit blijkt dat het sedimenttransport in de vloedgeul eerder vloed-dominant is, en in de ebgeul eerder eb-dominant.

Figuur 11 – Bruto sedimenttransport over dwarsdoorsneden langs ebgeul (boven) en vloedgeul (onder) voor referentiescenario FSK001



Figuur 12 – Netto sedimenttransport over dwarsdoorsneden langs ebgeul (boven) en vloedgeul (onder) voor referentiescenario FSK001

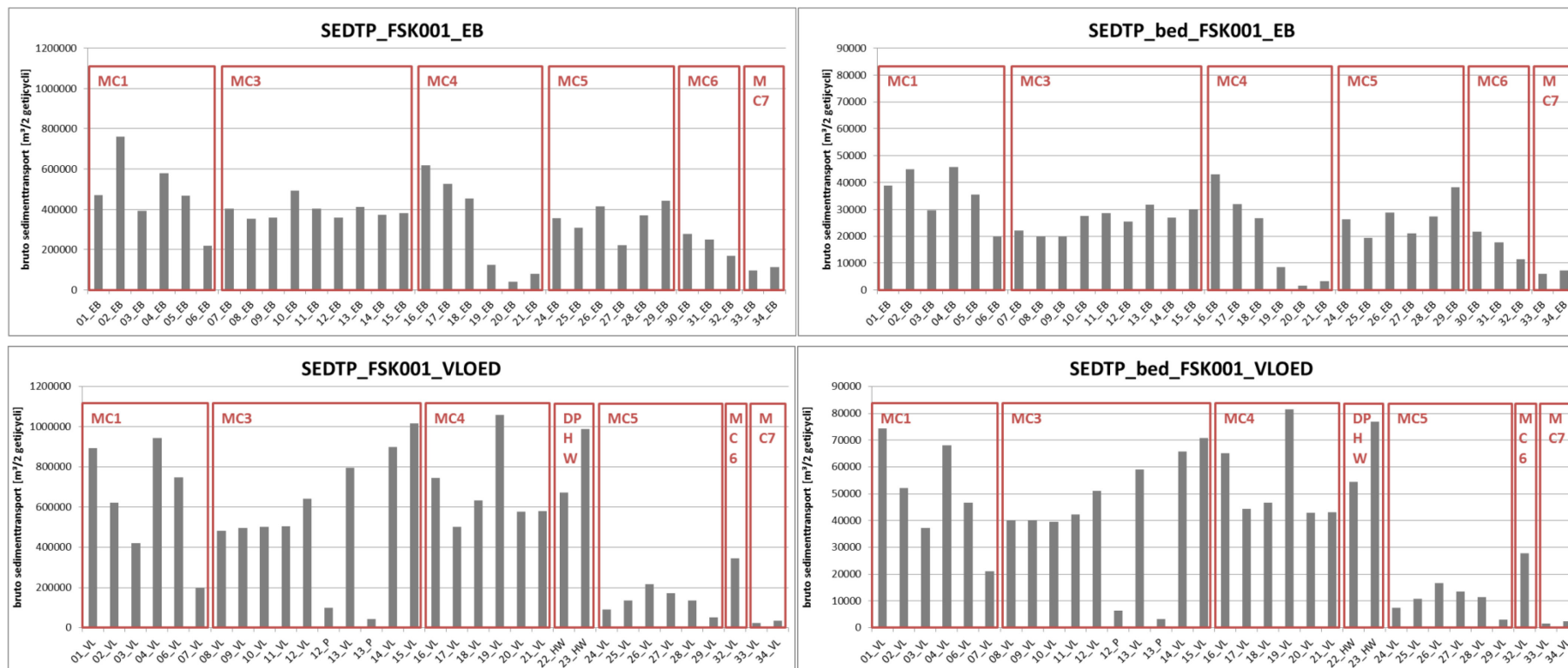


Bodemsedimenttransport

Het totaal sedimenttransport is de som van het bodem- en suspensietransport. Aangezien de morfologische veranderingen in de geulen hoofdzakelijk gestuurd worden door het (nabij-)bodemsedimenttransport, is geopteerd ook het bodemsedimenttransport expliciet weer te geven. Figuur 13 geeft het bruto sedimenttransport en het bruto bodemsedimenttransport over de dwarsdoorsneden langs de eb- en vloedgeul voor het referentiescenario FSK001. Figuur 14 geeft het netto sedimenttransport en netto bodemsedimenttransport over de dwarsdoorsneden langs de eb- en vloedgeul voor het referentiescenario FSK001. Figuur A 3 en Figuur A 4 in BIJLAGE A geven de overzichtskarten voor respectievelijk het bruto en netto bodemsedimenttransport voor referentiescenario FSK001. De patronen zijn gelijkaardig tussen het totale en het bodemsedimenttransport, maar de absolute waarde verschilt sterk.

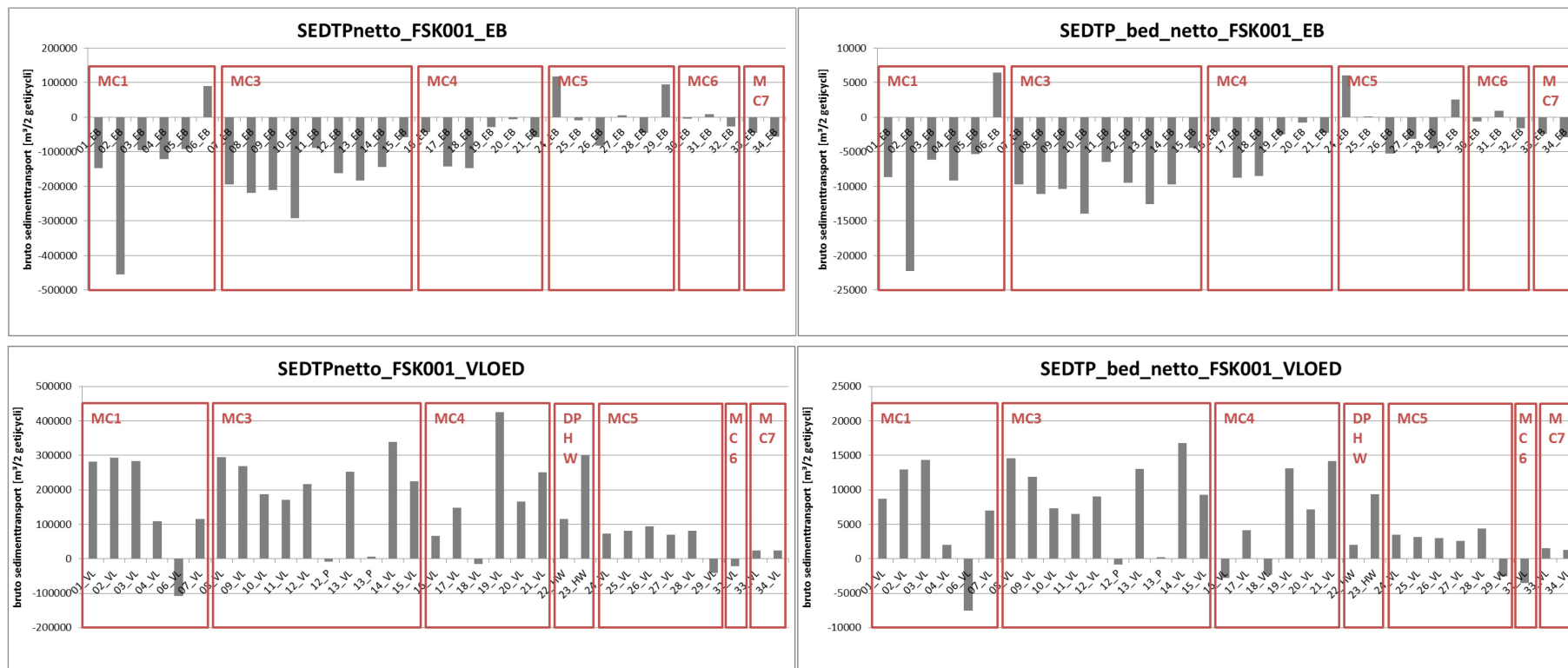
Figuur A 5 geeft een overzichtskart met de verhouding, in %, van het bruto bodemsedimenttransport ten opzichte van het bruto totale sedimenttransport. Hieruit blijkt dat het berekende bodemsedimenttransport op basis van de formule van Van Rijn aanzienlijk lager is dan het totaal sedimenttransport.

Figuur 13 – Bruto sedimenttransport (links) en bruto bodemsedimenttransport (rechts) over dwarsdoorsneden langs vloedgeul (boven) en ebgeul (onder) voor referentiescenario FSK001



Schaal van Y-assen van figuren links en rechts zijn verschillend!

Figuur 14 – Netto sedimenttransport (links) en netto bodemsedimenttransport (rechts) over dwarsdoorsneden langs vloedgeul (boven) en ebgeul (onder) voor referentiescenario FSK001



Schaal van Y-assen van figuren links en rechts zijn verschillend!

3.2.2 Stortvak SN31

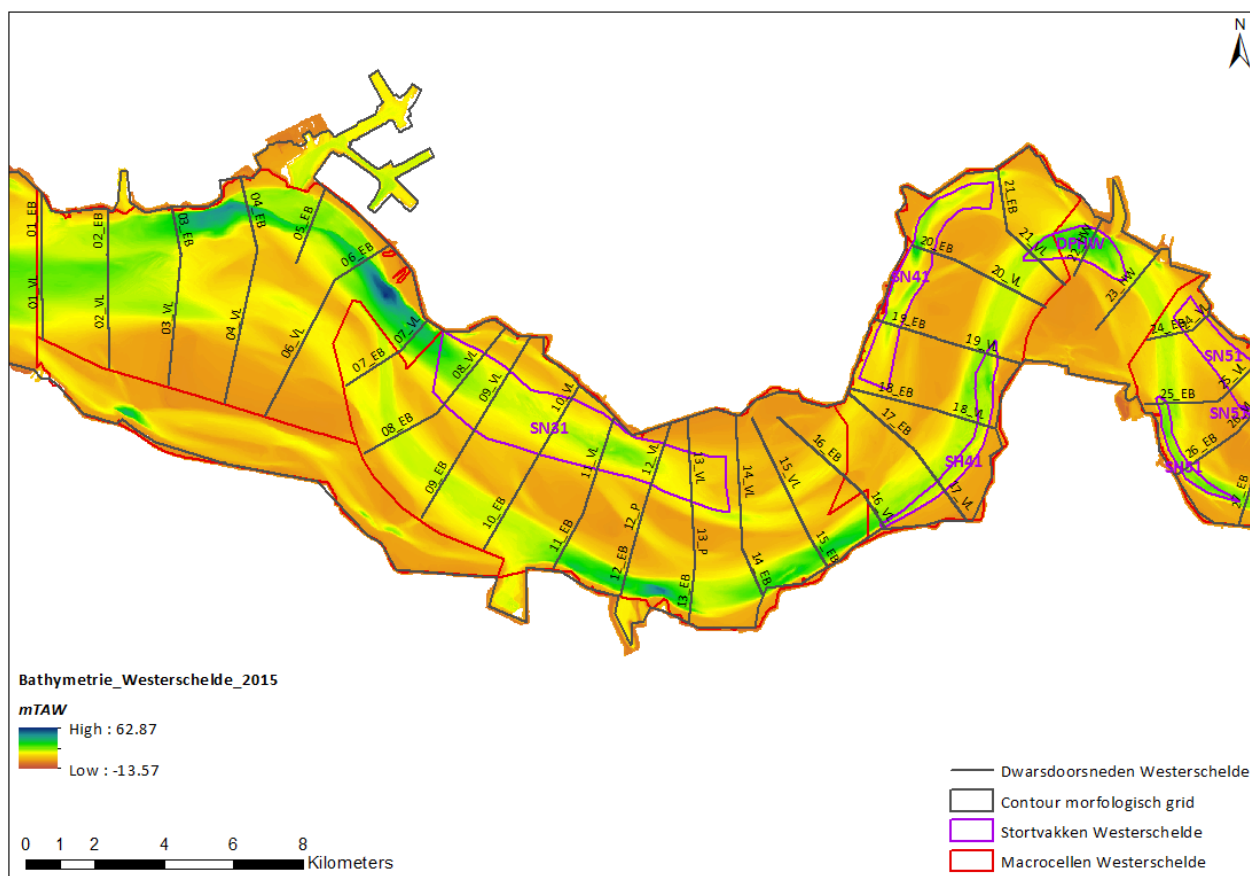
Figuur 15 geeft een situering van de dwarsdoorsneden nabij stortvak SN31. Figuur 16 toont het bruto sedimenttransport over alle dwarsdoorsneden, relatief ten opzichte van scenario FSK001, voor alle scenario's met stortingen in stortvak SN31. Figuur 17 toont het bruto sedimenttransport voor de dwarsdoorsneden langs de eb- en vloedgeul nabij stortvak SN31. Figuur 18 toont een verschilkaart van het bruto sedimenttransport voor scenario FSK323 ten opzichte van referentiescenario FSK001.

Wanneer slechts 2 Mm³ (FSK322) gestort wordt in stortvak SN31 wordt enkel de diepe put in het westen van het stortvak, ter hoogte van dwarsdoorsnede 08_VL, opgevuld. Vanaf een storting van 4 Mm³ (FSK323) wordt ook het diepe gedeelte meer centraal in het stortvak, ter hoogte van dwarsdoorsnede 11_VL opgevuld.

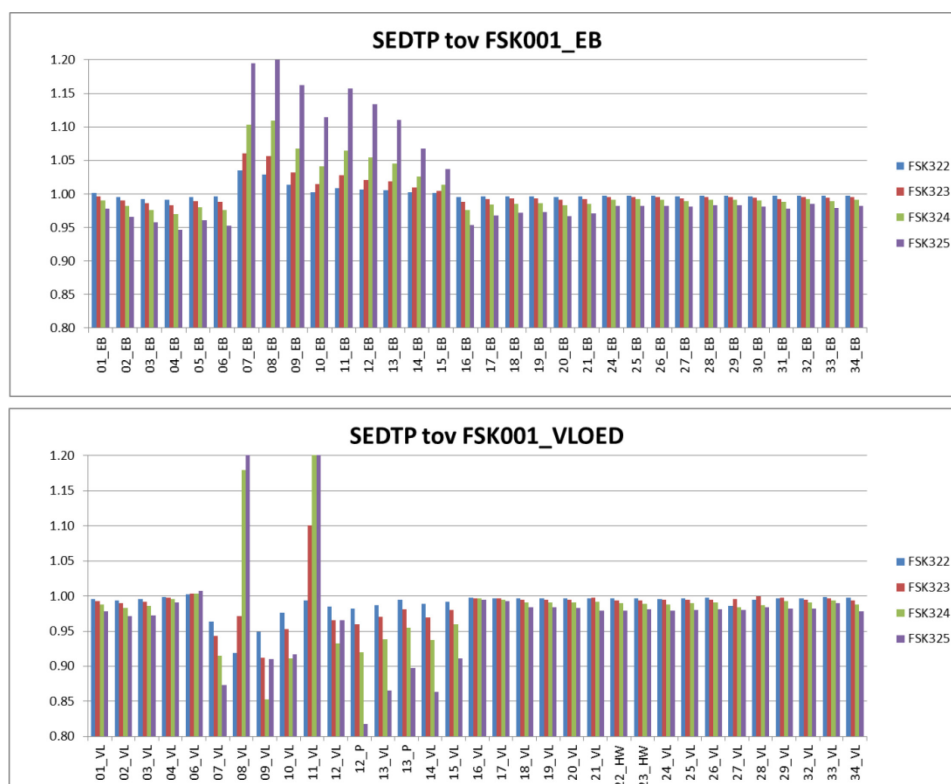
Ter hoogte van de stortingen stijgt het bruto sedimenttransport. Ook in de hoofdgeul in macrocel 3 is een stijging van het sedimenttransport te zien. Storting van sediment in stortvak SN31 zorgt voor een verondieping van de nevengeul in macrocel 3. Hierdoor gaat er minder water door de nevengeul en meer door de hoofdgeul. In de hoofdgeul zorgt de toename van het getijvolume voor een toename van de stroomsnelheid, en bijgevolg ook voor een toename van het sedimenttransport. In de nevengeul vermindert de diepte ter hoogte van de storting, waardoor de stroomsnelheid en het sedimenttransport stijgen. In de nevengeul achter de storting blijft de diepte gelijk. Het volume daalt echter waardoor ook de stroomsnelheid en het sedimenttransport afnemen.

Net op- en afwaarts van de storting treedt de sterkste daling van het sedimenttransport op. Over de volledige lengte van de geulen opwaarts van de storting treedt een beperkte daling van het sedimenttransport op.

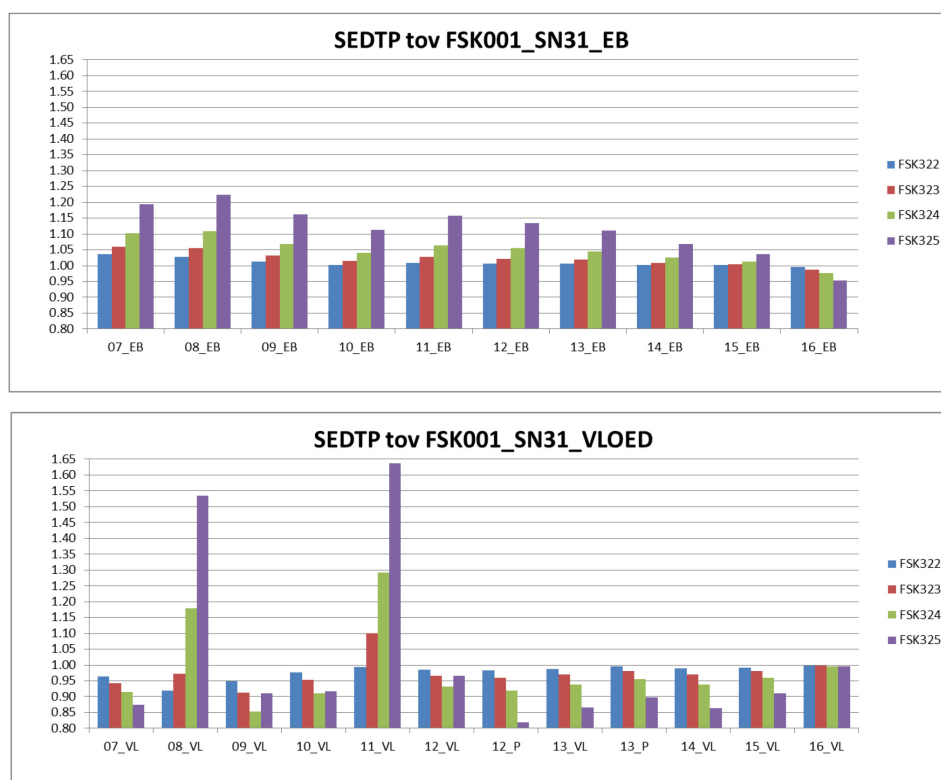
Figuur 15 – Situering dwarsdoorsneden nabij stortvak SN31



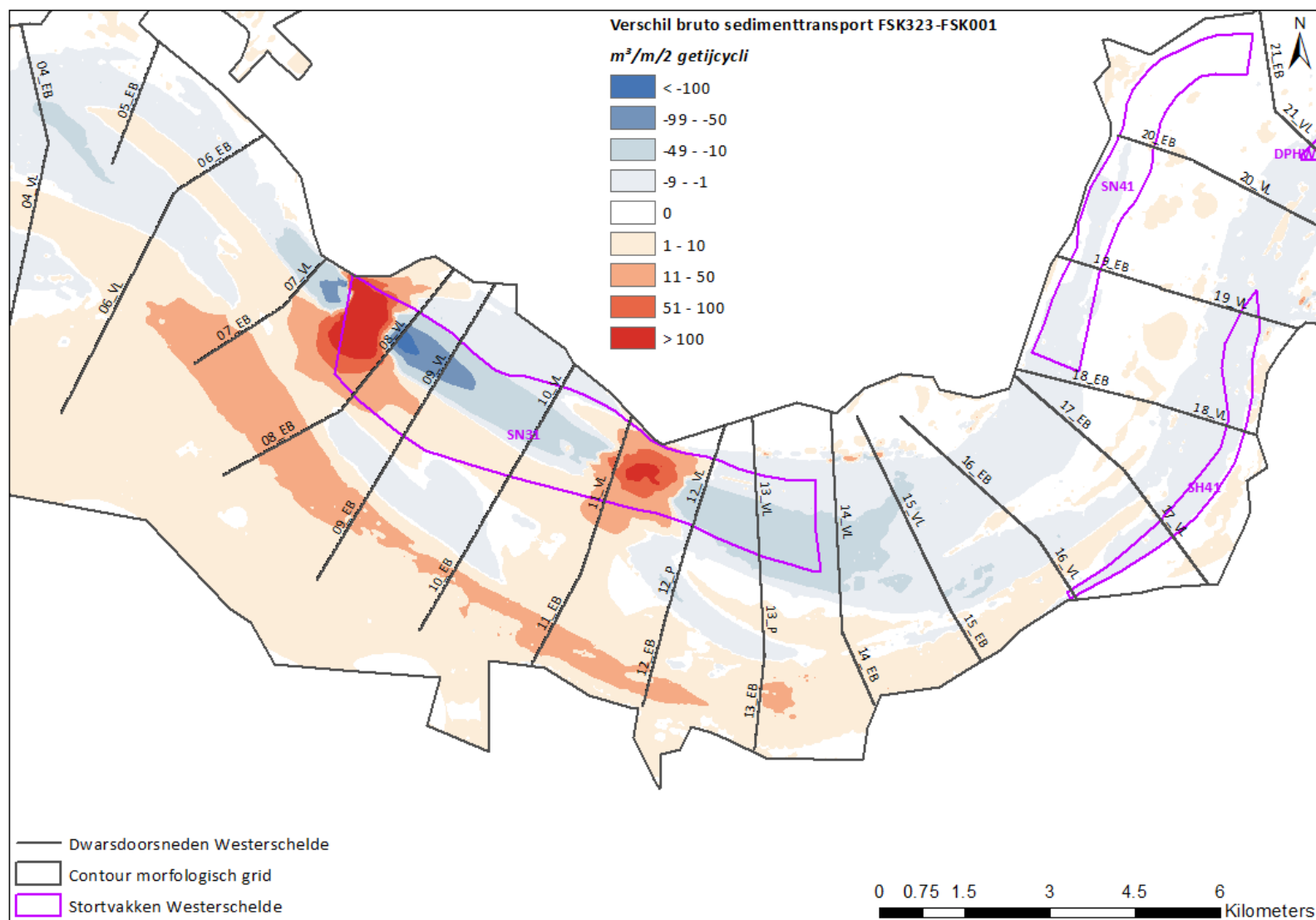
Figuur 16 – Bruto sedimenttransport over dwarsdoorsneden langs ebgeul (boven) en vloedgeul (onder) voor scenario's met stortingen in stortvak SN31 – detail zie Figuur 17



Figuur 17 – Bruto sedimenttransport over dwarsdoorsneden langs ebgeul (boven) en vloedgeul (onder) nabij stortvak SN31 voor scenario's met stortingen in stortvak SN31



Figuur 18 – Verschilkaart bruto sedimenttransport FSK323 tov FSK001



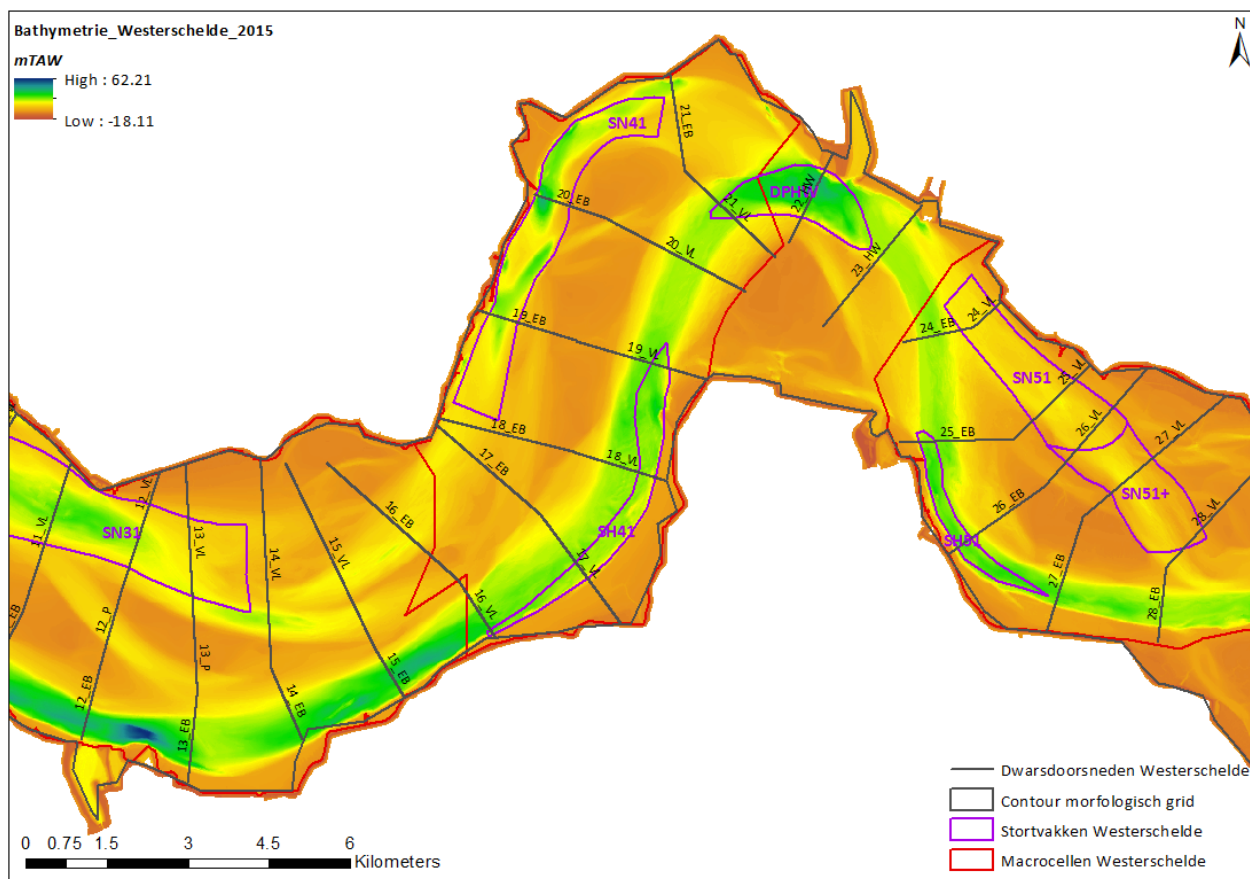
3.2.3 Stortvak SH41

Figuur 19 geeft een situering van de dwarsdoorsneden nabij stortvak SH41. Figuur 20 toont het bruto sedimenttransport over alle dwarsdoorsneden, relatief ten opzichte van scenario FSK001, voor alle scenario's met stortingen in stortvak SH41. Figuur 21 toont het bruto sedimenttransport voor de dwarsdoorsneden langs de eb- en vloedgeul nabij stortvak SH41. Figuur 22 toont een verschilkaart van het bruto sedimenttransport voor scenario FSK433 ten opzichte van referentiescenario FSK001.

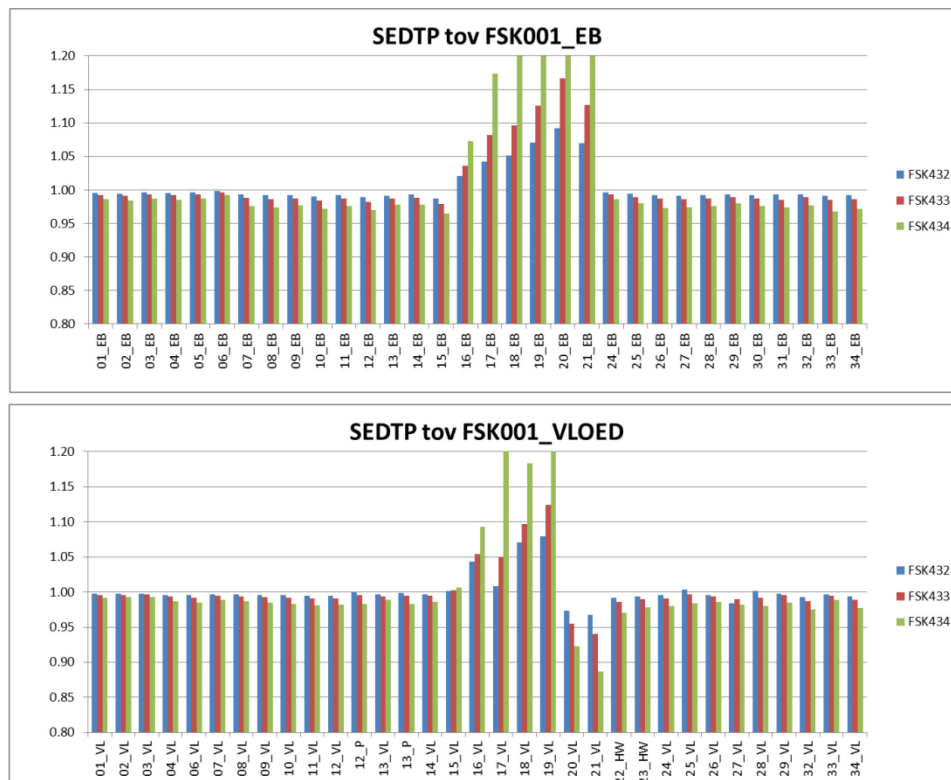
Bij storting in stortvak SH41 is de absolute stijging van het sedimenttransport het grootst in het meest noordelijke deel van het stortvak. Over de vier dwarsdoorsneden die het stortvak kruisen, stijgt het sedimenttransport. Ook in de ebgeul van macrocel 4, en een deel in macrocel 3 is een toename van het sedimenttransport te zien. Opwaarts van stortvak SH41, tot de Put van Hansweert, treedt de sterkste daling van het sedimenttransport op.

Over de volledige lengte van de geulen op- en afwaarts van de stijgingen ten gevolge van de storting treedt een beperkte daling van het sedimenttransport op.

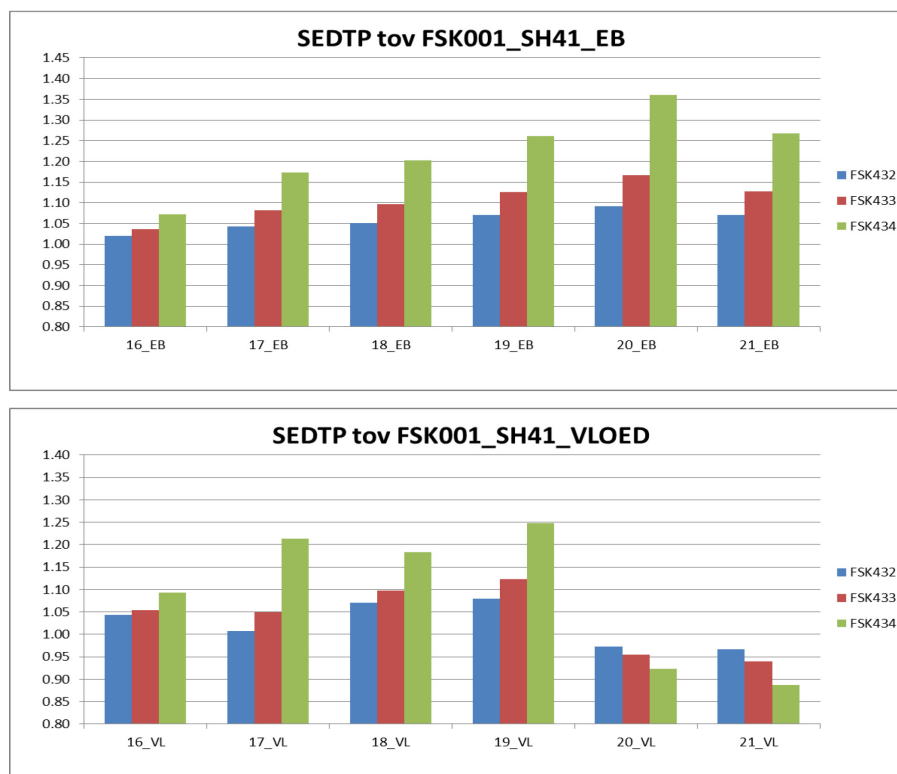
Figuur 19 – Situering dwarsdoorsneden nabij stortvakken SH41 en SN41



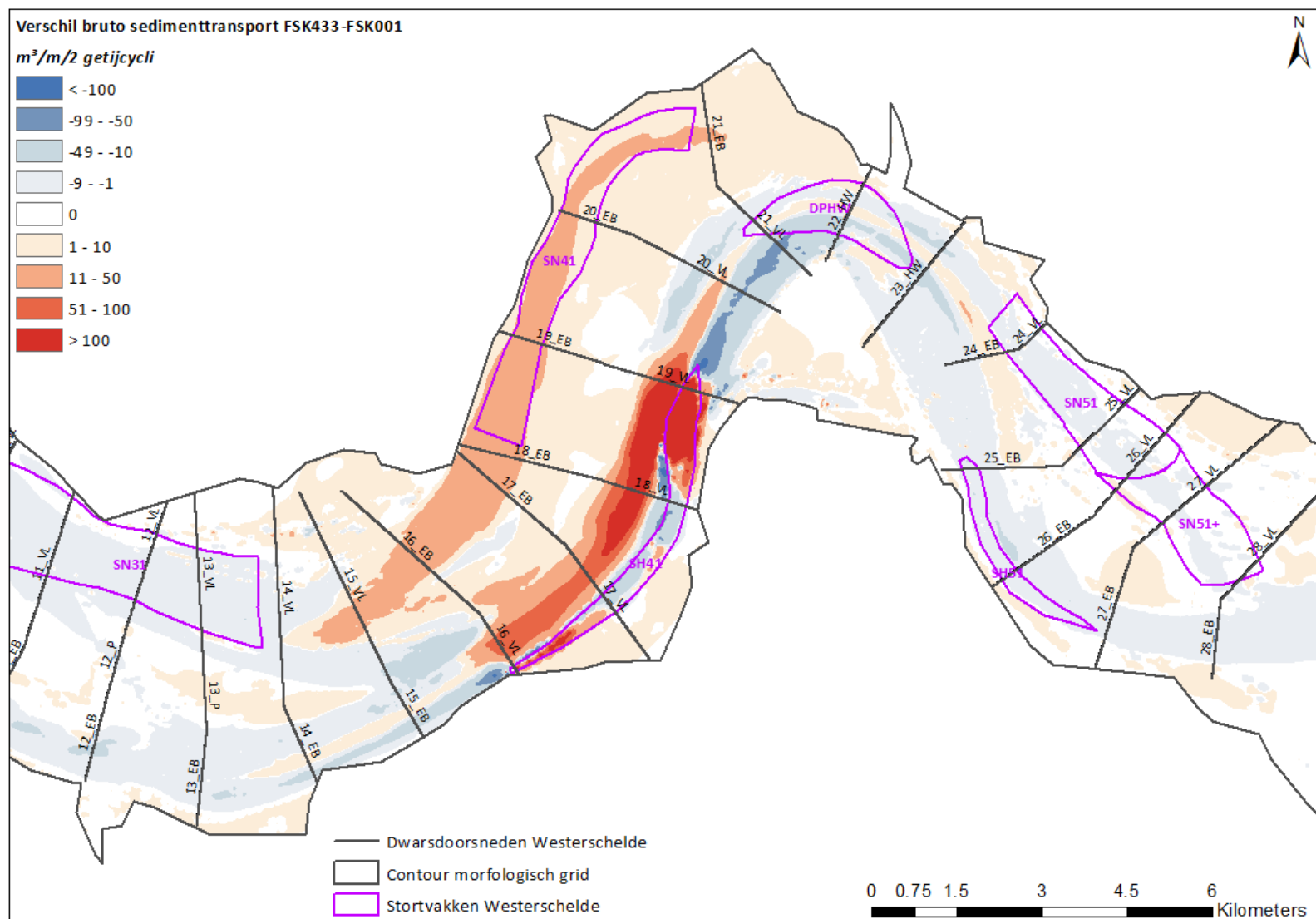
Figuur 20 – Bruto sedimenttransport over dwarsdoorsneden langs ebgeul (boven) en vloedgeul (onder) voor scenario's met stortingen in stortvak SH41 –detail zie Figuur 21



Figuur 21 – Bruto sedimenttransport over dwarsdoorsneden nabij stortvak SH41 langs ebgeul (boven) en vloedgeul (onder) voor scenario's met stortingen in stortvak SH41



Figuur 22 – Verschilkaart bruto sedimenttransport FSK433 tov FSK001

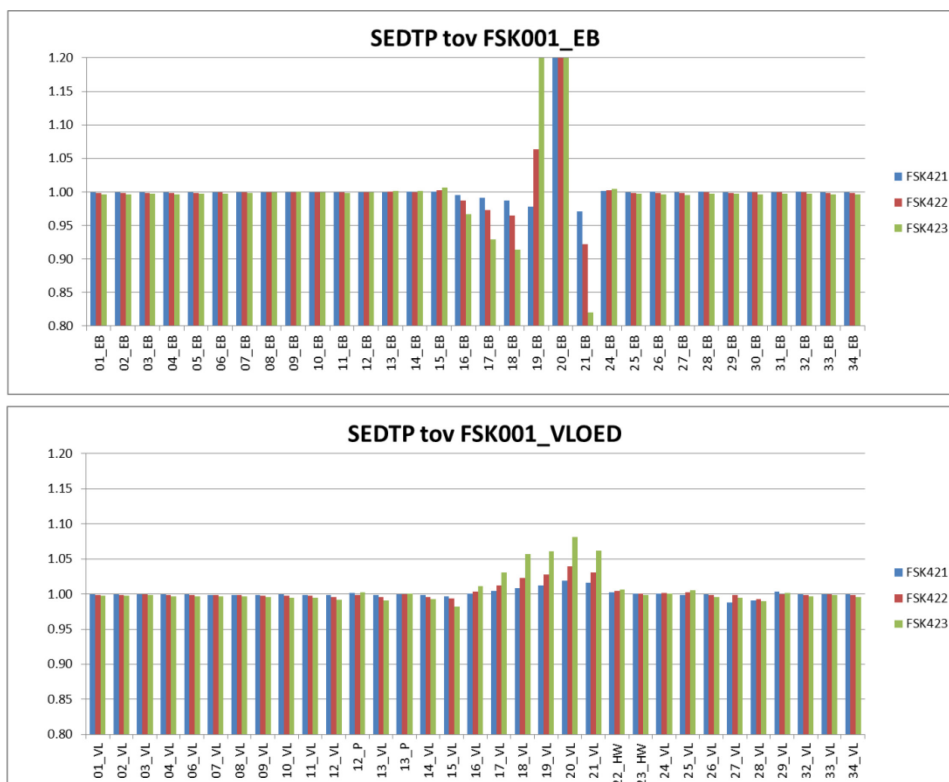


3.2.4 Stortvak SN41

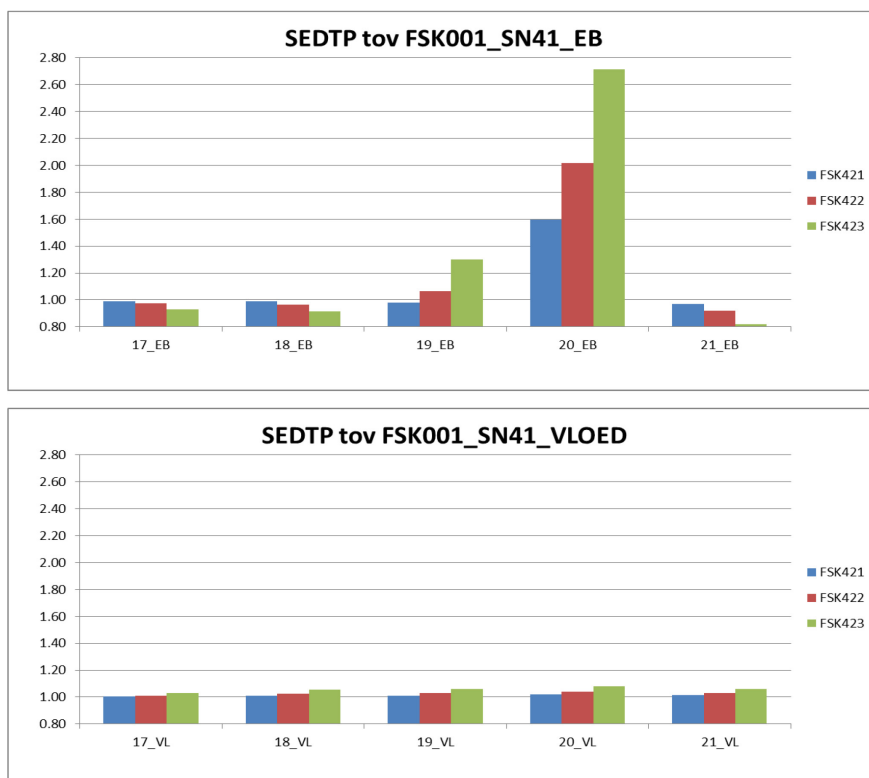
Figuur 19 geeft een situering van de dwarsdoorsneden nabij stortvak SH41. Figuur 23 toont het bruto sedimenttransport over alle dwarsdoorsneden, relatief ten opzichte van scenario FSK001, voor alle scenario's met stortingen in stortvak SN41. Figuur 24 toont het bruto sedimenttransport voor de dwarsdoorsneden langs de ebgeul in macrocel 4. Figuur 25 toont een verschilkaart van het bruto sedimenttransport voor scenario FSK423 ten opzichte van referentiescenario FSK001.

Bij storting van 1 Mm³ (FSK421) in stortvak SN41 wordt voornamelijk de diepe put ter hoogte van dwarsdoorsnede '20_eb' opgevuld. Bij stortingen vanaf 2 Mm³ (FSK422 en FSK423) worden de diepere zones ter hoogte van dwarsdoorsneden '19_eb' en '20_eb' opgevuld. Dit resulteert in een zeer sterke stijging van het sedimenttransport ter hoogte dwarsdoorsnede '20_eb' relatief ten opzichte van FSK001. In de dwarsdoorsneden net op- en afwaarts van '19_eb' en '20_eb' treedt de sterkste daling van het sedimenttransport op. In vloedgeul van macrocel 4 treedt eveneens een stijging op van het sedimenttransport ten opzichte van het referentiescenario FSK001. De wijziging van het sedimenttransport in de geulen in de overige macrocellen is eerder beperkt.

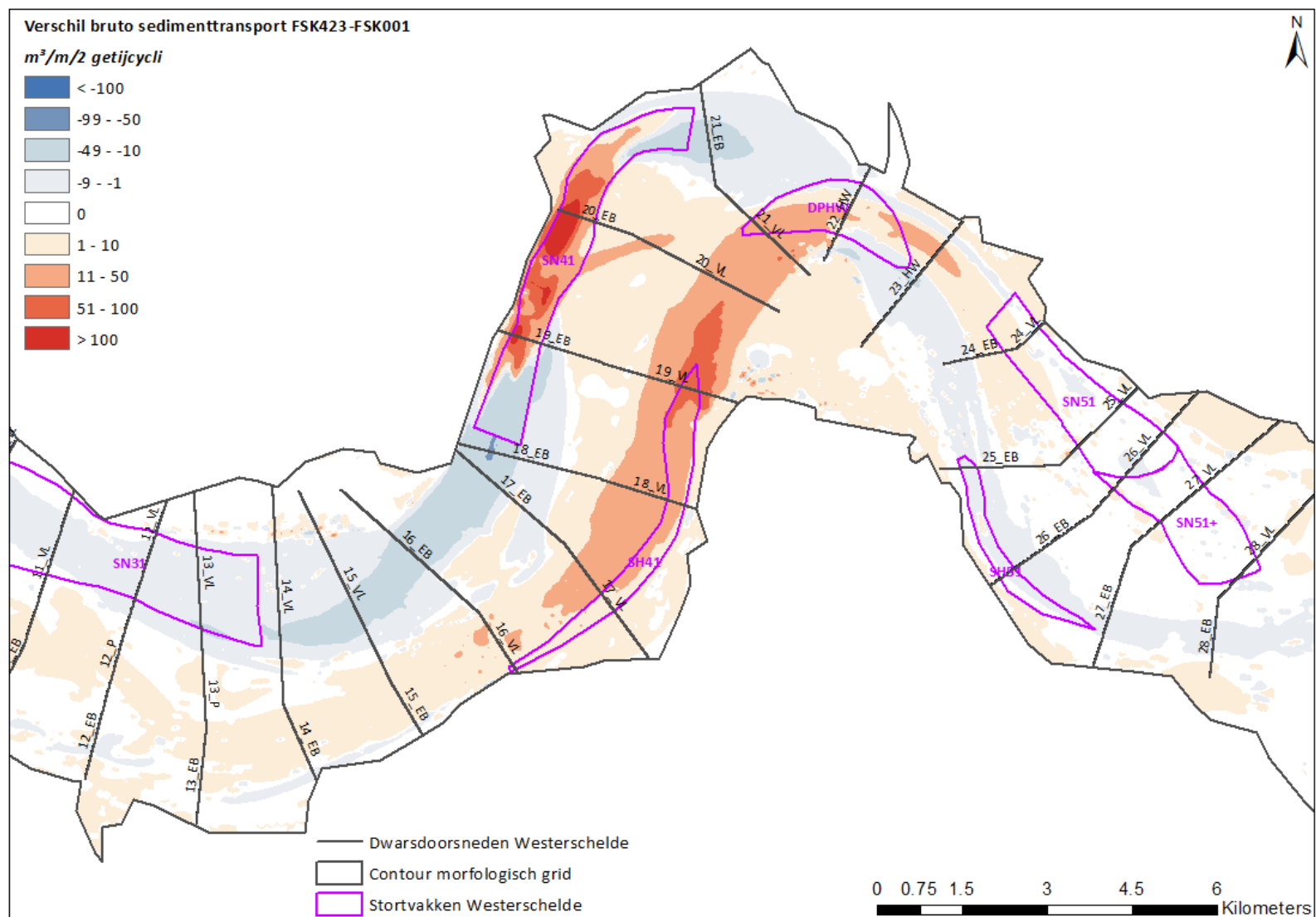
Figuur 23 – Bruto sedimenttransport over dwarsdoorsneden langs ebgeul (boven) en vloedgeul (onder) voor scenario's met stortingen in stortvak SN41 – detail zie Figuur 24



Figuur 24 – Bruto sedimenttransport over dwarsdoorsneden langs ebgeul (boven) en vloedgeul (onder) nabij stortvak SN41 voor scenario's met stortingen in stortvak SN41



Figuur 25 – Verschilkaart bruto sedimenttransport FSK423 tov FSK001

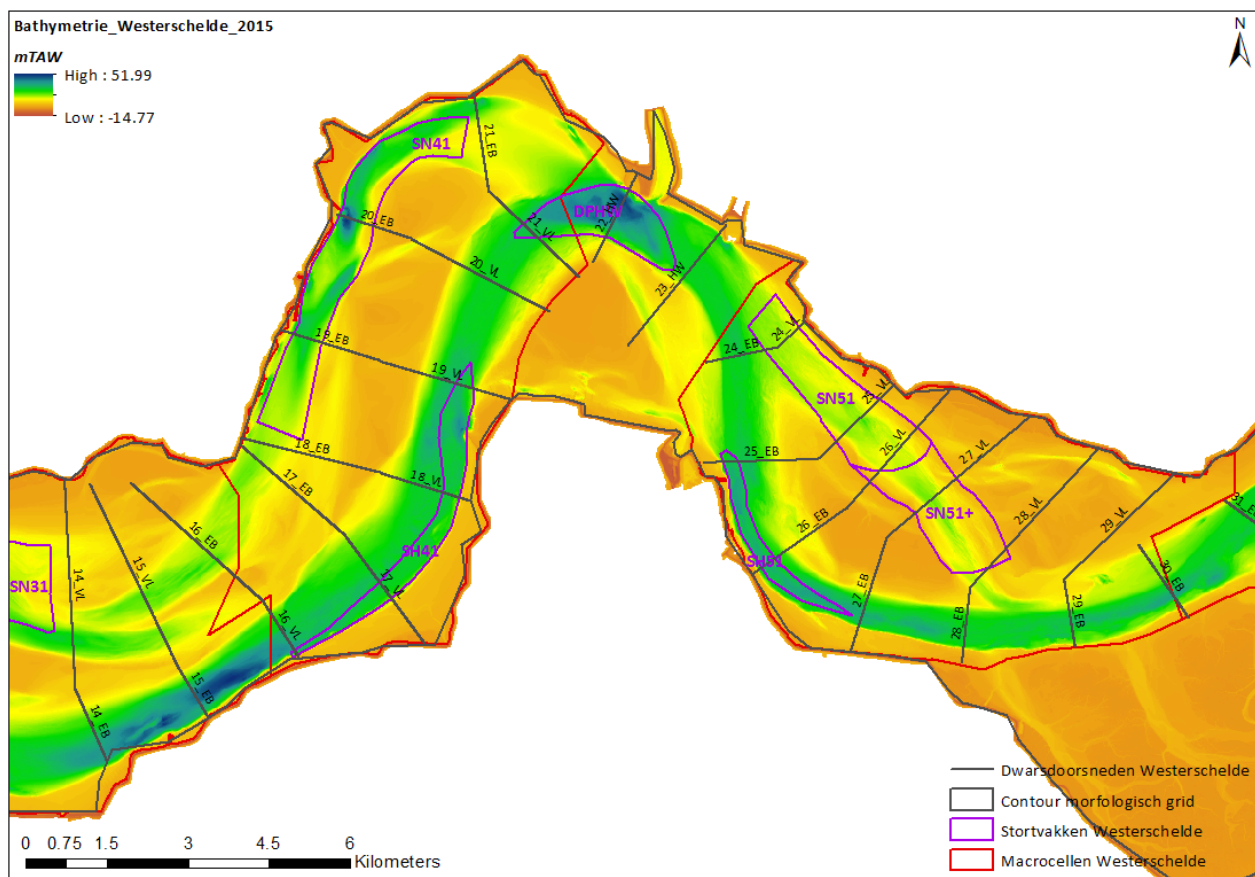


3.2.5 Stortvak DPHW

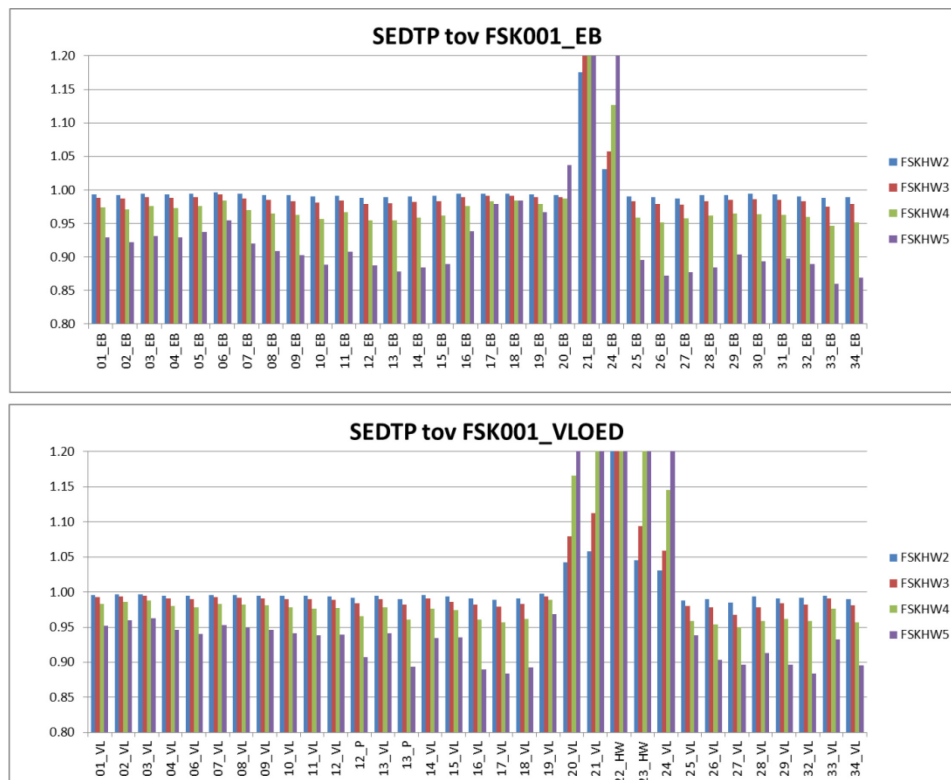
Figuur 26 geeft een situering van de dwarsdoorsneden nabij stortvak DPHW (Diepe Put Hansweert). Figuur 27 toont het bruto sedimenttransport over alle dwarsdoorsneden, relatief ten opzichte van scenario FSK001, voor alle scenario's met stortingen in stortvak DPHW. Figuur 28 toont het bruto sedimenttransport voor de dwarsdoorsneden langs de eb- en vloedgeul nabij Diepe Put Hansweert. Figuur 29 toont een verschilkaart van het bruto sedimenttransport voor scenario FSKHW3 ten opzichte van referentiescenario FSK001.

Bij storting in Diepe Put Hansweert breidt de stijging van het sedimenttransport zich uit tot in de nabij gelegen geulen. Bij storting van 16 Mm³ (FSKHW5) is de daling van het sedimenttransport in de geulen op- en afwaarts van de zone met stijging, relatief ten opzichte van FSK001, het grootst ten opzichte van alle andere scenario's.

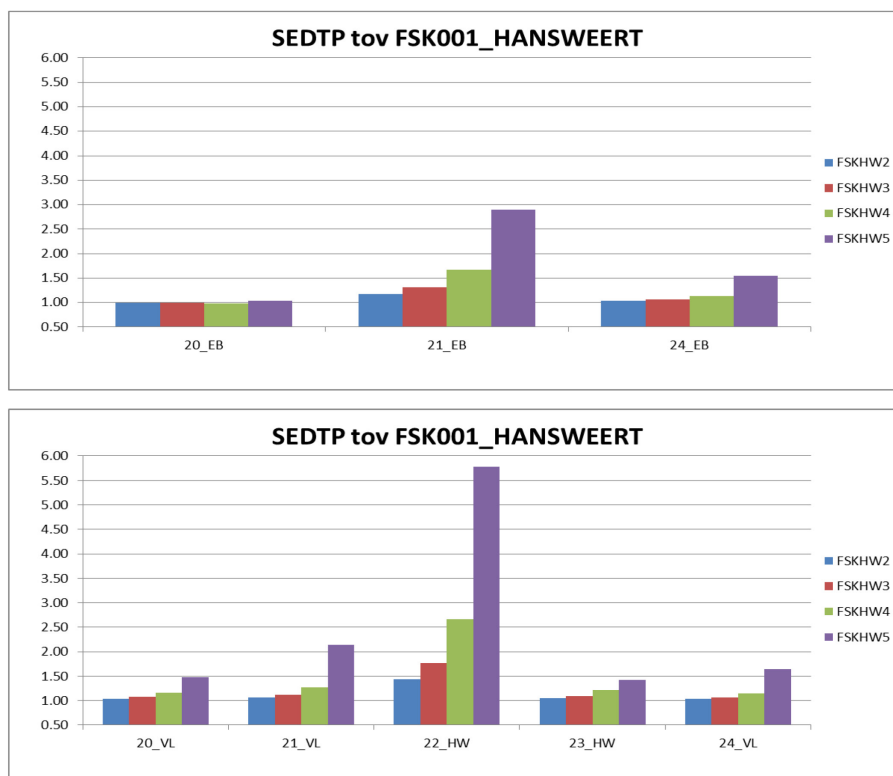
Figuur 26 – Situering dwarsdoorsneden nabij stortvak DPHW



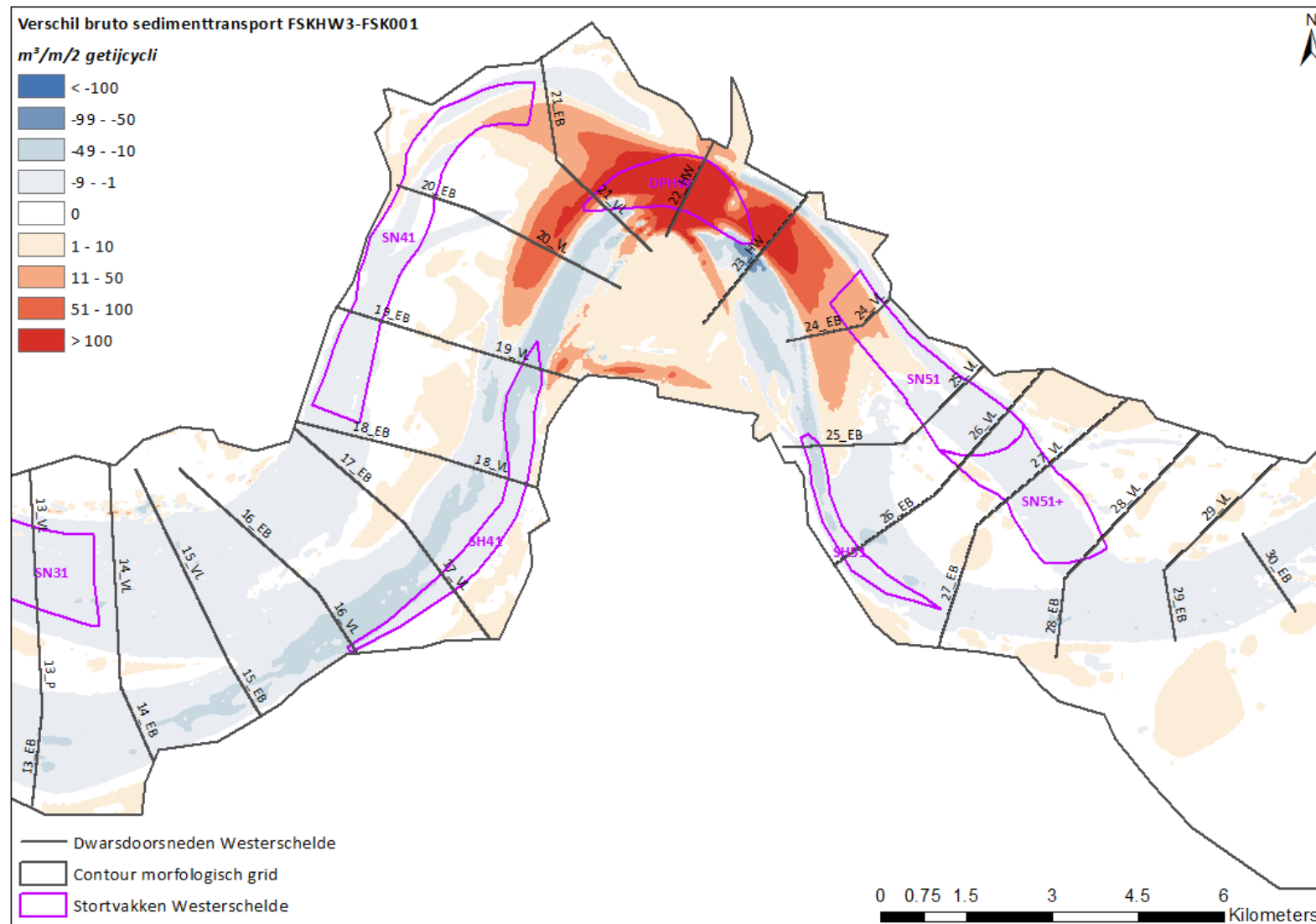
Figuur 27 – Bruto sedimenttransport over dwarsdoorsneden langs ebgeul (boven) en vloedgeul (onder) voor scenario's met stortingen in stortvak DPHW– detail zie Figuur 28



Figuur 28 – Bruto sedimenttransport over dwarsdoorsneden langs ebgeul (boven) en vloedgeul (onder) nabij Diepe Put van Hansweert voor scenario's met stortingen in stortvak DPHW



Figuur 29 – Verschilkaart bruto sedimenttransport FSKHW3 tov FSK001

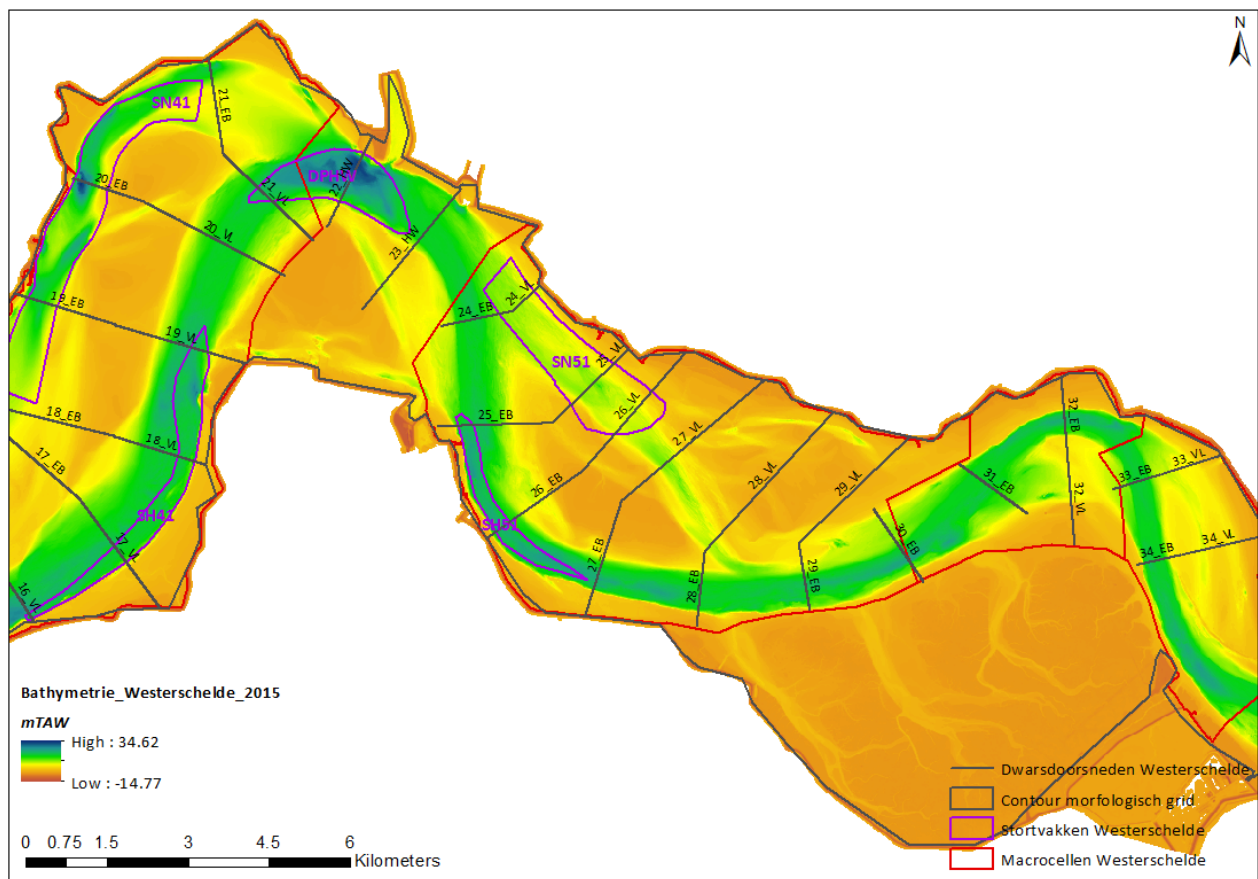


3.2.6 Stortvak SH51

Figuur 30 geeft een situering van de dwarsdoorsneden nabij stortvak SH51. Figuur 31 toont het bruto sedimenttransport over alle dwarsdoorsneden, relatief ten opzichte van scenario FSK001, voor alle scenario's met stortingen in stortvak SH51. Figuur 32 toont het bruto sedimenttransport voor de dwarsdoorsneden langs de eb- en vloedgeul nabij stortvak SH51. Figuur 22 toont een verschilkaart van het bruto sedimenttransport voor scenario FSK533 ten opzichte van referentiescenario FSK001.

Storten in stortvak SH51 zorgt voor een stijging van het sediment ter hoogte van het stortvak zelf, evenals in de vloedgeul parallel aan het stortvak. Net afwaarts de storting treedt echter een sterke daling van het sedimenttransport op, relatief ten opzichte van referentiescenario FSK001.

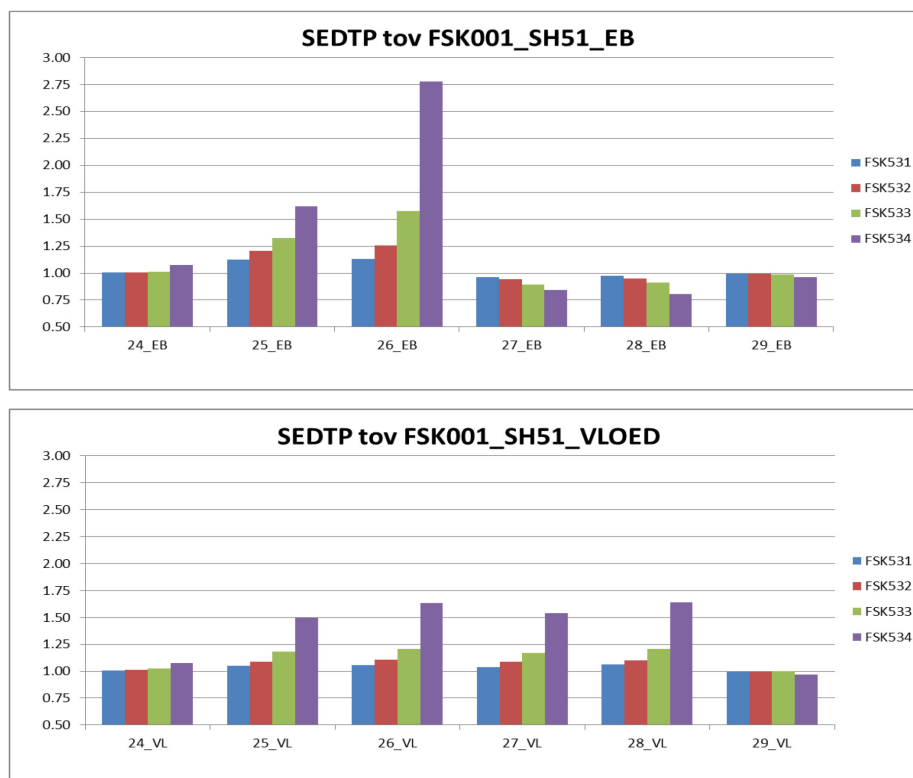
Figuur 30 – Situering dwarsdoorsneden nabij stortvak SH51



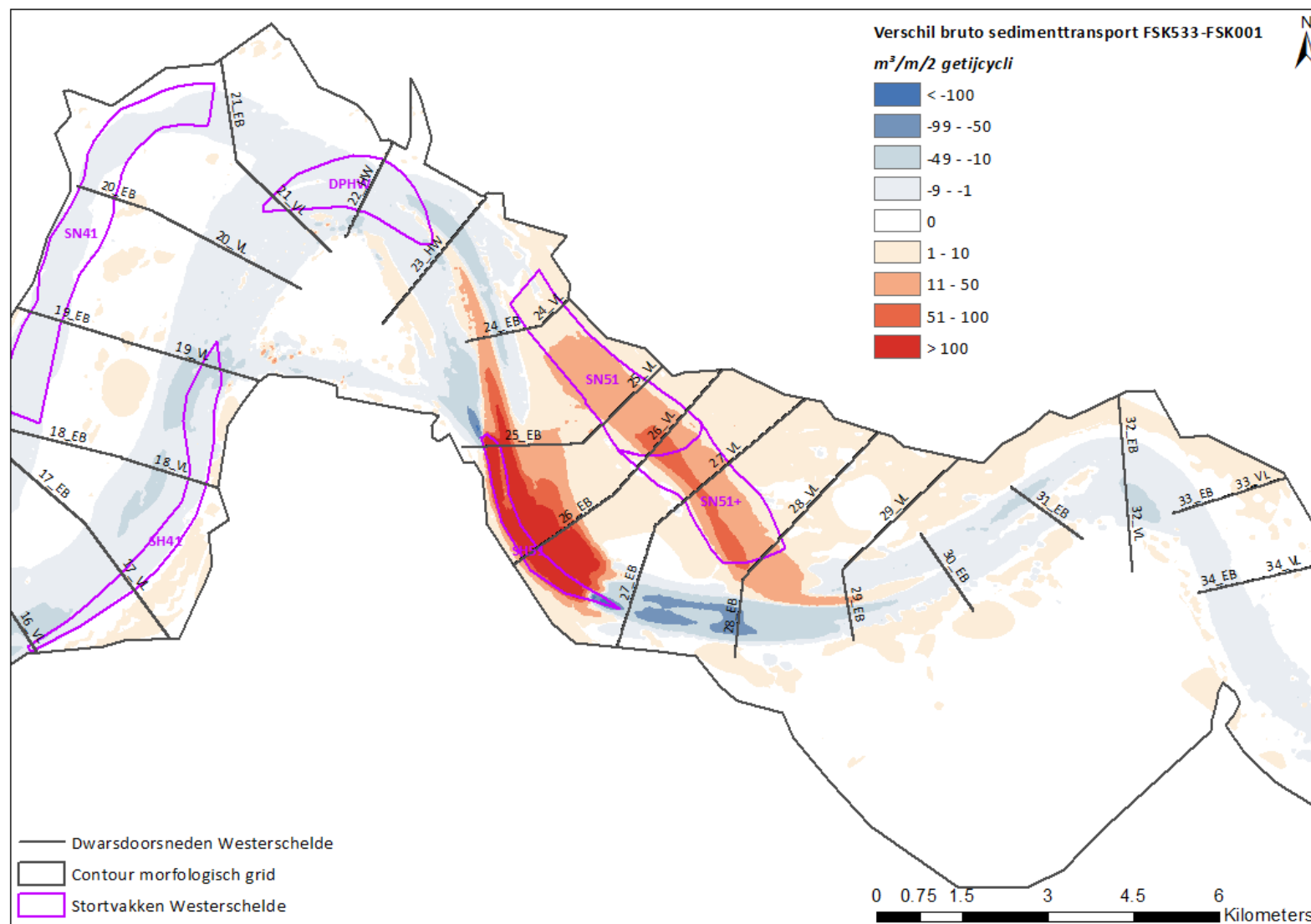
Figuur 31 – Bruto sedimenttransport over dwarsdoorsneden langs ebgeul (boven) en vloedgeul (onder) voor scenario's met stortingen in stortvak SH51 – detail zie Figuur 32



Figuur 32 – Bruto sedimenttransport over dwarsdoorsneden langs ebgeul (boven) en vloedgeul (onder) nabij stortvak SH51 voor scenario's met stortingen in stortvak SH51



Figuur 33 – Verschilkaart bruto sedimenttransport FSK533 tov FSK001



3.2.7 Stortvak SN51

Figuur 34 geeft een situering van de dwarsdoorsneden nabij stortvak SN51. Figuur 35 toont het bruto sedimenttransport over alle dwarsdoorsneden, relatief ten opzichte van scenario FSK001, voor alle scenario's met stortingen in stortvak SN51. Figuur 36 toont het bruto sedimenttransport voor de dwarsdoorsneden langs de eb- en vloedgeul nabij stortvak SN51. Figuur 37 toont een verschilkaart van het bruto sedimenttransport voor scenario FSK523 ten opzichte van referentiescenario FSK001. Figuur 43 tot en met Figuur 46 tonen verschilkaarten van het bruto sedimenttransport voor scenario's FSK524 tot en met FSK528 ten opzichte van referentiescenario FSK001.

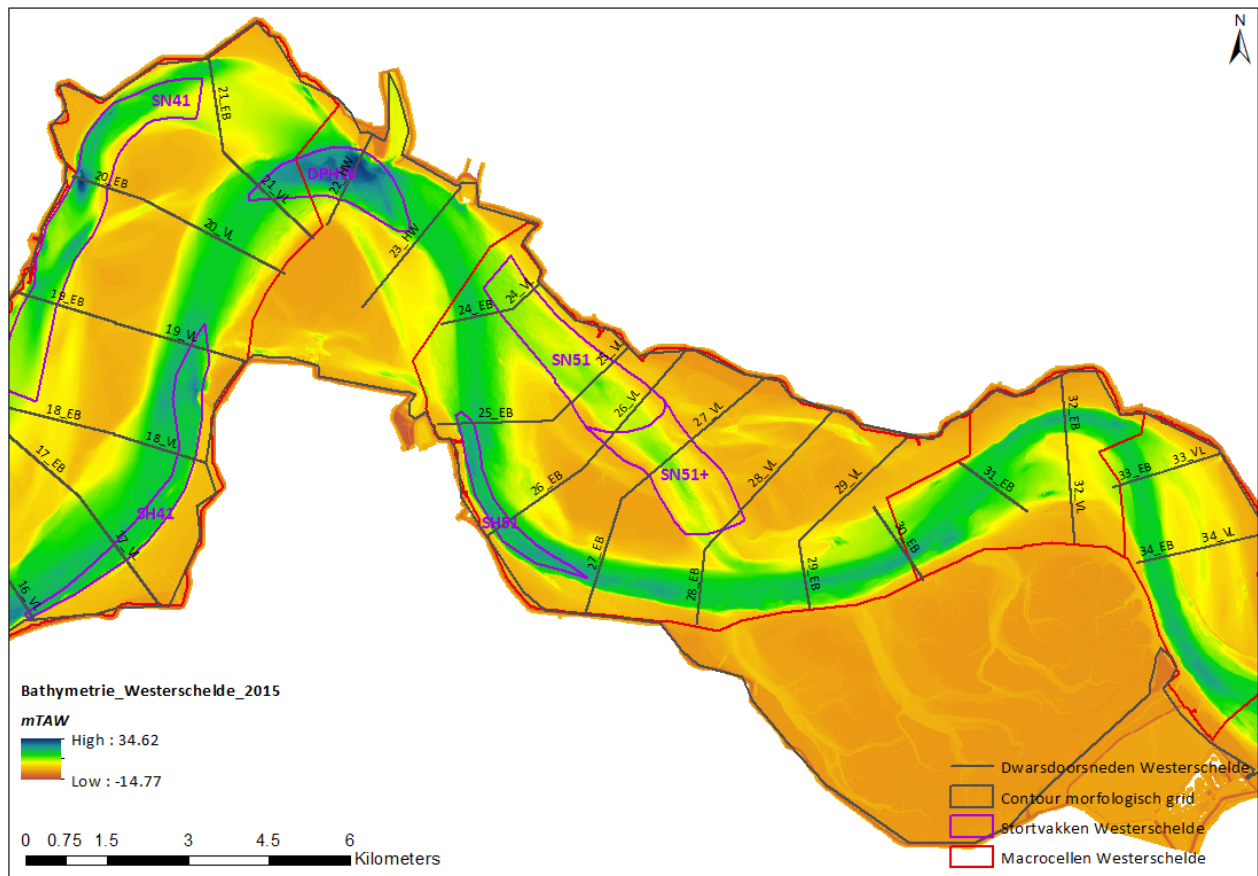
Naast de scenario's met stortingen van 0,5 Mm³ tot 16 Mm³ in stortvak SN51, zijn nog twee extra scenario's doorgerekend. In scenario FSK527 wordt verondersteld dat er 8 Mm³ gestort is in stortvak SN51 (FSK524) en dat de vloedgeul achter stortvak 1 m opgehoogd is. Deze vloedgeul wordt aangegeven door polygoon SN51+. In scenario FSK528 wordt verondersteld dat er 8 Mm³ gestort is in stortvak SN51 (FSK524) en dat er in de vloedgeul achter het stortvak nog eens 4 Mm³ gestort is. Deze scenario's kunnen geïnterpreteerd worden als zijnde dat er 12 Mm³ gestort werd in stortvak SN51 (FSK525), waarbij telkens 8 Mm³ in het stortvak is blijven liggen. In scenario FSK527 is er circa 2 Mm³ in de vloedgeul achter het stortvak terecht gekomen en is de overige 2 Mm³ in suspensie of verder verspreid. In scenario FSK528 is de volledige 4 Mm³ in de vloedgeul achter het stortvak terecht gekomen.

Het diepste deel van het stortvak SN51 is gelegen ter hoogte van dwarsdoorsnede '25_VL'. Centraal tussen dwarsdoorsneden '24_VL' en '25_VL', en ter hoogte van dwarsdoorsnede '26_VL' in het stortvak SN51 liggen ondieper gelegen delen. Pas wanneer 2 Mm³ gestort wordt, komt het sediment over deze delen te liggen.

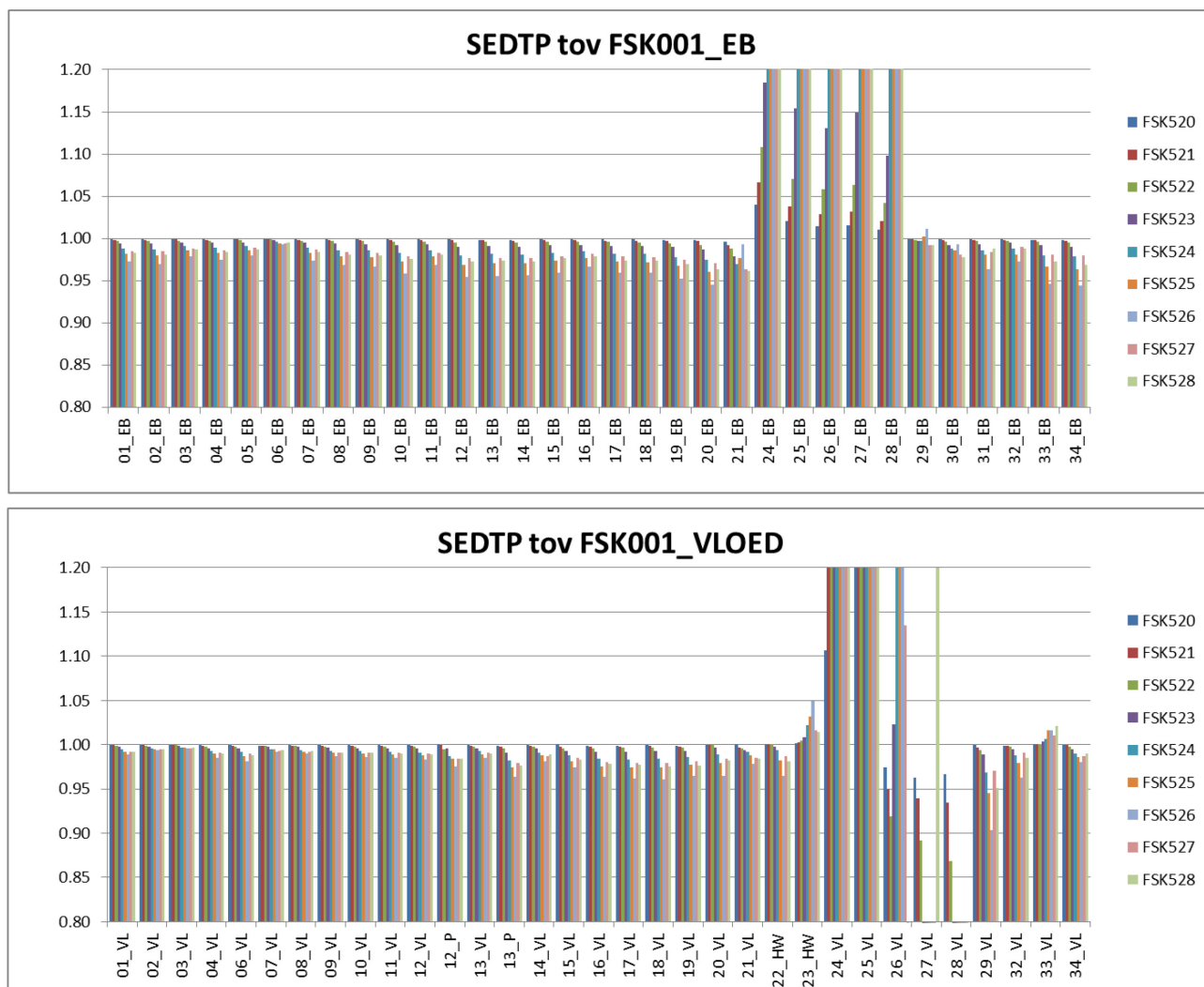
Bij de scenario's waarin enkel sediment gestort wordt in stortvak SN51 treedt weerom een stijging op van het sedimenttransport ter hoogte van de stortingen. Ook in de ebgeul van macrocel 5 stijgt het sedimenttransport. Bij stortingen vanaf 8 Mm³ treedt ook afwaarts een stijging op tot aan de Diepe Put van Hansweert. Opwaarts van de stortingen, in de vloedgeul van macrocel 5 treedt een sterke daling van het sedimenttransport op ten opzichte van referentiescenario FSK001. Deze wordt groter naarmate de hoeveelheid gestort sediment groter is.

Wanneer verondersteld wordt dat een deel van het sediment in de vloedgeul achter het stortvak terechtkomt (FSK527) zijn zowel de stijging van het sedimenttransport in het stortvak als de daling van het sedimenttransport opwaarts van de storting kleiner. In scenario FSK528, waarbij 4 Mm³ in de vloedgeul achter het stortvak terechtkomt, treedt ook hier een stijging van het sedimenttransport op. Ter hoogte van de ondiepe delen in stortvak SN51 treedt een stijging van het sedimenttransport op.

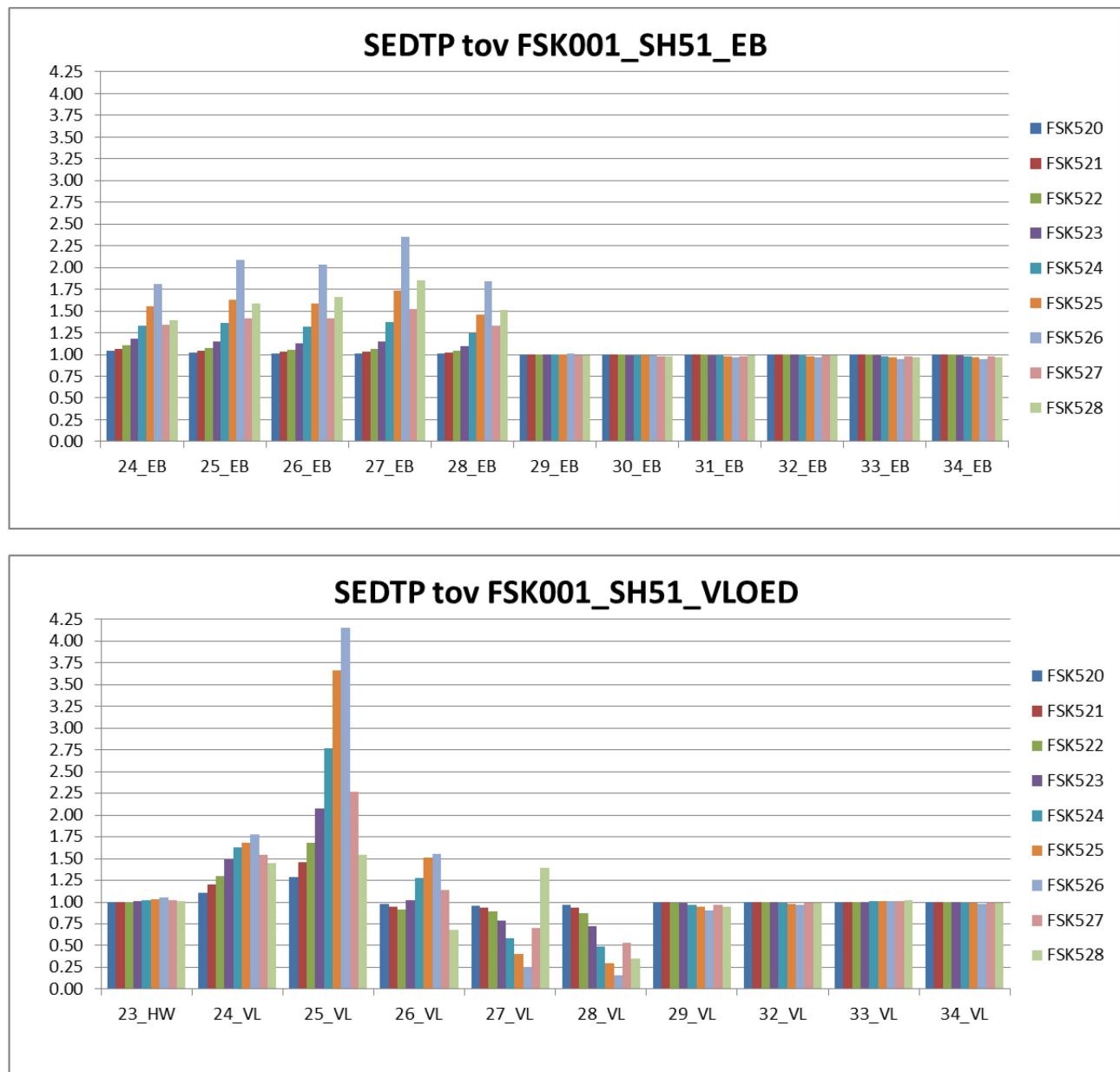
Figuur 34 – Situering dwarsdoorsneden nabij stortvak SN51



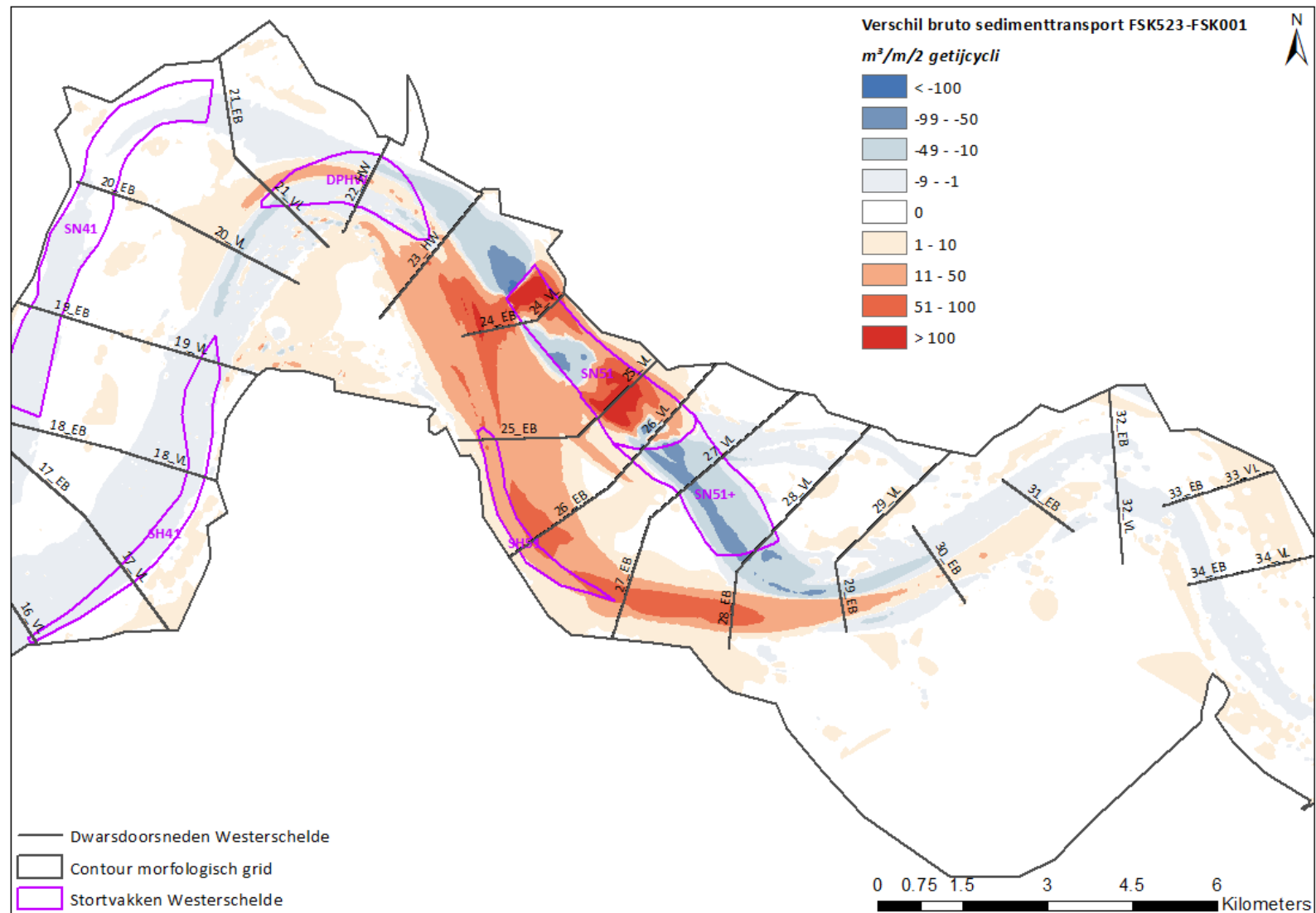
Figuur 35 – Bruto sedimenttransport over dwarsdoorsneden langs ebgeul (boven) en vloedgeul (onder) voor scenario's met stortingen in stortvak SN51 – detail zie Figuur 36



Figuur 36 – Bruto sedimenttransport over dwarsdoorsneden nabij stortvak SH51 langs ebgeul (boven) en vloedgeul (onder) voor scenario's met stortingen in stortvak SN51



Figuur 37 – Verschilkaart bruto sedimenttransport FSK523 tov FSK001



3.3 Vergelijking scenario's

Binnen volgende paragraaf wordt een vergelijking gemaakt van de invloed van de stortingen van 4 Mm³ op de waterbeweging (waterstand en debiet/getijvolume) en het sedimenttransport voor de verschillende stortvakken.

3.3.1 Waterstanden

Figuur 38 en Figuur 39 tonen respectievelijk de waterpeilen ter hoogte van de meetposten langs de Westerschelde, en de hoog- en laagwaters langs het lengteprofiel van de Westerschelde en Zeeschelde voor de scenario's met storting van 4 Mm³. Het verschil in hoog- en laagwaters bedraagt maximum 2 cm ten opzichte van het referentiescenario FSK001. De grootste daling van het hoogwater treedt op bij storting in Diepe Put Hansweert. De grootste stijging van het laagwater treedt op bij storting in de SH51, i.e. in de ebgeul van macrocel 5.

3.3.2 Getijvolumes

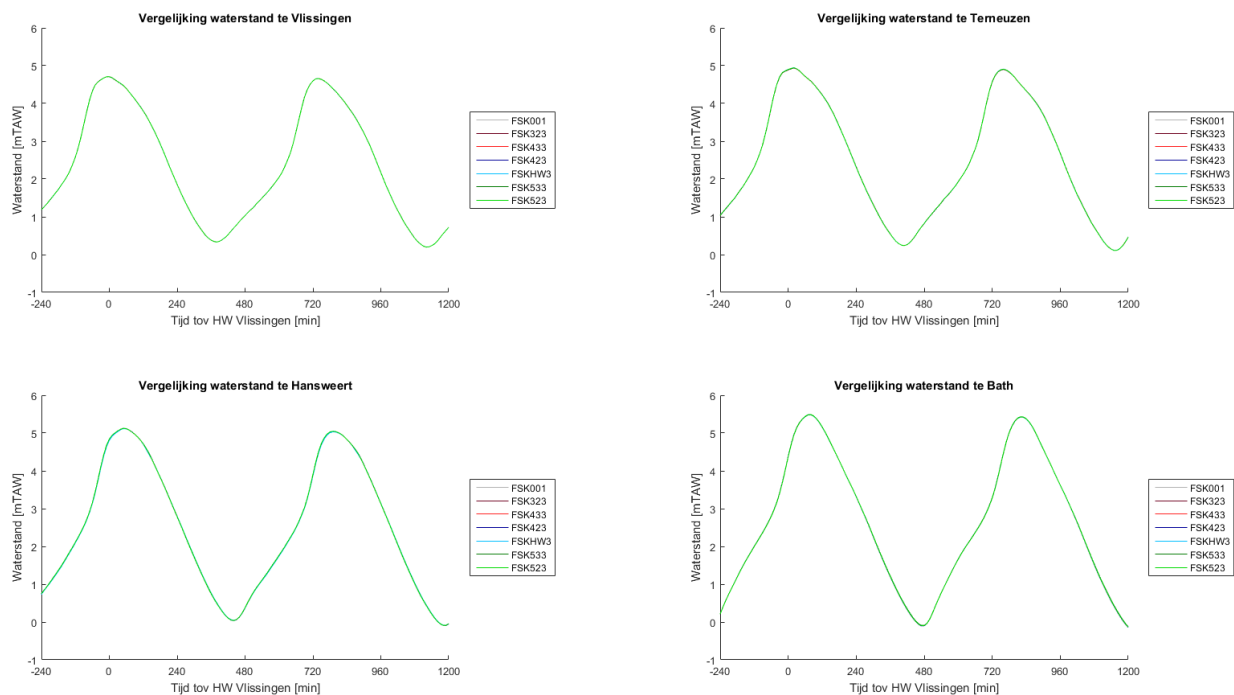
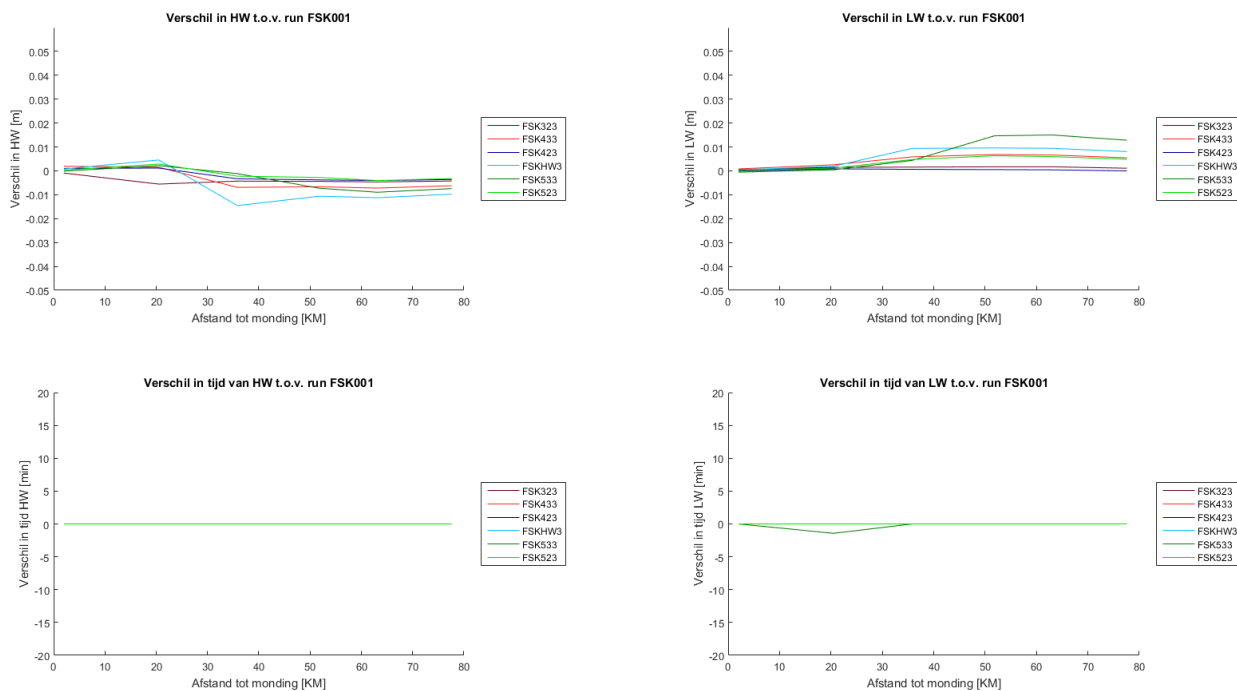
Figuur 40 toont de eb- en vloedvolumes ter hoogte van de verschillende meetraaien, en hun verdeling over de eb- en vloedgeul, voor de doorgerekende scenario's met storting van 4 Mm³ in de verschillende stortvakken. In BIJLAGE B worden deze figuren aangevuld met percentages ten opzichte van het referentiescenario en ten opzichte van het totaal volume.

Raai 7 is gelegen in macrocel 3, tussen dwarsdoorsneden 11 en 12. De invloed van de scenario's op de eb- en vloedvolumes ter hoogte van deze raai is kleiner dan 1%, uitgezonderd voor het vloedvolume in de eb- en vloedgeul in *scenario FSK323*. Door de storting in de vloedgeul in macrocel 3, in stortvak SN31, gaat er minder vloedvolume door de vloedgeul en meer door de ebgeul. Het verschil is echter zeer klein. Het totale getijvolume blijft echter quasi gelijk.

Raai6 is gelegen in macrocel 4, tussen dwarsdoorsneden 18 en 19. In *scenario FSK433*, waarbij gestort wordt in stortvak SH41, in de vloedgeul van macrocel 4, stijgt het vloedvolume in de ebgeul met circa 3% en daalt het vloedvolume in de vloedgeul met circa 2%. Het ebvolume blijft quasi ongewijzigd. Door de storting in de vloedgeul treedt er een beperkte herverdeling van het vloedvolume op. Het totale getijvolume blijft quasi ongewijzigd. In *scenario FSK423*, waarbij gestort wordt in stortvak SN41, in de ebgeul van macrocel 4, treedt het omgekeerd effect op. In de vloedgeul stijgen zowel het eb- als het vloedvolume met circa 1% ten opzichte van het referentiescenario FSK001. In de ebgeul dalen zowel het vloed- als het ebvolume met respectievelijk circa 3% en circa 2%. Door de storting in de ebgeul worden zowel het eb- als het vloedvolume herverdeeld richting de vloedgeul.

Raai5a is gelegen in macrocel 5, tussen dwarsdoorsneden 25 en 26. In *scenario FSK533*, waarbij gestort wordt in stortvak SH51, in de ebgeul van macrocel 5, stijgen het vloed- en ebvolume in de vloedgeul met respectievelijk circa 1% en circa 3%. In de ebgeul dalen het vloed- en ebvolume met circa 1 en circa 2%. Door de storting in de ebgeul treedt er een beperkte herverdeling van het eb- en vloedvolume op. Het totale getijvolume blijft quasi ongewijzigd. In *scenario FSK523*, waarbij gestort wordt in stortvak SN51, in de vloedgeul van macrocel 5, dalen het vloed- en ebvolume in de vloedgeul met respectievelijk circa 10% en circa 5%. Het vloed- en ebvolume in de ebgeul stijgen met respectievelijk circa 7% en circa 2% ten opzichte van het referentiescenario FSK001. Door de storting in de vloedgeul worden zowel het eb- als het vloedvolume herverdeeld richting de ebgeul. Het totale getijvolume blijft gelijk.

Raai2 is gelegen in macrocel 6 tussen dwarsdoorsneden 31 en 32. Raai1 is gelegen in macrocel 7 opwaarts van dwarsdoorsnede 34. Ter hoogte van deze raaien is het effect van de stortingen op de eb- en vloedvolumes quasi nihil.

Figuur 38 – Vergelijking waterpeilen thv meetposten Westerschelde voor scenario's met storting 4 Mm³Figuur 39 – Lengteprofielen Westerschelde – Zeeschelde tot Antwerpen met verschil in (tijd van) HW/LW tov FSK001 voor scenario's met storting 4 Mm³

Figuur 40 – Vloed- en ebvolumes in vloed- en ebgeul ter hoogte van raaien 7, 6, 5a, 2 en 1 voor scenario's met storting 4 Mm³

3.3.3 Sedimenttransport

Het effect van de storting op het bruto sedimenttransport in de geulen wordt bekeken per macrocel (zie Tabel 3). Binnen de polygoon van de eb- of vloedgeul van de macrocel (Figuur 41) wordt de toename en afname van het bruto sedimenttransport van een scenario berekend, procentueel ten opzichte van het bruto sedimenttransport in scenario FSK001. Hieruit wordt de netto toename¹ in de geul met storten berekend. Ook de netto toename in de andere geul binnen de macrocel (zonder storten) wordt weergegeven in Tabel 3.

In scenario FSK323 wordt gestort in stortvak SN31, in de vloedgeul van macrocel 3. Hierdoor neemt het bruto sedimenttransport toe met 5,5% (t.h.v. storting) ten opzichte van scenario FSK001. Er treedt echter ook een daling op met 3,4% (achter storting) ten opzichte van scenario FSK001. Er treedt dus een netto toename op van 2,1% van het bruto sedimenttransport in de vloedgeul van macrocel 3. In de ebgeul van macrocel 3 treedt in scenario FSK323 een netto toename op van 2,4% ten opzichte van scenario FSK001. Deze relatieve toenames zijn het kleinst voor dit scenario, wat gerelateerd is aan de grootste water- en sedimentvolumes die in deze macrocel getransporteerd worden.

De grootste netto toename in de geul met storten treedt op voor scenario FSKHW3. Hierbij wordt gestort in de diepe put van Hansweert. Deze ligt niet binnen een macrocel. Hiervoor werd een aparte polygoon afgebakend. Er treedt een netto toename van 25,4% binnen deze polygoon. Er grotere toename van het sedimenttransport wijst er echter wel op dat het gestorte sediment mobieler is en makkelijker getransporteerd zal worden.

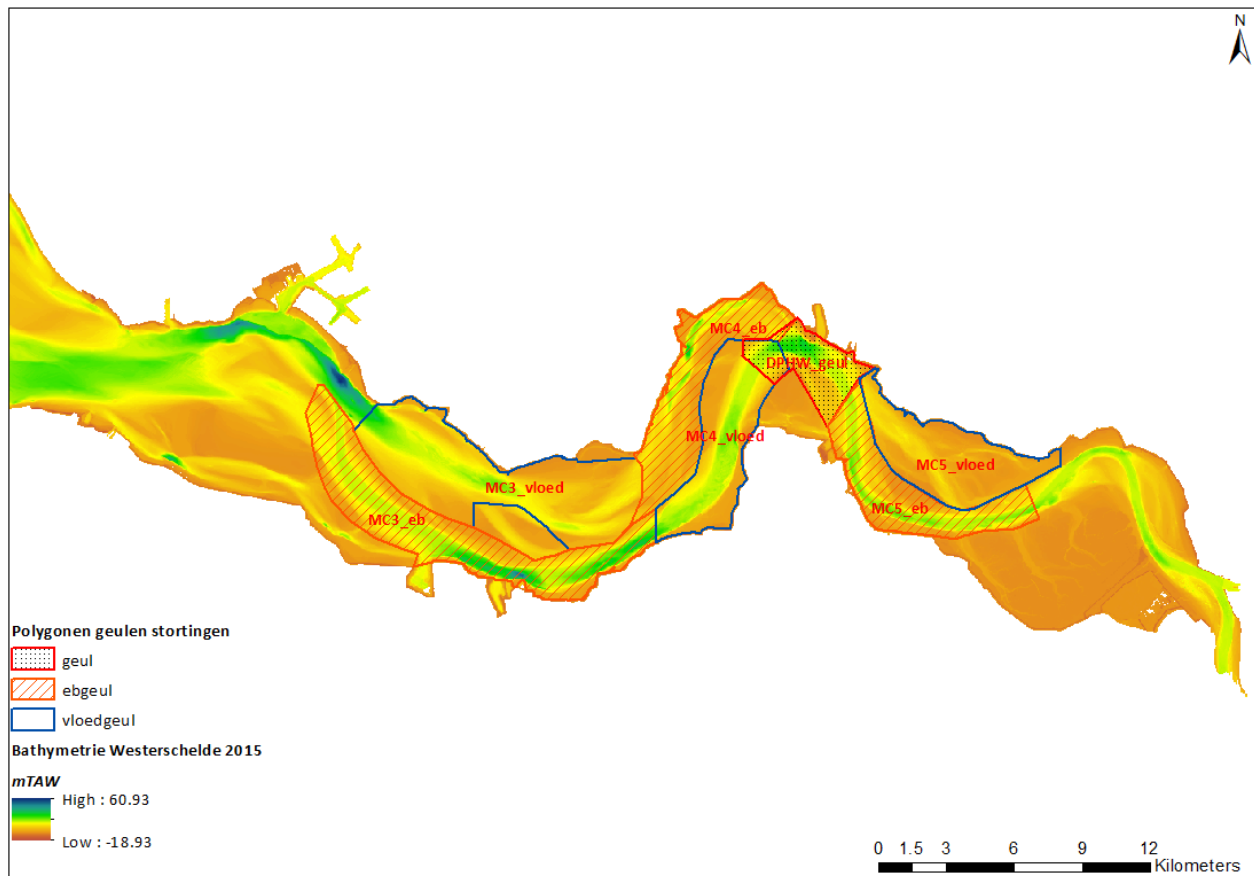
Wanneer gestort wordt in de hoofdgeulen van macrocel 4 en 5, in scenario's FSK433 en FSK533, is de afname van het sedimenttransport in de geul met storten steeds beperkt ten opzichte van de toename. Bij storting in de nevengeulen van macrocel 4 en 5, in scenario's FSK423 en FSK523, is de afname van het sedimenttransport in de geul met storten steeds meer dan de helft van de bruto toename. Hierdoor wordt de netto toename van het sedimenttransport in deze geul beperkt. Een kleinere netto toename zorgt er echter wel voor dat het sediment minder snel getransporteerd zal worden.

Tabel 3 – Wijziging bruto sedimenttransport per macrocel in geul met storten en in geul zonder storten

Bruto sedimenttransport/ Stortvak (scenario)	Macrocel-geul met storten	Toename in geul met storten (bruto)	Afname in geul met storten (bruto)	Netto toename in geul met storten	Netto toename in geul zonder storten
SN31 (FSK323)	3 – vloed	5,5	3,4	2,1	2,4
SH41 (FSK433)	4 – vloed	11,6	2,6	9,0	9,3
SN41 (FSK423)	4 – eb	10,2	6,2	4,0	5,0
DPHW (FSKHW3)	DPHW- geul	26,8	1,4	25,4	/
SH51 (FSK533)	5 – eb	14,1	3,7	10,4	14,8
SN51 (FSK523)	5 – vloed	17,1	12,5	4,6	9,7

¹ Aangezien de netto verandering (bv. + 2%) zowel het verschil kan zijn van een grote toename (+10%) en grote afname (+8%), als louter van een beperkte toename (+2%), wordt zowel de toename als afname binnen de geul met storten weergegeven.

Figuur 41 – Situering polygonen geulen met of zonder storten



3.4 Interpretatie effecten stortingen

In de vorige paragrafen werden de effecten beschreven voor de verschillende scenario's. In deze paragraaf wordt een interpretatie gemaakt over het te verwachten morfologisch gedrag aan de hand van de verschillende scenario's voor het stortvak SN51.

Aan de hand van het cumulatief debiet ter hoogte van Raai5a_vloed (zie Figuur 5) wordt een beschrijving gegeven van het effect van de stortingen in stortvak SN51. Deze raai is gelegen tussen dwarsdoorsneden '24_VL' en '25_VL'. Figuur 42 geeft het cumulatief debiet voor enkele scenario's waarbij gestort wordt in stortvak SN51, en het referentiescenario FSK001. Figuur 43 tot en met Figuur 46 tonen verschilkaarten van het bruto sedimenttransport voor scenario's FSK524 tot en met FSK528 ten opzichte van referentiescenario FSK001.

In scenario's FSK524 en FSK525 wordt respectievelijk 8 Mm³ en 12 Mm³ gestort in stortvak SN51. Het storten van sediment zorgt voor een verhoging van de bodem en bijgevolg een verkleining van de natte sectie (A). Hierdoor daalt het debiet (Q) ter hoogte van de storting. De snelheid ter hoogte van de storting, die gelijk is aan het quotiënt van het debiet en de natte sectie ($v = Q/A$), zal bijgevolg stijgen wanneer de daling van het debiet relatief gezien kleiner is dan de daling van de dwarssectie. Het bruto sedimenttransport zal hierdoor ook stijgen.

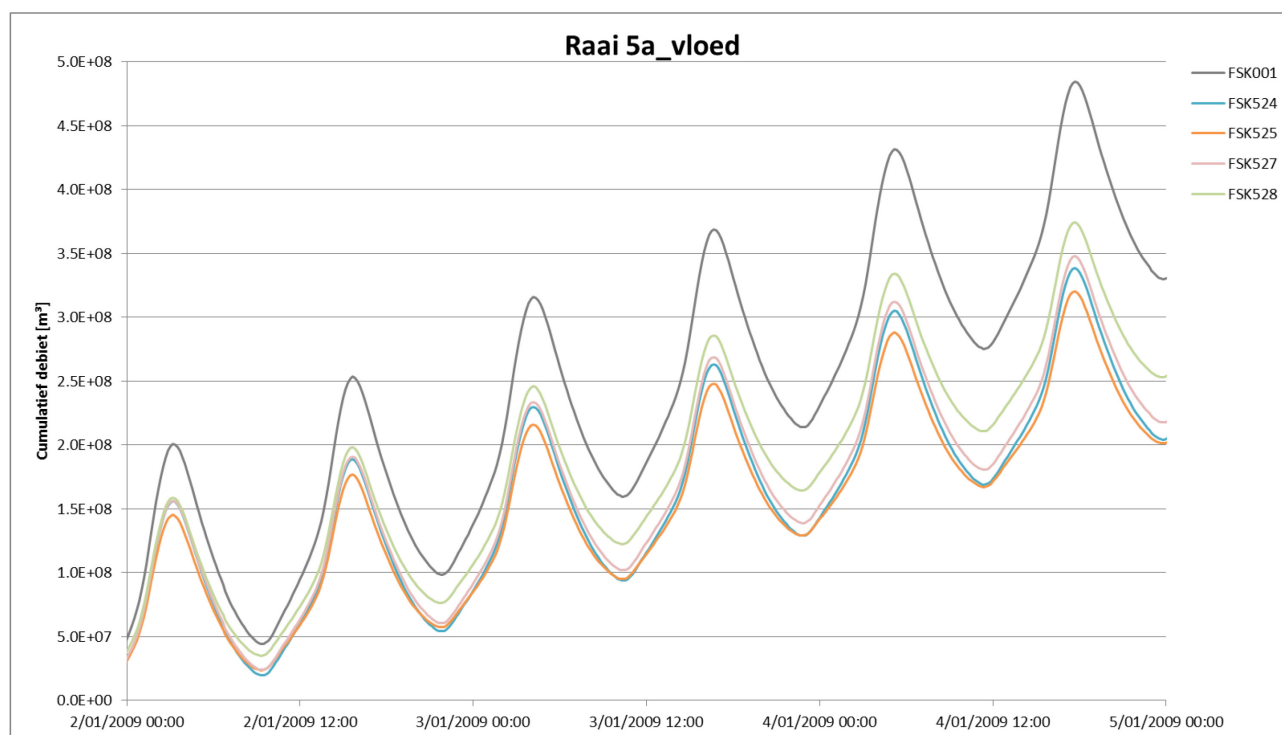
In scenario FSK524 wordt 8 Mm³ gestort in stortvak SN51. Dit scenario kan beschouwd worden als een ontwikkeling in de tijd van scenario FSK525 waarbij een deel (4 Mm³) van het gestorte materiaal (initieel 12 Mm³ in FSK525) reeds geërodeerd is. Deze erosie zorgt voor een stijging van de natte sectie. Hierdoor stijgt

het debiet ter hoogte van de storting/erosie. Het bruto sedimenttransport voor FSK524 ter hoogte van de storting is kleiner dan in scenario FSK525.

Het geërodeerde sediment wordt echter verplaatst. In scenario FSK527 wordt verondersteld dat een deel van het geërodeerde sediment terechtkomt in de vloedgeul opwaarts van de storting (onder invloed van vloed-gedomineerd sedimenttransport – zie Figuur A 2). Hiervoor werd de bodem van de vloedgeul binnen polygoon SN51+ met 1 m opgehoogd. Dit zorgt voor een daling van de natte sectie in deze vloedgeul waardoor het debiet eveneens daalt in de vloedgeul, en de snelheid en het sedimenttransport stijgen. Ter hoogte van de storting in stortvak SN51 is een stijging van het debiet te zien, en een daling van het sedimenttransport. Ten opzichte van het referentiescenario treedt echter nog steeds een stijging van het sedimenttransport op.

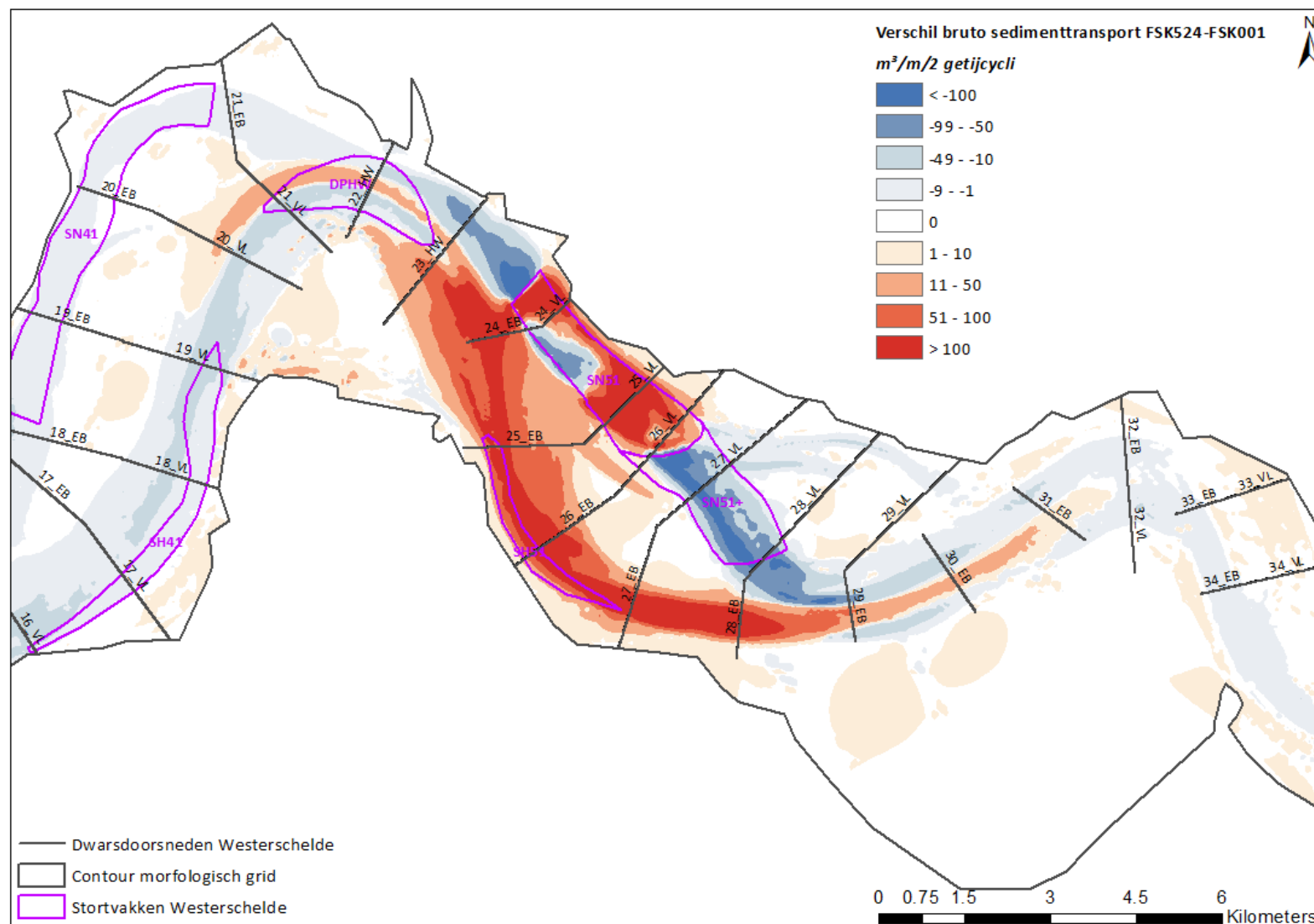
In scenario FSK528² wordt verondersteld dat het volledige volume geërodeerde sediment, ie. 4 Mm³ terechtkomt in de vloedgeul achter het stortvak. De bathymetrie in polygoon SN51+ werd hiervoor tot een bepaalde diepte opgevuld. Dit zorgt voor een daling van de natte sectie binnen deze polygoon, waardoor het debiet daalt en het sedimenttransport stijgt. Ter hoogte van raai 5a vloed, of ter hoogte van de initiële storting, is een stijging van het debiet te zien, en een daling van het sedimenttransport, die groter is dan in scenario FSK527. Ten opzichte van het referentiescenario treedt echter nog steeds een stijging van het sedimenttransport op ter hoogte van de diepste delen van het stortvak.

Figuur 42 – Cumulatief debiet [m³] over raai5a vloed bij scenario's met storting in stortvak SN51

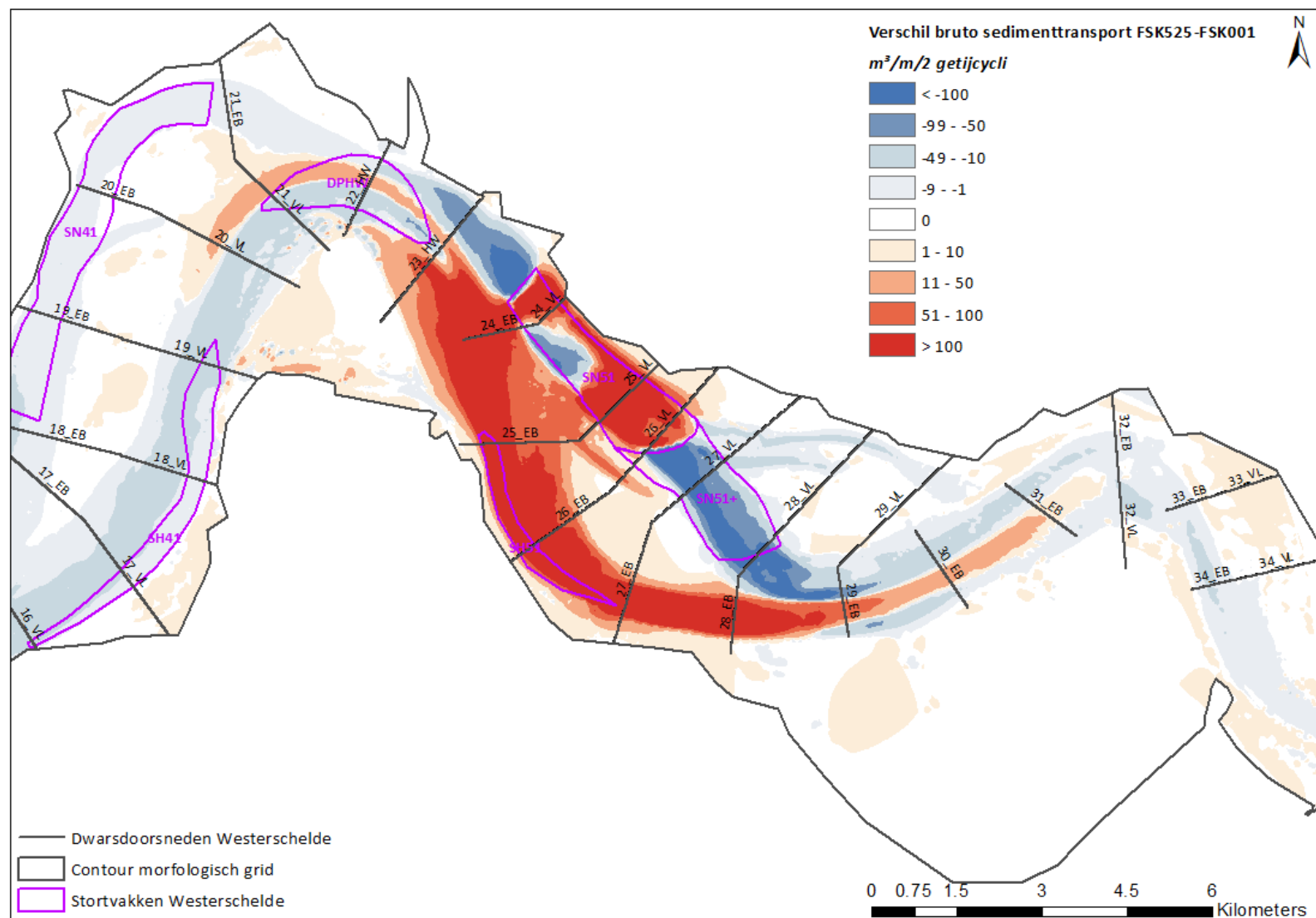


² In FSK527 wordt de bodem 1m opgehoogd en zal de volumeverandering niet exact 4 Mm³ bedragen. Daarom werd met FSK528 een scenario bekeken waarbij de volumeveranderingen identiek zijn (4 Mm³ geërodeerd dat terecht komt in SN51+).

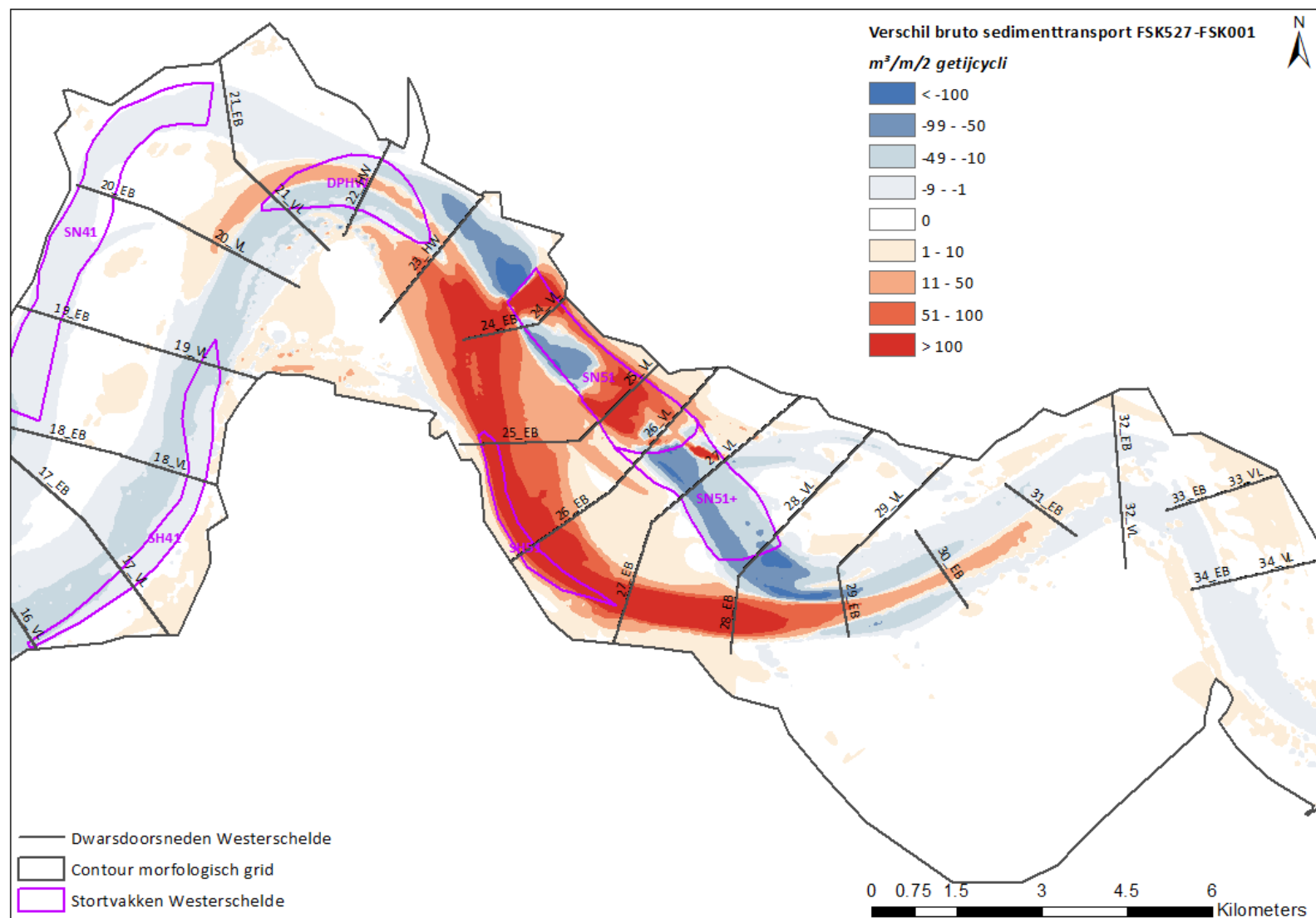
Figuur 43 – Verschilkaart bruto sedimenttransport FSK524 tov FSK001



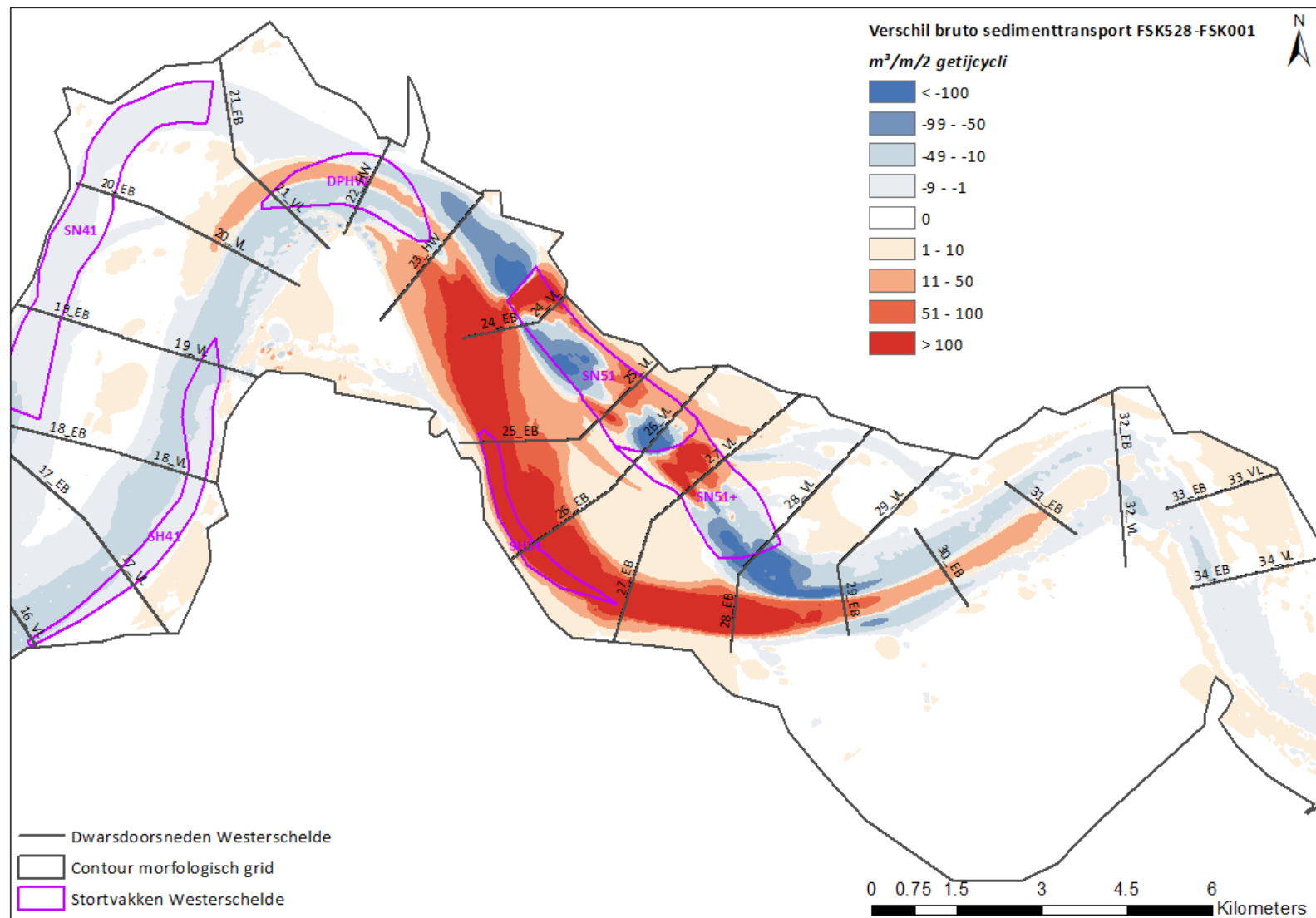
Figuur 44 – Verschilkaart bruto sedimenttransport FSK525 tov FSK001



Figuur 45 – Verschilkaart bruto sedimenttransport FSK527 tov FSK001



Figuur 46 – Verschilkaart bruto sedimenttransport FSK528 tov FSK001



4 Conclusies

De doorgerekende scenario's met stortingen in de stortvakken in de Westerschelde geven aan dat het storten van sediment leidt tot een groter bruto sedimenttransport ter hoogte van de storting. In geen van de scenario's werd een drempelwaarde bereikt waarboven het bruto sedimenttransport niet meer toeneemt. Rond de storting is echter steeds een daling van het sedimenttransport te zien. Op de lokale schaal op en rond de storting ontstaat een wijziging in de gradiënten van de sedimenttransport, door de toename ter hoogte van en de afname rondom de stortingen. Dit zorgt ervoor dat initieel het sediment zal geërodeerd worden op de stortingen en dat dit materiaal zich zal afzetten rondom de storting. Het netto sedimenttransport zal bepalen of dit transport hoofdzakelijk in de eb- of vloedrichting zal gebeuren.

Op de schaal van de macrocel, stellen we vast dat in de andere geul (waarin niet gestort werd) van dezelfde macrocel, een stijging van het bruto sedimenttransport wordt waargenomen. Dit kan verklaard worden door de verandering in debietsverdeling tussen de geul waarin gestort en niet gestort wordt: de storting zorgt er initieel voor dat minder water door de geul gaat waarin gestort wordt en meer water door de geul waarin niet gestort wordt in dezelfde macrocel. De verondieping ter hoogte van de storting zorgt ervoor dat, ondanks de afname in debiet, er toch een toename in snelheid en sedimenttransport optreedt. Rond de storting zal de snelheid en sedimenttransport afnemen wanneer het debiet in de geul daalt.

De interpretatie naar de te verwachte morfologische verandering is minder recht door zee: de storting zal geleidelijk geërodeerd worden, maar of uiteindelijk de debietsverdeling volledig terugkeert naar de oorspronkelijk toestand hangt af van hoe het sediment zich uiteindelijk verspreidt.

5 Referenties

Coen, L.; Plancke, Y.; Meire, D.; Mostaert, F. (2019). Agenda voor de Toekomst - DT5 Morfologie Mesoschaal: Deelrapport 2 - Fysieke systeemkenmerken Schelde-estuarium. Versie 4.0. *WL Rapporten*, 14_024_2. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Deltares. (2011). Delft3D-FLOW - Simulation of multi-dimensional hydrodynamic flows and transport phenomena, including sediments - User manual

Maximova, T.; Ides, S.; De Mulder, T.; Mostaert, F. (2009). LTV O&M thema veiligheid: deelproject 1. Verbetering hydrodynamisch NEVLA model ten behoeve van scenario-analyse. *WL Rapporten*, 756_05. Waterbouwkundig laboratorium/Deltares: Antwerpen

Stark, J.; Vandenbruwaene, W.; Meire, D.; De Maerschalck, B.; Plancke, Y.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2019). Agenda van de toekomst - DT5 Morfologie mesoschaal. Deelrapport 7 - Sedimentatie ter hoogte van drempels: validatie numeriek model. Versie 4.0. *WL Rapporten*, 14_024_7. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

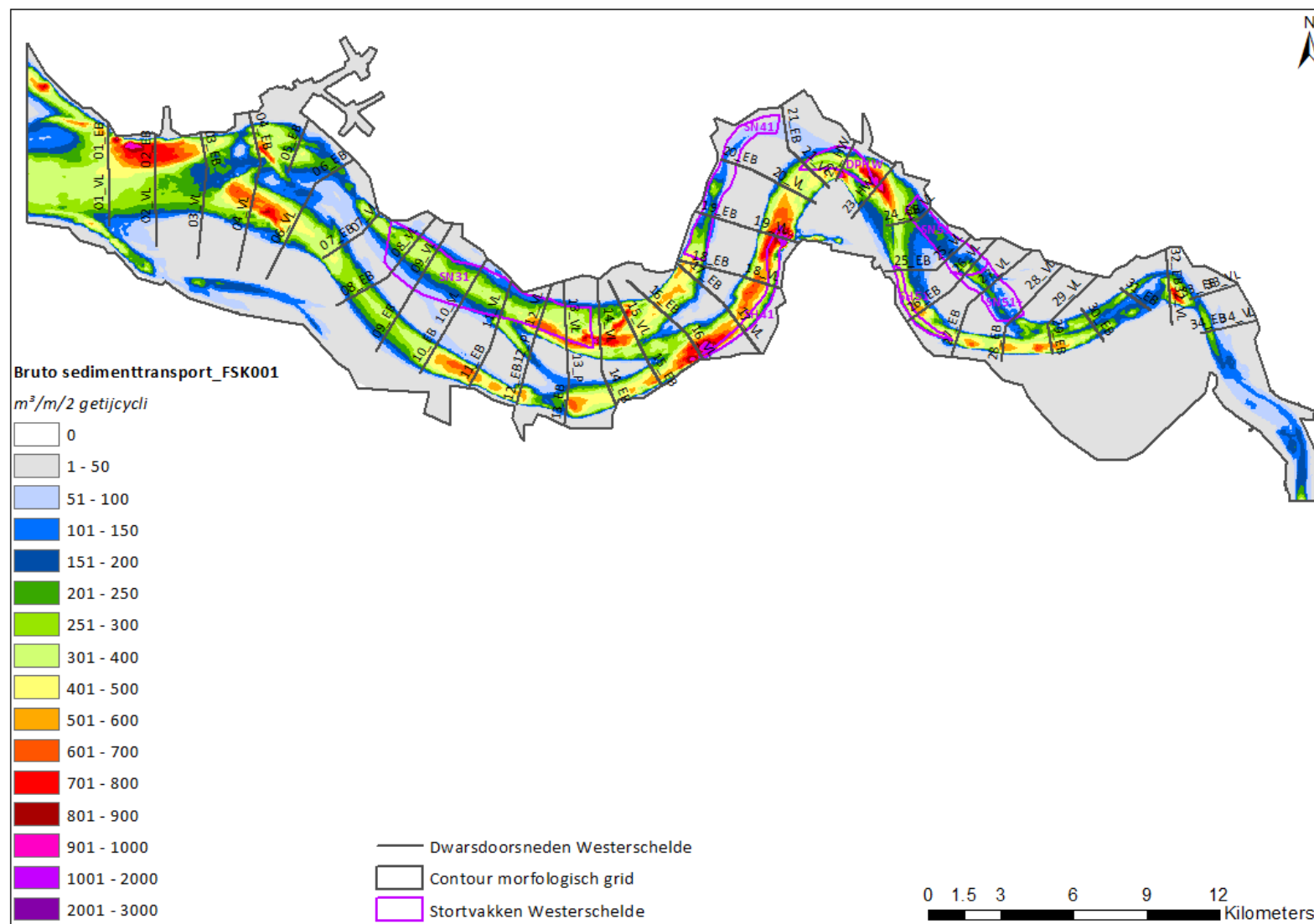
Tank, F.T.G. (1996). Het gedrag van drempels in de Westerschelde. Literatuurstudie en hypothesen

Van Rijn, L.C. (1993). Principles of Sediment Transport in Rivers, Estuaries and Coastal Seas

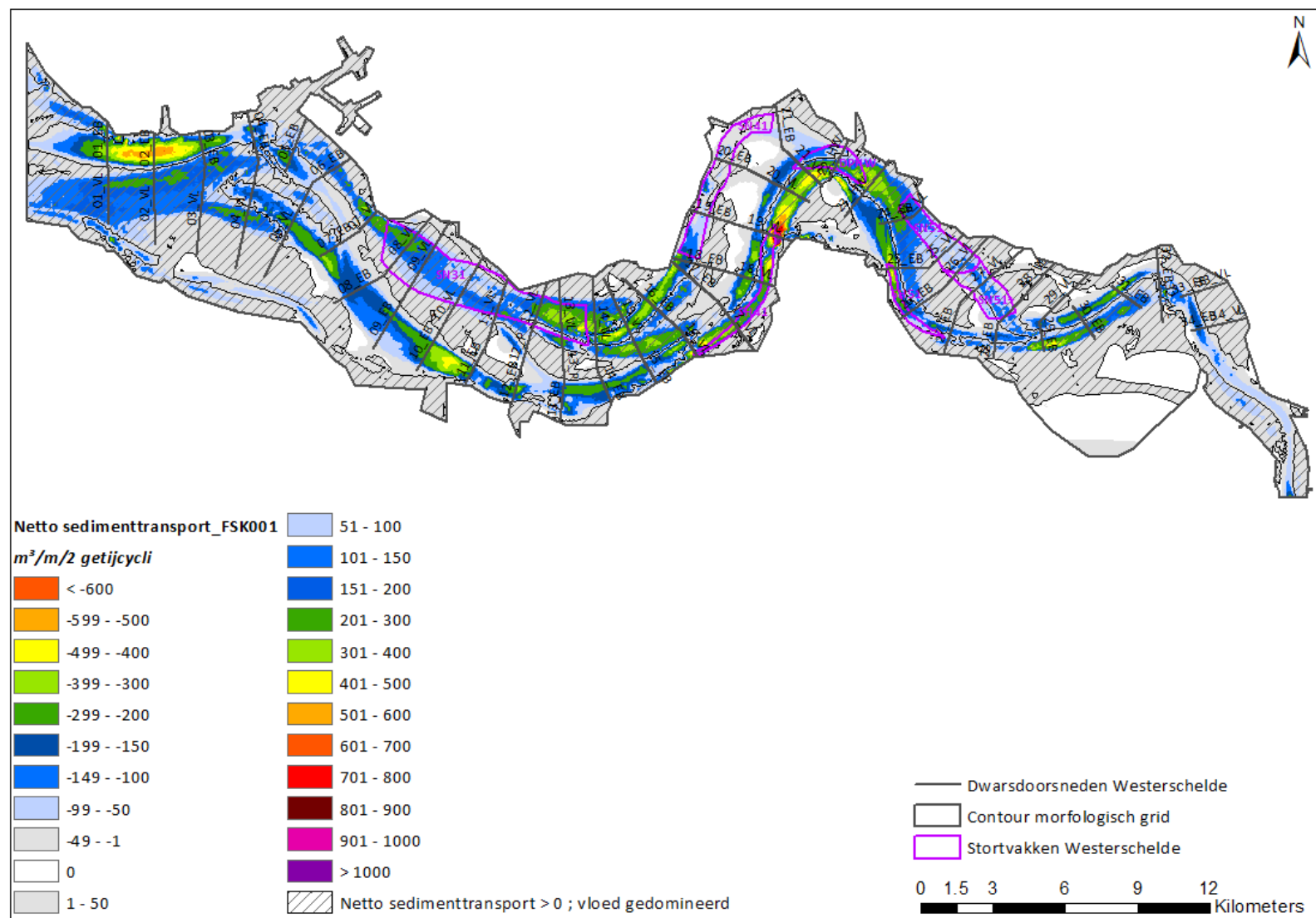
Verheyen, B.; Vanlede, J.; Decrop, B.; Mostaert, F. (2012). NEVLA3D randvoorwaardenmodel: deelrapport 6. Scenarioberekeningen LTV zandhuishouding. *WL Rapporten*, 00_018. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

BIJLAGE A - Kaarten sedimenttransport

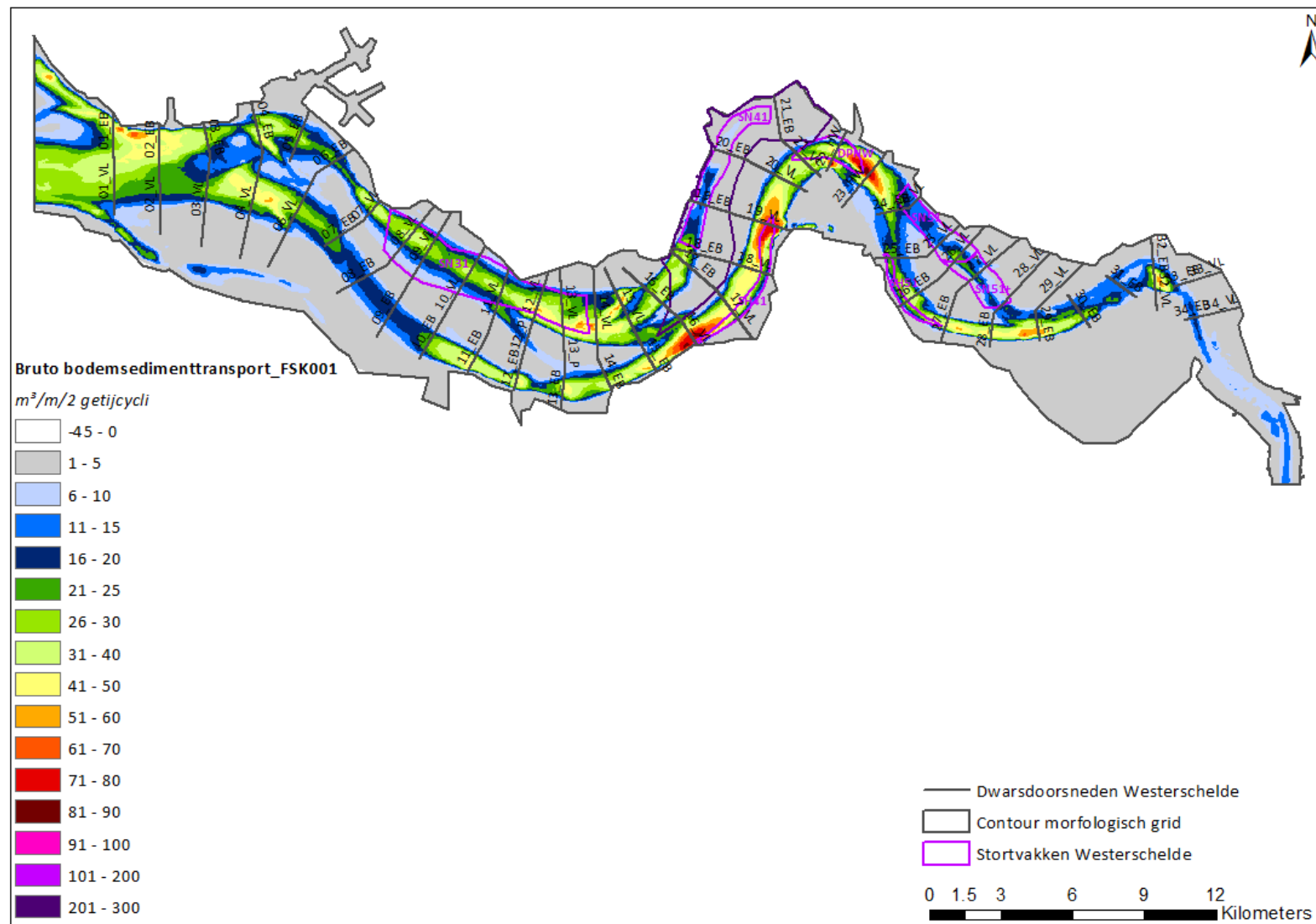
Figuur A 1 – Bruto sedimenttransport in de Westerschelde – referentiescenario FSK001



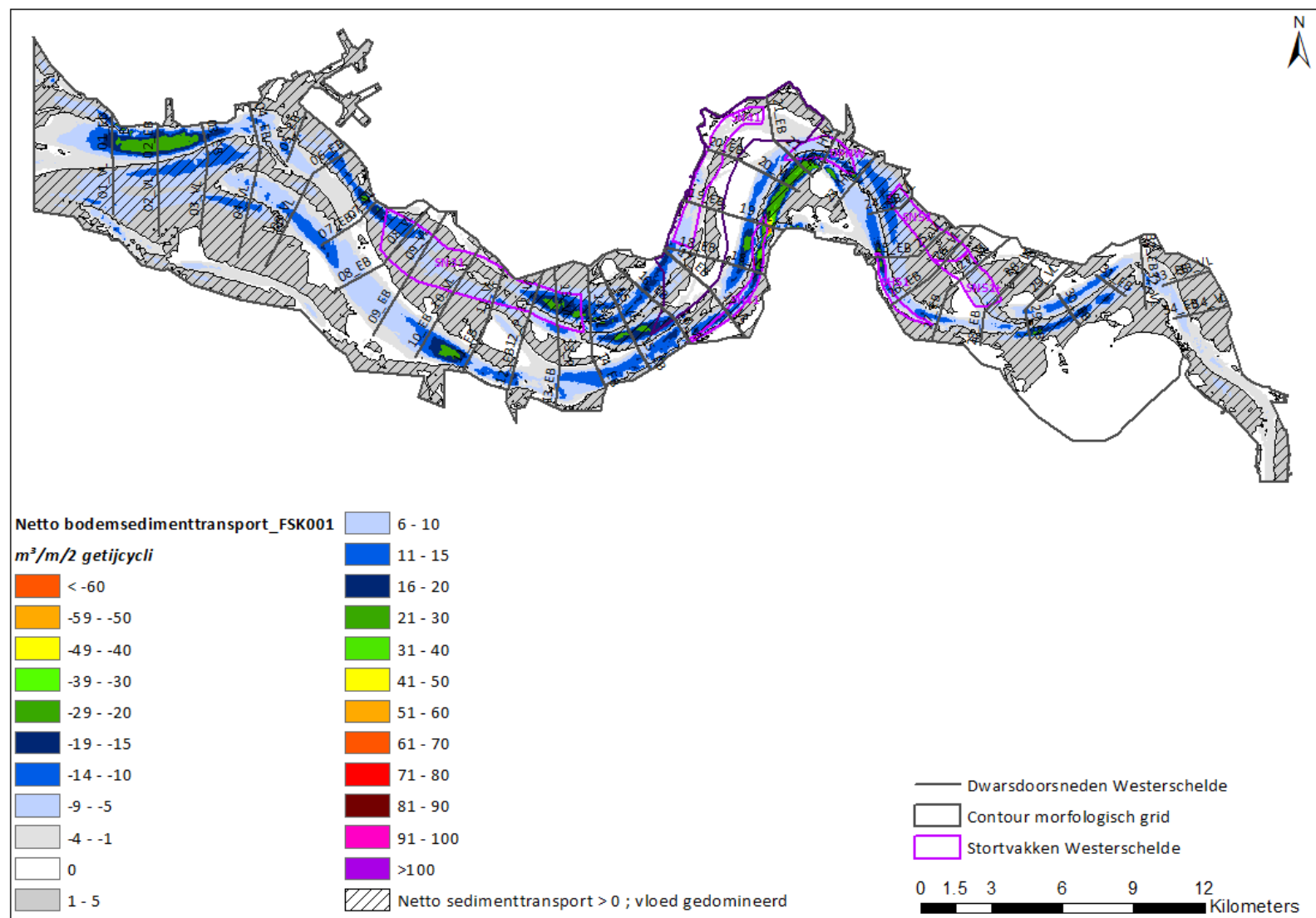
Figuur A 2 – Netto sedimenttransport in de Westerschelde – referentiescenario FSK001



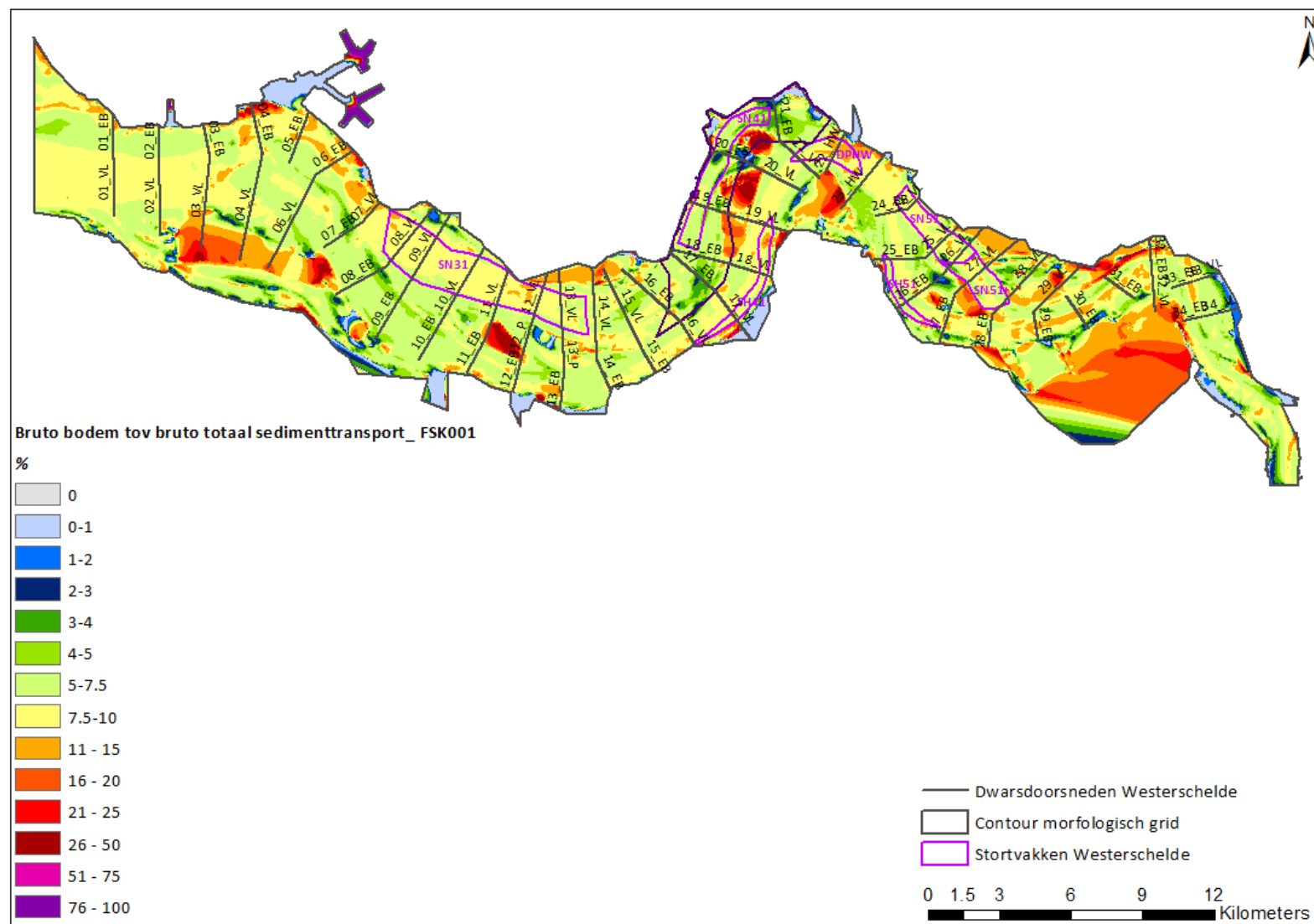
Figuur A 3 – Bruto bodemsedimenttransport in de Westerschelde – referentiescenario FSK001



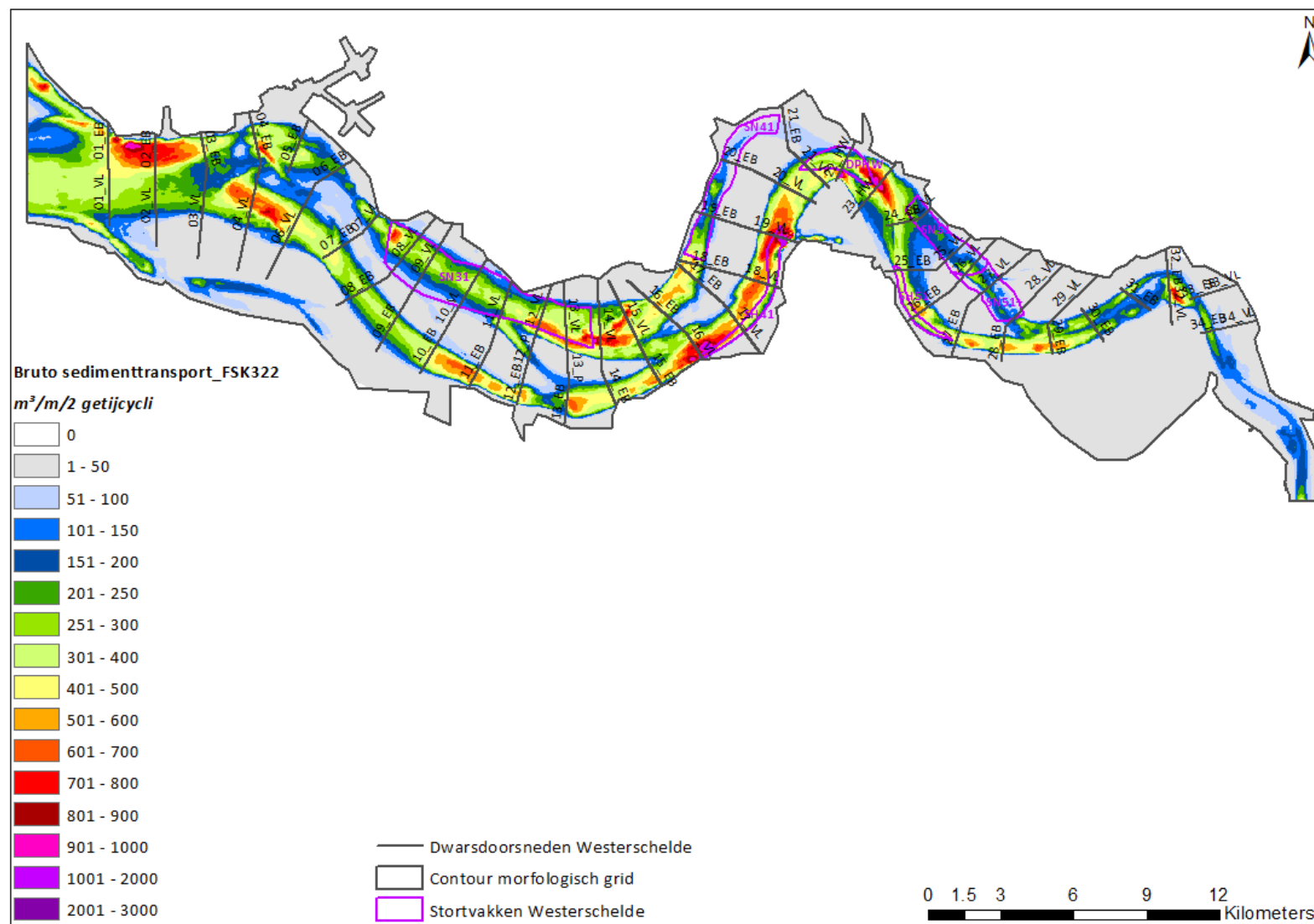
Figuur A 4 – Netto bodemsedimenttransport in de Westerschelde – referentiescenario FSK001



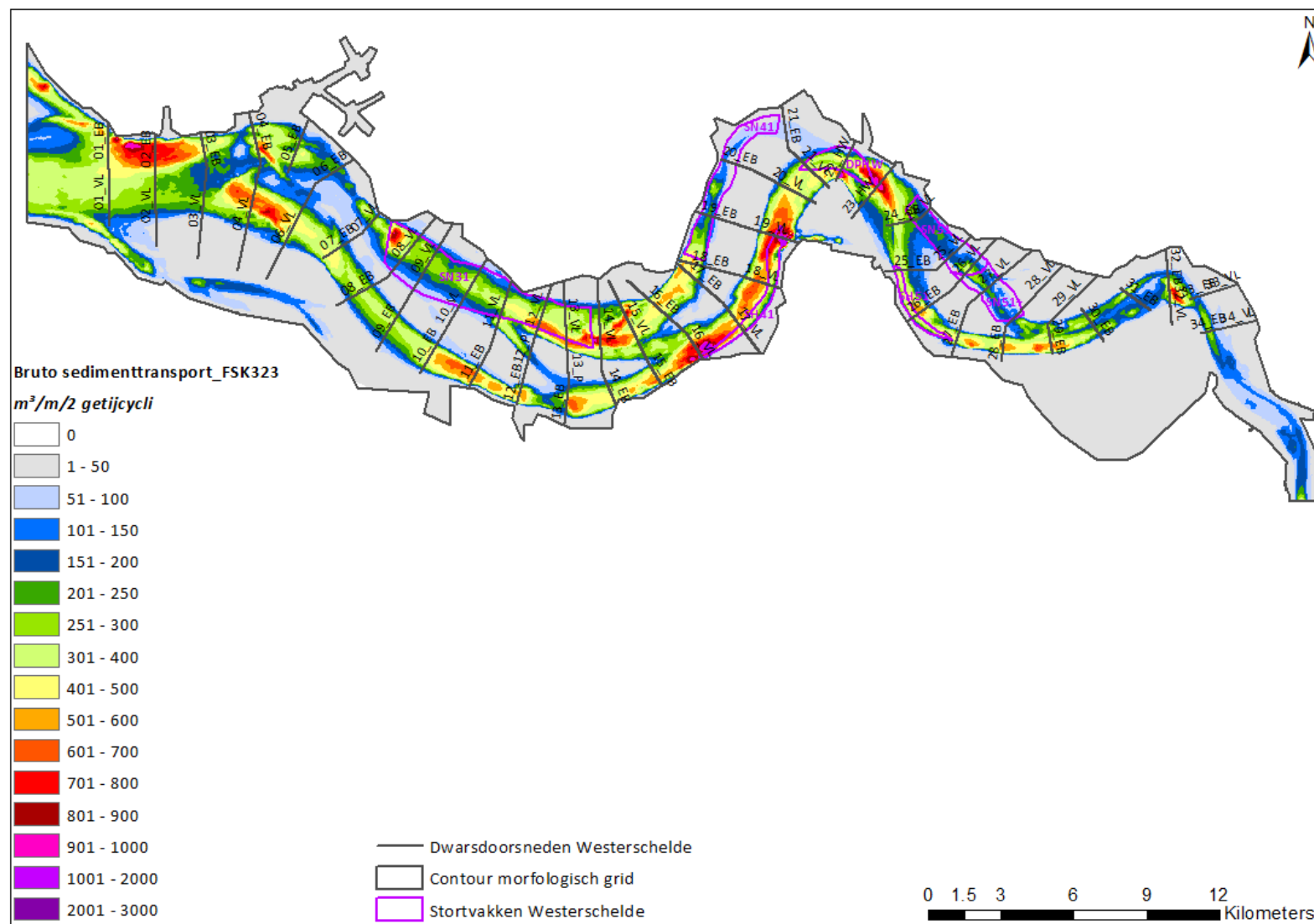
Figuur A 5 – Verhouding (%) bruto bodemsedimenttransport ten opzichte van totaal brutosedimenttransport in de Westerschelde – referentiescenario FSK001



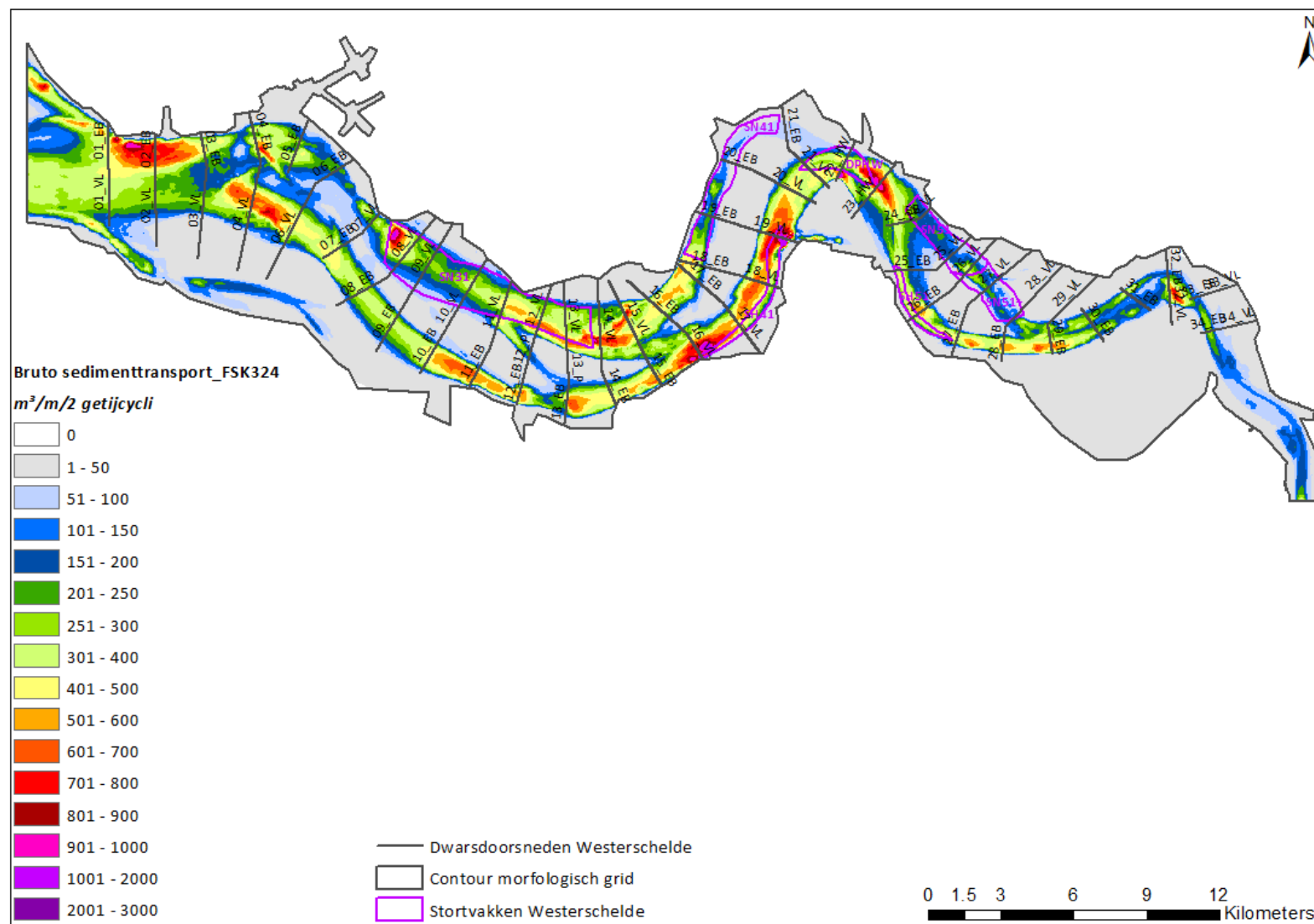
Figuur A 6 – Bruto sedimenttransport in de Westerschelde – scenario FSK322



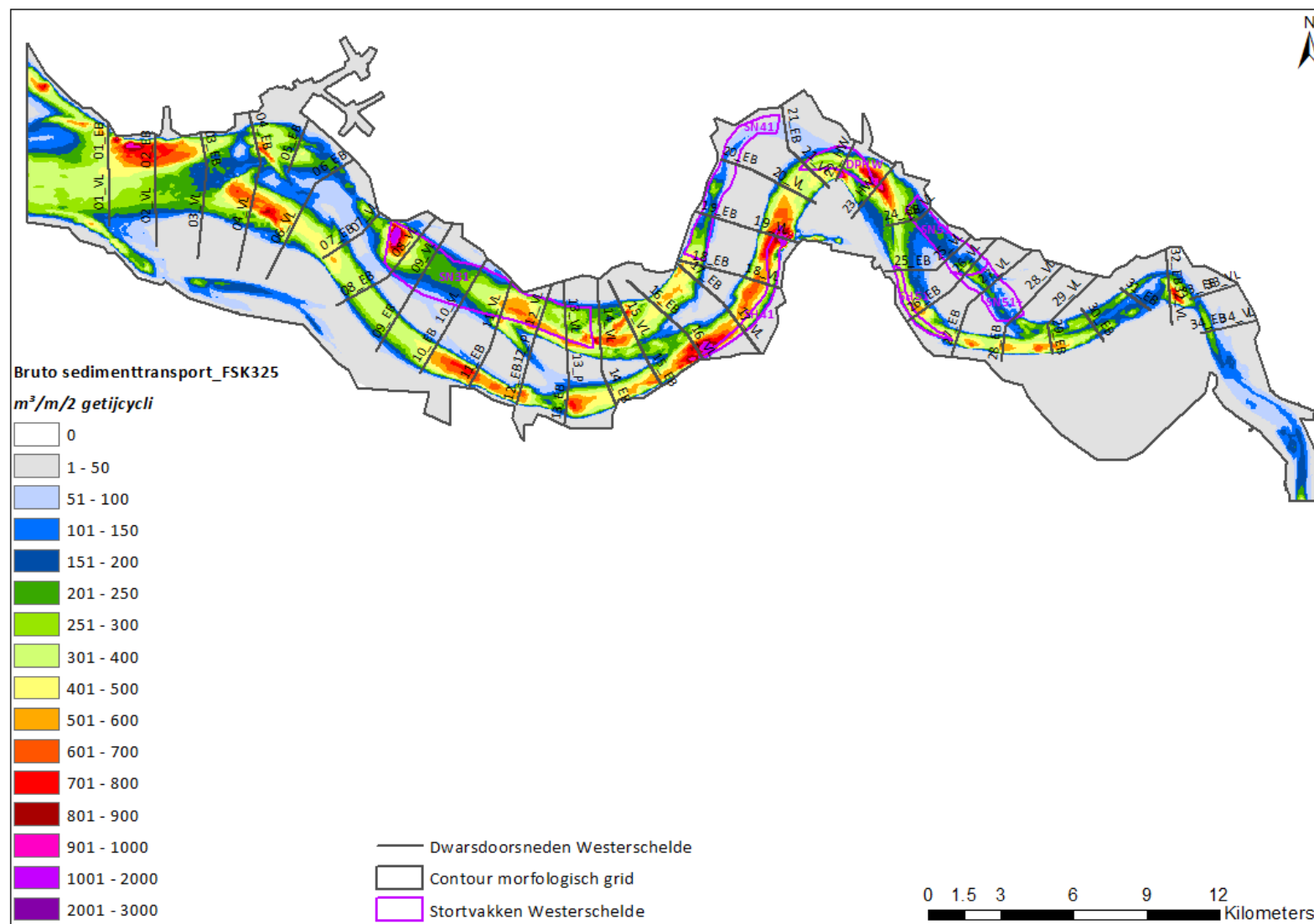
Figuur A 7 – Bruto sedimenttransport in de Westerschelde – scenario FSK323



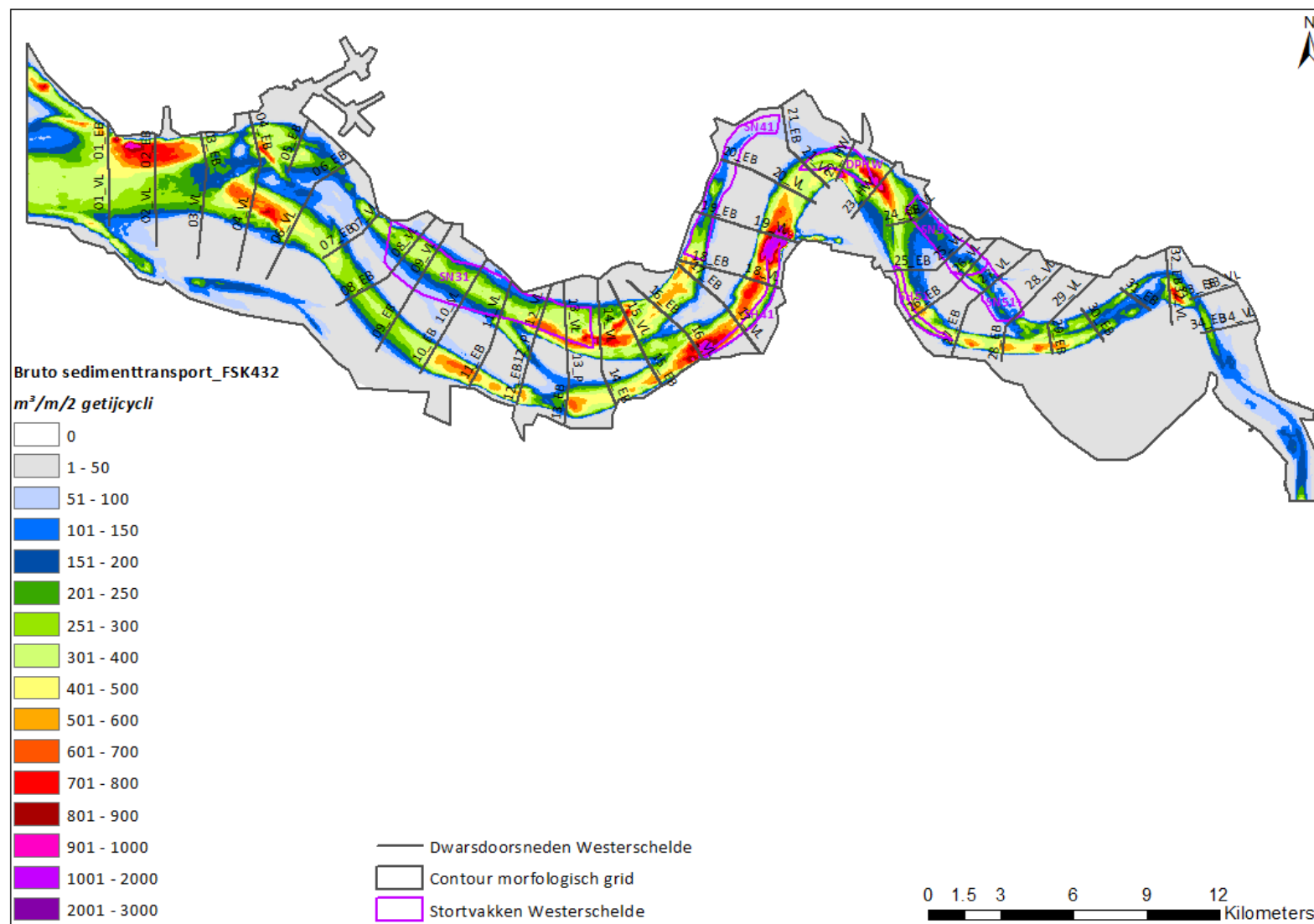
Figuur A 8 – Bruto sedimenttransport in de Westerschelde – scenario FSK324



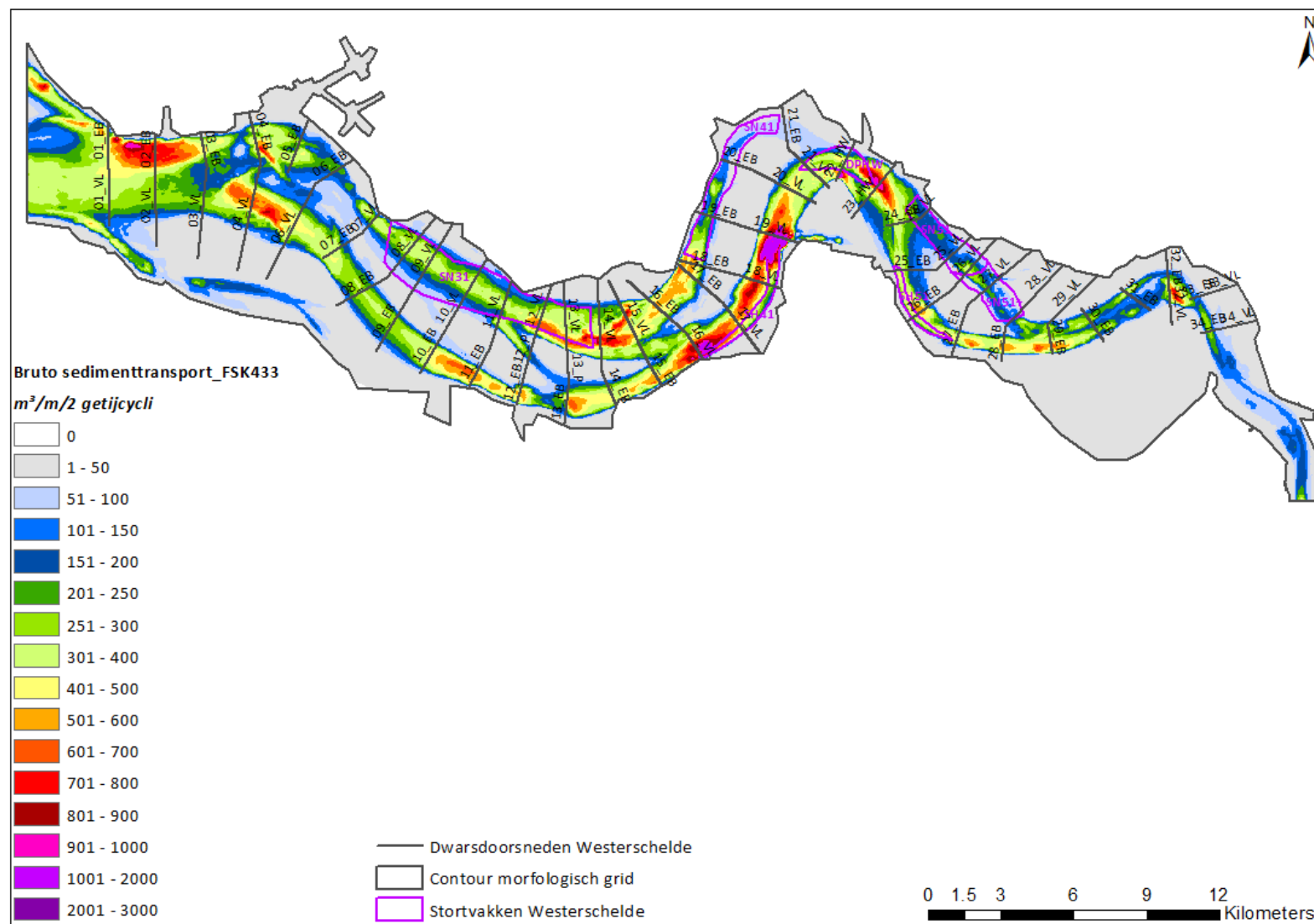
Figuur A 9 – Bruto sedimenttransport in de Westerschelde – scenario FSK325



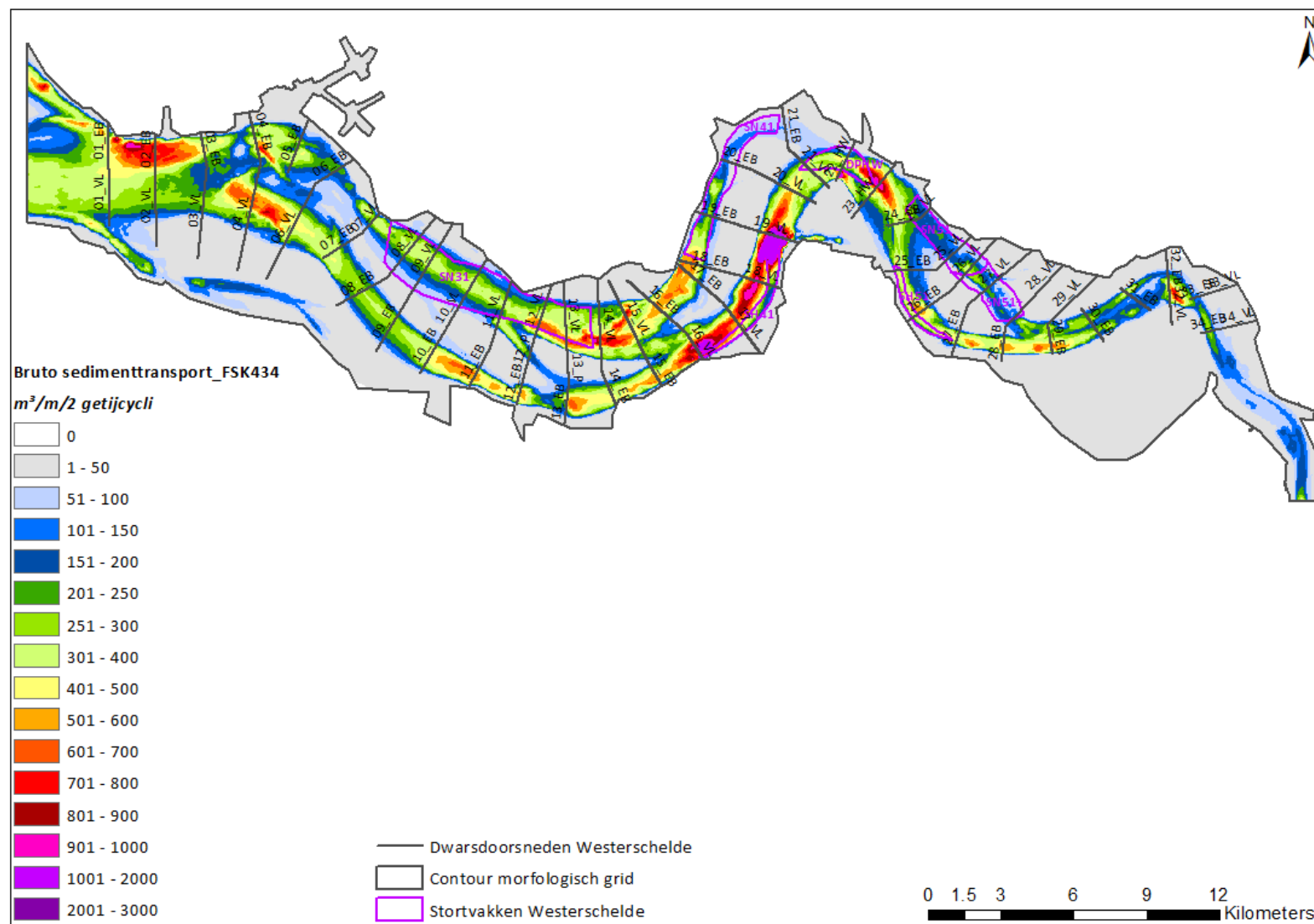
Figuur A 10 – Bruto sedimenttransport in de Westerschelde – scenario FSK432



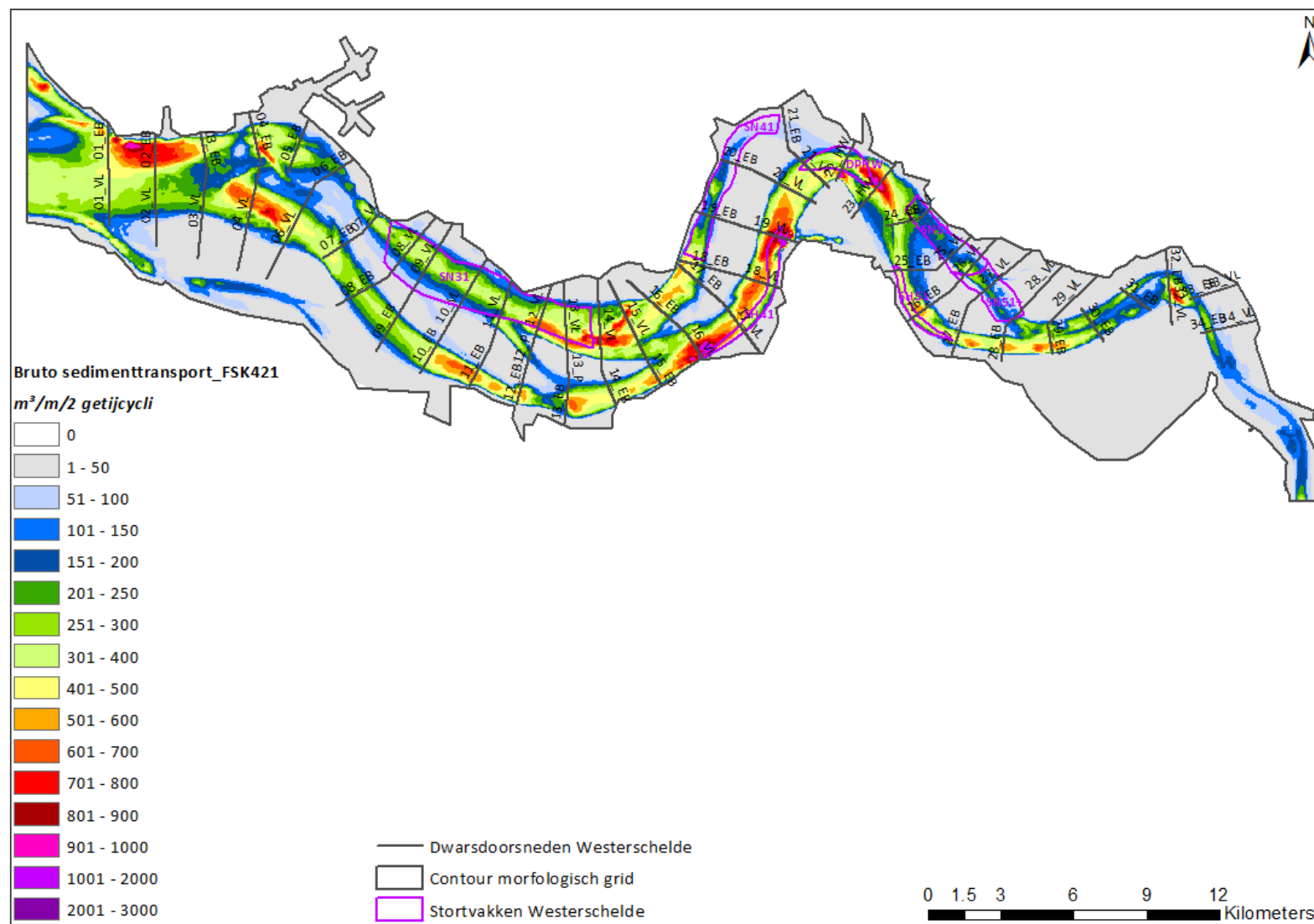
Figuur A 11 – Bruto sedimenttransport in de Westerschelde – scenario FSK433



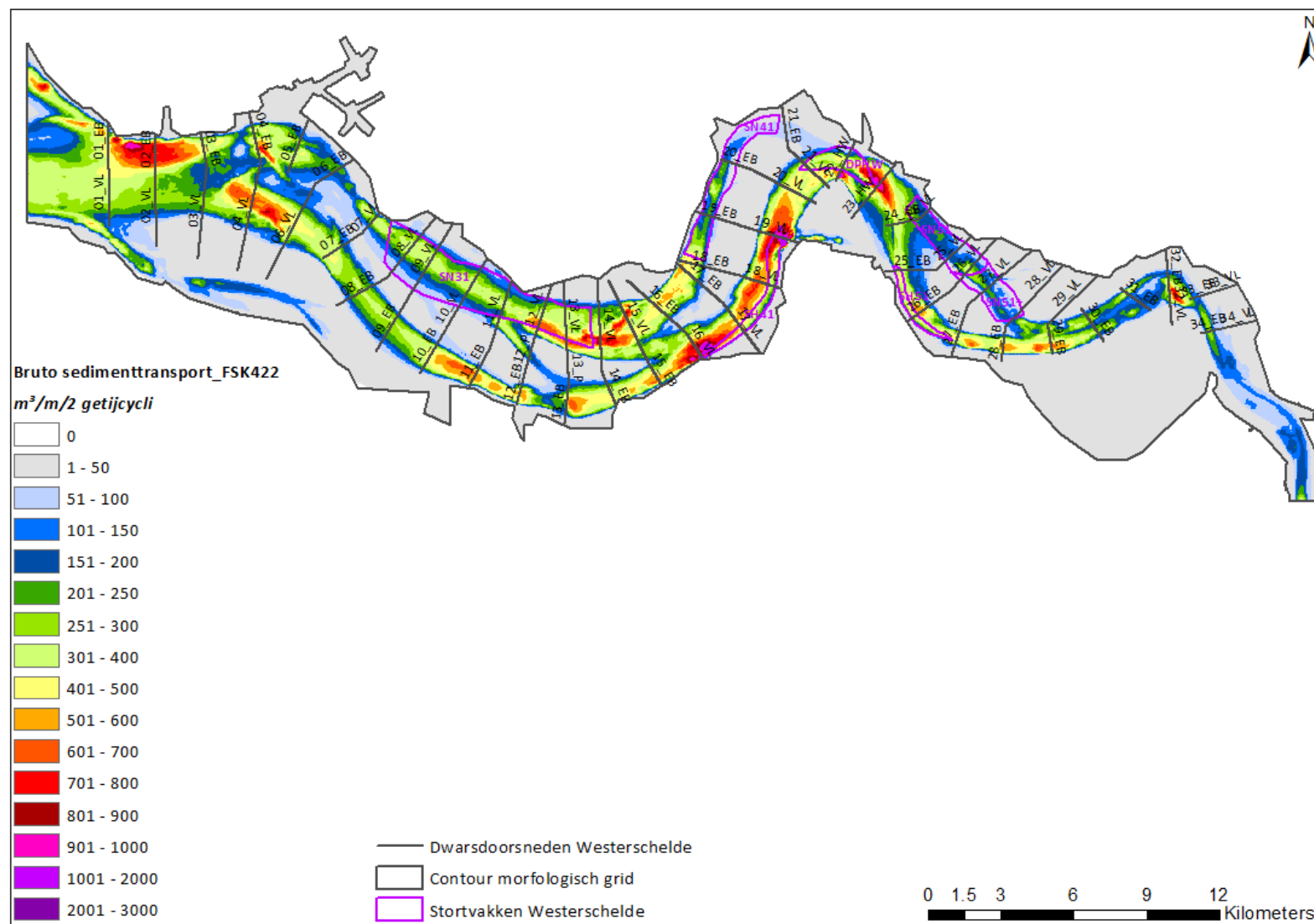
Figuur A 12 – Bruto sedimenttransport in de Westerschelde – scenario FSK434



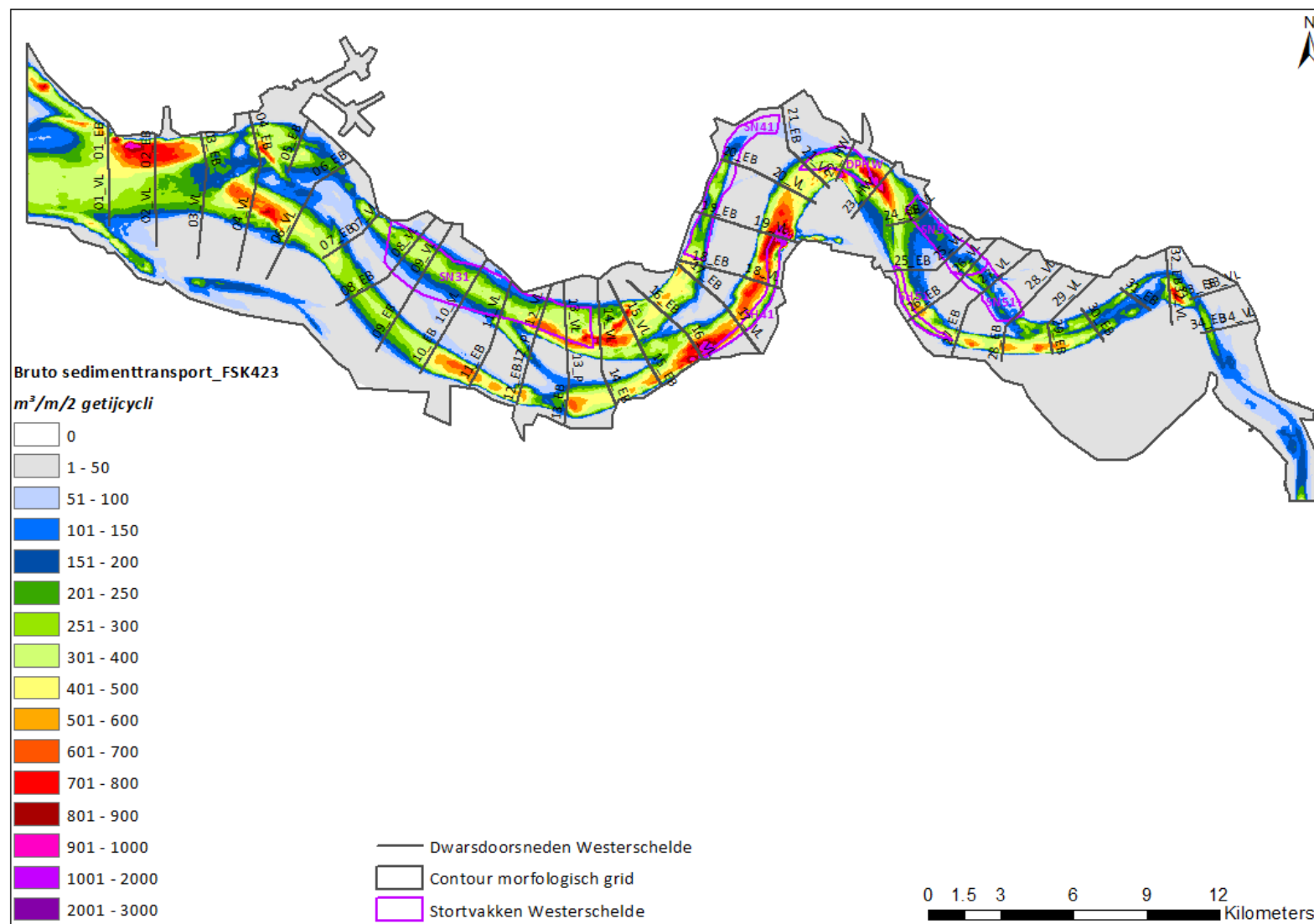
Figuur A 13 – Bruto sedimenttransport in de Westerschelde – scenario FSK421



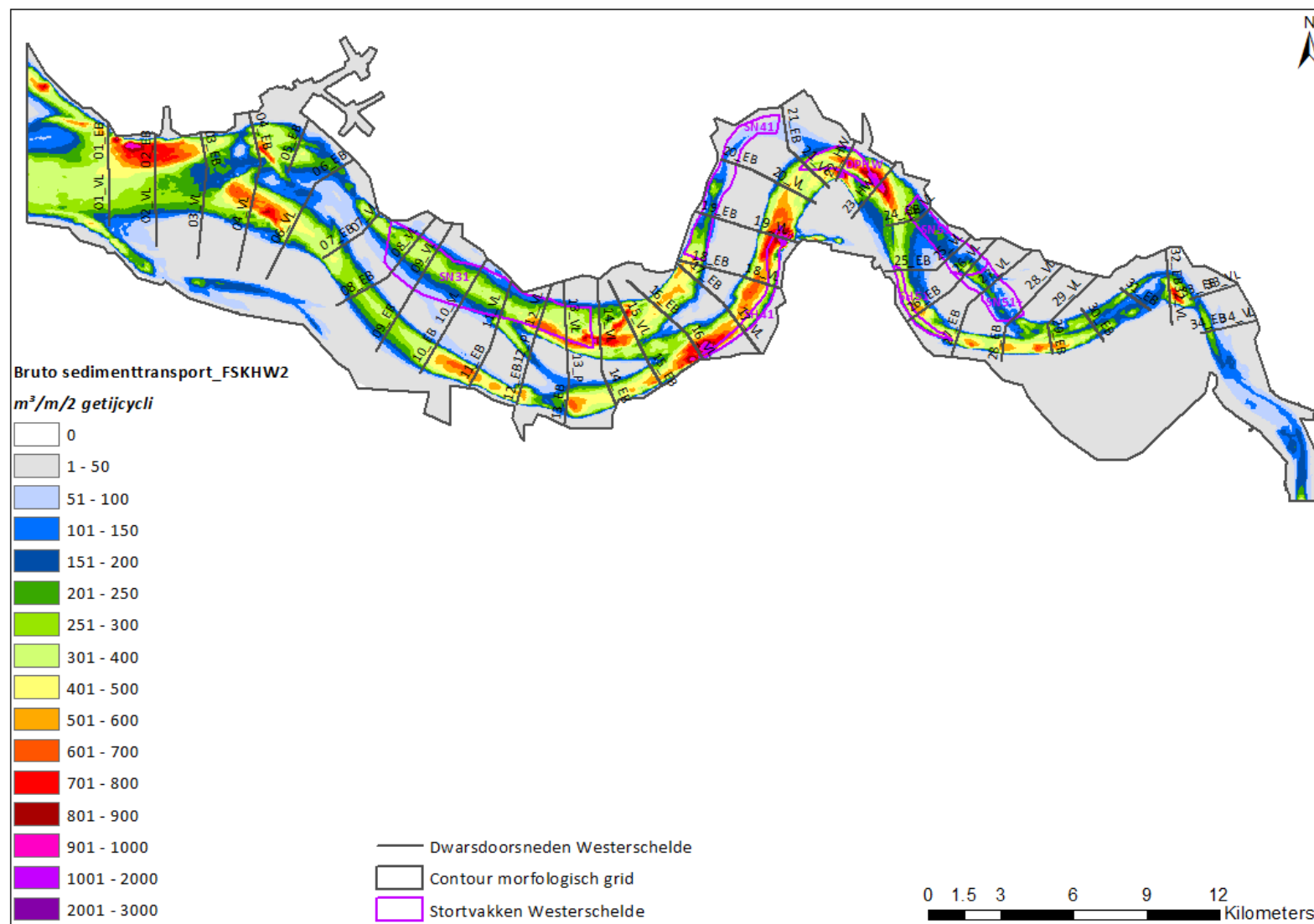
Figuur A 14 – Bruto sedimenttransport in de Westerschelde – scenario FSK422



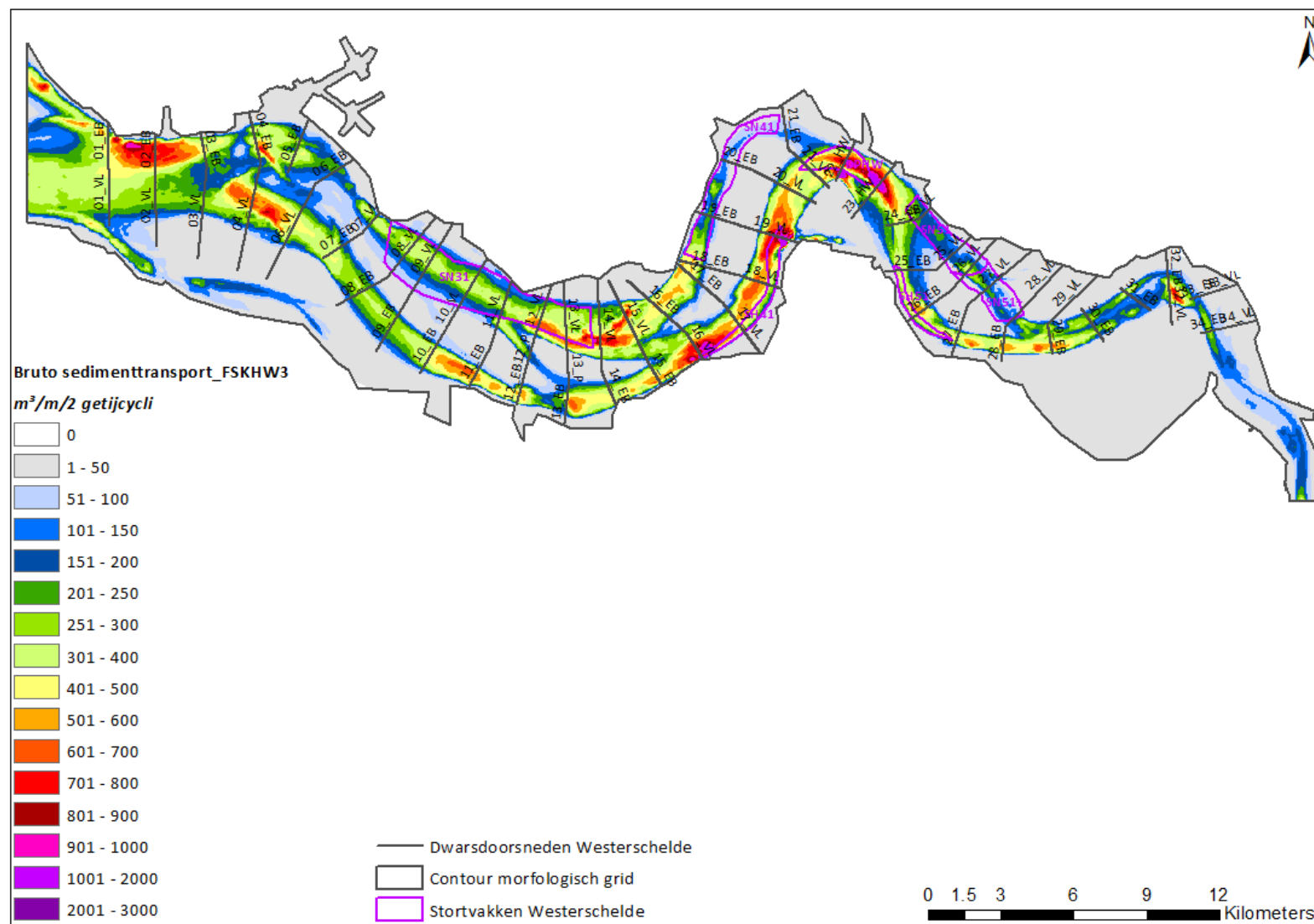
Figuur A 15 – Bruto sedimenttransport in de Westerschelde – scenario FSK423



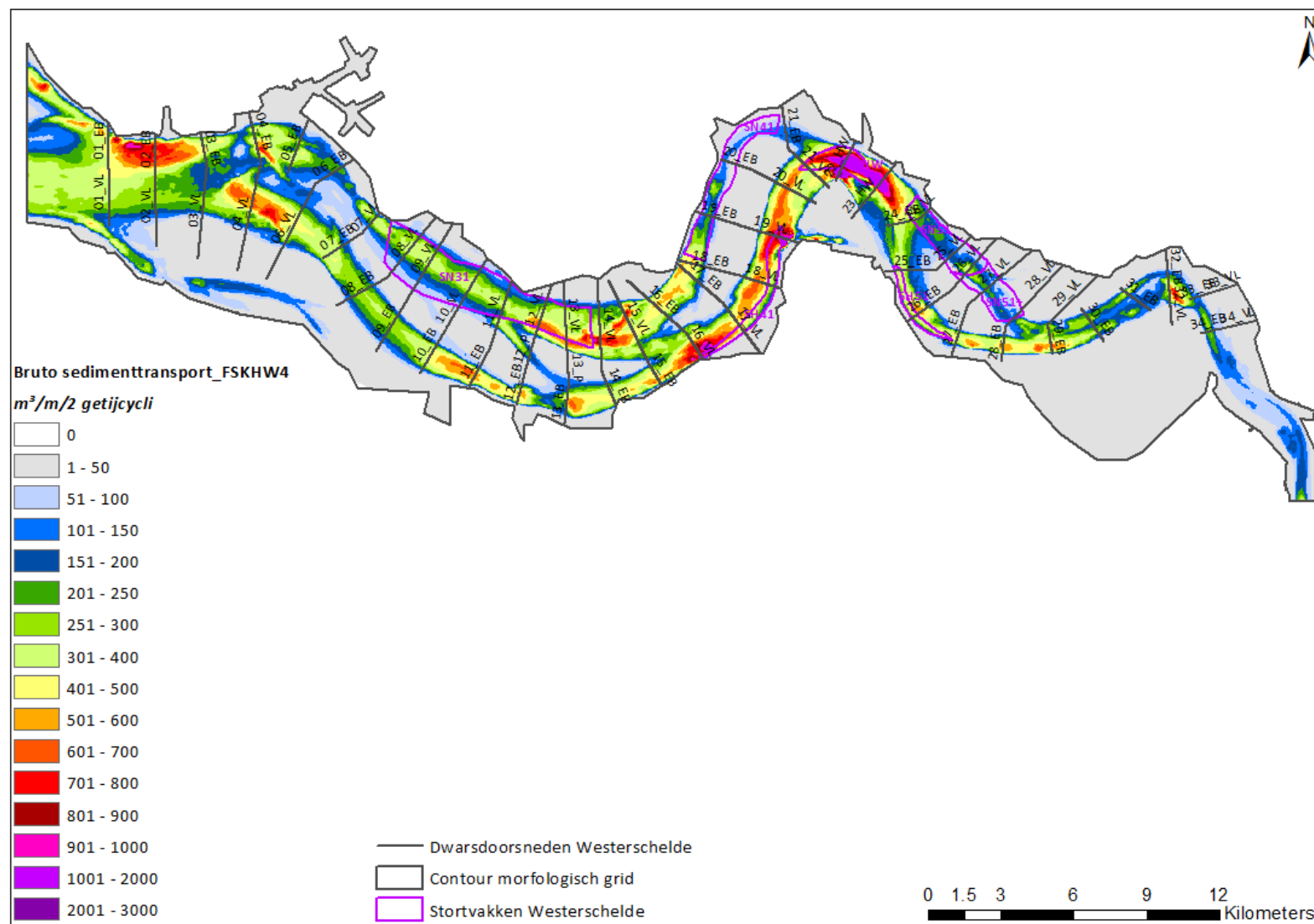
Figuur A 16 – Bruto sedimenttransport in de Westerschelde – scenario FSKHW2



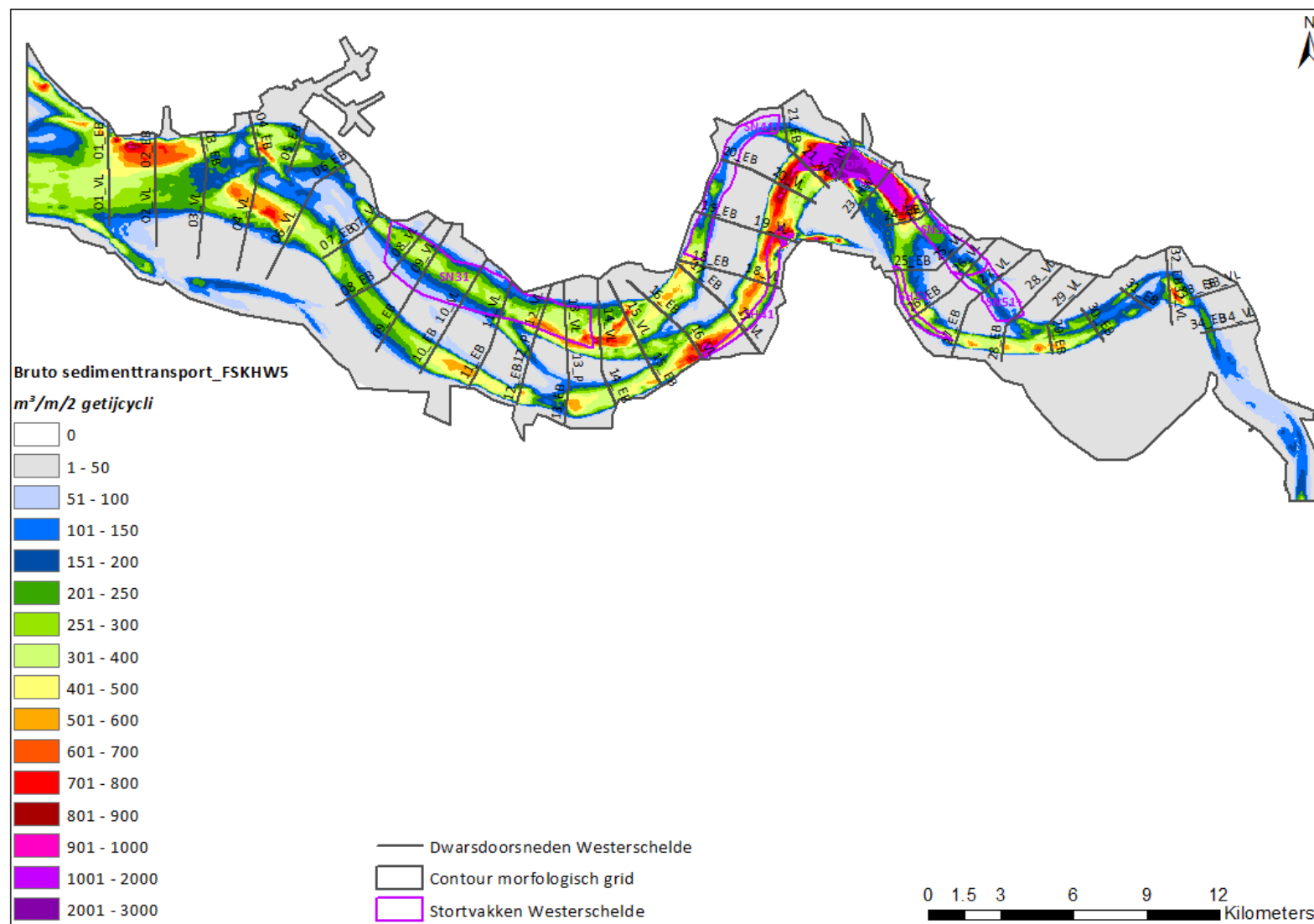
Figuur A 17 – Bruto sedimenttransport in de Westerschelde – scenario FSKHW3



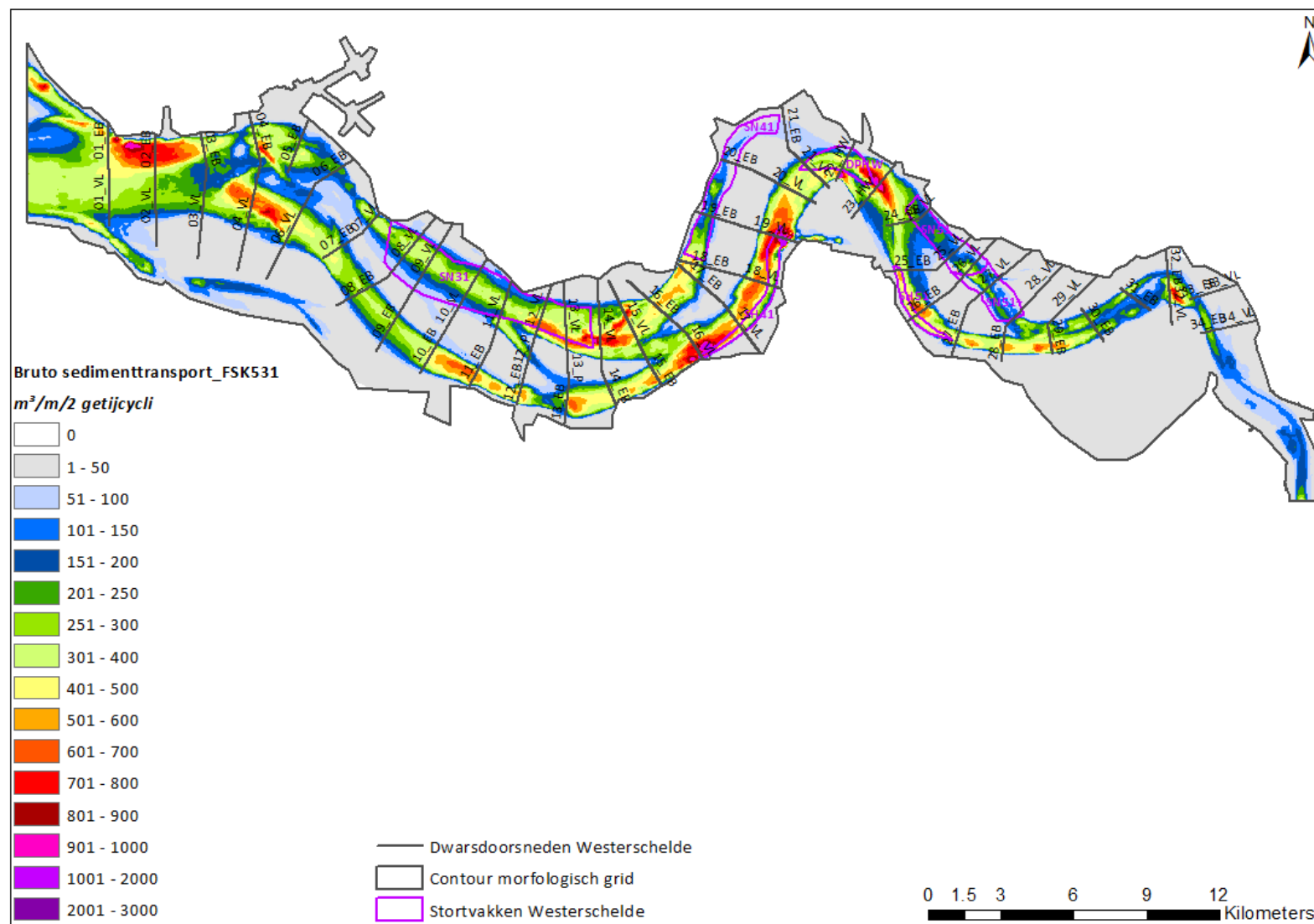
Figuur A 18 – Bruto sedimenttransport in de Westerschelde – scenario FSKHW4



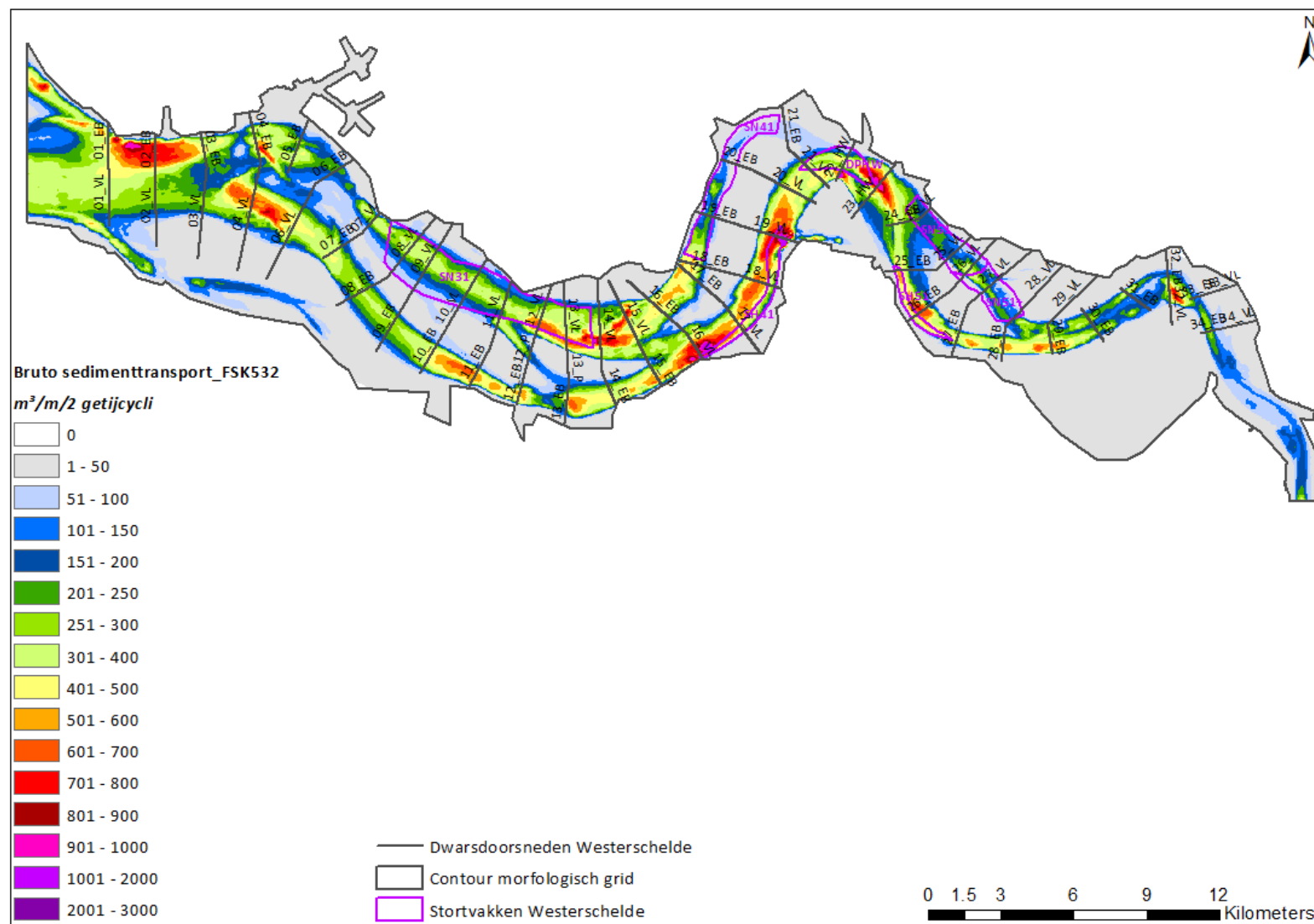
Figuur A 19 – Bruto sedimenttransport in de Westerschelde – scenario FSKHW5



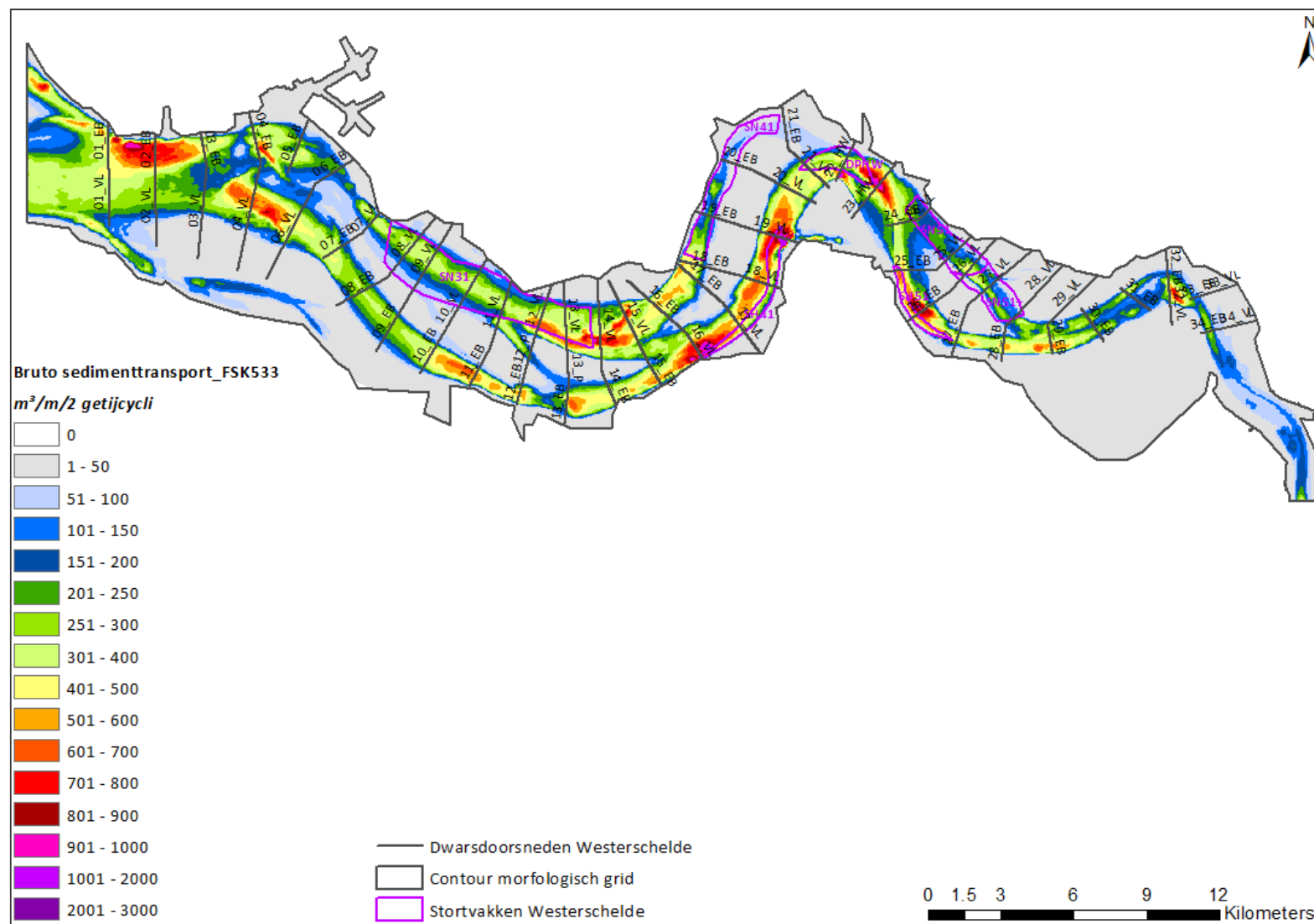
Figuur A 20 – Bruto sedimenttransport in de Westerschelde – scenario FSK531



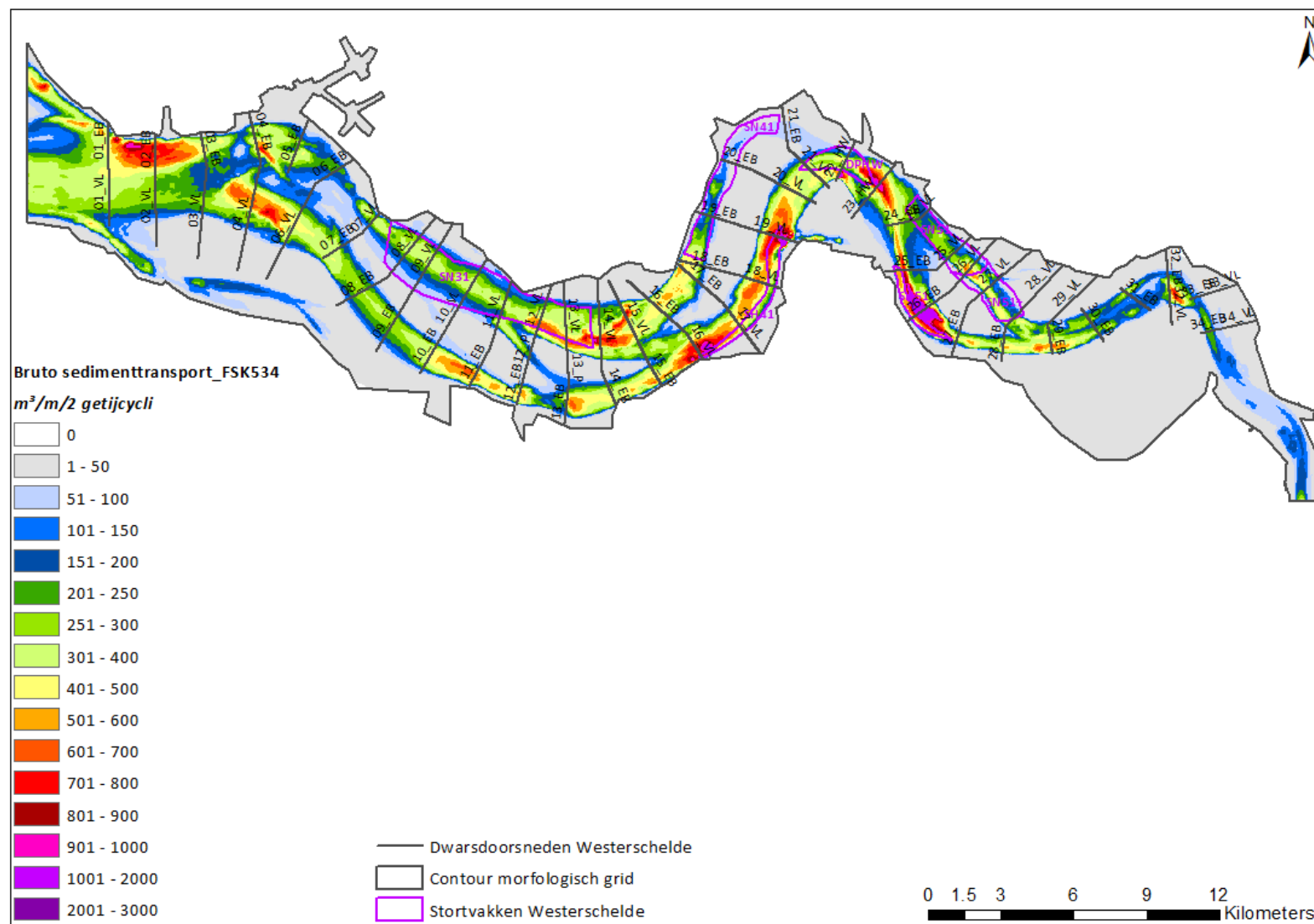
Figuur A 21 – Bruto sedimenttransport in de Westerschelde – scenario FSK532



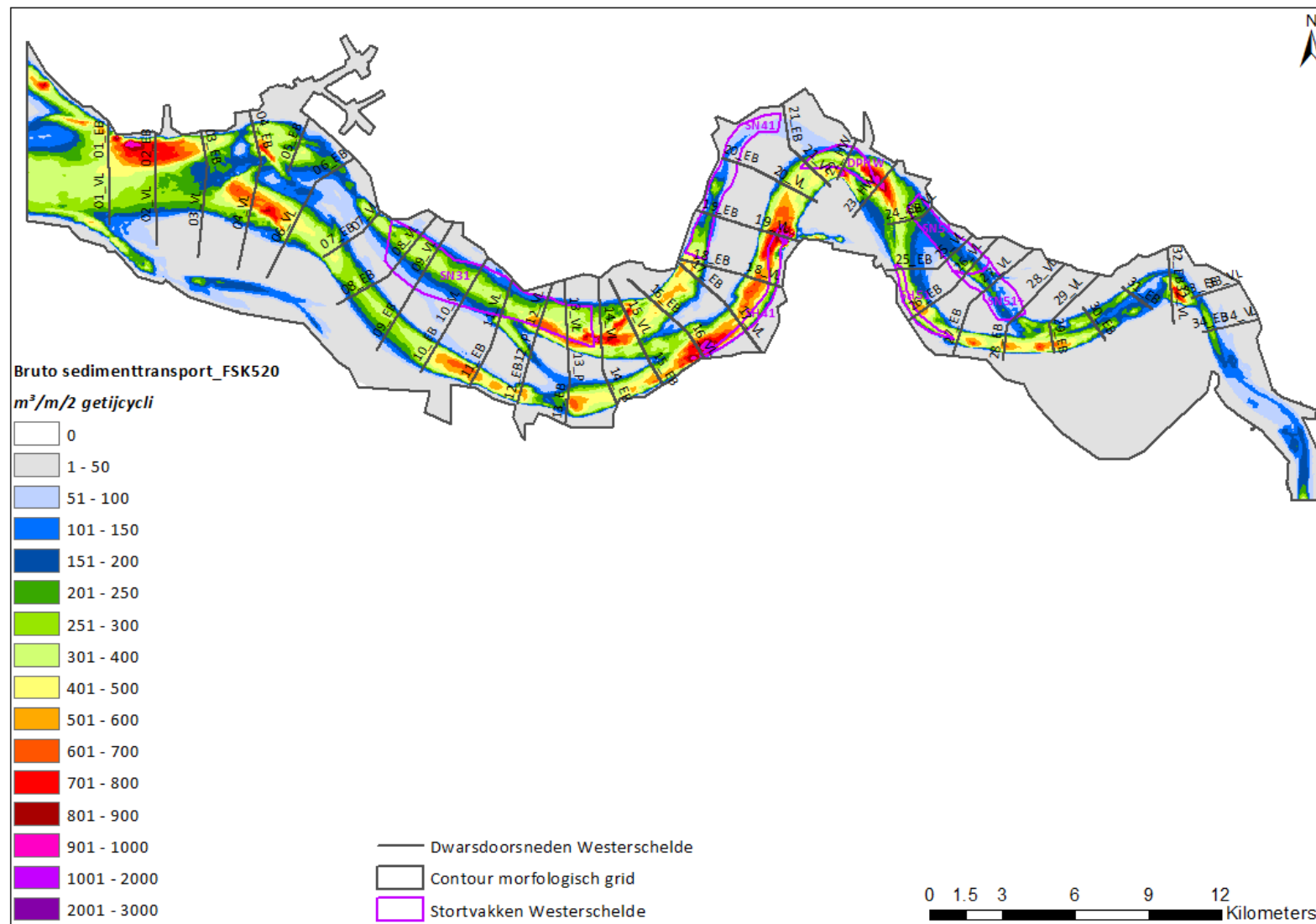
Figuur A 22 – Bruto sedimenttransport in de Westerschelde – scenario FSK533



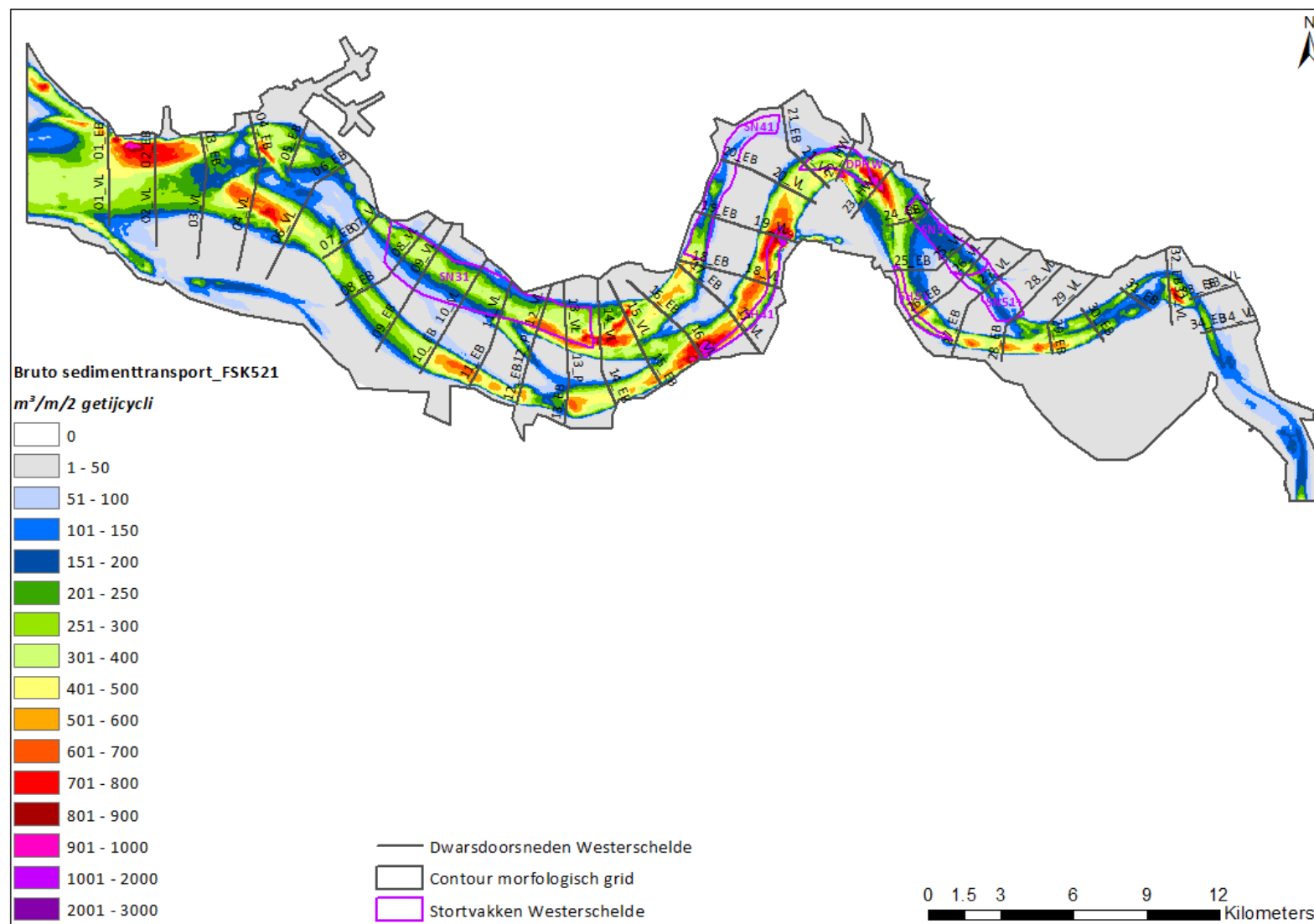
Figuur A 23 – Bruto sedimenttransport in de Westerschelde – scenario FSK534



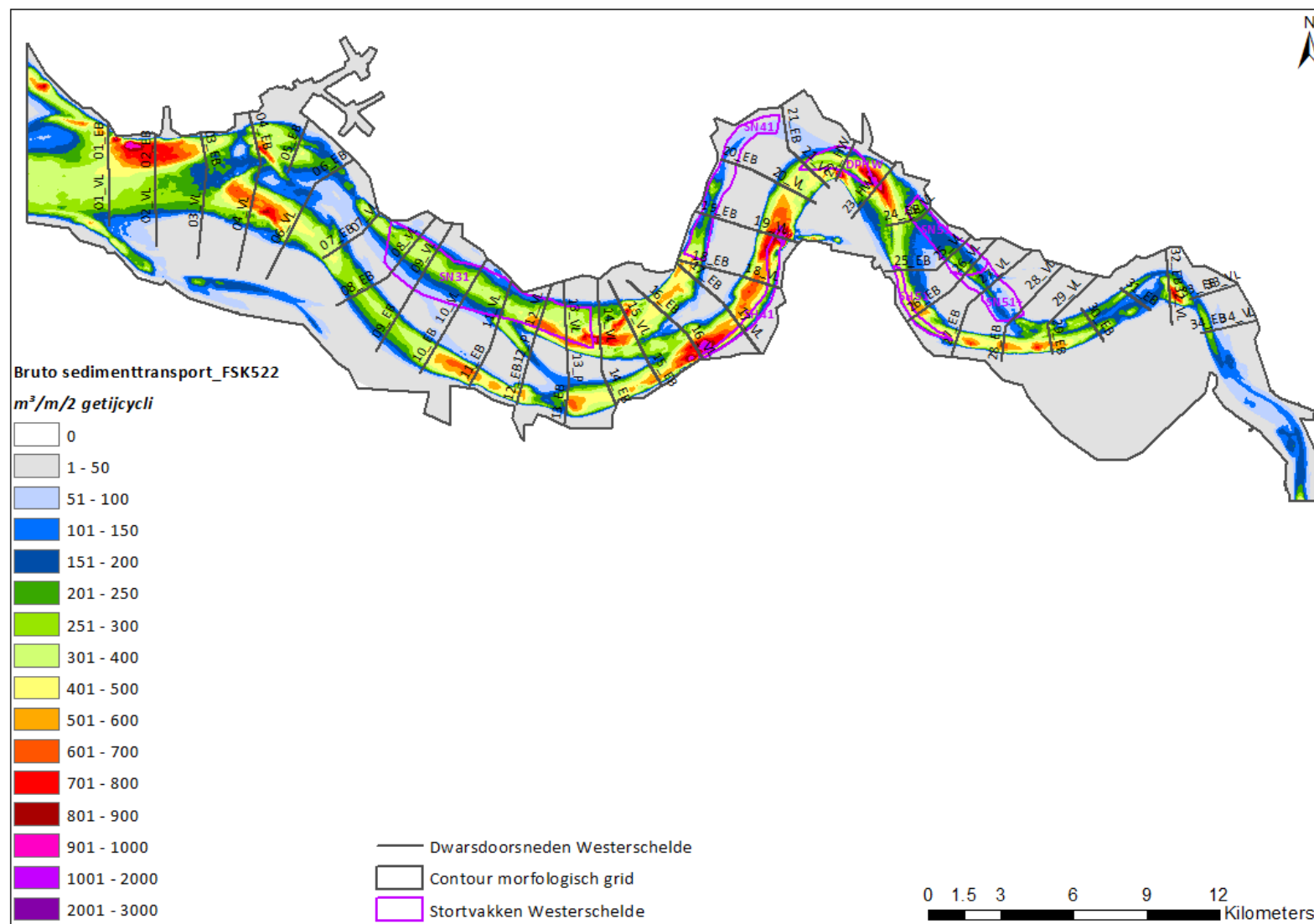
Figuur A 24 – Bruto sedimenttransport in de Westerschelde – scenario FSK520



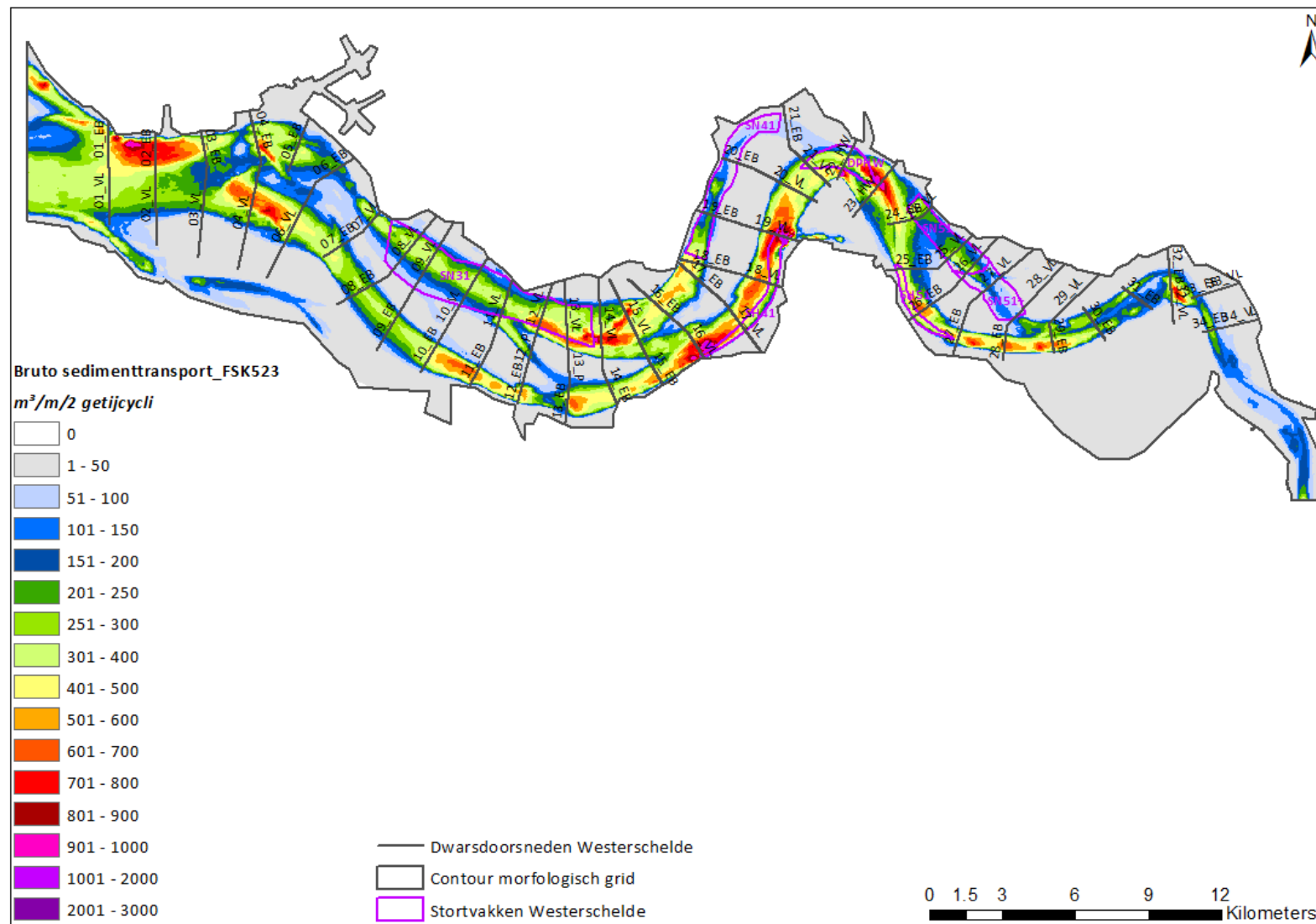
Figuur A 25 – Bruto sedimenttransport in de Westerschelde – scenario FSK521



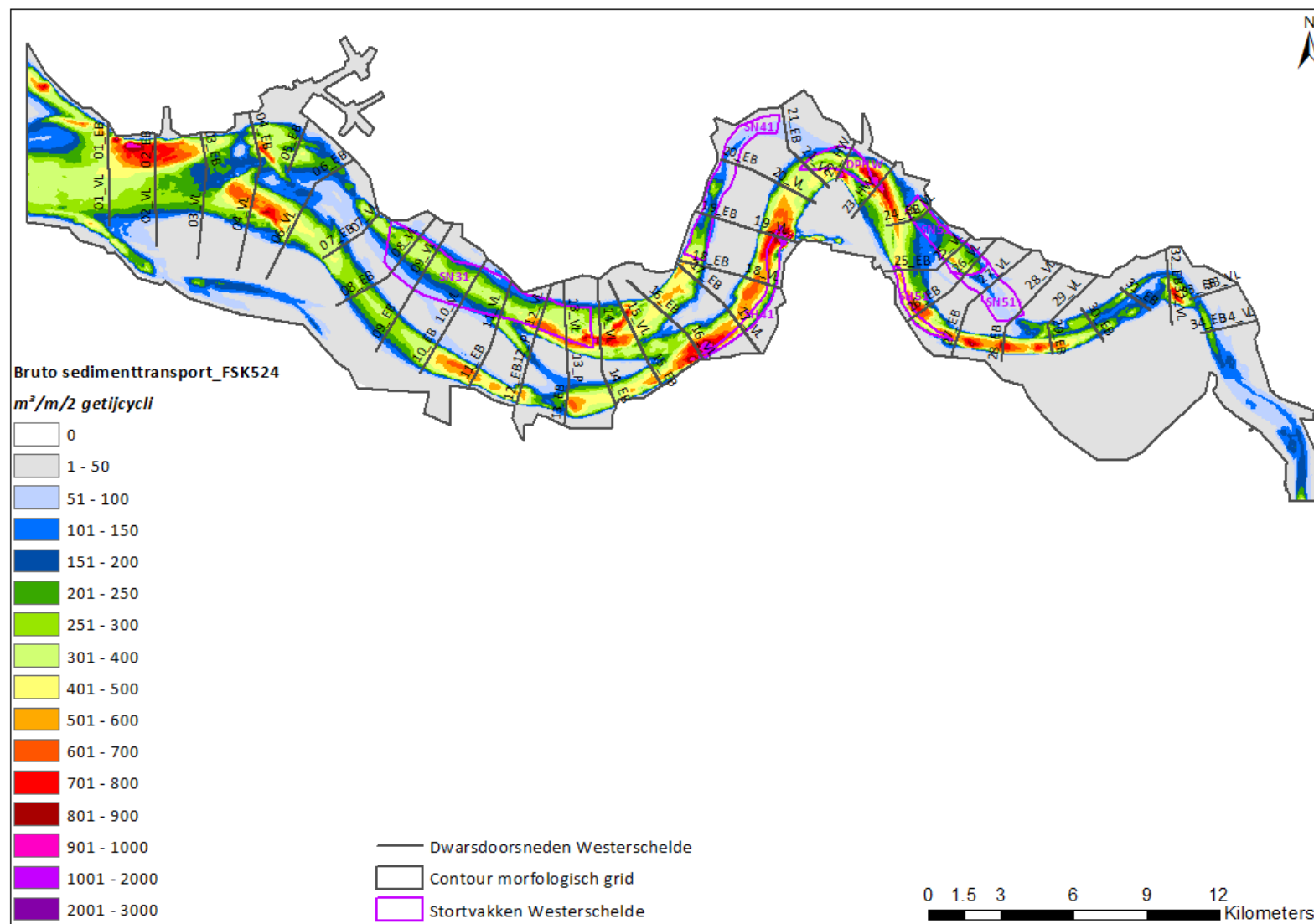
Figuur A 26 – Bruto sedimenttransport in de Westerschelde – scenario FSK522



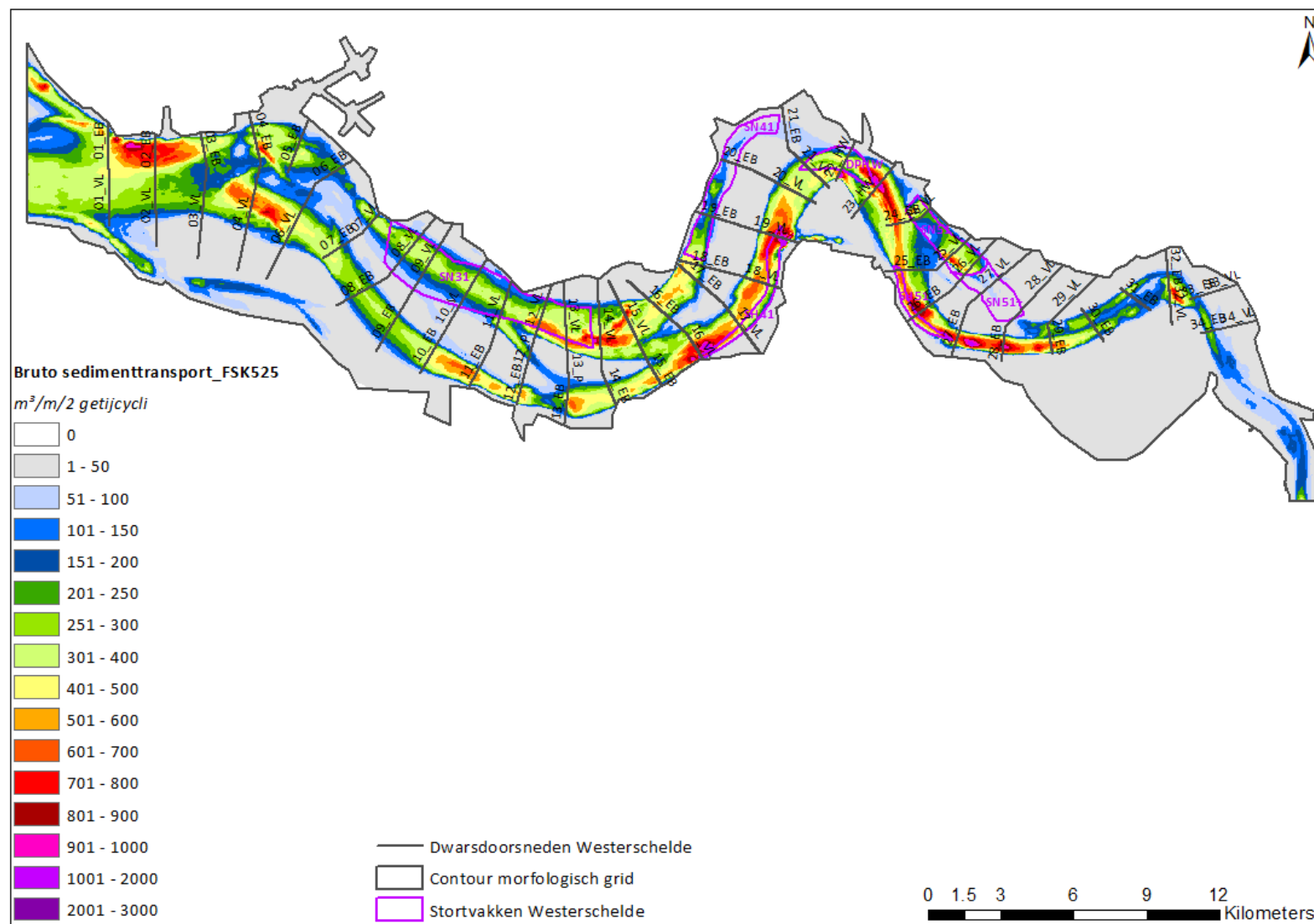
Figuur A 27 – Bruto sedimenttransport in de Westerschelde – scenario FSK523



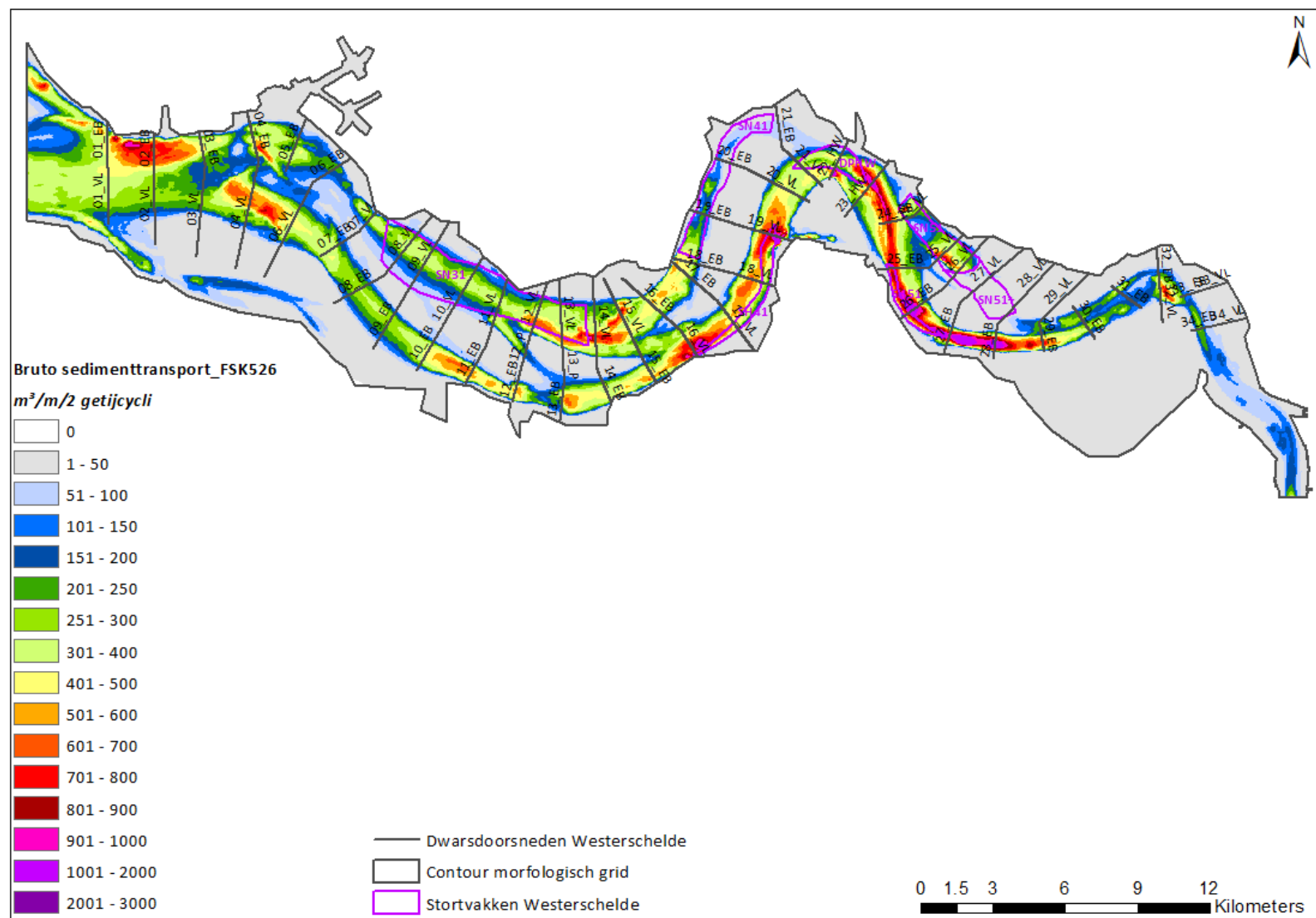
Figuur A 28 – Bruto sedimenttransport in de Westerschelde – scenario FSK524



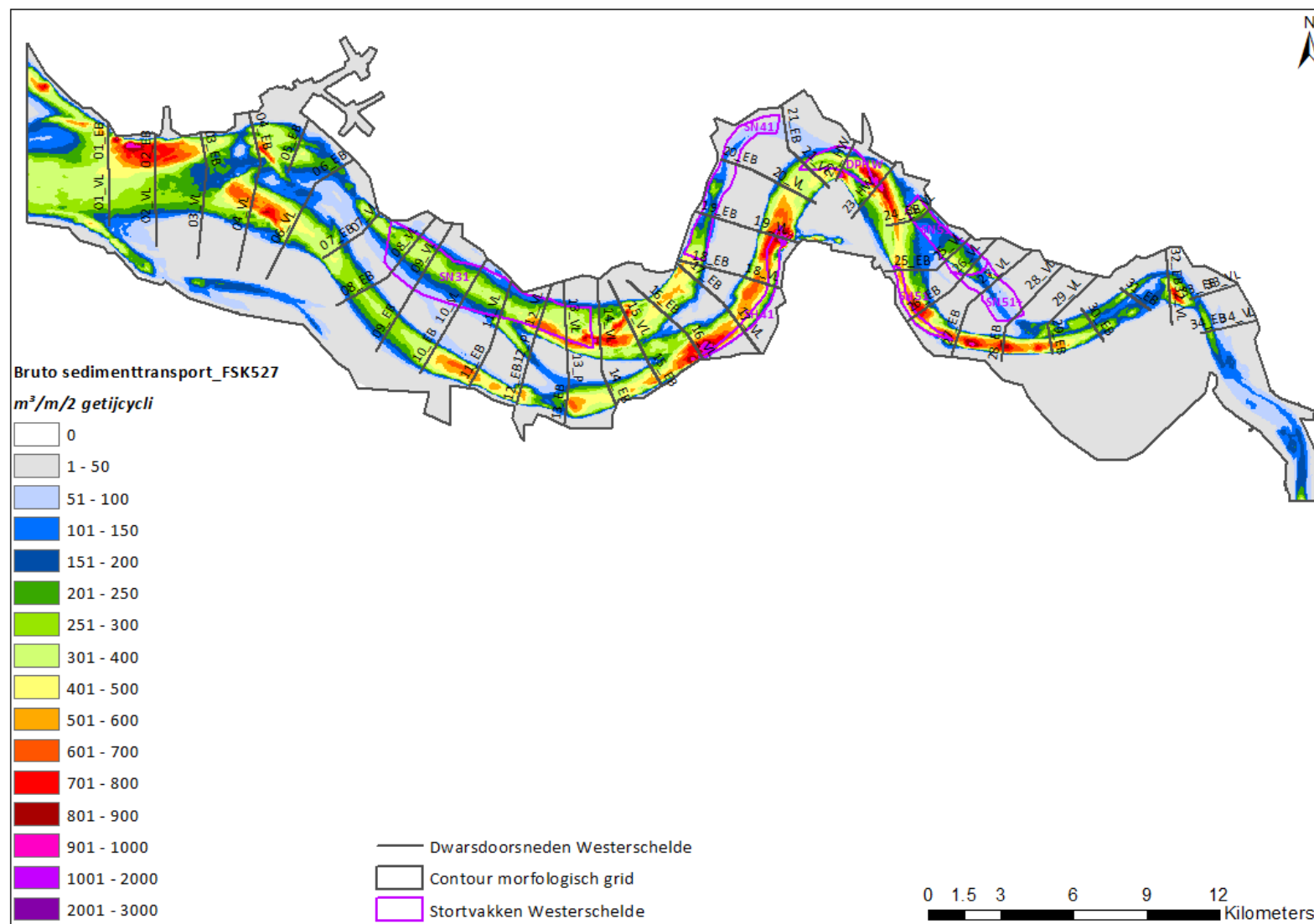
Figuur A 29 – Bruto sedimenttransport in de Westerschelde – scenario FSK525



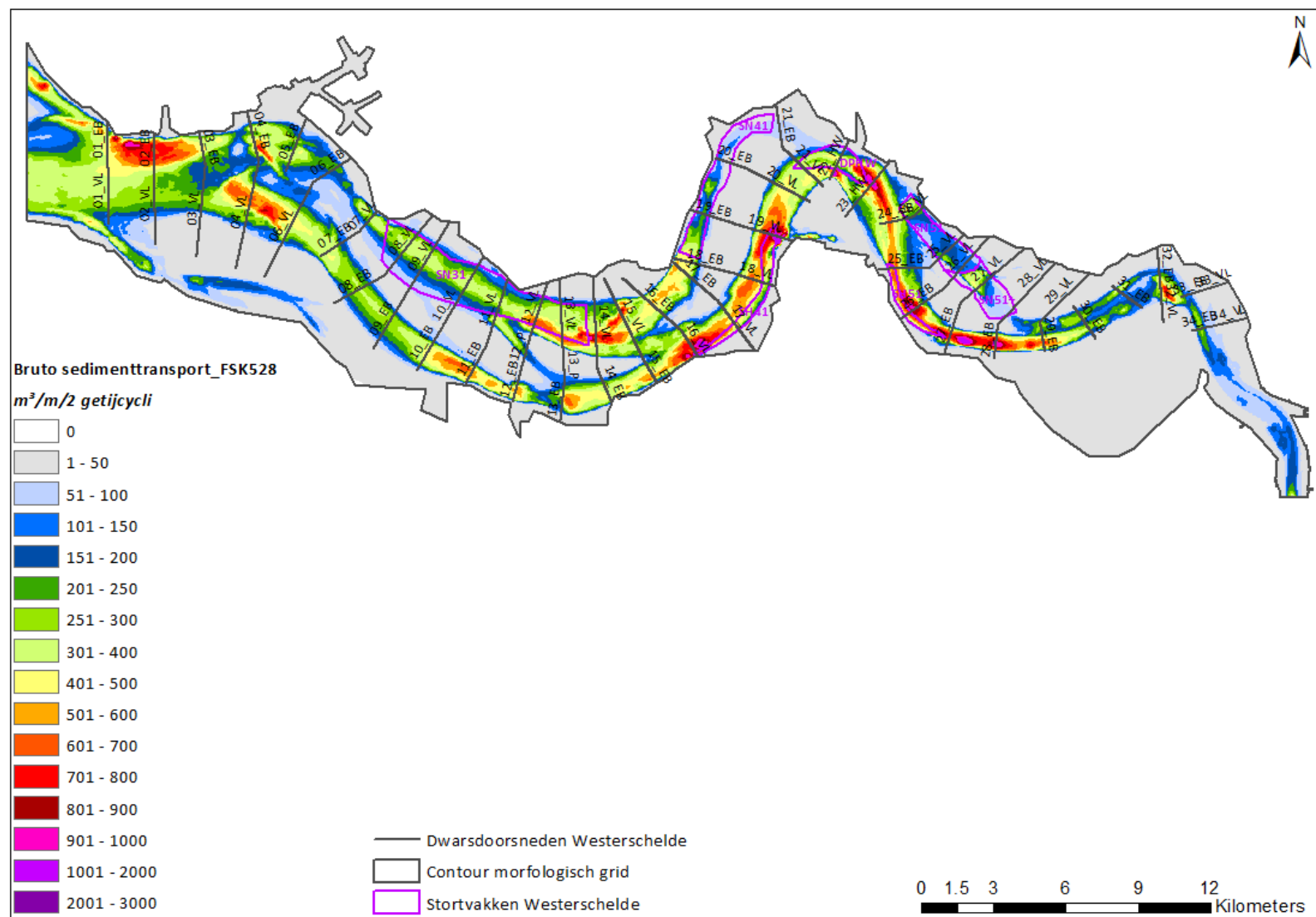
Figuur A 30 – Bruto sedimenttransport in de Westerschelde – scenario FSK526



Figuur A 31 – Bruto sedimenttransport in de Westerschelde – scenario FSK527

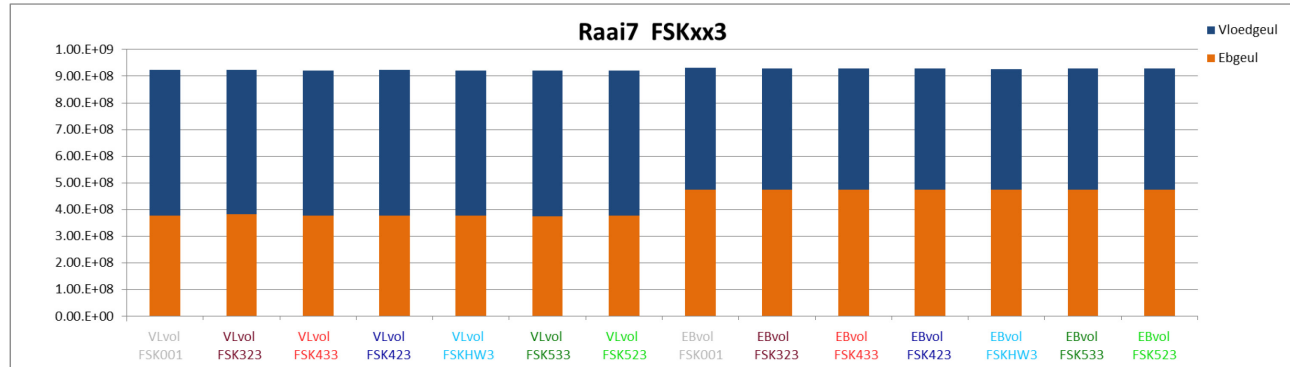


Figuur A 32 – Bruto sedimenttransport in de Westerschelde – scenario FSK528



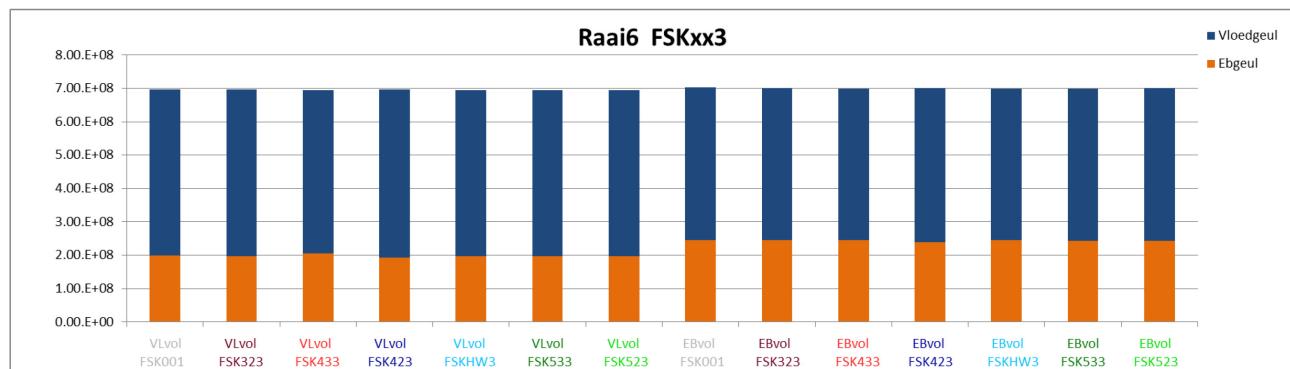
BIJLAGE B - Figuren eb- en vloedvolumes

Figuur B 1 – Vloed- en ebvolumes in vloed- en ebgeul ter hoogte van de raai 7 voor scenario's met storting 4 Mm³

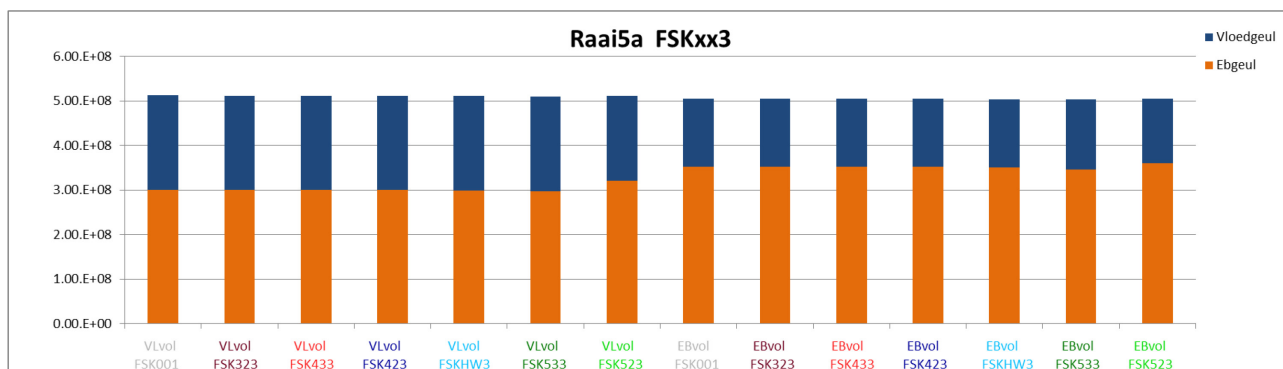


Raai7		VLOEDVOLUME							EBVOLUME						
		FSK001	FSK323	FSK433	FSK423	FSKHW 3	FSK533	FSK523	FSK001	FSK323	FSK433	FSK423	FSKHW 3	FSK533	FSK523
TOTAAL	% tov FSK001	100.0	99.9	99.7	99.9	99.7	99.7	99.8	100.0	99.9	99.8	99.9	99.7	99.7	99.8
VLOED- GEUL	% tov FSK001	100.0	99.0	99.8	99.9	99.7	99.7	99.8	100.0	99.9	99.9	99.8	99.7	99.7	99.8
	% tov totaal	59.1	58.6	59.1	59.1	59.1	59.1	59.1	48.9	48.9	48.9	48.8	48.9	48.9	48.9
EBGEUL	% tov FSK001	100.0	101.2	99.7	99.9	99.6	99.6	99.7	100.0	99.9	99.7	100.0	99.6	99.6	99.8
	% tov totaal	40.9	41.4	40.9	40.9	40.9	40.9	40.9	51.1	51.1	51.1	51.2	51.1	51.1	51.1

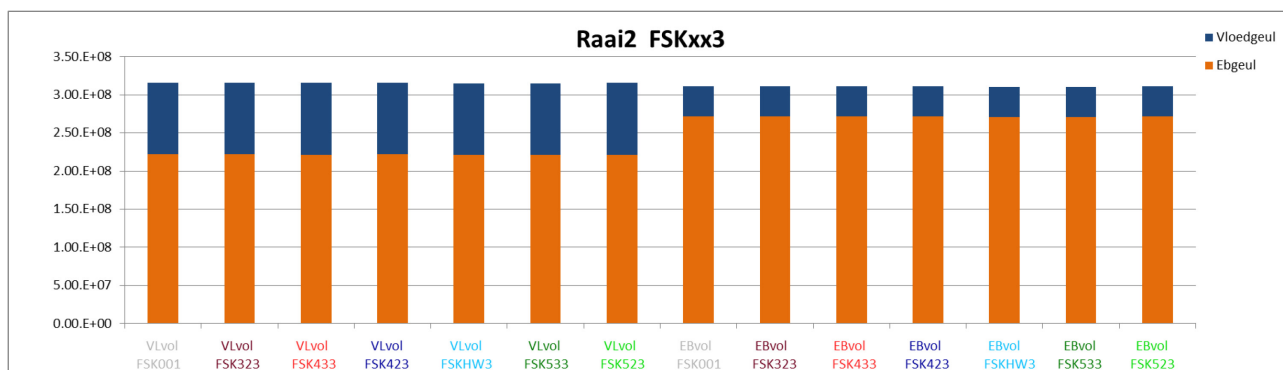
Figuur B 2 – Vloed- en ebvolumes in vloed- en ebgeul ter hoogte van de raai 6 voor scenario's met storting 4 Mm³



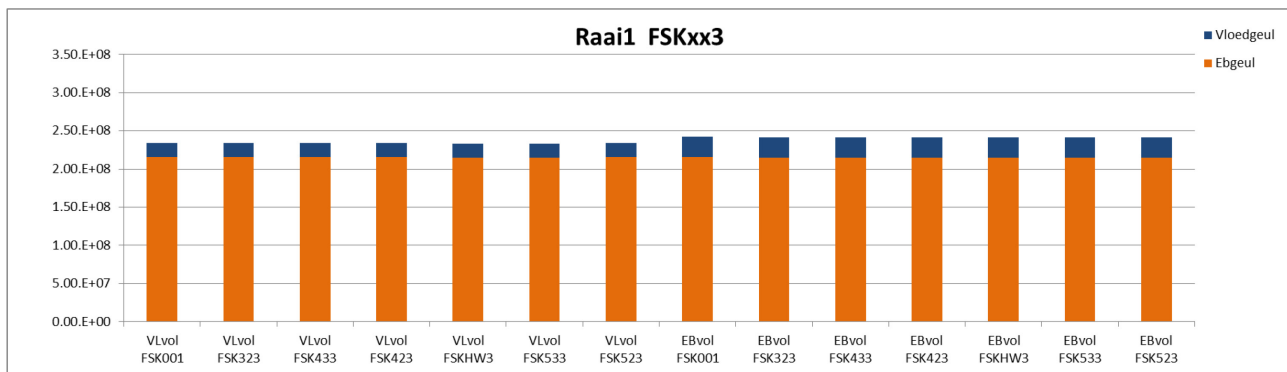
Raai6		VLOEDVOLUME							EBVOLUME						
		FSK001	FSK323	FSK433	FSK423	FSKHW 3	FSK533	FSK523	FSK001	FSK323	FSK433	FSK423	FSKHW 3	FSK533	FSK523
TOTAAL	% tov FSK001	100.0	99.9	99.7	99.9	99.6	99.6	99.8	100.0	99.9	99.6	99.9	99.7	99.6	99.8
VLOED- GEUL	% tov FSK001	100.0	99.9	98.2	101.0	99.6	99.6	99.8	100.0	99.9	99.1	101.0	99.5	99.7	99.8
	% tov totaal	71.6	71.6	70.5	72.3	71.6	71.5	71.6	65.2	65.2	64.8	65.9	65.1	65.2	65.2
EBGEUL	% tov FSK001	100.0	99.9	103.5	97.2	99.7	99.7	99.9	100.0	99.9	100.6	97.9	99.9	99.6	99.8
	% tov totaal	28.4	28.4	29.5	27.7	28.4	28.5	28.4	34.8	34.8	35.2	34.1	34.9	34.8	34.8

Figuur B 3 – Vloed- en ebvolumes in vloed- en ebgeul ter hoogte van de raai 5a voor scenario's met storting 4 Mm³

Raai5a		VLOEDVOLUME							EBVOLUME						
		FSK001	FSK323	FSK433	FSK423	FSKHW 3	FSK533	FSK523	FSK001	FSK323	FSK433	FSK423	FSKHW 3	FSK533	FSK523
TOTAAL	% tov FSK001	100.0	99.9	99.8	99.9	99.6	99.6	99.8	100.0	99.9	99.8	99.9	99.6	99.6	100.0
VLOED- GEUL	% tov FSK001	100.0	99.9	99.9	100.0	100.2	100.9	89.8	100.0	99.9	99.9	100.0	100.1	103.1	94.6
	% tov totaal	41.4	41.4	41.4	41.4	41.6	41.9	37.2	30.3	30.3	30.3	30.3	30.4	31.4	28.7
EBGEUL	% tov FSK001	100.0	99.9	99.7	99.9	99.3	98.7	106.8	100.0	99.9	99.8	99.9	99.4	98.1	102.3
	% tov totaal	58.6	58.6	58.6	58.6	58.4	58.1	62.8	69.7	69.7	69.7	69.7	69.6	68.6	71.3

Figuur B 4 – Vloed- en ebvolumes in vloed- en ebgeul ter hoogte van de raai 2 voor scenario's met storting 4 Mm³

Raai2		VLOEDVOLUME							EBVOLUME						
		FSK001	FSK323	FSK433	FSK423	FSKHW 3	FSK533	FSK523	FSK001	FSK323	FSK433	FSK423	FSKHW 3	FSK533	FSK523
TOTAAL	% tov FSK001	100.0	99.9	99.8	99.9	99.7	99.6	99.9	100.0	99.9	99.8	99.9	99.7	99.7	99.9
VLOED- GEUL	% tov FSK001	100.0	99.9	99.8	99.9	99.7	99.6	100.0	100.0	100.0	99.8	100.0	99.5	99.8	100.1
	% tov totaal	29.8	29.8	29.8	29.8	29.8	29.8	29.8	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7
EBGEUL	% tov FSK001	100.0	99.9	99.8	99.9	99.7	99.6	99.8	100.0	99.9	99.8	99.9	99.7	99.7	99.9
	% tov totaal	70.2	70.2	70.2	70.2	70.2	70.2	70.2	87.3	87.3	87.3	87.3	87.3	87.3	87.3

Figuur B 5 – Vloed- en ebvolumes in vloed- en ebgeul ter hoogte van de raai 1 voor scenario's met storting 4 Mm³

Raai1		VLOEDVOLUME							EBVOLUME						
		FSK001	FSK323	FSK433	FSK423	FSKHW 3	FSK533	FSK523	FSK001	FSK323	FSK433	FSK423	FSKHW 3	FSK533	FSK523
TOTAAL	% tov FSK001	100.0	99.9	99.8	99.9	99.7	99.7	99.9	100.0	99.9	99.9	99.9	99.7	99.7	99.9
VLOED- GEUL	% tov FSK001	100.0	99.9	99.8	99.9	99.6	99.8	99.8	100.0	100.0	99.9	100.0	99.8	99.7	100.0
	% tov totaal	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.9	7.8	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0
EBGEUL	% tov FSK001	100.0	99.9	99.8	99.9	99.7	99.7	99.9	100.0	99.9	99.8	99.9	99.7	99.7	99.9
	% tov totaal	92.2	92.2	92.2	92.2	92.2	92.1	92.2	89.0	89.0	89.0	89.0	89.0	89.0	89.0

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