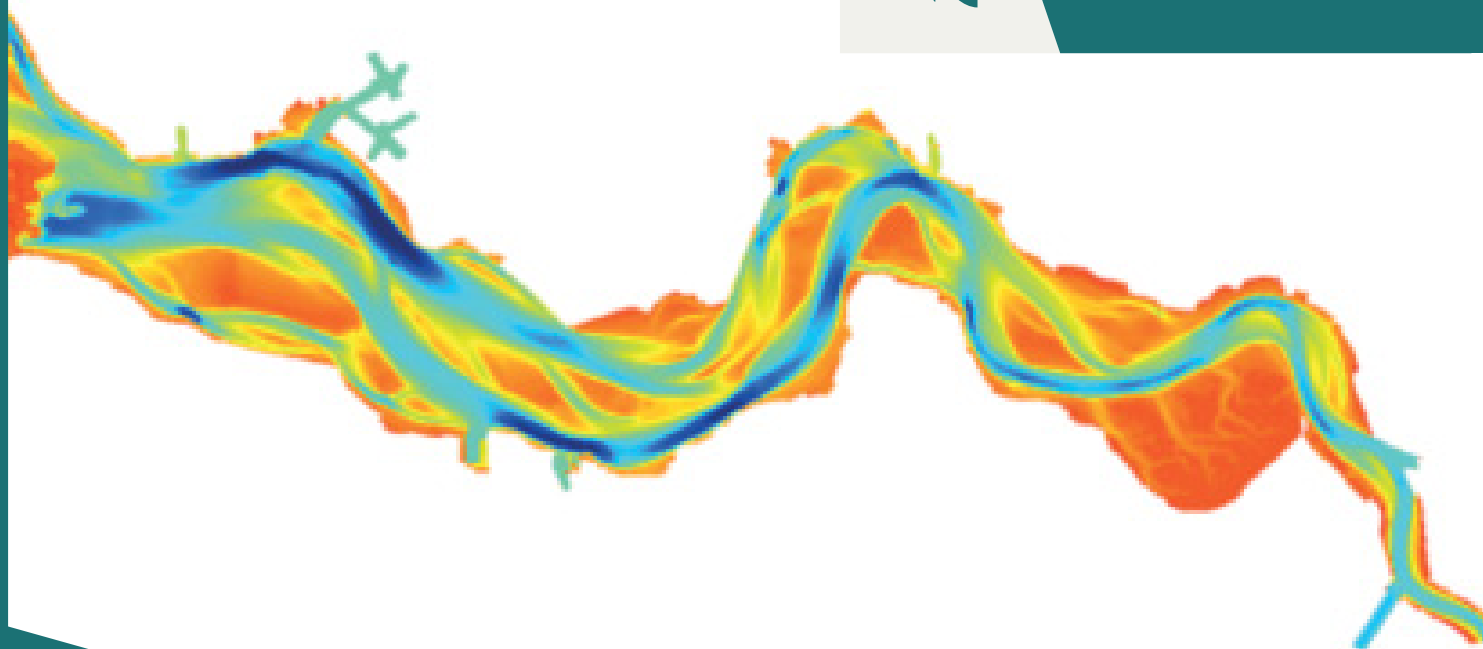




Vlaanderen
is wetenschap



14_024_8
WL rapporten

Morfologie Mesoschaal gevoeligheid stortingen

Deelrapport 8
Sedimentatie ter hoogte van drempels:
gevoeligheidsanalyse stortingen

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Morfologie Mesoschaal – gevoeligheid stortingen

Deelrapport 8 – Sedimentatie ter hoogte van drempels: gevoeligheidsanalyse stortingen

Plancke, Y.; Vos, G.; 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/2019/3241/127

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Plancke, Y.; Vos, G.; Mostaert, F. (2019). Morfologie Mesoschaal – gevoeligheid stortingen: Deelrapport 8 – Sedimentatie ter hoogte van drempels: gevoeligheidsanalyse stortingen. Versie 3.0. WL Rapporten, 14_024_8. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

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

Documentidentificatie

Opdrachtgever:	VNSC	Ref.:	WL2019R14_024_8
Keywords (3-5):	Numerieke modellering, storten, gevoeligheidsonderzoek		
Tekst (p.):	32	Bijlagen (p.):	/
Vertrouwelijk:	☒ Nee	☒ Online beschikbaar	

Auteur(s):	Plancke, Y.
------------	-------------

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Vos, G.	Getekend door: Gwendy Vos (Signature) Getekend op: 2019-12-06 12:03:30 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Gwendy Vos</i>
Projectleider:	Plancke, Y.	Getekend door: Yves Plancke (Signature) Getekend op: 2019-12-06 12:40:28 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Yves Plancke</i>

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Mostaert, F.	Getekend door: Frank Mostaert (Signature) Getekend op: 2019-12-06 19:55:59 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Frank Mostaert</i>
-----------------	--------------	--



Abstract

Ten behoeve van de toekomstige bagger- en stortstrategie is het van belang het gedrag van gestorte specie te kunnen inschatten. Numerieke modellen vormen hierin een belangrijke onderzoekstool, doch op het vlak van morfologie, hebben deze modellen nog steeds aanzienlijke beperking. In dit rapport is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd op de numerieke modellen voor het simuleren van de sedimentdynamica ter hoogte van stortzones. Hierbij werd de invloed bestudeerd van de stortintensiteit, secondary flow, de sedimenttransport formule en 2D versus 3D.

Uit deze analyse blijkt dat de invloed van een 3D-model belangrijk is voor de onderzochte stortzones gelegen in de diepe delen van de hoofdgeul (SH51, SH41). De stortintensiteit bleek op de langere termijn weinig effect te hebben. De invloed van de sedimenttransportformule kon, omwille van een verschillende parameterinstelling, niet onderzocht worden.

Het model vertoont echter ter hoogte van de stortzones in de diepe putten van de vaargeul een te grote stabiliteit ten opzichte van de realiteit. Wanneer dergelijke modellen ingezet worden om concrete beheersvragen te onderzoeken, is het cruciaal dat een validatie op bestaande meetgegevens gebeurt en dat de resultaten kritisch geïnterpreteerd worden.

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 Stortzones in de hoofdgeul	2
2.1 Stortzone SH51	3
2.1.1 Historische evolutie	3
2.1.2 Stabiliteit gestorte specie	4
2.2 Stortzone SH41	5
2.2.1 Historische evolutie	5
2.2.2 Stabiliteit gestorte specie	6
3 Numeriek model	7
3.1 Grid	7
3.2 Topo-bathymetrie.....	8
3.3 Randvoorwaarden	8
3.3.1 Opwaartse randvoorwaarden	8
3.3.2 Afwaartse randvoorwaarden.....	8
3.4 Transportformules.....	8
3.5 Morfologie	8
3.6 Stortingen	9
4 Gevoeligheidsonderzoek	10
4.1 Stortzone SH51	10
4.1.1 Beschrijving simulaties	10
4.1.2 Resultaten.....	12
4.1.2.1 Evolutie sedimentvolume binnen de stortzone zonder uitvoeren van stortingen	12
4.1.2.2 Effect van stortintensiteit	14
4.1.2.3 Effect van secondary flow	18
4.1.2.4 Effect van sedimenttransportformule	19

4.1.2.5	Effect van 3D simulatie	20
4.2	Stortzone SH41	21
4.2.1	Beschrijving simulaties	21
4.2.2	Resultaten.....	22
4.2.2.1	Evolutie sedimentvolume binnen de stortzone zonder uitvoeren van stortingen	22
4.2.2.2	Effect van stortintensiteit	23
4.2.2.3	Effect van sedimenttransportformule/3D simulatie	26
4.3	Stortzone Plaat van Walsoorden	27
4.4	Uitgebreid model.....	29
5	Conclusies	31
6	Referenties	32

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Overzicht van de uitgevoerde runs voor stortingen in stortzone SH51	11
Tabel 2 – Overzicht van de uitgevoerde runs voor stortingen in stortzone SH41	21
Tabel 3 – Overzicht van de uitgevoerde runs voor stortingen in stortzone Plaat van Walsoorden	27
Tabel 4 – Overzicht van de uitgevoerde runs met uitgebreid model.....	29

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Ligging van de stortzones SH41 en SH51 in het Schelde-estuarium.	2
Figuur 2 – Historische evolutie van watervolume binnen de vloedgeul in macrocel 5 (Zuidergat).....	3
Figuur 3 – Historische evolutie van watervolume binnen stortzone SH51 en cumulatief stortvolume SH51 ..	4
Figuur 4 – Overzicht van gestorte hoeveelheden, gepeilde volumes en stabiliteit gestorte specie in stortzone SH51	4
Figuur 5 – Historische evolutie van watervolume binnen de vloedgeul in macrocel 4 (Gat van Ossenis en Overloop van Hansweert).....	5
Figuur 6 – Historische evolutie van watervolume binnen stortzone SH41 en cumulatief stortvolume Gat van Ossenis en SH41	6
Figuur 7 – Overzicht van gestorte hoeveelheden, gepeilde volumes en stabiliteit gestorte specie in stortzone SH41	6
Figuur 8 – Illustratie van het NEVLA rooster. De witte lijn illustreert de lijn Westkapelle-Cadzand, waar het model wordt afgesneden.	7
Figuur 9 – Evolutie sedimentvolume in stortzone SH51 bij runs zonder stortingen.....	12
Figuur 10 – Vergelijking runs zonder stortingen na half jaar morfologische doorlooptijd	13
Figuur 11 – Stabiliteit van storting bij verschillende stortintensiteiten	14
Figuur 12 – boven: Toestand net na uitvoeren van de storting in SH51 voor run h102	15
Figuur 13 – boven: Toestand net na uitvoeren van de storting in SH51 voor run h105	16
Figuur 14 – Verschilkaart tussen bathymetrische opname van 2011 en van 2012	17
Figuur 15 – Effect van secondary flow op stabiliteit van de storting	18
Figuur 16 – Effect van het gebruik van verschillende transportformule.....	19
Figuur 17 – Effect van het gebruik van 3D simulatie bij EH-runs	20
Figuur 18 – Effect van het gebruik van 3D simulatie bij Van Rijn-runs	20
Figuur 19 – Variatie sedimentvolume in stortzone SH41 bij runs zonder stortingen	22
Figuur 20 – Stabiliteit van storting bij verschillende stortintensiteiten	23
Figuur 21 – boven: Toestand net na uitvoeren van de storting in SH41 voor run h202	24
Figuur 22 – boven: Toestand net na uitvoeren van de storting in SH41 voor run h203	25
Figuur 23 – Stabiliteit van storting bij verschillende sedimenttransportformules.....	26
Figuur 24 – Stabiliteit van storting in stortzone Plaat van Walsoorden.....	28
Figuur 25 – Morfologie na 1 jaar morfologische doorlooptijd nabij stortzone Plaat van Walsoorden	28
Figuur 26 – Volumeverandering binnen de verschillende stortzones bij storting van 1 Mm ³ of 3 Mm ³	30
Figuur 27 – Stabiliteit (i.e. relatieve volumeverandering t.o.v. stortvolume) voor verschillende stortzones	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.*, 2013) 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”.

Binnen dit project zal naast de data-analyse ook gebruik gemaakt worden van numerieke modellen. Deze modellen zullen worden ingezet om de morfologische ontwikkelingen op de mesoschaal te reproduceren. De aandacht zal uitgaan naar zowel de sedimentatie ter hoogte van drempels (Meire *et al.* (2019) en Stark *et al.*, (2019)) als de sedimentdynamica van gestorte specie (onderwerp van voorliggend rapport).

1.1 Doelstelling

Voorliggend rapport kadert in het onderzoek dat het doel heeft de kennis inzake sedimentdynamische en morfologische processen op mesoschaal te verbeteren, en daardoor een bijdrage te leveren aan de toekomstige bagger- en stortstrategie. In dit rapport wordt een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd op de numerieke modellen voor het simuleren van de sedimentdynamica ter hoogte van stortzones.

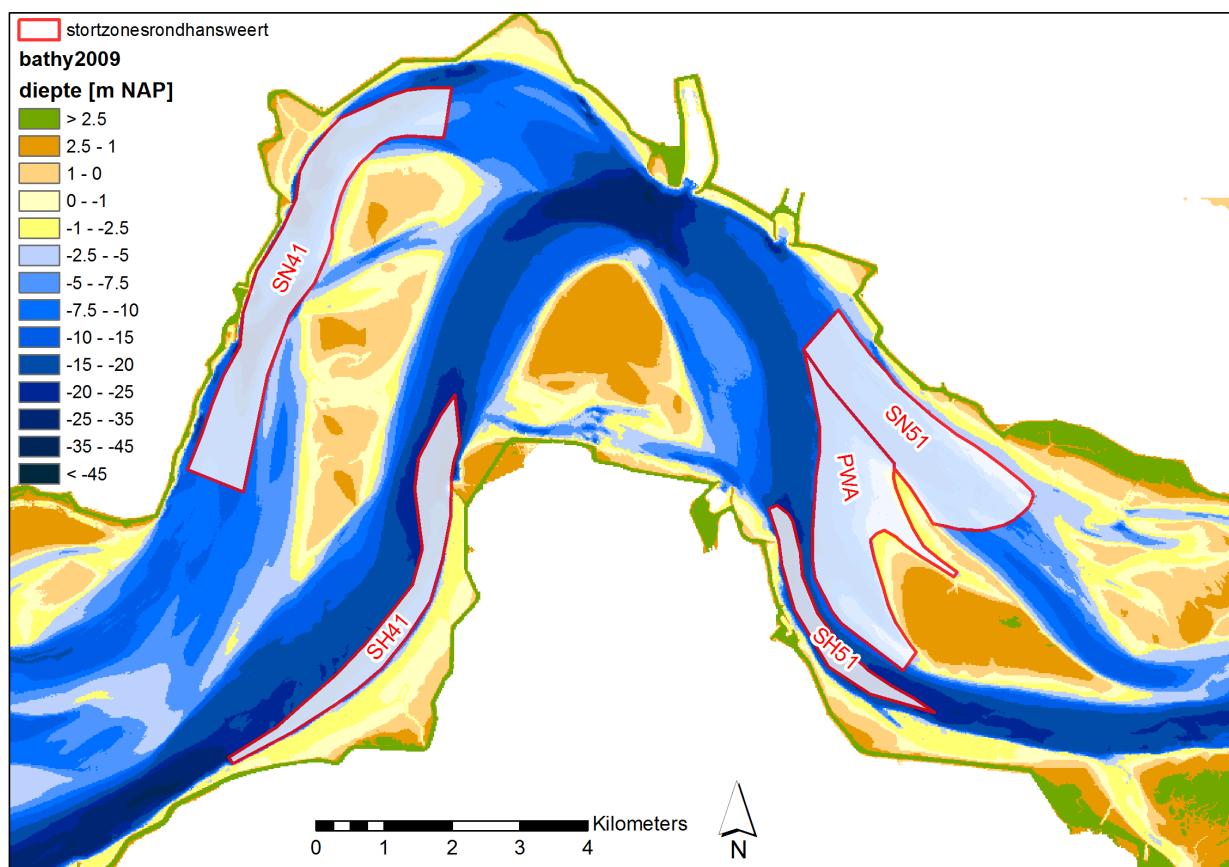
1.2 Plan van aanpak

In (Plancke *et al.*, 2019) werd de dynamica van gestorte sedimenten bestudeerd, gebruik makend van de beschikbare peilingen die door Vlaamse Hydrografie werden uitgevoerd. Hierbij is gefocust op zowel stortzones in de diepe delen van de vaargeul (SH41 en SH51). Dit rapport beschrijft het gevoeligheidsonderzoek van het numeriek model dat zal worden gebruikt om de morfologische veranderingen ter hoogte van deze stortzones te reproduceren op de korte (~1 jaar) termijn.

2 Stortzones in de hoofdgeul

In het kader van het project verruiming vaargeul in het Schelde-estuarium volgde als meest wenselijk alternatief uit het MER (Consortium Arcadis & Technum, 2007) een stortstrategie voor de Westerschelde waarbij een deel van de onderhoudsspecie gestort zou worden langs plaatranden, een deel in de nevengeulen en een deel in de diepe delen van de hoofdgeul. In het verleden werd de specie hoofdzakelijk in de neven- en hoofdgeulen gestort. Verwacht werd dat de stabiliteit van de gestorte specie verschillend zou zijn voor de verschillende types stortzone: zo werd verwacht dat de stabiliteit het grootste zou zijn nabij de plaatranden, terwijl de laagste stabiliteit terug te vinden zou zijn in de diepe delen van de vaargeul. Om deze stabiliteit op te volgen werden zeer frequent (2-wekelijks tot 3-maandelijks) multibeam echo sounding peilingen uitgevoerd in de verschillende stortzones. Aangezien voor de optimalisatie van toekomstige stortstrategie numerieke modellen onmisbaar zullen zijn, bieden deze peilingen een ideale validatie set om de numerieke modellen aan af te toetsen. In voorliggend rapport vindt een gevoeligheidsanalyse plaats van het numerieke model voor 2 belangrijke stortzones in de hoofdgeul (SH51, SH41 – zie Figuur 1). Alvorens dieper in te gaan op het gevoeligheidsonderzoek, wordt in volgende paragrafen ingegaan op de morfologische dynamiek ter hoogte van beide stortzones.

Figuur 1 – Ligging van de stortzones SH41 en SH51 in het Schelde-estuarium.



2.1 Stortzone SH51

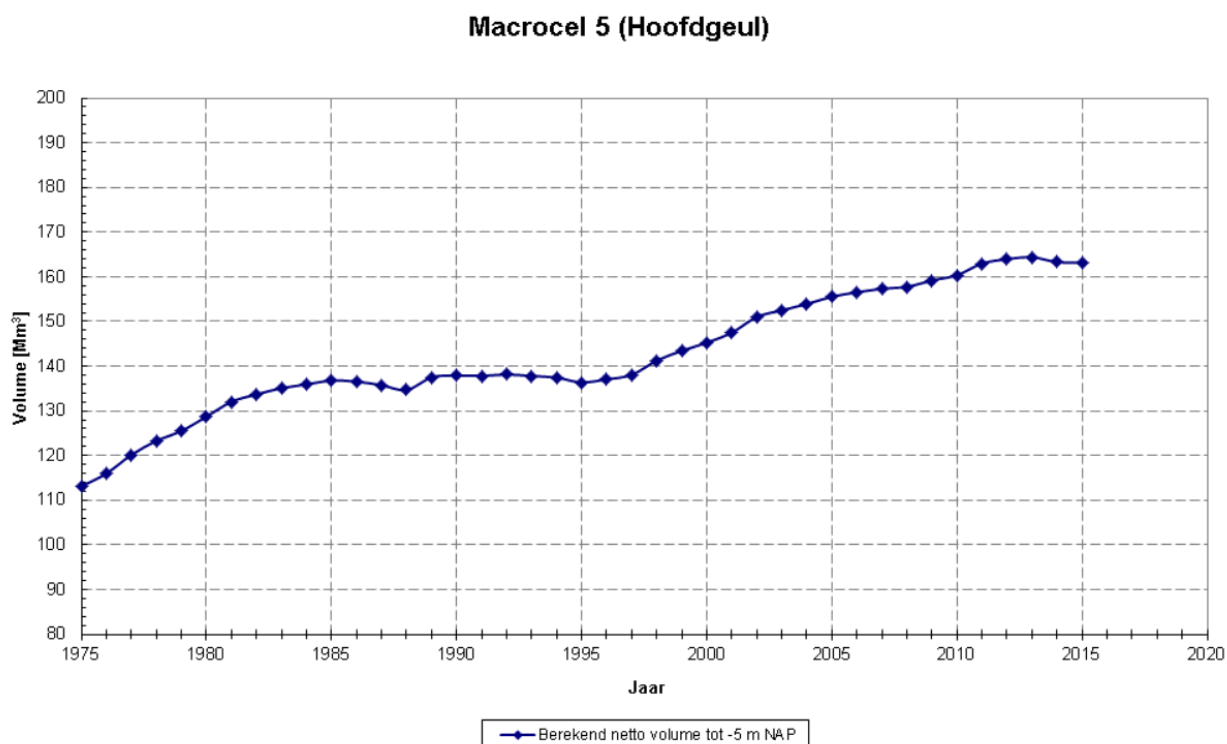
Stortzone SH51 is gelegen in de hoofdgeul van macrocel 5, het Zuidergat, nabij het Oude Hoofd van Walsoorden. Het betreft hier de ebgeul van deze macrocel. In volgende paragrafen wordt eerst de historische volumeverandering in beeld gebracht en wordt daarna de stabiliteit van de gestorte specie sinds de start van de 3^e verruiming van de vaargeul gepresenteerd.

2.1.1 Historische evolutie

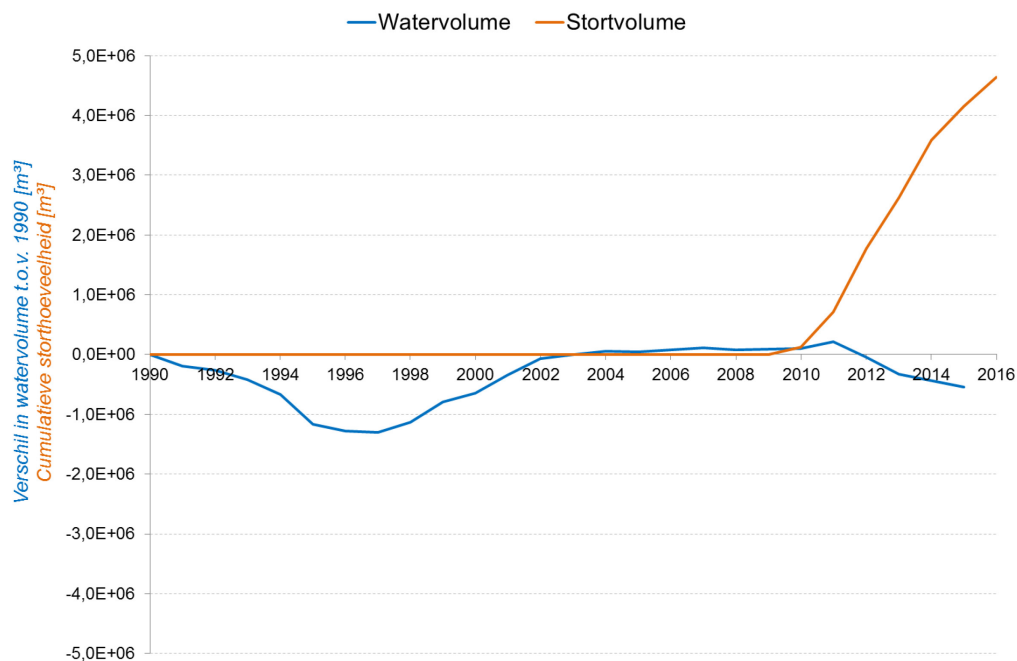
In het kader van het overleg flexibel storten, verantwoordelijk voor de opvolging van de monitoring in het kader van de 3^e verruiming van de vaargeul, wordt jaarlijks het watervolume in de hoofd- en nevengeul getoetst, conform het “Protocol voorwaarden voor flexibel storten – Kwaliteitsparameters” (Rijkswaterstaat Zeeland *et al.*, 2008). Figuur 2 geeft het verloop weer van het watervolume van de volledige hoofdgeul in macrocel 5. Het verloop toont periodes van vergroting van het watervolume gedurende periode waarin de vaargeul verruimd werd (eind jaren 1970, eind jaren 1990, omstreeks 2010) afgewisseld met tussenliggende periodes waarin het watervolume in de hoofdgeul stabiel is. Over de periode 1975 – 2015 is er volumetoename met ca. 50 Mm³, wat neerkomt op gemiddeld 1,25 Mm³/jaar.

Wanneer een vergelijkbare (watervolume werd hierbij bepaald onder 0m NAP i.p.v. -5m NAP) analyse uitgevoerd wordt voor stortzone SH51, kan een grote stabiliteit binnen deze stortzone vastgesteld worden (Figuur 3). Ter illustratie werd tevens het cumulatieve stortvolume van stortzone SH51 toegevoegd in de figuur. Jaarlijkse volumeveranderingen blijven beperkt tot 0,1 – 0,2 Mm³/jaar, waarbij begin jaren 1990 het watervolume eerst afneemt, om nadien terug toe te nemen. Sinds de aanvang van de stortingen in 2010 werd ongeveer 4,5 Mm³ sediment gestort in deze stortzone en is een beperkte afname (0,5 Mm³ over 5 jaar) van het watervolume waar te nemen.

Figuur 2 – Historische evolutie van watervolume binnen de vloedgeul in macrocel 5 (Zuidergat)
Bron: (Schrijver, 2015)



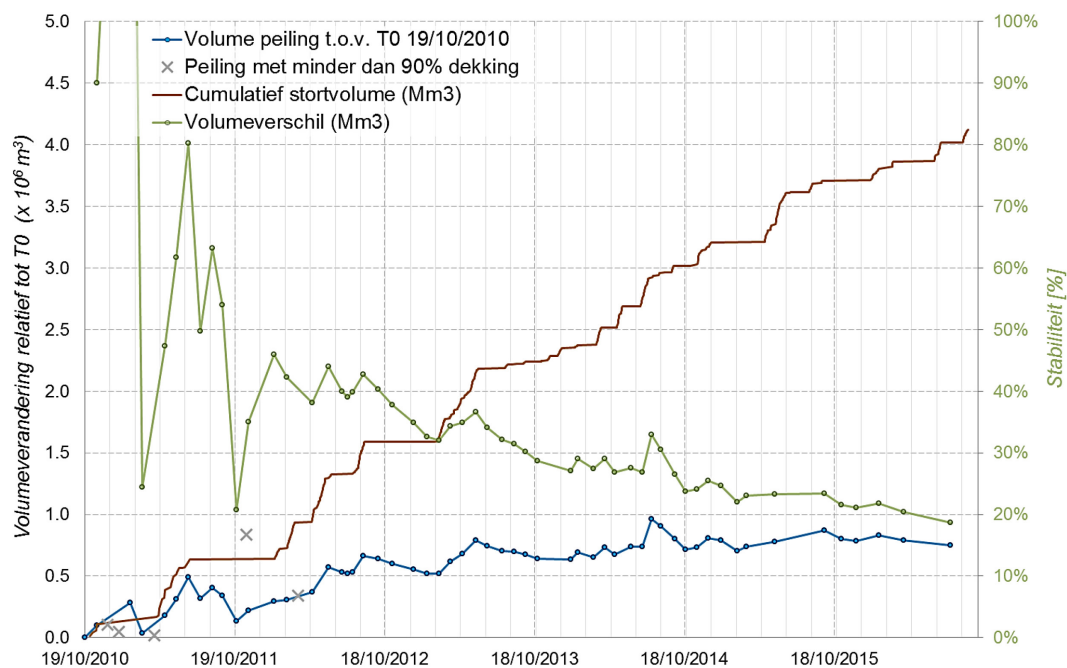
Figuur 3 – Historische evolutie van watervolume binnen stortzone SH51 en cumulatief stortvolume SH51



2.1.2 Stabiliteit gestorte specie

In Plancke *et al.* (2019) werd de stabiliteit van de gestorte specie in de stortzone SH51 berekend voor de volledige periode sinds 2010 (Figuur 4). Hierbij werd gebruik gemaakt van de stortpolygoon zonder extra buffer van 100 m. Voor deze stortzone kan een stabiliteit afgeleid van ca. 40% na 1 jaar, die op de langere termijn afneemt tot ca. 20%.

Figuur 4 – Overzicht van gestorte hoeveelheden, gepeilde volumes en stabiliteit gestorte specie in stortzone SH51



2.2 Stortzone SH41

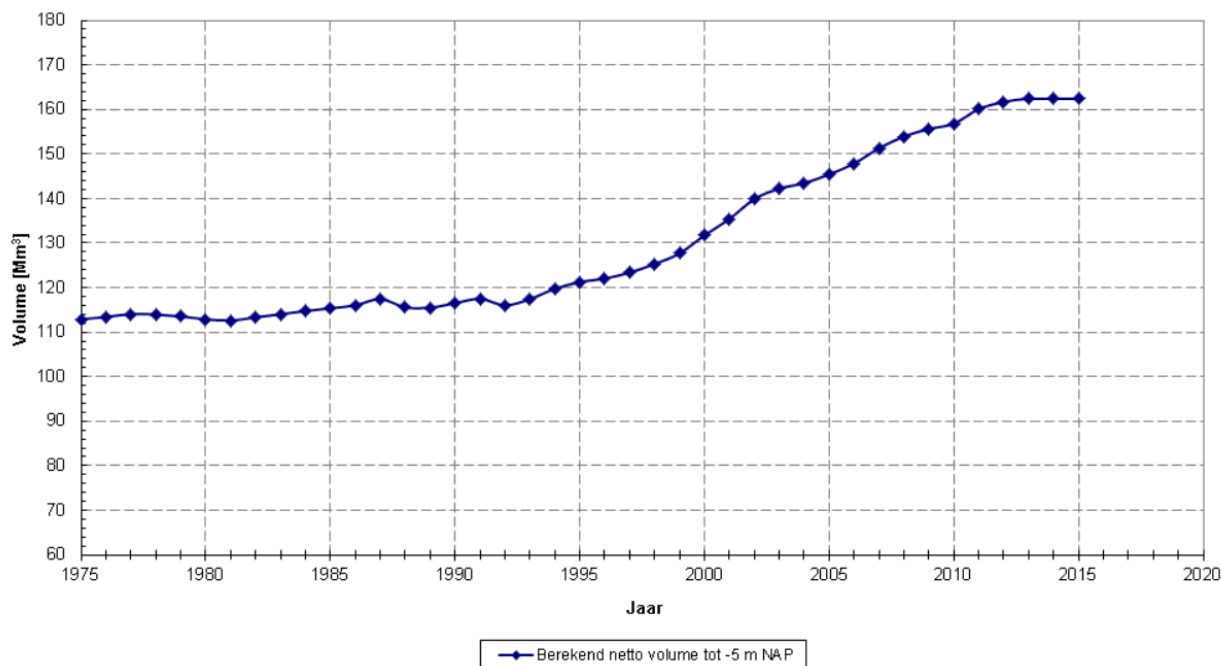
Stortzone SH41 is gelegen in de hoofdgeul van macrocel 4, het Gat van Ossenissee en de Overloop van Hansweert, nabij de Nol van Ossenissee. Het betreft hier de vloedgeul van deze macrocel, die tevens als vaargeul gebruikt wordt. Opgemerkt kan worden dat dit de enige vloedgeul is in het estuarium die als vaargeul fungeert. Tot medio jaren 1970 was de vaargeul trouwens gelegen in de parallelle ebgeul, het Middelgat, die echter sinds decennia aan sedimentatie onderhevig is. In volgende paragrafen wordt eerst de historische volumeverandering in beeld gebracht en wordt daarna de stabiliteit van de gestorte specie sinds de start van de 3^e verruiming van de vaargeul gepresenteerd.

2.2.1 Historische evolutie

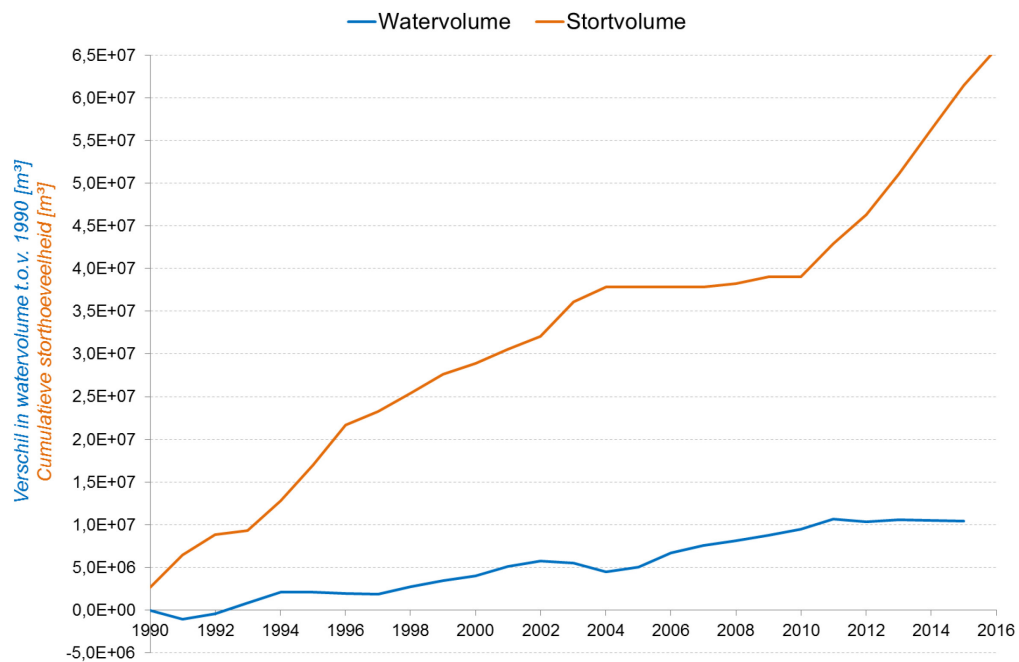
Ook voor deze hoofdgeul zijn de watervolumes beschikbaar uit het “Protocol voorwaarden voor flexibel storten – Kwaliteitsparameters”. Figuur 5 geeft het verloop weer van het watervolume van de volledige hoofdgeul (Gat van Ossenissee en Overloop van Hansweert) in macrocel 4. Het verloop toont eerst een stabiele periode (1975-1995), gevolgd door de geleidelijke toename van het watervolume (ca. 45 Mm³ tussen 1995 en 2010, oftewel 3 Mm³/jaar), om na 2010 opnieuw te stabiliseren.

Wanneer een vergelijkbare (watervolume werd hierbij bepaald onder 0m NAP i.p.v. -5m NAP) analyse uitgevoerd wordt voor stortzone SH41, kan over de periode 1990-2010 een geleidelijke toename van het watervolume (ca. 0,5 Mm³/jaar) vastgesteld worden (Figuur 6). Ter illustratie werd tevens het cumulatieve stortvolume van stortzone Gat van Ossenissee (voor 2010) en SH41 (vanaf 2010) toegevoegd in de figuur. Sinds de aanvang van de stortingen in stortzone SH41 in 2010 werd ongeveer 25 Mm³ sediment gestort in deze stortzone en blijft het watervolume van de geul eerder stabiel.

Figuur 5 – Historische evolutie van watervolume binnen de vloedgeul in macrocel 4 (Gat van Ossenissee en Overloop van Hansweert)
Bron: (Schrijver, 2015)



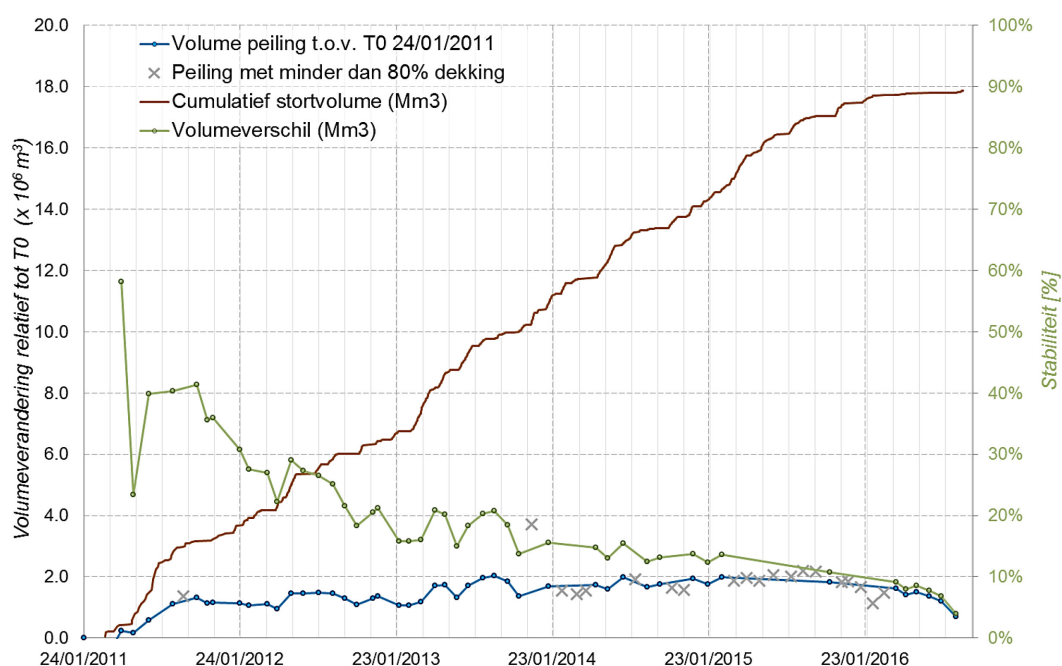
Figuur 6 – Historische evolutie van watervolume binnen stortzone SH41 en cumulatief stortvolume Gat van Ossenis en SH41



2.2.2 Stabiliteit gestorte specie

In Planke *et al.* (2019) werd de stabiliteit van de gestorte specie in de stortzone SH41 berekend voor de volledige periode sinds 2010 (Figuur 7). Hierbij werd gebruik gemaakt van de stortpolygoon zonder extra buffer van 100 m. Voor deze stortzone kan een stabiliteit afgeleid van ca. 30% na 1 jaar, die op de langere termijn afneemt tot ca. 10%.

Figuur 7 – Overzicht van gestorte hoeveelheden, gepeilde volumes en stabiliteit gestorte specie in stortzone SH41



3 Numeriek model

Voor de morfologische modellering van de stortingen werd gebruik gemaakt van het NEVLA model. Het NEVLA-model is een hydrodynamisch model dat ontwikkeld werd in SIMONA (Verheyen et al., 2012 en Maximova et al., 2013). In onderstaande paragrafen worden de modelspecificaties beschreven die meest relevant zijn met betrekking tot voorliggende studie. Voor een meer volledige modelomschrijving binnen de studie ‘morfologie mesoschaal’ wordt verwezen naar Meire *et al.* (2019).

Figuur 8 – Illustratie van het NEVLA rooster. De witte lijn illustreert de lijn Westkapelle-Cadzand, waar het model wordt afgesneden.



3.1 Grid

Het NEVLA-grid dekt het volledige Schelde estuarium af en omvat meer specifiek een deel van de Noordzee, de Vlake van de Raan, de Westerschelde, de Zeeschelde, en de getijgebonden zijrivieren (Figuur 8). 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 het rekenrooster varieert van ongeveer 400 m op de Noordzee en neemt geleidelijk af tot ongeveer 30 meter in de buurt van Schelle. Ter hoogte van de interessegebieden (stortzone SH41 en stortzone SH51) bedraagt de roosterresolutie zo’n 100 m. Deze resolutie kan als voldoende beschouwd worden om hydrodynamische- en sedimenttransportprocessen op mesoschaal te bestuderen. In deze studie werd de afwaartse rand van het model afgesneden ter hoogte van de lijn Westkapelle – Cadzand (zie Figuur 8).

3.2 Topo-bathymetrie

De topo-bathymetrie van de Westerschelde en de Beneden-Zeeschelde zijn gebaseerd op metingen van 2011 aangeleverd door respectievelijk Rijkswaterstaat en 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 singlebeam echosounding raaien). De bathymetrische data van de Zeeschelde zijn beschikbaar met een resolutie van 1x1 m (gebiedsdekkende multibeam peilingen). Deze werden ten behoeve van deze studie omgezet naar een 5x5 m grid om de totale bestandsgrootte van het samengestelde bathymetrische grid werkbaar te houden. Aangezien de gridcellen van het model groter zijn dan 5x5 m vormt dit geen probleem voor het aanmaken van de modelbathymetrie. Het gebruikte coördinatenstelsel is RD. De topo-bathymetrische gegevens werden geïnterpoleerd op het NEVLA-grid gebruik makend van de 'grid cell averaging' tool in Delft 3D.

3.3 Randvoorwaarden

3.3.1 Opwaartse randvoorwaarden

Aan de opwaartse rand worden debieten opgelegd, meer bepaald dagelijkse meetwaarden van het jaar 2009. Aangezien het interessegebied hier de Westerschelde betreft zullen deze randvoorwaarden de resultaten nauwelijks beïnvloeden.

3.3.2 Afwaartse randvoorwaarden

De afwaartse rand wordt opgelegd tussen Westkapelle en Cadzand. Als randvoorwaarde wordt een waterhoogte opgelegd.

3.4 Transportformules

Uit eerder onderzoek (Ceuppens & Darcis, 2015; Vos *et al.*, 2016; Meire *et al.*, 2019) blijkt dat de transportformules van Engelund-Hansen en Van Rijn het meest aangewezen zijn voor het berekenen van morfologische processen in een systeem als het Schelde-estuarium. Er wordt daarom in deze gevoeligheidsanalyse met deze twee formules gewerkt.

3.5 Morfologie

Morfologische processen zijn traag in vergelijking met de waterbeweging en spelen zich af op een tijdschaal van maanden tot decennia. Om de rekentijden te beperken wordt een morfologische versnellingsfactor gebruikt, die de morfologische veranderingen per tijdstap opschaaft. In het kader van eerder onderzoek werd gebruikgemaakt van de morfologische versnellingsfactor toegepast op een of meerdere springtij-doodtij cycli (Dam *et al.*, 2013a; Grasmeijer *et al.*, 2013) of een morfologische versnellingsfactor op een zogenaamd "karakteristiek" morfologisch getij (Kuijper *et al.*, 2006; Tank, 1996). In de Westerschelde komt het "karakteristiek" getij overeen met een getij tussen gemiddeld getij en een gemiddeld springtij. Dit wordt ook wel het morfologisch maatgevend getij genoemd. Het morfologisch maatgevend getij voor de Westerschelde wordt gekarakteriseerd door een getijfactor van 1,08 (Tank, 1996).

In de tijdreeks van gemodelleerde waterstanden werd een getij gezocht met een getijfactor van 1,08. Op die manier kan ter hoogte van het interessegebied een morfologisch maatgevend getij ingesteld worden. Het getij van 6/10/2009 11:10 tot en met 6/10/2009 23:20 kwam hiervoor in aanmerking. Voor de aanmaak van de randvoorwaarden werd dit getij vervolgens verschillende malen herhaald.

Om extreme simulatietijden te voorkomen is het mogelijk de berekende erosie/sedimentatie per tijdstap te vermenigvuldigen met een morfologische versnellingsfactor (morfac). Er werd gekozen voor een morfac van 24,5 zodat het doorrekenen van 2 weken de morfologische veranderingen weergeeft die voorkomen tijdens een volledig jaar. Deze waarde komt tevens overeen met eerdere studies (e.g. Dam *et al.*, 2013b; Vos *et al.*, 2016b).

3.6 Stortingen

Bij het uitvoeren van een simulatie met morfologische updates kunnen bagger- en stortactiviteiten mee opgenomen worden (worden op het eind van elke halve tijdstap uitgevoerd). De bagger- en stortfunctie biedt de mogelijkheid om bagger- en stortzones te definiëren als x,y polygonen. De bagger- en stortactiviteiten worden gespecificeerd in een *.dad-file. Er zijn drie mogelijke methodes op baggeren en storten in het model mee te nemen:

1. Baggeren en storten: binnen elke baggerpolygoon wordt de bodem verlaagd tot een vooraf bepaalde diepte. Het is mogelijk om gebaggerd materiaal over verschillende stortpolygoon(en) te verdelen. Indien geen stortpolygoon gedefinieerd wordt, wordt het sediment uit het model onttrokken, wat gelijkaardig is aan zandwinning.
2. Sediment suppletie (“nourishment”): hierbij wordt materiaal gestort in de stortpolygoon(en), zonder dat er gebaggerd wordt. Er wordt dus netto sediment toegevoegd aan het model.
3. Lozing: in één of meerdere roosterzellen worden een tijdreeks van debiet en sedimentconcentratie gedefinieerd waar sediment in het model ingebracht wordt. Ook hier wordt netto sediment toegevoegd aan het model.

Binnen de gevoeligheidsanalyse werd gebruik gemaakt van de sediment suppletie (methode 2) om sediment in het model te storten. Deze manier biedt het voordeel dat ze onafhankelijk is van de aanvoer van sediment uit een baggerzone (zoals bij methode 1), en dat een stortpolygoon kan gebruikt worden zoals in de realiteit. Bij het suppleren wordt de bodem verhoogd en de bodemsamenstelling aangepast gebaseerd op het volume en de karakteristieken van het te storten materiaal. Het sediment kan gelijkmatig of niet-gelijkmatig (bv. diepste punten eerst) verspreid worden in de stortzone.

4 Gevoeligheidsonderzoek

Het gevoeligheidsonderzoek spitst zich toe op het morfologisch modelleren van het gedrag van stortingen in de hoofdgeul m.n. in stortzone SH41 en stortzone SH51 (zie Figuur 1). Voor een uitgebreide gevoeligheidsanalyse van algemene parameters van het morfologische model wordt verwezen naar Meire et al. (2016).

Binnen stortzone SH51 werd telkens een storting uitgevoerd van 1 Mm³ zand, binnen stortzone SH41 werd telkens 3 Mm³ teruggestort. Deze volumes stemmen overeen met de gemiddelde jaarlijkse storthoeveelheden voor deze stortzones sinds 2010. Er werd gevarieerd met de stortintensiteit, i.e. de snelheid waarmee deze hoeveelheid gestort werd (ca. 1 tot 10 maanden voor SH51, ca. 1 tot 7 maanden voor SH41¹). Daarnaast werden het effect van verschillende transportformules getest, het effect van het implementeren van secondary flow en het effect van een simulatie in 3D.

4.1 Stortzone SH51

4.1.1 Beschrijving simulaties

Tabel 1 geeft een overzicht van de uitgevoerde runs met storting binnen stortzone SH51. Er werden een drietal 'basisruns' uitgevoerd, zonder stortingen. Bij run h101 (2D) en h110 (3D) wordt de transportformule van Engelund-Hansen (E-H)² gebruikt en vinden geen stortingen plaats, run h115 berekent het transport met de formule van Van Rijn (1993, i.e. de default sedimenttransportformule binnen D3D).

Daarnaast werden een aantal runs uitgevoerd waarbij telkens dezelfde hoeveelheid (1Mm³) zand gestort werd, maar over een verschillende periode: 24,5 dagen (run h102), 49 dagen (run h103), 73,5 dagen (run h104), 147 dagen (run h105), 220,5 dagen (run h106) en 293 dagen (run h107).

Bij run h108 wordt het effect van het meenemen van secondary flow bekeken (storting gedurende 24,5 dagen), terwijl bij run h109 het effect van de sedimenttransportformule van Van Rijn meegenomen wordt. Run h111 tot en met run h114 testen het effect van 3D-simulaties, 2 lagen en 6 lagen voor zowel Engelund-Hansen en van Rijn. Run h116 tenslotte is een 3D-simulatie met 10 lagen en de transportformule van Van Rijn.

¹ De stortingen werden gespreid over 1 tot 12 (SH51) en 1 tot 9 (SH41) waterbewegingsdagen. Eén waterbewegingsdag komt omwille van de morfac overeen met 24,5 morfologische dagen.

² De transportformule van Engelund-Hansen werd gebruikt met volgende coëfficiënten: Calibration coefficient: 0,1 en Bed roughness height : 0,00075 m

Tabel 1 – Overzicht van de uitgevoerde runs voor stortingen in stortzone SH51
Begin en eind van de storting wordt uitgedrukt in “waterbewegingsdagen”.
Voor morfologie dient dit vermenigvuldigd te worden met de morfac (= 24,5)

Naam	Transport- formule	Aantal dagen doorgerekend	Begin storting	Eind storting	Secondary flow	3D	Verdeling 3D lagen
h101	E-H	15	/	/	Nee	Nee	
h102	E-H	15	dag 2	dag 3	Nee	Nee	
h103	E-H	15	dag 2	dag 4	Nee	Nee	
h104	E-H	15	dag 2	dag 5	Nee	Nee	
h105	E-H	15	dag 2	dag 8	Nee	Nee	
h106	E-H	15	dag 2	dag 11	Nee	Nee	
h107	E-H	15	dag 2	dag 14	Nee	Nee	
h108	E-H	15	dag 2	dag3	Ja	Nee	
h109	Van Rijn	7	dag 2	dag3	Nee	Nee	
h110	E-H	7	/	/	Nee	3D, 2lagen	50%, 50%
h111	E-H	7	dag 2	dag3	Nee	3D, 2lagen	50%, 50%
h112	Van Rijn	7	dag2	dag3	Nee	3D, 2lagen	50%, 50%
h113	E-H	7	dag 2	dag3	Nee	3D, 6lagen	5%, 10%, 15%, 20%, 20%, 30%
h114	Van Rijn	7	dag2	dag3	Nee	3D, 6lagen	5%, 10%, 15%, 20%, 20%, 30%
h115	Van Rijn	7	/	/	Nee	Nee	
h116	Van Rijn	7	dag2	dag3	Nee	3D, 10lagen	5%, 5%, 10%, 10%, 10%, 10%, 10%, 10%, 15%, 15%

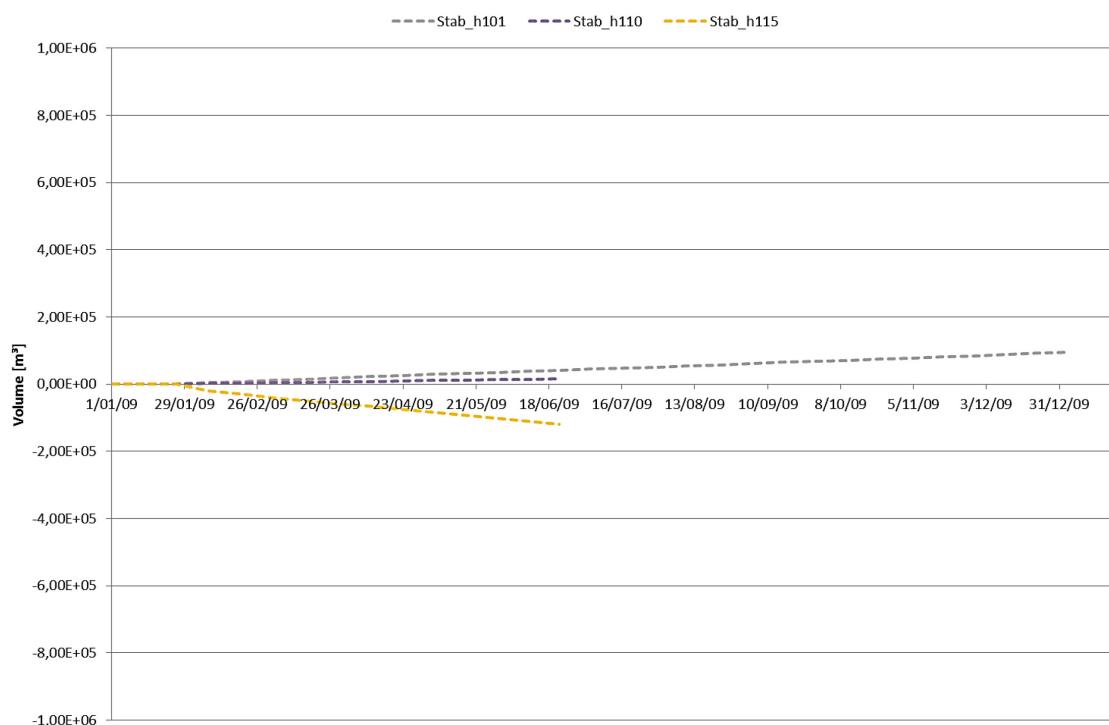
4.1.2 Resultaten

In volgende paragrafen worden de resultaten van het gevoeligheidsonderzoek gepresenteerd voor stortzone SH51. Hierbij wordt achtereenvolgens ingegaan op de stortintensiteit, secondary flow, sediment transport formule en 2D versus 3D. De vergelijking van de simulaties gebeurt steeds ten opzichte van run h102.

4.1.2.1 Evolutie sedimentvolume binnen de stortzone zonder uitvoeren van stortingen

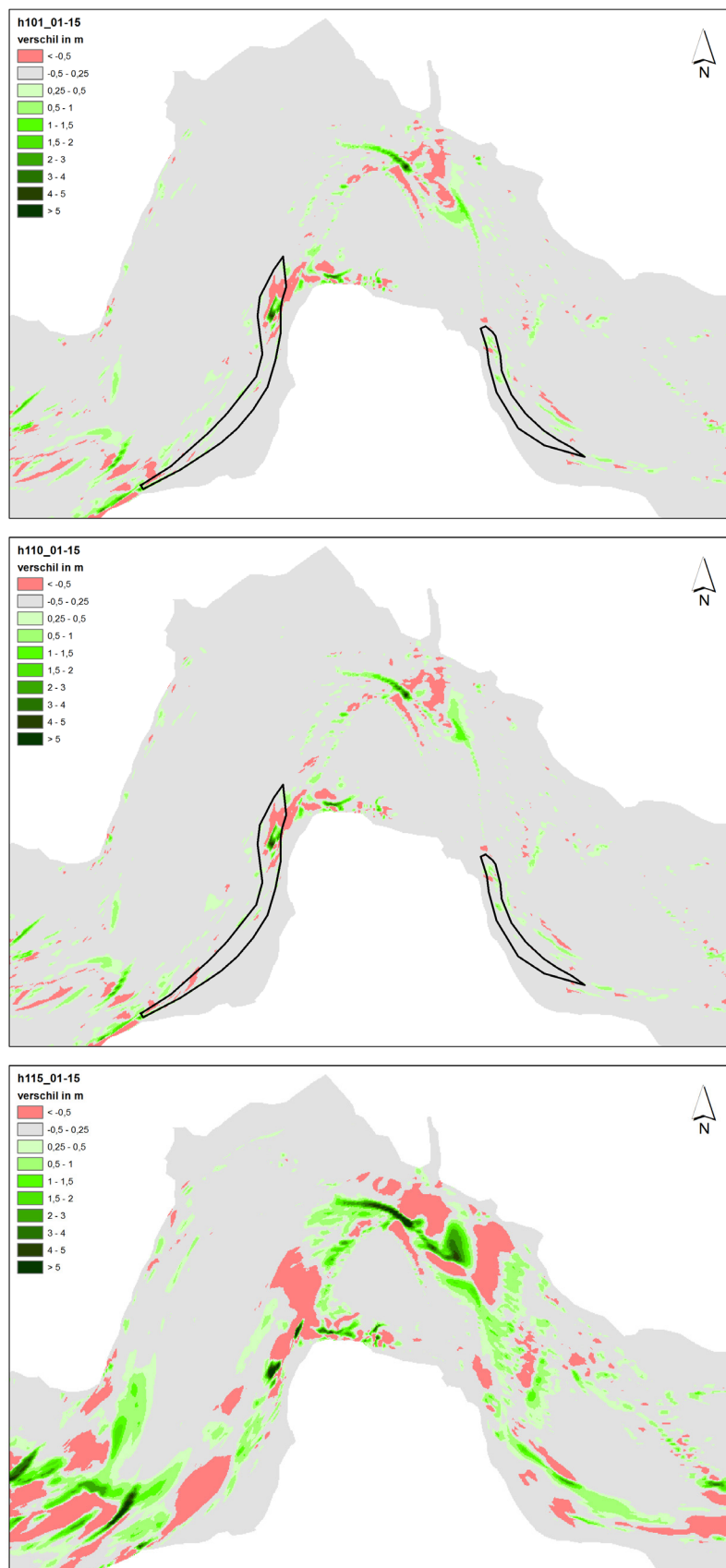
Op basis van de evolutie van het sedimentvolume binnen de stortzone SH51 bij de runs zonder stortingen (Figuur 9) kan een vergelijking gemaakt worden met de natuurlijke evolutie van het watervolume zoals weergegeven in Figuur 3, om op deze manier te bepalen welke simulatie het best de werkelijkheid benadert. De runs met de transportformule van Engelund-Hansen geven een zeer licht stijgend verloop (toename van sedimentvolume of ook afname watervolume met ca. $0,1 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$) wat omgekeerd is aan de metingen. De run met de formule van Van Rijn geeft een beperkte daling van het sedimentvolume (afname van sedimentvolume of ook toename watervolume met ca. $0,2 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$), wat gelijkaardig is aan de metingen.

Figuur 9 – Evolutie sedimentvolume in stortzone SH51 bij runs zonder stortingen



Op basis van de gemodelleerde morfologische veranderingen na 6 maanden, valt onmiddellijk op dat de veranderingen gesimuleerd met de formule van Engelund-Hansen veel kleiner zijn dan deze met de formule van Van Rijn (Figuur 10). De oorzaak hiervan is vermoedelijk de parameterinstelling van de kalibratieparameter "ACAL", die voor de formule van Engelund-Hansen op 0,1 ingesteld werd, waardoor de berekende sedimenttransporten een factor 10 verkleind werden. Deze waarde werd overgenomen uit eerdere simulaties, maar is waarschijnlijk niet gerechtvaardigd. Aangezien binnen dit rapport enkel een gevoeligheidsanalyse wordt uitgevoerd zonder specifieke reële cases te reproduceren, vormt dit geen struikelblok. Wanneer echter wel bepaalde cases moeten worden onderzocht, dient de keuze van de "ACAL"-parameter gevalideerd te worden ten opzichte van metingen.

Figuur 10 – Vergelijking runs zonder stortingen na half jaar morfologische doorlooptijd
Boven: run h101, midden : run h110, onder: run h115



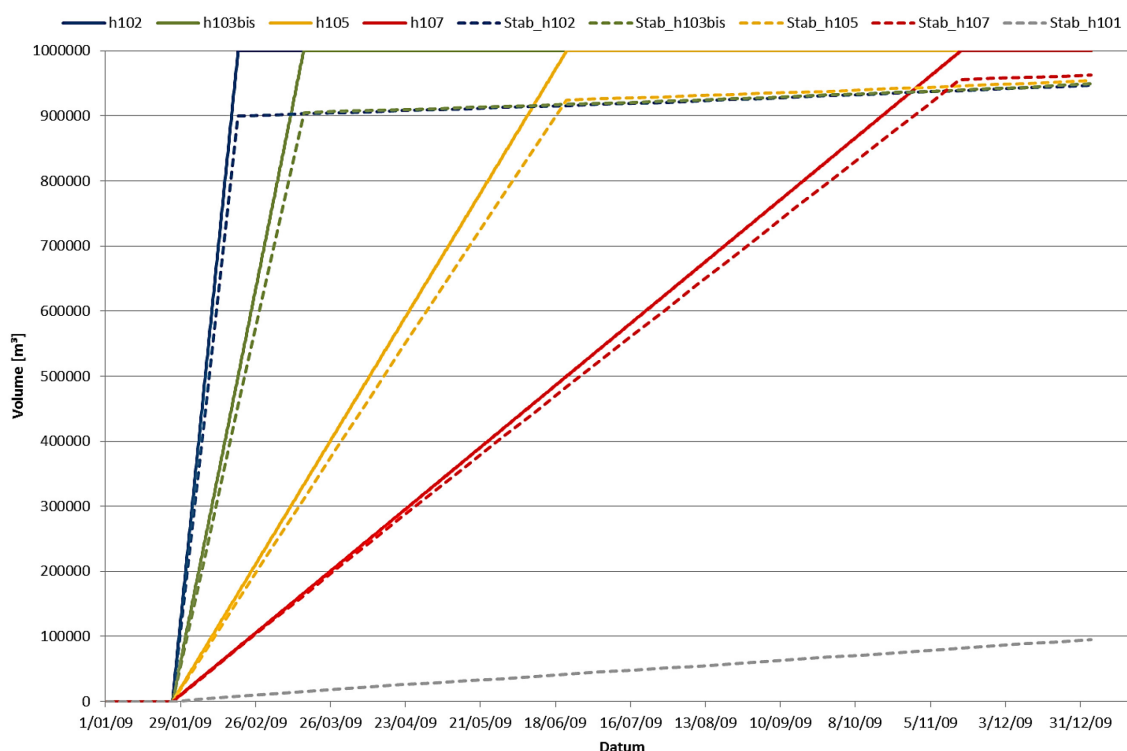
4.1.2.2 Effect van stortintensiteit

Figuur 11 geeft een vergelijking tussen de gestorte hoeveelheden (volle lijn) en het volume binnen de stortzone SH51 op verschillende tijdstippen op basis van de bathymetrie. Hieruit blijkt dat er initieel reeds een verlies van materiaal is, bij run h102 bedraagt dit verschil tussen gestort materiaal en teruggevonden materiaal $0,1 \text{ Mm}^3$, bij run h107 ongeveer $0,05 \text{ Mm}^3$. Naarmate de stortintensiteit afneemt, is er dus een kleiner initieel verlies van sediment in het model. Na dit initiële verlies neemt het materiaal binnen het stortzone terug traag toe, bij alle runs ongeveer aan dezelfde snelheid. Dit is tegen de verwachtingen in, want op basis van de metingen in situ is de verwachting dat het gestorte materiaal erodeert.

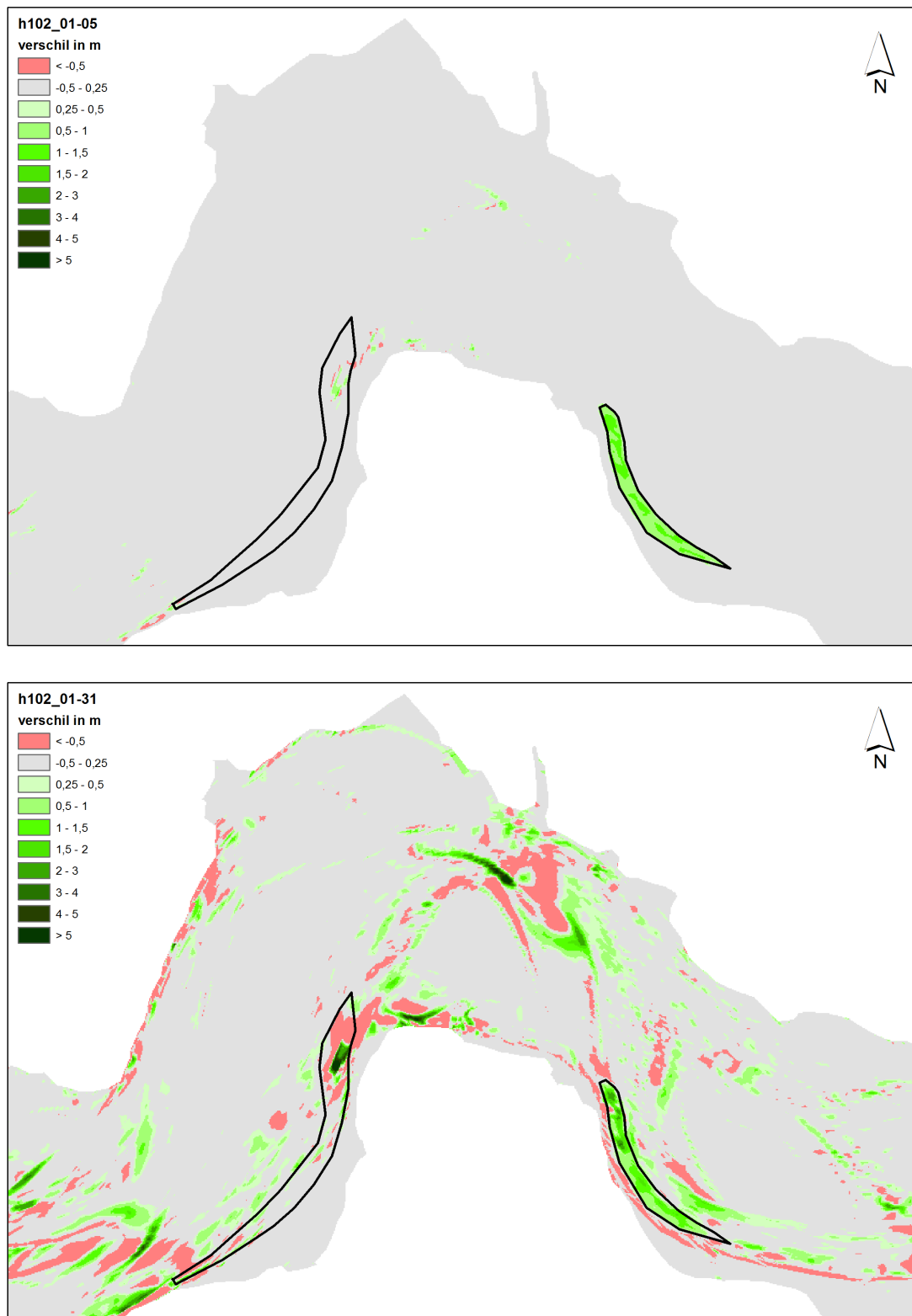
De basisrun h101, zonder storting, toont echter ook een toename van de hoeveelheid materiaal binnen de stortzone, en deze toename verloopt sneller dan deze na een storting: na 1 jaar is hier een aangroei van $0,1 \text{ Mm}^3$, terwijl bij run h102 op het eind van 2009 slechts $0,04 \text{ Mm}^3$ sediment bijgekomen is. Netto gezien is er dus wel een sedimentverlies ten opzicht van de basisrun.

Ter illustratie geeft Figuur 12 een verschilkaart van het moment net na de storting van 1 Mm^3 bij run h102 en een verschilkaart na 1 jaar doorlooptijd. Figuur 13 toont hetzelfde maar dan voor run h105. Hierbij is te zien dat vlak na de storting er een verschil is tussen run h102 en run h105, aangezien de stortintensiteit bij run h105 lager is en dus over een langere periode loopt. Hierdoor zijn er op het moment dat de storting afgelopen is reeds meer morfologische wijzigingen zichtbaar in de verschilkaart. De verschilkaarten op het einde van de simulatie zijn echter sterk vergelijkbaar. Het is hier ook zichtbaar dat er binnen de stortzone een toename is van de hoeveelheid materiaal.

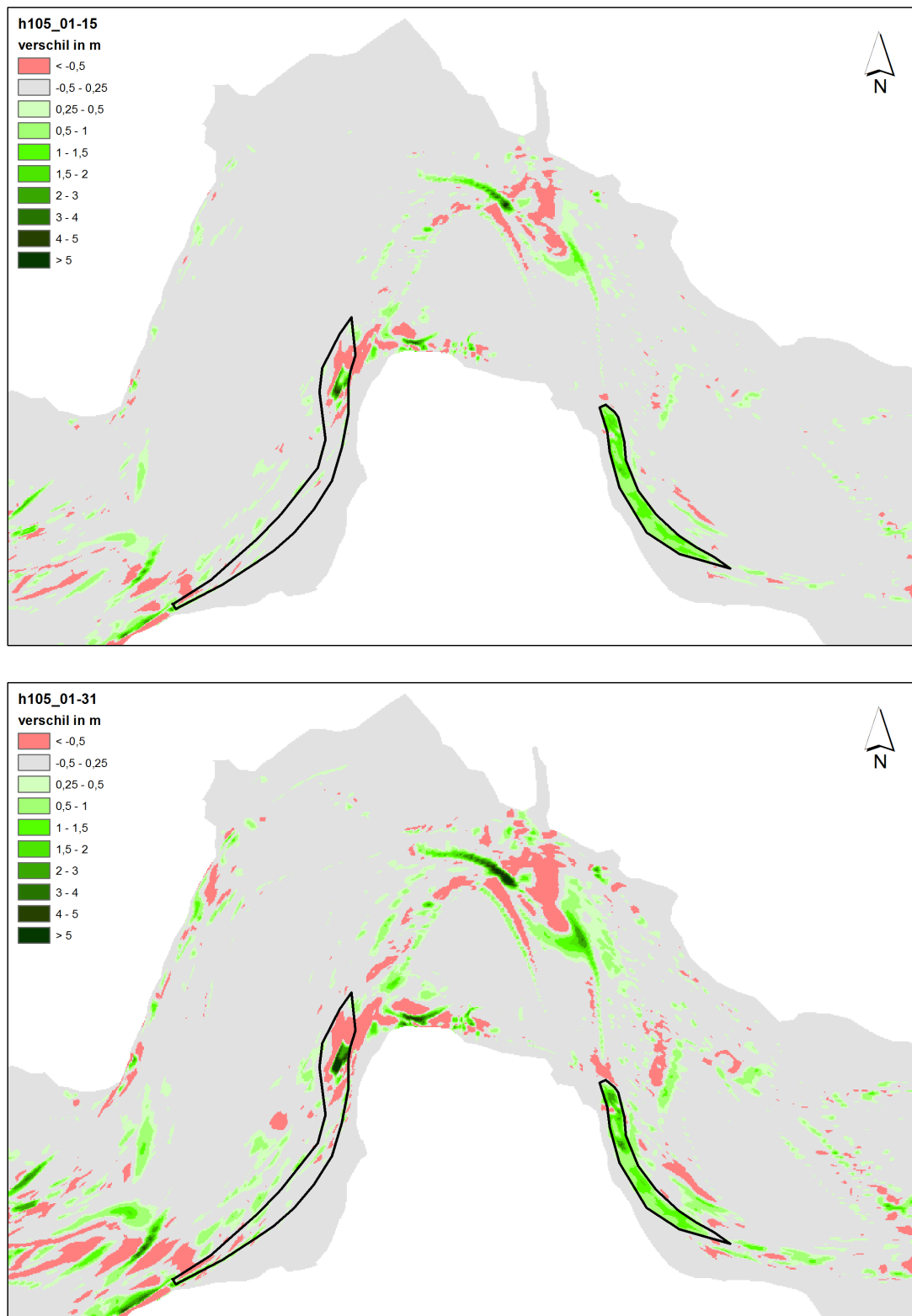
Figuur 11 – Stabiliteit van storting bij verschillende stortintensiteiten



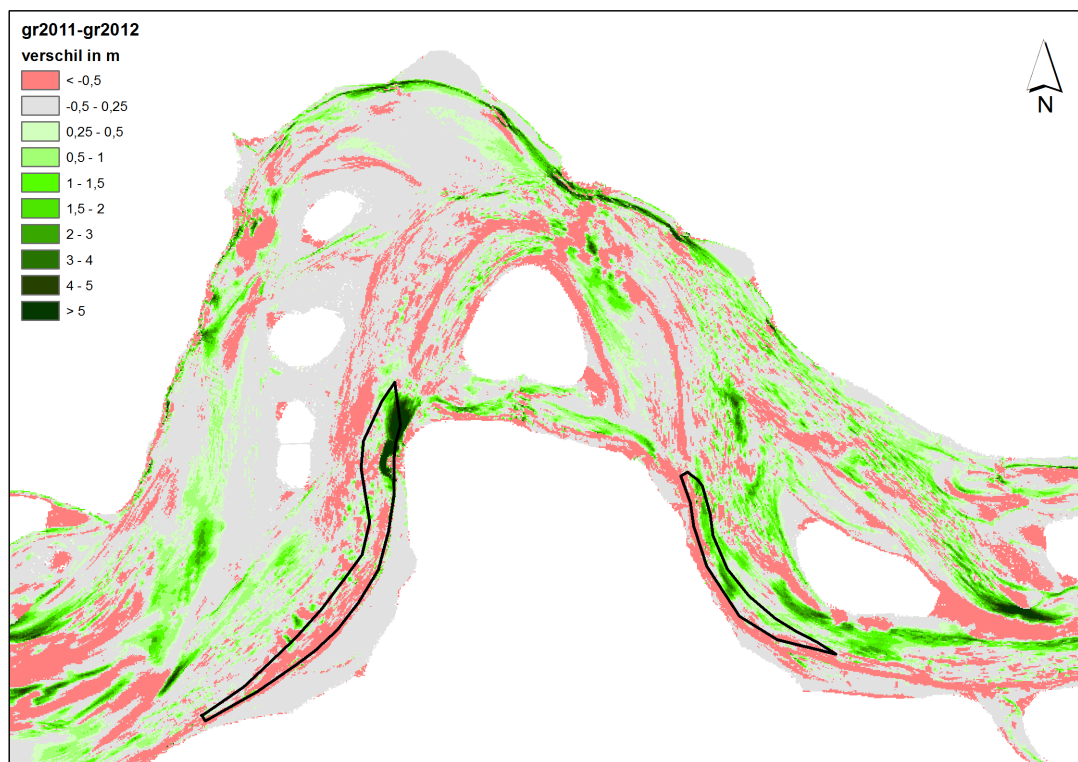
Figuur 12 – boven: Toestand net na uitvoeren van de storting in SH51 voor run h102
onder: toestand na 1 jaar morfologische doorlooptijd



Figuur 13 – boven: Toestand net na uitvoeren van de storting in SH51 voor run h105
onder: toestand na 1 jaar morfologische doorlooptijd



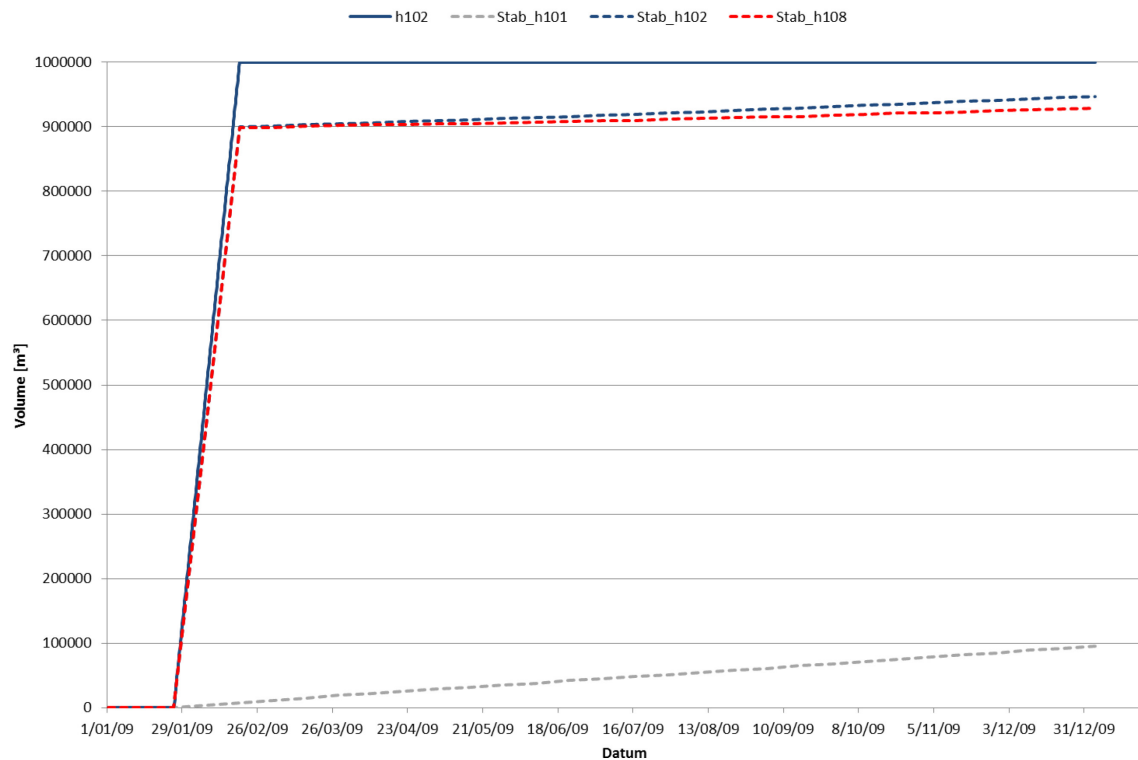
Figuur 14 – Verschilkaart tussen bathymetrische opname van 2011 en van 2012



4.1.2.3 Effect van secondary flow

Figuur 15 geeft het effect weer van het gebruik van secondary flow op de stabiliteit van de storting. De stabiliteit van de storting verlaagt hierdoor (toename van volume binnen de polygoon verloopt trager).

Figuur 15 – Effect van secondary flow op stabiliteit van de storting

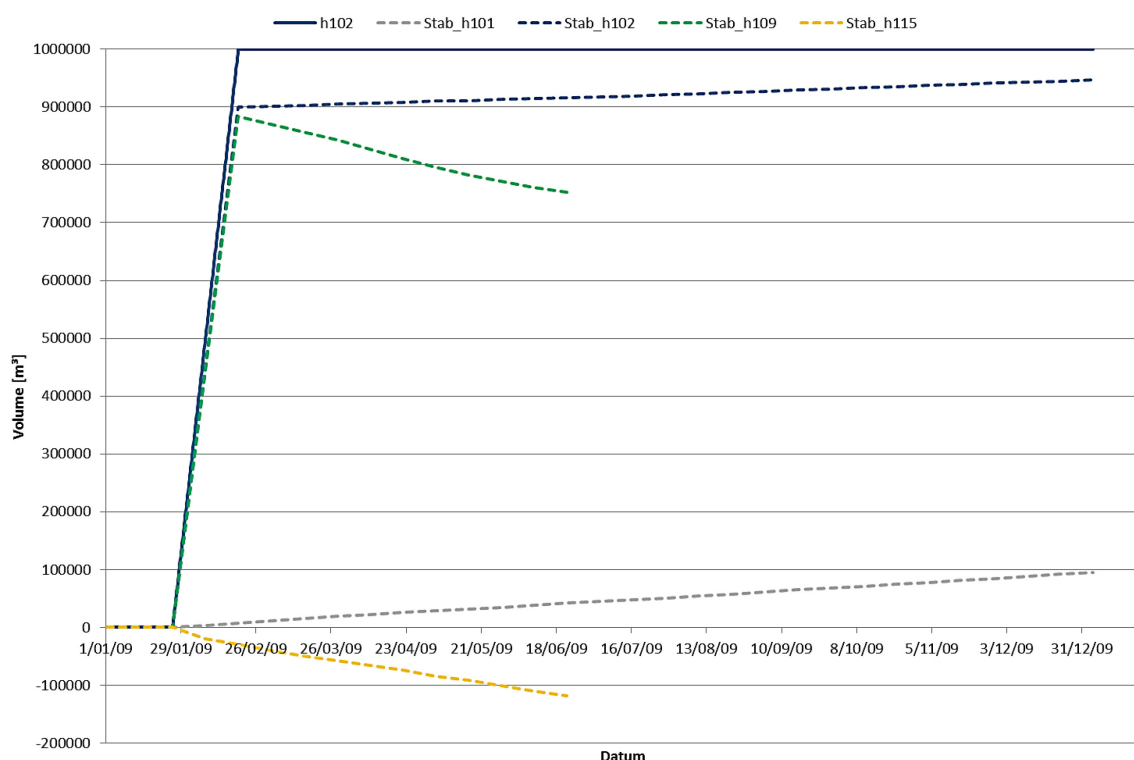


4.1.2.4 Effect van sedimenttransportformule

Figuur 16 geeft het effect weer van het gebruik van de transportformule van Van Rijn (1993, default instelling). Hier is duidelijk te zien dat zowel voor de basisrun zonder storting (run h115) als voor de run met storting (run 109), de transportformule van Van Rijn een dalend verloop van het volume vertoont ten opzichte van het stijgende verloop van de basisrun zonder storting (run h101) en met storting (run h102) met de transportformule van Engelund-Hansen.

Doordat bij de formule van Engelund-Hansen de kalibratie-parameter “ACAL” op 0,1 ingesteld werd, waardoor de berekende sedimenttransport een factor 10 verkleind werden, is de vergelijking tussen beide formules niet mogelijk. Het reduceren van het sedimenttransport zal zich automatisch doorvertalen in kleinere morfologische dynamiek, wat ook kan teruggevonden worden in de tragere veranderingen in volumes voor de verschillende beschouwde stortzone.

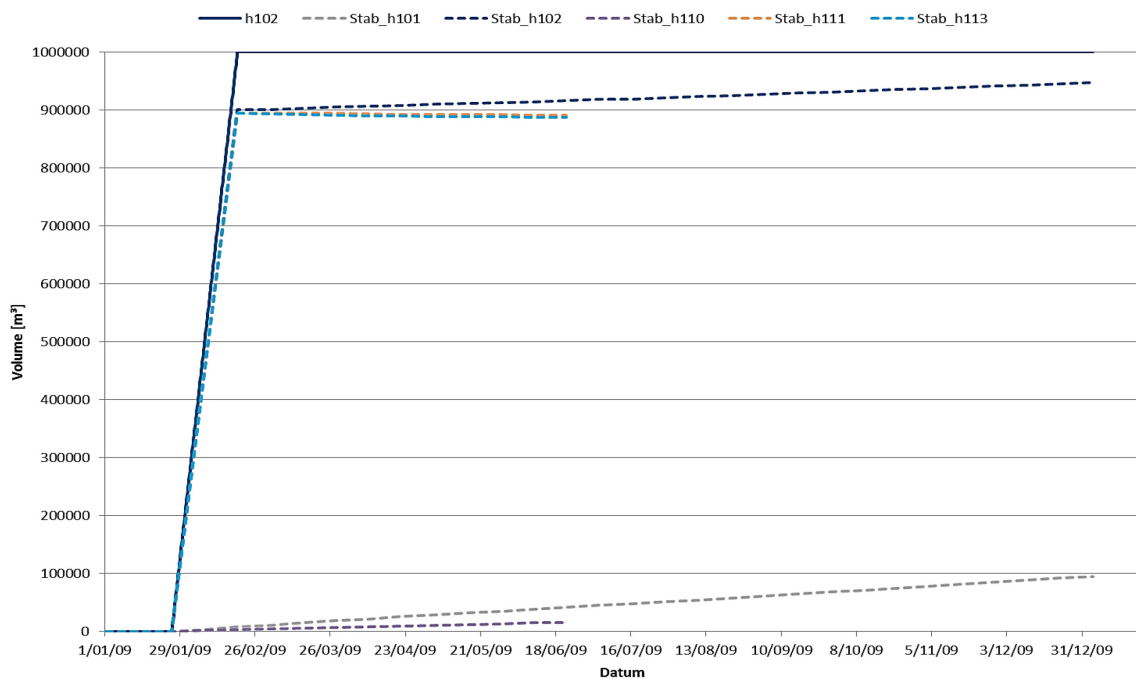
Figuur 16 – Effect van het gebruik van verschillende transportformule



4.1.2.5 Effect van 3D simulatie

Figuur 17 geeft het effect weer van de 3D simulaties bij de runs met de transportformule van Engelund-Hansen, Figuur 18 bij de runs met de transportformule van Van Rijn. Zowel bij de runs met stortingen als zonder stortingen als bij de runs met de transportformule van Engelund-Hansen en Van Rijn is te zien dat een 3D run een grotere erosie oplevert binnen de stortpolygoon. Naarmate er meer lagen gebruikt worden is ook de erosie groter.

Figuur 17 – Effect van het gebruik van 3D simulatie bij EH-runs



Figuur 18 – Effect van het gebruik van 3D simulatie bij Van Rijn-runs



4.2 Stortzone SH41

4.2.1 Beschrijving simulaties

Tabel 2 geeft een overzicht van de uitgevoerde runs met storting binnen stortzone SH41. Er werd totaal telkens 3 Mm³ gestort.

Bij run h202 werd gedurende 2 dagen gestort, bij run h203 gedurende 9 dagen en werd de transportformule van Van Rijn gebruikt. Het gaat hier om 3D runs met 2 lagen. Dit geldt ook voor run h205 waar eveneens gedurende 2 dagen gestort wordt, maar de transportformule van Engelund-Hansen gebruikt wordt. Runs h208 en h209 geven het effect weer van een 3D run met 6 lagen bij een storting gedurende 1 dag, respectievelijk bij gebruik van de transportformule van Van Rijn en Engelund-Hansen.

Runs h210 en h211 zijn 2D runs met een storting gedurende 1 dag, resp. voor Van Rijn en Engelund-Hansen.

Verder werden er nog 2 runs uitgevoerd over een langere periode (30 dagen) met de transportformule van Van Rijn, waar gedurende 9 dagen gestort werd na een inlooperperiode van 14 dagen. Hierbij is run h212 een 3D run met 2 lagen, run h213 is een 2D run.

Tabel 2 – Overzicht van de uitgevoerde runs voor stortingen in stortzone SH41

Naam	Transport-formule	Aantal dagen doorgerekend	Begin storting	Eind storting	Secondary flow	3D?
h202	Van Rijn	30	dag2	dag4	Nee	50%, 50%
h203	Van Rijn	30	dag2	dag11	Nee	50%, 50%
h205	E-H	30	dag2	dag4	Nee	50%, 50%
h208	Van Rijn	15	dag 2	dag 4	Nee	5%, 10%, 15%, 20%, 20%, 30%
h209	E-H	15	dag 2	dag 4	Nee	5%, 10%, 15%, 20%, 20%, 30%
h210	Van Rijn	15	dag 2	dag 4	Nee	Nee
h211	E-H	15	dag 2	dag 4	Nee	Nee

4.2.2 Resultaten

In volgende paragrafen worden de resultaten van het gevoeligheidsonderzoek gepresenteerd voor stortzone SH41. Hierbij wordt achtereenvolgens ingegaan op de stortintensiteit en sediment transport formule. De vergelijking van de simulaties gebeurt steeds ten opzichte van run h115.

4.2.2.1 Evolutie sedimentvolume binnen de stortzone zonder uitvoeren van stortingen

Op basis van de evolutie van het watervolume binnen de stortzone SH41 bij de runs zonder stortingen (Figuur 19) kan een vergelijking gemaakt worden met de natuurlijke evolutie van het watervolume zoals weergegeven in Figuur 3, om op deze manier te bepalen welke simulatie het best de werkelijkheid benadert. Hieruit blijkt dat de door het model weergegeven variatie kleiner is dan de reële variatie.

De runs met de transportformule van Engelund-Hansen (h101 en h110) geven een zeer licht dalend verloop (afname van sedimentvolume of ook toename watervolume met ca. 0,1 – 0,2 Mm³/jaar). De run met de formule van Van Rijn geeft een sterkere daling van het sedimentvolume (afname van sedimentvolume of ook toename watervolume met ca. 1,0 Mm³/jaar), wat nog kleiner is in vergelijking met de metingen (3 Mm³/jaar voor stortloze periode).

Figuur 19 – Variatie sedimentvolume in stortzone SH41 bij runs zonder stortingen



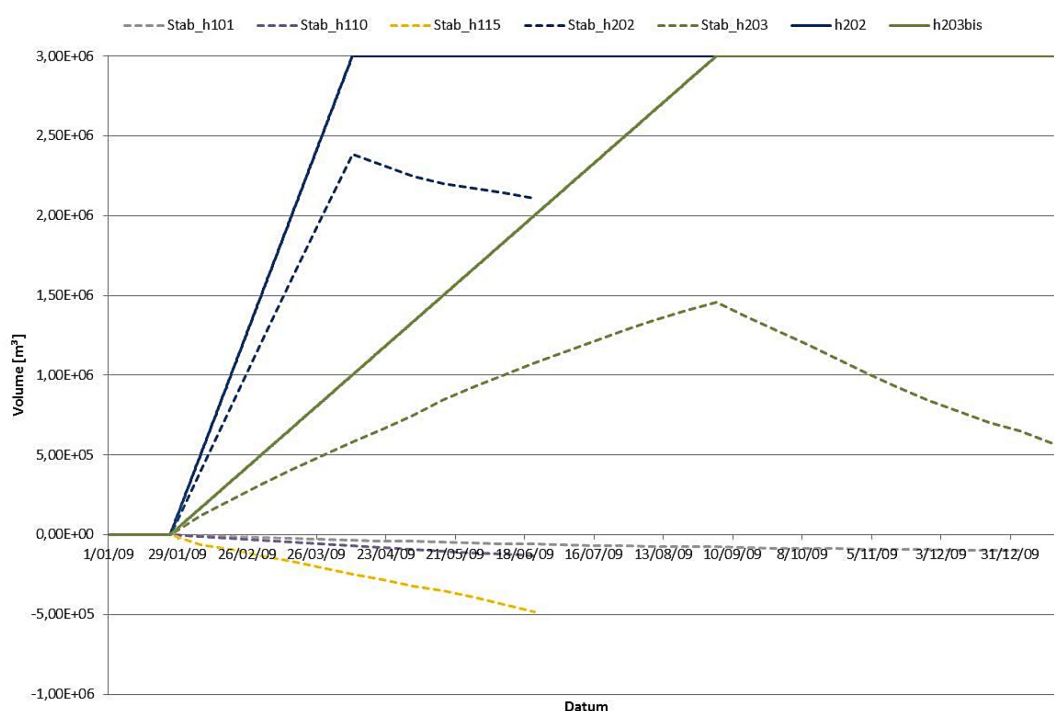
Opnieuw dient opgemerkt te worden dat bij de formule van Engelund-Hansen de kalibratie-parameter “ACAL” op 0,1 ingesteld werd, waardoor de berekende sedimenttransporten een factor 10 verkleind werden.

4.2.2.2 Effect van stortintensiteit

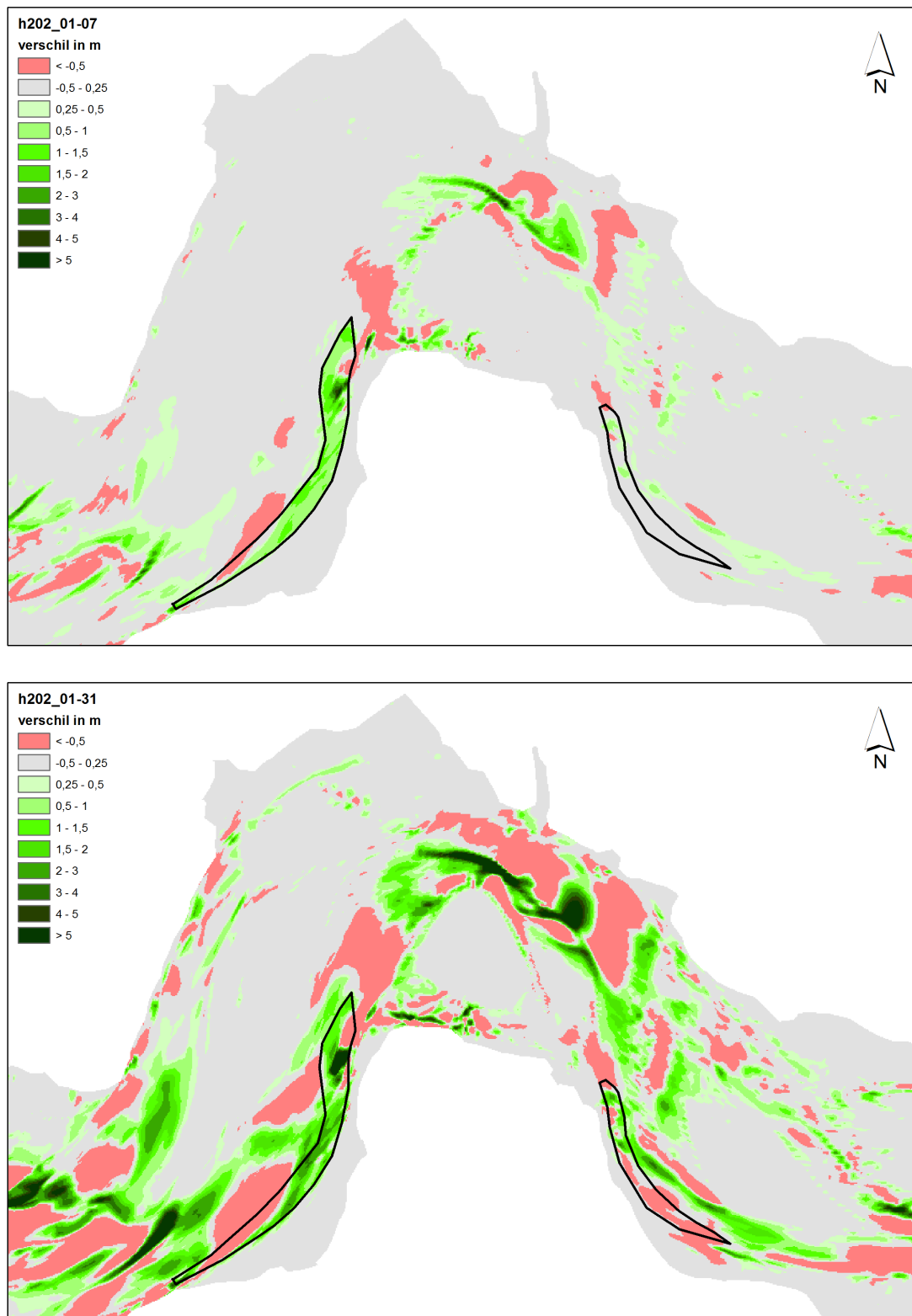
Figuur 20 geeft het effect van de stortintensiteit weer op de stabiliteit van de gestorte specie. Er werd hier telkens 3Mm³ zand gestort, waarbij het opvalt dat bij run h203 reeds een groot deel van de gestorte specie verdwenen is alvorens het storten afgelopen is. Na het storten erodeert de specie vrij snel.

Ter illustratie geeft Figuur 21 een verschilkaart van het moment net na de storting van 3 Mm³ bij run h202 en een verschilkaart na 1 jaar doorlooptijd. Figuur 22 toont hetzelfde maar dan voor run h203. Hierbij is wederom te zien dat vlak na de storting er een verschil is tussen run h202 en run h203, aangezien de stortintensiteit bij run h203 lager is en dus over een langere periode loopt. Hierdoor zijn er op het moment dat de storting afgelopen is reeds meer morfologische wijzigingen zichtbaar in de verschilkaart. De verschilkaarten op het einde van de simulatie zijn echter sterk vergelijkbaar.

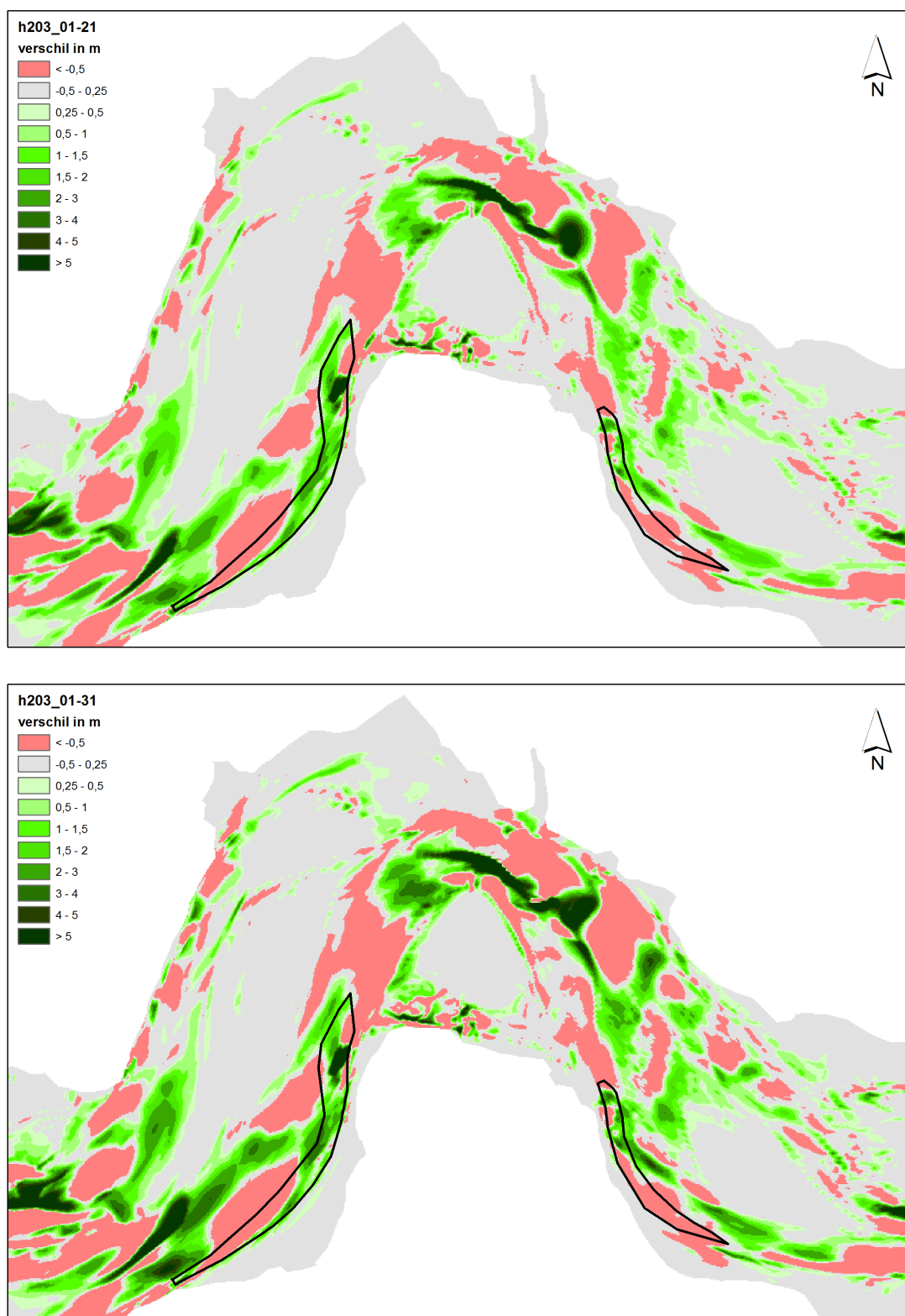
Figuur 20 – Stabiliteit van storting bij verschillende stortintensiteiten



Figuur 21 – boven: Toestand net na uitvoeren van de storting in SH41 voor run h202
onder: toestand na 1 jaar morfologische doorlooptijd



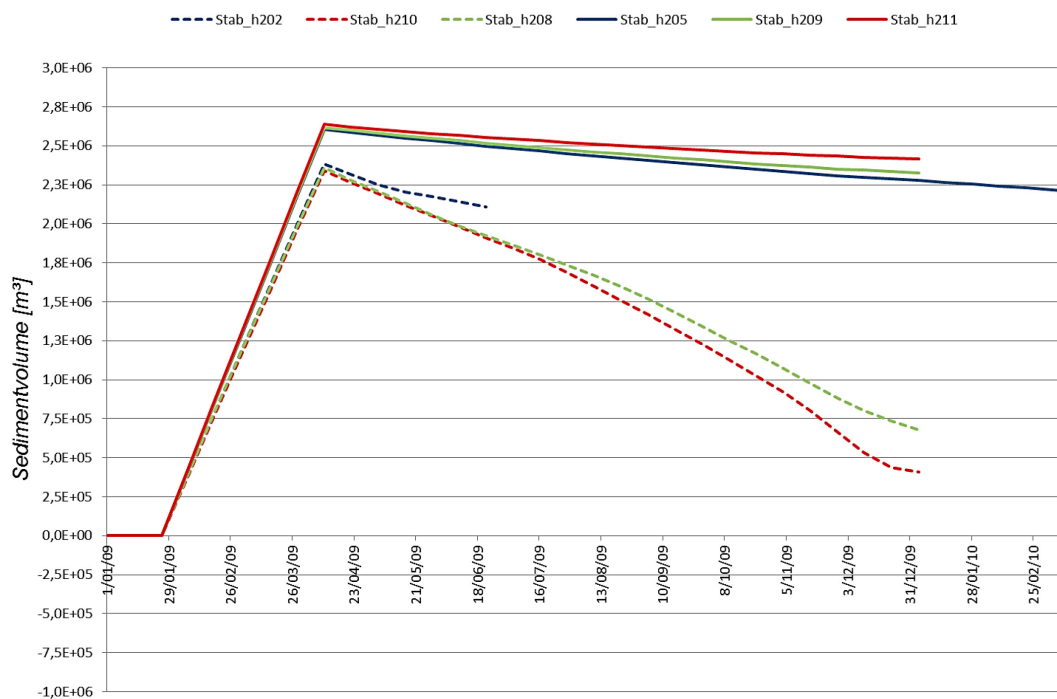
Figuur 22 – boven: Toestand net na uitvoeren van de storting in SH41 voor run h203
onder: toestand na 1 jaar morfologische doorlooptijd



4.2.2.3 Effect van sedimenttransportformule/3D simulatie

Figuur 23 geeft het effect weer van het gebruik van de transportformule van Van Rijn (1993, default instelling) tegenover het gebruik van de sedimenttransportformule van Engelund-Hansen. De stippellijnen geven in deze grafiek de runs weer met de sedimenttransportformule van Van Rijn, de volle lijnen die met de sedimenttransportformule van Engelund-Hansen. Bij elke run werd 3 Mm³ gestort tussen dag 2 en dag 4. Run h202 en h205 zijn 3D runs met 2 lagen, run h208 en h209 met 6 lagen en run h210 en h211 zijn 2D runs. Uit deze vergelijking blijkt dat bij de sedimenttransportformule van Engelund-Hansen veel beperktere erosie oplevert dan de formule van Van Rijn. Bovendien blijkt voor de run waar Engelund-Hansen het meest erosie voorspelt, Van Rijn het minst erosie te voorspellen en omgekeerd. Een toename van het aantal 3D lagen geeft dus bij de formule van Van Rijn een afname van de stabiliteit, terwijl een toename van het aantal lagen bij de formule van Engelund-Hansen zorgt voor een grotere stabiliteit. Een 2D run geeft bij de formule van Van Rijn een minder hoge stabiliteit dan een 3D run, terwijl dat bij Engelund-Hansen net omgekeerd is.

Figuur 23 – Stabiliteit van storting bij verschillende sedimenttransportformules



4.3 Stortzone Plaat van Walsoorden

Voor de stortzone Plaat van Walsoorden werden eveneens een aantal runs uitgevoerd (Tabel 3). Eén run (h301) gebeurde met de sedimenttransportformule van Engelund-Hansen, 2 andere simulaties met de formule van Van Rijn. Er werd telkens 1Mm³ zand gestort, bij run h301 over de totale stortzone Plaat van Walsoorden, bij run h302 enkel in de noordelijke helft van de stortzone en bij run h303 enkel in de zuidelijke stortzone.

Tabel 3 – Overzicht van de uitgevoerde runs voor stortingen in stortzone Plaat van Walsoorden

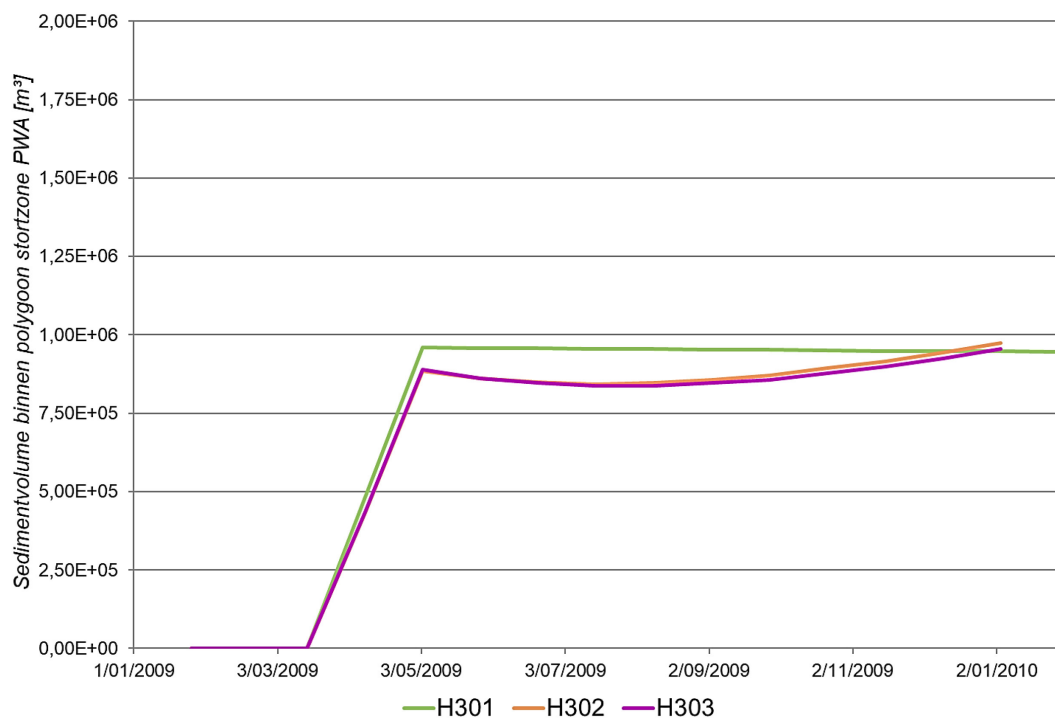
Naam	Transport-formule	Aantal dagen doorgerekend	Begin storting	Eind storting	Secondary flow	3D?	Stortzone
h301	E-H	15	dag2	dag3	Nee	Nee	Totale zone
h302	VR	15	dag2	dag3	Nee	Nee	Walsoorden noord
h303	VR	15	dag2	dag3	Nee	Nee	Walsoorden zuid

Figuur 24 geeft het verloop in tijd weer van de stabiliteit van de gestorte specie, relatief ten opzichte van de morfologische ontwikkelingen zonder stortingen. Hieruit blijkt dat in alle simulaties de stabiliteit van de gestorte quasi 100% is.

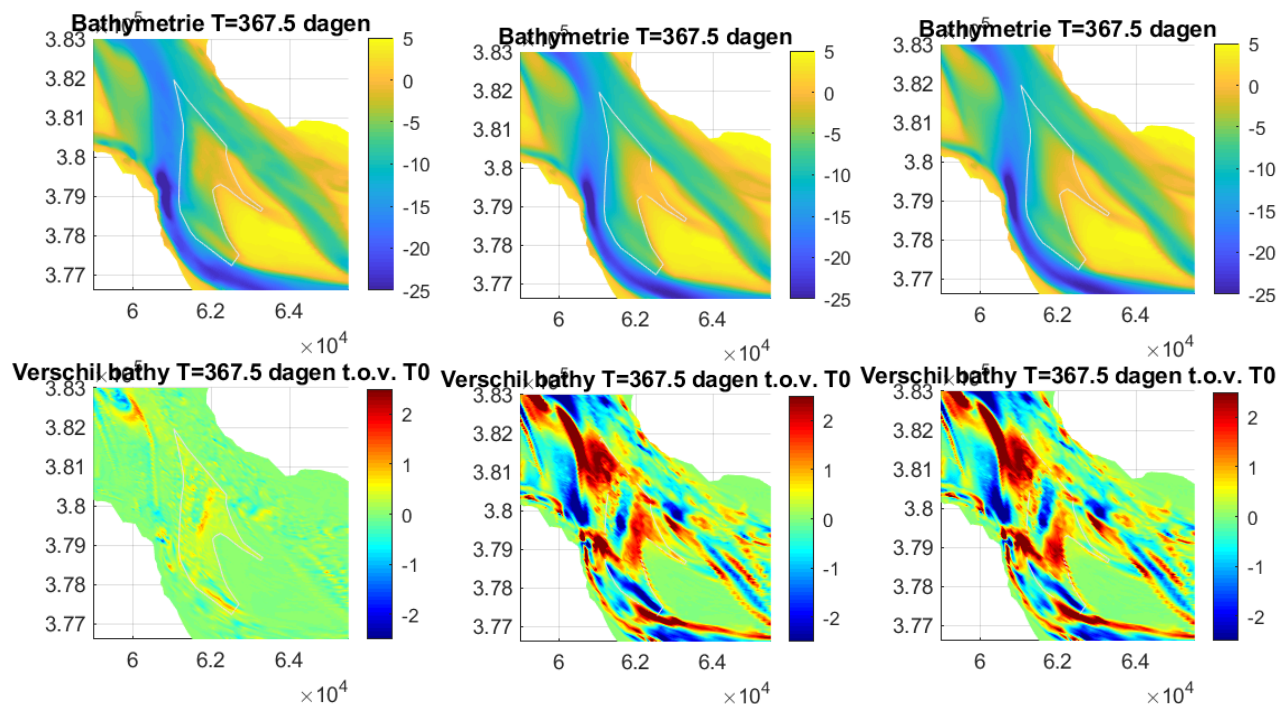
Echter, de morfologische dynamiek tussen de simulaties waarbij een verschillende sedimenttransportformule werd gebruik is groot (Figuur 25): de formule van Engelund-Hansen geeft aanleiding tot kleine morfologische veranderingen, terwijl de formule van Van Rijn sterke morfologische veranderingen met zich meebrengt. De hoofdreden voor dit verschil ligt vermoedelijk bij de instellingen die gebruikt werden bij de simulaties met de formule van Engelund-Hansen: hierbij werd een kalibratie-parameter (ACAL) gebruikt met waarde 0,1 (overgenomen uit eerdere simulaties); dit betekent dat de transporten een factor 10 verkleind werden bij de formule van Engelund-Hansen.

Wanneer de sedimentatie-erosie-patronen vergeleken worden, zijn deze gelijkaardig tussen de verschillende simulaties: ter hoogte van de storting vindt erosie plaats, dat in de richting van de plaat sedimenteert. Dit patroon komt overeen met de waargenomen patronen op basis van de multibeam peilingen (Vos, 2010).

Figuur 24 – Stabiliteit van storting in stortzone Plaat van Walsoorden



Figuur 25 – Morfologie na 1 jaar morfologische doorlooptijd nabij stortzone Plaat van Walsoorden
Links: E-H, storting totale zone | Midden: VR, storting noord | rechts: VR, storting zuid



4.4 Uitgebreid model

Door instabiliteiten ter hoogte van het Oostgat bij de hierboven beschreven simulaties, werd een uitgebreid model opgestart, met het volledige NevlaGrid en randvoorwaarden uit de CSM-Zuno modeltrein (Leyssen *et al.*, 2012). Er werd gewerkt met een morfologisch getij met een getijverschil van 5,1 m in Cadzand.

Allereerst werd een basisrun uitgevoerd (h501) zonder stortingen. Vervolgens werd in verschillende stortzones gestort: 1 Mm³ in de stortzone Plaat van Walsoorden (run h502), 1 Mm³ in stortzone SH51 (run h503), 3 Mm³ in stortzone SH41 (run h504), 1 Mm³ in stortzone SN51 (run h505), 3 Mm³ in stortzone SN31 (run h510). Voor de stortzones SH41 en SN31 werd bovendien nog telkens een run uitgevoerd waarbij enkel in de opwaartse of enkel in de afwaartse helft van de stortzone gestort werd. Een overzicht van de uitgevoerde simulaties is te vinden in Tabel 4.

Tabel 4 – Overzicht van de uitgevoerde runs met uitgebreid model

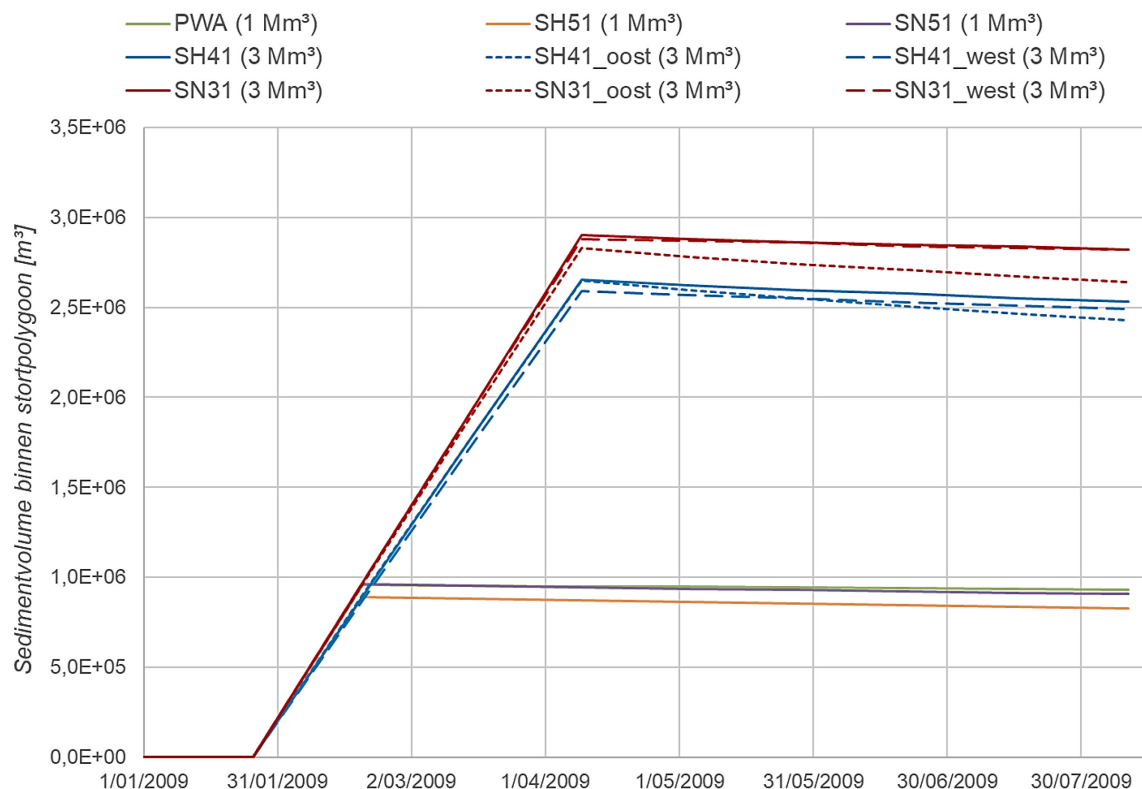
Naam	Transport-formule	Aantal dagen doorgerekend	Begin storting	Eind storting	Gestorte hoeveelheid	3D?	Stortzone
h501	Van Rijn	10	/	/	/	Nee	/
h502	Van Rijn	15	2	3	1 Mm ³	Nee	PWA
h503	Van Rijn	15	2	3	1 Mm ³	Nee	SH51
h504	Van Rijn	15	2	3	3 Mm ³	Nee	SH41
h505	Van Rijn	15	2	3	1 Mm ³	Nee	SN51
h506	Van Rijn	15	2	3	3 Mm ³	Nee	SH41_O
h507	Van Rijn	15	2	3	3 Mm ³	Nee	SH41_W
h508	Van Rijn	15	2	3	3 Mm ³	Nee	SN31_O
h509	Van Rijn	15	2	3	3 Mm ³	Nee	SN31_W
h510	Van Rijn	15	2	3	3 Mm ³	Nee	SN31

Figuur 26 geeft de volumeveranderingen weer binnen de verschillende stortpolygonen, voor de simulatie waarbij binnen de betreffende polygoon werd gestort. Hierbij werd de natuurlijke ontwikkeling verrekend aan de hand van de volumeveranderingen in de referentiesimulatie (h501). Figuur 27 geeft de stabiliteit weer van deze stortingen. Alle simulaties geven een verlies aan gestorte sediment weer. De snelheid van de afname van het sedimentvolume verschilt maar licht voor de verschillende stortzones, wat zich eveneens manifesteert in gelijkaardige stabiliteit van de gestorte specie.

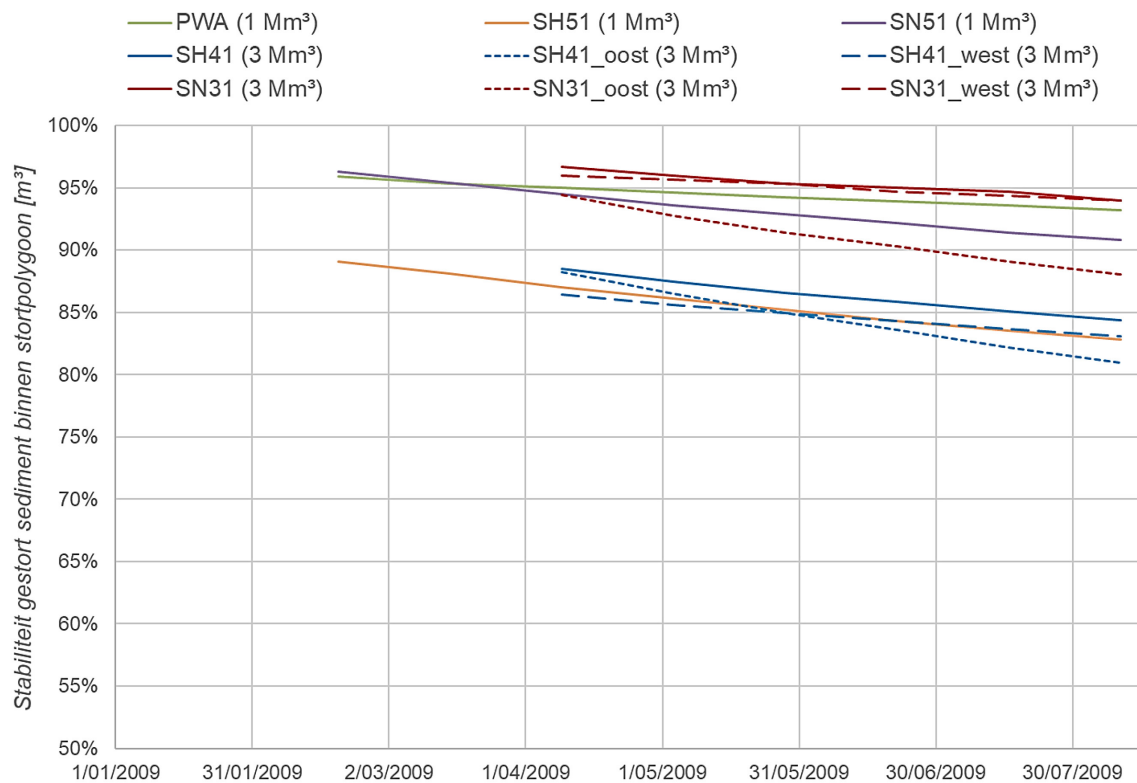
De Plaat van Walsoorden en de Everingen (SN31) kennen de hoogste stabiliteit. Bij de Plaat van Walsoorden voldoet dit aan de verwachting, bij de Everingen is dit vooral toe te schrijven aan het feit dat de stortingen hoofdzakelijk in het westelijk deel plaatsvinden, omwille van de grotere diepte alhier, en het vloed-dominante karakter van het sedimenttransport in deze geul. Meer storten in het oostelijk deel (h508) leidt dan ook tot een groter verlies ten opzichte van storten in het westelijk deel.

De 2 stortzones in de diepe delen, nl. SH51 (h503) en SH41 (h504), worden gekenmerkt door de kleinste stabiliteit. Ook dit komt overeen met de verwachtingen. Wel kan opgemerkt worden dat de stabiliteit gesimuleerd door het numerieke model aanzienlijk hoger ligt dan wat in de realiteit is gemeten. Voor het doorrekenen van toekomstige stortscenario's vormt dit een belangrijk aandachtspunt en dient onderzocht te worden hoe het model hiervoor kan verbeterd worden.

Figuur 26 – Volumeverandering binnen de verschillende stortzones bij storting van 1 Mm³ of 3 Mm³



Figuur 27 – Stabiliteit (i.e. relatieve volumeverandering t.o.v. stortvolume) voor verschillende stortzones



5 Conclusies

Ten behoeve van de toekomstige bagger- en stortstrategie is het van belang het gedrag van gestorte specie te kunnen inschatten. Numerieke modellen vormen hierin een belangrijke onderzoekstool, doch op het vlak van morfologie, hebben deze modellen nog steeds aanzienlijke beperkingen. In dit rapport is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd op de numerieke modellen voor het simuleren van de sedimentdynamica ter hoogte van stortzones. Hierbij werd de invloed bestudeerd van de stortintensiteit, secondary flow, de sedimenttransport formule en 2D versus 3D.

Door een verschillende instelling van een kalibratieparameter (ACAL) was het niet mogelijk de invloed van de sedimenttransport formule na te gaan. Uit eerdere studies (Dam *et al.*, 2013a; Grasmeijer *et al.*, 2013; Stark *et al.*, 2019) is echter gebleken dat zowel de formule van Engelund-Hansen als van Van Rijn geschikt is voor het simuleren van sedimenttransport in het Schelde-estuarium, maar dat de berekende morfologische ontwikkelingen kunnen verschillen.

Het effect van het expliciet meenemen van “secondary flow” en het gebruik van een 3D-model, zorgt zowel met de transportformule van Engelund-Hansen als Van Rijn, voor een lagere stabiliteit van het gestorte materiaal in de diepe delen van de vaargeul. Naarmate er meer lagen gebruikt worden in het 3D-model is deze erosie groter. De oorzaak hiervan ligt in de complexe stroompatronen die optreden in deze diepe delen van de vaargeul. De diepe putten komen meestal voor ter hoogte van bochten, die gekarakteriseerd worden door helicoïdale stromingen die een 3-dimensionaal karakter hebben. Echter, er dient opgemerkt te worden dat het gebruik van een 3D-model leidt tot een toename in rekentijd, wat voor de morfologische simulaties op langere termijn als beperkend kan werken.

De invloed van de stortintensiteit blijkt op korte termijn een effect te hebben op de morfologische veranderingen, doch op de langere termijn (termijn van maanden na het beëindigen van de stortingen) verdwijnen deze verschillen grotendeels.

Binnen deze gevoeligheidsanalyse is voornamelijk niet gefocust op de performantie van de morfologische modellen. Wanneer dergelijke modellen ingezet worden om concrete beheersvragen te onderzoeken, is het cruciaal dat een validatie op bestaande gegevens (sedimenttransport en topo-bathymetrie) gebeurt van deze modellen, vooraleer ze ingezet worden om scenario's door te rekenen.

6 Referenties

- Beirinckx, K.; Taal, M.; Plancke, Y.; Van den Bergh, E.** (2013). Plan van Aanpak Onderzoek Agenda voor de Toekomst
- Ceuppens, S.; Darcis, M.** (2015). Studie naar het sedimenttransport in het Schelde-estuarium: de theorie, de metingen en de reproduceerbaarheid met numerieke modellen
- Consortium Arcadis & Technum.** (2007). Hoofdrapport Milieueffectrapport: verruiming vaargeul Beneden Zeeschelde en Westerschelde. 311 pp.
- Dam, G.; Grasmeijer, B.; Taal, M.** (2013a). Actualisatierapport Finel 2D Schelde-estuarium ten behoeve van Lange Termijn Visie Schelde-estuarium, Veiligheid en Toegankelijkheid – Eindrapport. 95 pp.
- Dam, G.; Poortman, S.E.; Bliet, A.J.; Plancke, Y.** (2013b). Long-term modeling of the impact of dredging strategies on morpho- and hydrodynamic developments in the Western Scheldt, *in*: (2013b). *20th World Dredging Congress and Exhibition 2013 (WODCON XX). The Art of Dredging. Brussels, Belgium, 3-7 June 2013.* [S.n.]. ISBN 978-1-63266-266-8. pp.739
- Grasmeijer, B.; Dam, G.; Taal, M.** (2013). Actualisatie Delft3D Model van de Westerschelde: Lange Termijn Visie Veiligheid & Toegankelijkheid Schelde. 40 pp.
- Kuijper, K.; van der Kaaij, T.; de Goede, E.** (2006). LTV O&M actieplan voor morfologisch onderzoek modelinstrumentarium: Delft 3D. 582 pp.
- Leyssen, G.; Vanlede, J.; Decrop, B.** (2012). Modellentrein CSM-ZUNO: deelrapport 2. Validatie 2009. *WL Rapporten*, 753_12. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen
- Meire, D.; Plancke, Y.; De Maerschalck, B.; Mostaert, F.** (2019). Agenda voor de toekomst - Morfologie Mesoschaal: deelrapport 3. Gevoeligheidsanalyse voor morfologische simulaties in de Westerschelde. *WL rapporten*, 14_024_3. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen
- Plancke, Y.; Wouters, K.; Meire, D.; Mostaert, F.** (2019). Agenda voor de toekomst - Morfologie Mesoschaal: Deelrapport 5 – Data-analyse sedimentdynamica ter hoogte van stortingen
- Rijkswaterstaat Zeeland; Departement Mobiliteit en Openbare Werken, afdeling M.; Toegang.** (2008). Protocol voorwaarden voor flexibel storten – Kwaliteitsparameters. 6 pp.
- Schrijver, M.** (2015). Monitoring meergeulensysteem Westerschelde, Toetsing criteria nevengeulen.
- Stark, J.; Vandenbruwaene, W.; De Maerschalck, B.; Plancke, Y.; Mostaert, F.** (2019). Morfologie mesoschaal: Deelrapport 7 – Sedimentatie ter hoogte van drempels: validatie numeriek model.
- Tank, F.T.G.** (1996). Het gedrag van drempels in de Westerschelde. Parametrisatie.
- Vos, G.** (2010). Evaluatie van de morfologische evolutie van de proefstorting op basis van bathymetrische monitoring [PRESENTATIE]. Flanders Hydraulics Research: Antwerp
- Vos, G.; De Maerschalck, B.; Plancke, Y.; Verwaest, T.; Mostaert, F.** (2016a). Sedimentstrategie Beneden-Zeeschelde: deelrapport 2. Opzet en validatie zandmodel. *WL Rapporten*, 14_025. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen
- Vos, G.; De Maerschalck, B.; Plancke, Y.; Verwaest, T.; Mostaert, F.; Coen, L.; De Maerschalk, B.; Plancke, Y.; Verwaest, T.; Mostaert, F.** (2016b). Sedimentstrategie Beneden-Zeeschelde: deelrapport 2. Opzet en validatie zandmodel. *WL Rapporten*, 14_025. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

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