



departement
Mobiliteit en
Openbare Werken

Werkgroep O&M - Projectgroep Veiligheid en Toegankelijkheid

ONDERZOEK NAAR DE MORFOLOGIE OP MESO-SCHAAL TER
HOOGTE VAN STORTLOCATIES



791_10a WL Rapporten

Werkgroep O&M - Projectgroep Veiligheid en Toegankelijkheid

Onderzoek naar de morfologie op meso-schaal ter hoogte van stortlocaties

Vandenbruwaene, W.; Vos, G.; Plancke, Y.; Mostaert, F.

December 2012

WL2012R791_10a_rev3_0

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Vandenbruwaene, W.; Vos, G.; Plancke, Y.; Mostaert, F. (2012). Werkgroep O&M - Projectgroep Veiligheid en Toegankelijkheid: Onderzoek naar de morfologie op meso-schaal ter hoogte van stortlocaties. Versie 3.0. WL Rapporten, 791_10a. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België



Waterbouwkundig Laboratorium

Flanders Hydraulics Research





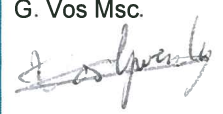
Berchemlei 115
B-2140 Antwerpen
Tel. +32 (0)3 224 60 35
Fax +32 (0)3 224 60 36
E-mail: waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be
www.watlab.be

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaandelijke schriftelijke toestemming van de uitgever.

Documentidentificatie

Titel:	Werkgroep O&M - Projectgroep Veiligheid en Toegankelijkheid: Onderzoek naar de morfologie op meso-schaal ter hoogte van stortlocaties		
Opdrachtgever:	Werkgroep O&M	Ref.:	WL2012R791_10a_rev3_0
Keywords (3-5):	Sedimenttransport, mesoschaal, stortingen, bodemvormen, Schelde-estuarium		
Tekst (p.):	50	Tabellen (p.):	4
Bijlagen (p.):	51	Figuren (p.):	/
Vertrouwelijk:	<input type="checkbox"/> Ja	Uitzondering:	<input type="checkbox"/> Opdrachtgever
			<input type="checkbox"/> Intern
			<input type="checkbox"/> Vlaamse overheid
	<input checked="" type="checkbox"/> Nee	Vrijgegeven vanaf	<input checked="" type="checkbox"/> Online beschikbaar

Goedkeuring

Auteur Dr. W. Vandenbruwaene 	Revisor Ir. Y. Plancke 	Projectleider Ir. Y. Plancke 	Afdelingshoofd Dr. F. Mostaert 
G. Vos Msc. 			

Revisies

Nr.	Datum	Omschrijving	Auteur
1_0	30/06/2011	Conceptversie	Vandenbruwaene, W.
1_1	22/08/2011	Verbeterde conceptversie	Vandenbruwaene, W.; Plancke, Y.
1_2	29/08/2011	Revisie opdrachtgever	Grasmeijer, B.; Cleveringa, J.
2_0	16/01/2012	Volledige conceptversie	Vandenbruwaene, W.
2_1	24/02/2012	Aanvulling bodemvormen	Vos, G.
2_2	19/03/2012	Revisie conceptversie	Plancke, Y.
2_3	23/04/2012	Finale conceptversie	Vandenbruwaene, W.
2_4	30/11/2012	Revisie opdrachtgever	Deltares, aMT, RWS
3_0	22/12/2012	Definitieve versie	Plancke, Y.

Abstract

In het kader van de projectgroep "zandhuishouding" (werkgroep O&M) werden verschillende studies gedefinieerd welke als doel hadden "het geven van antwoorden aan de beheerder voor de situatie na 2012, wanneer de zandwinning is afgebouwd en de volgende onderhoudsvergunning voor de Westerschelde moet worden verleend". Dit onderzoek heeft als doelstelling het morfodynamisch gedrag van gestorte specie na te gaan binnen diverse morfologische gebieden van het estuarium (plaatrand, nevengeul, hoofdgeul). De morfodynamica van de gestorte specie werd hierbij beschouwd op mesoschaal en over een korte tijdsperiode van minder dan 1 jaar.

Binnen deze studie werd de morfodynamica via het sedimenttransport onderzocht voor 4 locaties in het Schelde-estuarium. Elke locatie is gekenmerkt door een eigen morfologische karakter: 2 locaties zijn gelegen langsheen een plaatrand (Hooge Platen West en Plaat van Walsoorden), 1 locatie in een nevengeul (Schaar van Waarde) en 1 locatie in de hoofdgeul (Ketelputten). Voor iedere locatie werd het sedimenttransport berekend voor zowel natuurlijk transport als voor het transport na storting.

Inhoudstafel

Inhoudstafel.....	I
Lijst van de tabellen.....	III
Lijst van de figuren	IV
1 Inleiding	1
1.1 Situering.....	1
1.2 Leeswijzer.....	1
2 Doelstelling	3
3 Gebruikte meetgegevens	4
4 Methodologie	5
4.1 Zandbalansen	5
4.1.1 Rekenvakken	6
4.1.2 Randvoorwaarde zandbalans	7
4.1.2.1 Op basis van metingen van sedimenttransport	7
4.1.2.2 Op basis van sedimenttransportformules en snelheden	8
4.1.3 Berekening zandbalansen.....	12
4.2 Sedimenttransport op basis van bodemvormen	12
4.2.1 Berekening op basis van migratiesnelheid.....	12
4.2.2 Berekening op basis van verplaatste sediment volumes.....	13
5 Gevoeligheidsonderzoek.....	15
5.1 Tussenperiode zandbalansen.....	15
5.2 Bepalen randvoorwaarde.....	18
5.2.1 Methode voor het bepalen van het sedimenttransport als randvoorwaarde.....	18
5.2.1.1 Sedimenttransportmeting m.b.v. Delftse fles.....	18
5.2.1.2 Berekening sedimenttransport op basis van stroommetingen m.b.v. OSM.....	19
5.2.1.3 Berekening sedimenttransport op basis van gemodelleerde stroomsnelheden	19
5.2.1.4 Conclusies	19
5.2.2 Toepassen van randvoorwaarde.....	20
5.2.3 Variatie van de randvoorwaarde over de breedte van de rekenvakken	21
5.3 Conclusie	21

6	Natuurlijk transport	22
6.1	Hooge Platen West.....	22
6.2	Plaat van Walsoorden.....	23
6.3	Schaar van Waarde	24
6.4	Ketelputten.....	25
6.5	Conclusies	27
7	Transport na storting	28
7.1	Hooge Platen West.....	28
7.2	Plaat van Walsoorden.....	32
7.3	Schaar van Waarde	35
7.4	Ketelputten.....	38
7.5	Conclusies	41
8	Duinvoortplanting.....	42
9	Conclusies en aanbevelingen	48
9.1	Conclusies	48
9.1.1	Natuurlijk transport.....	48
9.1.2	Transport na storting	48
9.2	Aanbevelingen	49
10	Referenties	50
	Tabellen.....	1
	Bijlage A – Overzichtskaarten	1
	Bijlage B – Zandbalansen natuurlijk transport.....	5
	Bijlage C – Zandbalansen transport na storting.....	25
	Bijlage D – Sedimenttransport op basis van bodemvormen	47

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Overzicht van de metingen (sedimenttransport en stroming) gebruikt in deze studie	4
Tabel 2 – Beschouwde tijdsintervallen voor natuurlijk transport en transport na storing, tijdstip van de stortingen	6
Tabel 3 – Overzicht van de gebruikte data per locatie	6
Tabel 4 – Overzicht van de gebruikte peilingen met bijhorende codes, incl. aantal weken tussen gebruikte peilingen	16
Tabel 5 – Overzicht berekende bodemtransporten (gemiddeld over beschouwde periode) op basis van bodemvormen	44

Lijst van de figuren

Figuur 1– Bathymetrie van Schelde-estuarium (2009) met aanduiding van de 4 beschouwde locaties.....	5
Figuur 2 – Schematische voorstelling van berekening van het totaal sedimenttransport over 1 getij, gebaseerd op de Delftse fles metingen.....	8
Figuur 3 – Overzicht van de metingen ter hoogte van Hooge Platen West, uitgevoerd op 28/11/2007, gedurende 1 getijdicyclus. (a) Voorstelling van de korrelgrootte (d35 (onderste foutenvlag), d50 (marker) en d65 (bovenste foutenvlag)). (b) Voorstelling van de stroomsnelheid (rode lijn).....	11
Figuur 4 – Overzicht van de belangrijkste karakteristieken voor bodemvormen.....	13
Figuur 5 – Natuurlijk transport voor rekenrij O (HPW) voor periode oktober 2009 – februari 2010	15
Figuur 6 – Zandtransport na storting voor rekenrij O (HPW), beschouwd over tijdsintervallen van 2 weken tot 1 maand (a), 1 tot 2 maanden (b), 1,5 tot 3 maanden (c). Specie werd gestort van rekenvak 1 tot en met 8.	17
Figuur 7 – Sedimenttransport gemeten over 1 getij (tijdens springtij), met behulp van een Delftse fles, op 2 locaties ter hoogte van Hooge Platen West.	18
Figuur 8 – Sedimenttransporten berekend op basis van gemeten stroomsnelheden (OSM) (Van Rijn, Bagnold, Meyer-Peter Mueller) en op basis van gemodelleerde stroomsnelheden (Van Rijn u_mod)....	19
Figuur 9 – Zandbalans (natuurlijk transport) voor rekenrij O (Hooge Platen West) met de opgelegde randvoorwaarden (maximale en minimale waardes afwaarts en opwaarts) en de gemiddelde zandbalans (dikke lijn), berekend volgens de gemodelleerde stroomsnelheden	20
Figuur 10 – Totaal sedimenttransport aan de afwaartse en opwaartse rand van rekenrijen F, I, L, O en R (Hooge Platen West) op basis van gemodelleerde stroomsnelheden (2 springtij-doodtijcycli). Locaties gemodelleerde stroomsnelheden zie Figuur A 1.....	21
Figuur 11 – Contourplot voor het natuurlijk transport tussen 15/10/2009 en 04/02/2010 ter hoogte van Hooge Platen West, afgebeeld tegen de bathymetrie van 15/10/2009.....	22
Figuur 12 – Totaal sedimenttransport aan de afwaartse en opwaartse rand van rekenrijen B, E, H, K, N, Q en T (Plaat van Walsoorden) op basis van gemodelleerde stroomsnelheden (2 springtij-doodtijcycli). Locaties gemodelleerde stroomsnelheden zie Figuur A 2	23
Figuur 13 – Contourplot voor het natuurlijk transport tussen 17/11/2009 en 16/02/2010 ter hoogte van Plaat van Walsoorden, afgebeeld tegen de bathymetrie van 17/11/2009.....	24
Figuur 14 – Totaal sedimenttransport aan de afwaartse en opwaartse rand van rekenrijen C en F (Schaar van Waarde) op basis van gemodelleerde stroomsnelheden (2 springtij-doodtijcycli). Locaties gemodelleerde stroomsnelheden zie Figuur A 3.....	24
Figuur 15 – Contourplot voor het natuurlijk transport tussen 28/08/2006 en 6/12/2006 ter hoogte van Schaar van Waarde, afgebeeld tegen de bathymetrie van 28/08/2006	25
Figuur 16 – Totaal sedimenttransport aan de afwaartse en opwaartse rand van het rekenrooster Ketelputten op basis van gemodelleerde stroomsnelheden (2 springtij-doodtijcycli). Locaties gemodelleerde stroomsnelheden zie Figuur A 4.....	26
Figuur 17 – Contourplot voor het natuurlijk transport tussen 01/07/2008 en 20/02/2009 ter hoogte van Ketelputten, afgebeeld tegen de bathymetrie van 01/07/2008.....	26
Figuur 18 – Verschilkaart op basis van de peiling net voor, en de peiling net na de storting, Hooge Platen West.....	28
Figuur 19 – Zandbalans (gemiddelde transporten) voor rekenrij O (Hooge Platen West) na de stortingen	29

Figuur 20 – Contourplot (links) en verschilkaart (rechts) voor het transport na storting tussen 10/05/2010 (T6) en 16/06/2010 (T8) ter hoogte van Hooge Platen West	31
Figuur 21 – Contourplot (links) en verschilkaart (rechts) voor het transport na storting tussen 16/06/2010 (T8) en 16/07/2010 (T10) ter hoogte van Hooge Platen West	31
Figuur 22 – Contourplot (links) en verschilkaart (rechts) voor het transport na storting tussen 16/07/2010 (T10) en 21/09/2010 (T12) ter hoogte van Hooge Platen West	31
Figuur 23 – Contourplot (links) en verschilkaart (rechts) voor het transport na storting tussen 21/09/2010 (T12) en 19/11/2010 (T14) ter hoogte van Hooge Platen West	31
Figuur 24 – Verschilkaart op basis van de peiling net voor, en de peiling net na de storting, Plaat van Walsoorden	32
Figuur 25 – Zandbalans (gemiddelde transporten) voor rekenrij E (Plaat van Walsoorden) na de stortingen	33
Figuur 26 – Contourplot (links) en verschilkaart (rechts) voor het transport na storting tussen 15/03/2007 en 09/05/2007 ter hoogte van Plaat van Walsoorden	34
Figuur 27 - Contourplot (links) en verschilkaart (rechts) voor het transport na storting tussen 09/05/2007 en 07/07/2007 ter hoogte van Plaat van Walsoorden	34
Figuur 28 – Contourplot (links) en verschilkaart (rechts) voor het transport na storting tussen 07/07/2007 en 10/09/2007 ter hoogte van Plaat van Walsoorden	34
Figuur 29 – Contourplot (links) en verschilkaart (rechts) voor het transport na storting tussen 10/09/2007 en 15/11/2007 ter hoogte van Plaat van Walsoorden	34
Figuur 30 – Verschilkaart op basis van de peiling net voor, en de peiling net na de storting, Schaar van Waarde.....	35
Figuur 31 – Zandbalans (gemiddelde transporten) voor rekenrij D (Schaar van Waarde) na de stortingen	36
Figuur 32 – Contourplot (links) en verschilkaart (rechts) voor het transport na storting tussen 07/05/2009 en 09/07/2009 ter hoogte van Schaar van Waarde	37
Figuur 33 – Contourplot (links) en verschilkaart (rechts) voor het transport na storting tussen 09/07/2009 en 14/09/2009 ter hoogte van Schaar van Waarde	37
Figuur 34 – Contourplot (links) en verschilkaart (rechts) voor het transport na storting tussen 14/09/2009 en 19/11/2009 ter hoogte van Schaar van Waarde	37
Figuur 35 – Verschilkaart op basis van de peiling op 14/09/2009 en 19/11/2009, Schaar van Waarde..	38
Figuur 36 – Zandbalans (gemiddelde transporten) voor rekenrij A (Ketelputten) na de stortingen	39
Figuur 37 – Contourplot (links) en verschilkaart (rechts) voor het transport na storting tussen 06/04/2010 en 07/05/2010 ter hoogte van Ketelputten	40
Figuur 38 – Contourplot (links) en verschilkaart (rechts) voor het transport na storting tussen 07/05/2010 en 16/06/2010 ter hoogte van Ketelputten	40
Figuur 39 – Contourplot (links) en verschilkaart (rechts) voor het transport na storting tussen 16/06/2010 en 18/08/2010 ter hoogte van Ketelputten	40
Figuur 40 – Contourplot (links) en verschilkaart (rechts) voor het transport na storting tussen 18/08/2010 en 29/09/2010 ter hoogte van Ketelputten	40
Figuur 41 – Overzicht van de raaien voor de bepaling van het sedimenttransport op basis van bodemvormen. Contourlijnen stellen het sedimenttransport voor berekend op basis van de zandbalansen	43
Figuur 42 – Evolutie in de tijd van berekende bodemtransporten op basis van bodemvormen raai L1...45	

Figuur 43 – Evolutie in de tijd van berekende bodemtransporten op basis van bodemvormen raai B4 ..46

Figuur 44 – Evolutie in de tijd van berekende bodemtransporten op basis van bodemvormen raai E1 ..47

1 Inleiding

1.1 Situering

In het kader van de LangeTermijn Visie Schelde-estuarium 2030 vindt binnen de Werkgroep Onderzoek en Monitoring onderzoek plaats om de systeemkennis te vergroten. Binnen de Werkgroep O&M werd een projectgroep "zandhuishouding" opgericht, welke als doel kreeg *"het geven van antwoorden aan de beheerder voor de situatie na 2011¹, wanneer de zandwinning is afgebouwd en de volgende onderhoudsvergunning voor de Westerschelde moet worden verleend"*.

Dit doel geeft al aan dat de focus breder is dan het effect van zandwinning. Het gaat om de handvaten voor het morfologische beheer in de Westerschelde. Deze vraagstelling is vervolgens uitgewerkt en verbreed. Hiervoor zijn uitgebreide discussies gevoerd met beheerders (in de projectgroep zandhuishouding) en ook in een workshop waarvoor de toonaangevende Vlaamse en Nederlandse experts zijn uitgenodigd.

Tijdens het voortraject bleek al snel dat de vraagstelling niet tot de Westerschelde beperkt moest worden. De Zeeschelde dient nadrukkelijker in de beschouwingen betrokken te worden. Hierbij speelde het antwoord van de Nederlandse staatssecretaris op Kamervragen (23 sept 2008) een belangrijke rol². Daarnaast blijkt uit discussies in zowel de projectgroep als de expertenworkshop dat bij de noodzaak tot het daadwerkelijke stoppen van zandwinning op de verschillende tijd- en ruimteschalen nog vraagtekens worden geplaatst. Vanuit inhoudelijk standpunt kon ook worden aangevoerd dat zandwinning, en zeker die op de kleinere tijd- en ruimteschalen, gezien moet worden binnen het kader van het bredere spectrum van alle vormen van morfologisch beheer. Dit morfologische beheer, waaronder hier voornamelijk de flexibele maatregelen (baggeren, storten en zandwinnen) worden begrepen, heeft als doel het zo goed mogelijk bedienen van de verschillende functies, welke in de LTV Schelde-estuarium zijn gebundeld in de luiken toegankelijkheid, veiligheid en natuurlijkheid. 'Integraal zandbeheer' impliceert bovendien dat zowel de korte als lange termijn ontwikkeling van de zandhuishouding, op zowel grote als kleine ruimteschalen wordt meegenomen in de afwegingen.

Na deze verbreding werd het beoogde resultaat van het onderzoek LTV-zandhuishouding: *"Een breed gedragen (beide zijden van de grens) concept over de respons van de zandhuishouding op beheersingrepen (baggeren, storten, zandwinning), voor de tijd- en ruimteschalen die essentieel zijn voor de prioritaire LTV-functies. Het concept moet het mogelijk maken de stap te maken naar 'integraal zandbeheer'."*

Voorliggend onderzoek richt zich op de morfologische ontwikkeling op mesoschaal. Meer bepaald wordt onderzocht hoe gestorte specie zich op de korte termijn (< 12 maanden) gedraagt op verschillende stortlocaties: plaatrand, hoofdgeul en nevengeul.

1.2 Leeswijzer

Hoofdstuk 1 situeert de uitgevoerde studie binnen het kader van de LangeTermijnVisie Schelde-estuarium 2030. De doelstellingen van de uitgevoerde studie zijn geformuleerd in hoofdstuk 2.

-
1. *Inmiddels is er sprake van een later tijdstip dat de zandwinning afgebouwd moet zijn, ten vroegste 2012*
 2. *Citaat: "Sinds 1 oktober 2008 is het verdrag met Vlaanderen betreffende gezamenlijk beheer en beleid in het Schelde-estuarium van kracht. In dit kader zal een overleg worden geïnitieerd om aan dit beheer, waarvan zandwinning een wezenlijk onderdeel vormt, een verantwoorde invulling te geven. Mijn insteek zal zijn om de zandwinning in het gehele Schelde-estuarium terug te dringen."*

De gebruikte meetgegevens en methodiek om de vooropgestelde doelstellingen te beantwoorden zijn respectievelijk behandeld in hoofdstukken 3 en 4. Hoofdstuk 4 gaat hierbij dieper in op de verschillende methodes om sedimenttransporten te berekenen en voor te stellen (zandbalansen, bodemvormen).

De berekening van zandbalansen wordt beïnvloed door de beschouwde tijdsperiode en de vastgelegde randvoorwaarden. Een gevoeligheidsonderzoek in hoofdstuk 5 werd uitgevoerd om het effect van deze factoren na te gaan.

Hoofdstukken 6, 7 en 8 geven de resultaten weer van dit onderzoek. De nadruk ligt hierbij op de voorstelling van het sedimenttransport in verschillende morfodynamische contexten (plaatrand, nevengeul, hoofdgeul). Hoofdstuk 6 beschouwd hierbij het natuurlijke sedimenttransport, hoofdstuk 7 het sedimenttransport na het uitvoeren van een storting, en hoofdstuk 8 een alternatieve voorstelling van sedimenttransport gebaseerd op de voortplanting van bodemvormen (duinvoortplanting).

De conclusies en aanbeveling van deze studie zijn samengevat in hoofdstuk 9, gevolgd door een oplistings van de gebruikte referenties in hoofdstuk 10

2 Doelstelling

Momenteel zijn de inzichten in de sturende processen met betrekking tot hoe zandwinning, baggeren of storten zich doorvertaalt in de morfologie eerder beperkt. Binnen dit luik van het onderzoek wordt getracht het inzicht te vergroten op de mesoschaal en hiermee samenhangend de korte termijn (tot 12 maanden).

Met het beleidsvoornemen voor het afbouwen van de zandwinning in het Nederlandse deel van het Schelde-estuarium, is het van belang een beter inzicht te krijgen in de morfodynamiek van gestorte sedimenten in het estuarium. In het verleden werd hier reeds onderzoek naar uitgevoerd [WLB, 2006; WLB, 2007; Plancke *et al.*, 2008; Vos *et al.*, 2009] en deze resultaten zullen maximaal binnen het huidige onderzoek gebruikt worden. Volgende kennisvragen zullen onderzocht worden:

- Wat is de morfodynamiek van gestorte specie op verschillende locaties (plaatrand, nevengeul, hoofdgeul) in het estuarium?
 - o Hoe lang blijft langs een plaatrand gestorte specie liggen?
 - o Hoe snel erodeert in een nevengeul gestorte specie?
 - o Hoe snel erodeert in een hoofdgeul gestorte specie?

Gelet op de "flexibele" stortstrategie in de Westerschelde, worden volgende onderdelen bestudeerd:

- Stortingen langs plaatranden:
 - o Hooge Platen West: westelijk deel Westerschelde
 - o Plaat van Walsoorden: oostelijk deel Westerschelde
- Stortingen in nevengeulen: Schaar van Waarde
- Stortingen in de hoofdgeul: Ketelputten, putten ter hoogte van de toegangsgedul tot Boudewijn en van Cauwelaert sluizen

Het morfologisch gedrag van de gestorte sedimenten wordt zowel onderling vergeleken, als met de natuurlijke transporten die optreden in een periode zonder stortingen.

Het is belangrijk te vermelden dat voor deze analyse gebruik gemaakt zal worden van bestaande bathymetrische opnames.

3 Gebruikte meetgegevens

Zoals reeds aangegeven wordt binnen deze studie louter gebruik gemaakt van beschikbare meetgegevens. Voor de morfologische analyses worden voornamelijk multibeam echosounding (MBES) peilingen gebruikt. De peilingen voor de gebieden Plaat van Walsoorden en Schaar van Waarde zijn beschikbaar uit de opvolging van de 2 in-situ stortproeven nabij de Plaat van Walsoorden [WLB, 2006; Vos *et al.*, 2009]. Voor de gebieden Hooge Platen West en Ketelputten zijn de gegevens beschikbaar vanuit de opvolging van de stortingen in het kader van de verruiming van de vaargeul.

Tabel A 1 geeft een overzicht van de gebruikt MBES-peilingen die binnen deze studie gebruikt werden. Een kleurcode geeft aan of de peiling gebruikt werd als referentiesituatie ("natuurlijk transport") of als toestand na de stortingen.

Naast de MBES-peilingen, werden voor het bepalen van de zandbalansen metingen van zandtransporten en stromingen gebruikt. Het merendeel van de gebruikte meetgegevens werden verzameld binnen het determinatieonderzoek plaatrandstortingen. Voor een uitgebreide beschrijving van de meettechnieken en bijhorende resultaten wordt dan ook verwezen naar [Plancke *et al.*, 2008]. Tabel 1 geeft de metingen die in het kader van voorliggende studie werden gebruikt.

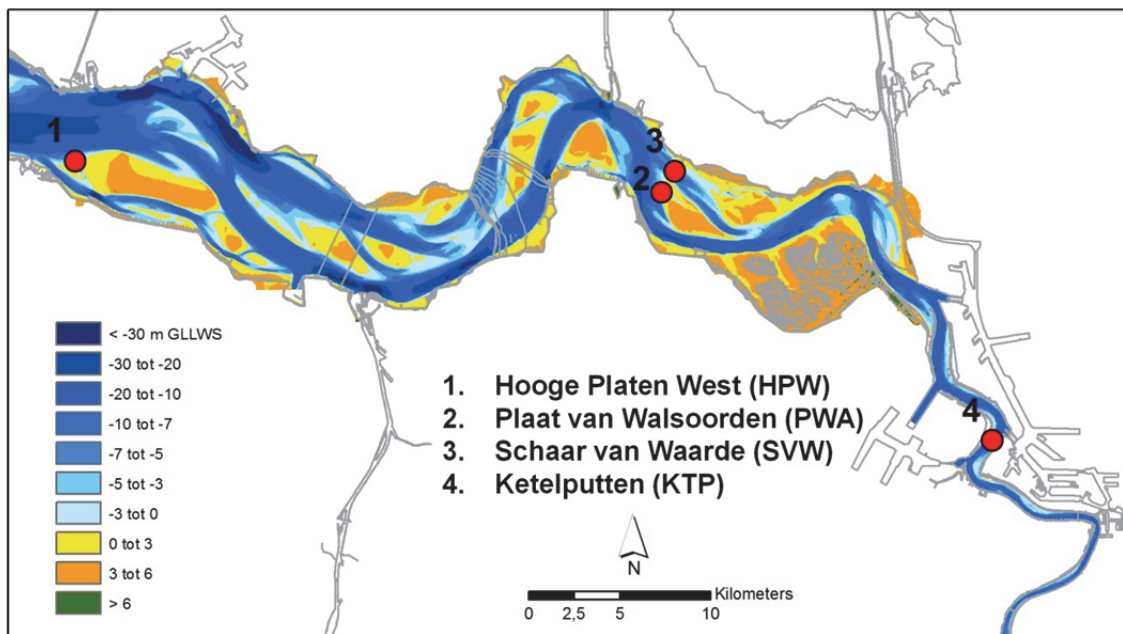
Tabel 1 – Overzicht van de metingen (sedimenttransport en stroming) gebruikt in deze studie

TYPE	TOESTEL	LOCATIE	PERIODE	REFERENTIE
Stroming	OSM	HPW	11/2007	[Plancke et al., 2008]
Sedimenttransport	Delftse fles	HPW	11/2007	[Plancke et al., 2008]
Sedimenttransport	AZTM	PWA	09/2010	pers. comm. RWS Zeeland
Sedimenttransport	AZTM	SVW	09/2010	pers. comm. RWS Zeeland

4 Methodologie

Om het morfologisch gedrag van de gestorte sedimenten te bestuderen zal hoofdzakelijk gebruikt gemaakt worden van zandbalansen. Op basis hiervan kunnen zandtransporten afgeleid worden. Deze methode zal worden beschreven in § 4.1 en zal worden toegepast voor volgende locaties in het Schelde-estuarium (Figuur 1):

- Hooge Platen West: plaatrand in het westelijk deel van de Westerschelde
- Plaat van Walsoorden: plaatrand in het oostelijk deel van de Westerschelde
- Schaar van Waarde: nevengeul in het oostelijk deel van de Westerschelde
- Ketelputten: hoofdgeul t.h.v. de toegangsheug van de Boudewijn en van Cauwelaert sluisen (Beneden Zeeschelde)



Figuur 1– Bathymetrie van Schelde-estuarium (2009) met aanduiding van de 4 beschouwde locaties

Naast de zandbalansen zullen ook verschilkaarten worden gemaakt om de morfologische ontwikkelingen in beeld te brengen voor de verschillende locaties in verschillende periodes. Tevens zal voor één locatie (Plaat van Walsoorden) een analyse gebeuren van de bodemvormen en de migratie ervan, om op basis hiervan ook sedimenttransport af te leiden. De methodiek die hiervoor gebruikt wordt is beschreven in § 4.2.

4.1 Zandbalansen

Bij het berekenen van zandbalansen wordt gebruik gemaakt van topo-bathymetrische opnames waarop volumeberekeningen worden uitgevoerd. Hiervoor wordt een rekenrooster gedefinieerd dat gelegen is volgens de dominante stromingsrichting. Vervolgens wordt per rekenrij van het rekenrooster het sedimenttransport berekend, waarbij op een bepaalde locatie in de rekenrij een randvoorwaarde opgelegd wordt. Deze verschillende onderdelen worden hieronder besproken.

Voor iedere beschouwde locatie werd een onderscheid gemaakt tussen het natuurlijke sedimenttransport enerzijds, en het sedimenttransport na het uitvoeren van een storting anderzijds. Een overzicht van de beschouwde tijdsperiodes voor het natuurlijk transport en transport na storting is weergegeven in Tabel 2.

Tabel 2 – Beschouwde tijdsintervallen voor natuurlijk transport en transport na storing, tijdstip van de stortingen

	Natuurlijk transport	Storing	Transport na storing
HPW	okt09 – feb10	mrt10 – mei10	jun10 – nov10
PWA	nov09 – feb10	sep06 – mrt07	apr07 – nov07
SVW	aug06 – dec06	apr09	mei09 – nov09
KTP	jul08 – feb09	mrt10	apr10 – sep10

Tabel 3 – Overzicht van de gebruikte data per locatie

	Delftse fles	Akoestische zandtransportmeter	Onderwater stroomsnelheidsmeter	Gemodelleerde stroomsnelheden	Peilingen
HPW	x		x	x	x
PWA		x		x	x
SVW		x		x	x
KTP				x	x

4.1.1 Rekenvakken

Per locatie wordt een rooster van rekenvakken gedefinieerd, waarbij de oriëntatie zo gekozen wordt dat het transport volgens de richting van de rekenrijen geschiedt. Deze oriëntatie is bepaald op basis van de lokale stroomrichting (eb en vloed), waarbij volgende veronderstellingen aangenomen worden:

1. De stroomrichting wijzigt niet significant tijdens resp. de eb- en vloedfase
2. De stroomrichting bij eb verschilt 180° van deze bij vloed
3. De stroomrichting wijzigt niet significant binnen de deelgebieden
4. Het zandtransport vindt plaats volgens dezelfde richting als de stroming

De veronderstellingen worden gerespecteerd voor het grootste deel van de verschillende deelgebieden. Wel is het zo dat de 2^e aanname meestal niet perfect optreedt, doch dat de afwijking beperkt blijft. Voor de 3^e aanname kunnen er afwijkingen optreden. Met name ter hoogte van de plaatpunten, waar (voornamelijk de vloed)stroming gesplitst wordt door de plaatpunt en de richting dichter bij de plaat verschillend zal zijn dan deze in de diepere delen (cfr. secundair vloedgeultje ter hoogte van Plaat van Breskens). Hierdoor kan er een sedimenttransport aanwezig zijn tussen aangrenzende rekenrijen, welk niet wordt meegenomen in de gebruikte methodiek.

Een overzicht van de oriëntatie van de rekenroosters is weergegeven in Bijlage A. Hierbij kan opgemerkt worden dat voor de 3 locaties in de Westerschelde een orthogonaal rekenrooster is gekozen, terwijl voor de Ketelputten (omwille van de ligging in een bocht) een gekromd rekenrooster werd opgesteld.

4.1.2 Randvoorwaarde zandbalans

Om zandbalansen te kunnen berekenen, dient een randvoorwaarde opgegeven te worden die toelaat de "ketting" van zandtransporten tussen de aangrenzende rekenvakken te berekenen. Deze randvoorwaarde³ kan op verschillende manieren benaderd worden:

1. Sedimenttransportmetingen: over 1 getij met behulp van de Delftse fles of de akoestische zandtransportmeter
2. Berekening van sedimenttransport op basis van stroomsnelheden: toepassen van klassieke formules op gemeten stroomsnelheden (onderwater stroomsnelheidsmeter) of gemodelleerde stroomsnelheden over 1 à 2 springtij-doodtijcycli
3. Aanname van het sedimenttransport op een bepaalde locatie

In Hoofdstuk 3 is reeds een overzicht gegeven van de verschillende metingen die voor deze studie beschikbaar waren. Uit Tabel 1 blijkt dat voor de verschillende deelgebieden verschillende informatie beschikbaar is. Voor de verschillende bestudeerde locaties in het Schelde-estuarium werd voor zover mogelijk de invloed van de gekozen methodiek voor het berekenen van de randvoorwaarde op de transportwaarde nagegaan, afhankelijk van de beschikbare gegevens. De beschouwde puntlocaties met bijhorende methode zijn voor iedere locatie (HPW, PWA, SVW, KTP) weergegeven in bijlage A.

4.1.2.1 Op basis van metingen van sedimenttransport

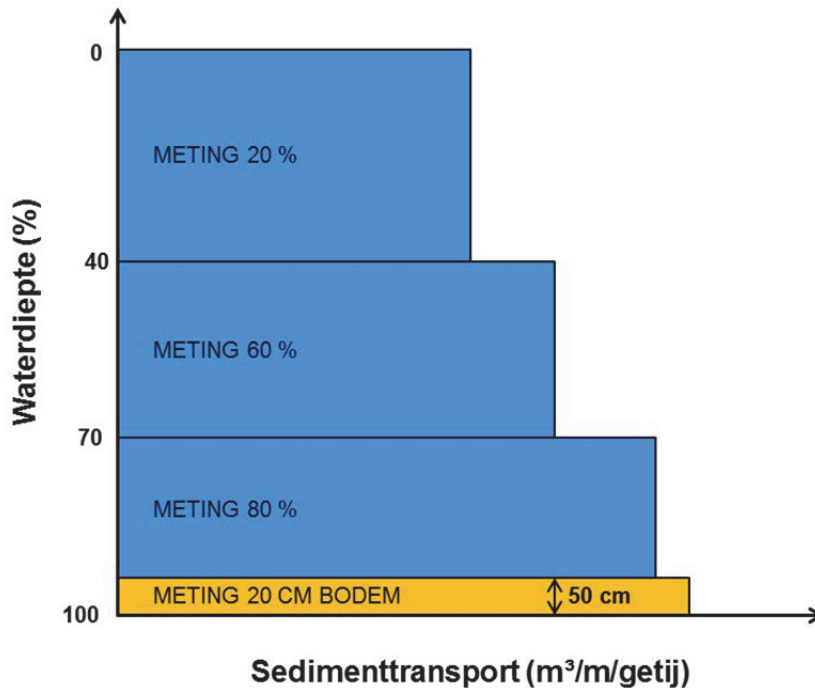
Delftse fles

De Delftse fles is een toestel waarmee het sedimenttransport op een directe manier kan bemonsterd worden. Het water en het sediment stroomt het toestel binnen via een inlaatopening en stroomt vervolgens doorheen een labyrint in het toestel zelf. Daar neemt de snelheid geleidelijk aan af en wordt het sediment afgezet. Uit de hoeveelheid van het afgezette sediment kan het sedimenttransport berekend worden.

Metingen met een Delftse fles werden uitgevoerd op 10, 20 en 30 cm van de bodem (bodemtransport), en op een hoogte van 80%, 60% en 20% van de waterkolom (suspensietransport). Monsters werden ongeveer om de 15 minuten genomen en dit gedurende één volledige getijcyclus (13u). Voor het bodemtransport werden de waardes op 20 cm van de bodem beschouwd als meest representatief (gelegen tussen de 10 cm en de 30 cm waardes). Om vervolgens het volledige bodemtransport over 1 getij te berekenen werden de 20 cm waardes geïntegreerd over de tijd (1 getij, tijdsintervallen van 15 minuten) en werd verondersteld dat dit bodemtransport plaatsvindt in de zone tot 50 cm boven de bodem.

Wat betreft het suspensietransport werd de waterkolom onderverdeeld in 3 zones: (1) van de bovengrens bodemtransport (dit is op 50 cm van de bodem) tot 70% waterdiepte, (2) van 70% waterdiepte tot 40% waterdiepte, en (3) van 40% waterdiepte tot aan het wateroppervlak (Figuur 2). Voor iedere zone werd het suspensietransport over 1 getij berekend door de sedimenttransporten op 80%, 60% en 20% van de waterkolom te integreren over de tijd (1 getij, tijdsintervallen van 15 minuten) en over de bijhorende waterkolommen (ieder tijdsinterval verschillende waterstanden). Het volledige suspensietransport is de som van de gevonden waardes voor de drie verschillende zones. Het uiteindelijke totaaltransport is de som van het bodemtransport en het suspensietransport.

³ Ten gevolge de grote temporele variatie in de inputdata (1 getij tot meerdere springtij-doodtijcycli) werden alle sedimenttransporten verrekend naar waardes in $m^3/m/getij$. De berekende sedimenttransporten zijn steeds totaaltransporten wat de som is van het bodemtransport en het suspensietransport.



Figuur 2 – Schematische voorstelling van berekening van het totaal sedimenttransport over 1 getij, gebaseerd op de Delftse fles metingen

Akoestische zandtransportmeter (AZTM)

De AZTM meet het sedimenttransport op een indirecte manier, waarbij het een geluidssignaal uitzendt dat door de gesuspendeerde zanddeeltjes in een welbepaald watervolume wordt verstrooid. Op basis van de amplitude van het verstrooide signaal wordt de concentratie van de zanddeeltjes berekend op een bepaalde locatie. Gelijktijdig wordt ook de stroomsnelheid van het water op deze locatie gemeten. Het zandtransport kan vervolgens worden berekend uit de gemeten concentraties en stroomsnelheden. Metingen met de AZTM werden uitgevoerd gedurende één volledige getijcyclus (13u), waarbij zandconcentraties werden bepaald op 5 verschillende hoogtes in de waterkolom, en dit ongeveer elke 10 minuten gedurende de getijcyclus.

Om het sedimenttransport te berekenen werd de waterkolom onderverdeeld in 5 verschillende zones, waarbij de grenzen bepaald werden door de bodem, de middens tussen de 5 verschillende meethoogtes en het wateroppervlak. Voor iedere zone werd het sedimenttransport over 1 getij berekend door de gemeten transportwaarden in de waterkolom te integreren over de tijd (1 getij, tijdsintervallen van 10 minuten) en over de bijhorende waterkolommen. De gekozen hoogtes voor de transportmetingen hielden geen rekening met het onderscheid tussen bodemtransport en suspensietransport, en de berekende transportwaarde over 1 getij kan bijgevolg beschouwd worden als het totaaltransport.

4.1.2.2 Op basis van sedimenttransportformules en snelheden

Sedimenttransportformules

Het sedimenttransport werd berekend volgens de transportformules van Van Rijn [1984a, 1984b], Bagnold [1966] en Meyer-Peter Mueller [1948]. Van Rijn en Bagnold leidden zowel het bodemtransport (q_b) als het suspensietransport (q_s) af, waaruit de som ($q_b + q_s$) resulteert in het totaaltransport q_t . Meyer-Peter Mueller leidde enkel het bodemtransport af.

De vereenvoudigde bodemtransportformule volgens Van Rijn [1984a] is gedefinieerd als:

$$q_b = 0.25d_{50}u_{*c}^3 T^{1.5} \quad (1)$$

waarbij:

- q_b = volumetrische bodemtransport (m^2/s)
 d_{50} = mediane korrelgrootte (m)
 $u_{*,c} = (\tau'_{b,c} / \rho)^{0.5} = g^{0.5} \bar{u} / C'$ = effectieve bodemschuifsnellheid (m/s)
 $\tau'_{b,c}$ = effectieve bodemschuifspanning (N/m^2)
 ρ = vloeistofdichtheid (kg/m^3)
 g = valversnelling (m^2/s)
 \bar{u} = diepte-gemiddelde stroomsnelheid (m/s)
 $C' = 18 \log(12h / 3d_{90})$ = korrel-gerelateerde Chézy-coëfficiënt ($m^{1/2}/s$)
 h = waterdiepte (m)
 d_{90} = 90% waarde in de korrelgrootteverdeling (m)
 $D_* = d_{50} [(s-1)g / \nu^2]^{1/3}$ = dimensieloze korrelparameter (-)
 $s = \rho_s / \rho$ = relatieve dichtheid (-)
 ρ_s = sedimentdichtheid (kg/m^3)
 ν = kinematische viscositeitscoëfficiënt (m^2/s)
 $T = (\tau'_{b,c} - \tau_{b,cr}) / \tau_{b,cr}$ = dimensieloze bodemschuif parameter
 $\tau_{b,cr}$ = kritische bodemschuifspanning volgens Shields (N/m^2)

De suspensietransportformule volgens Van Rijn [1984b] is gedefinieerd als volgt:

$$q_s = 0.012 \left(\frac{\bar{u} - \bar{u}_{cr}}{(s-1)gd_{50}^{0.5}} \right)^{2.4} \left(\frac{d_{50}}{h} \right) \left(\frac{1}{D_*} \right)^{0.6} \quad (2)$$

waarbij:

- q_s = volumetrisch suspensietransport (m^2/s)
 \bar{u}_{cr} = kritische diepte-gemiddelde stroomsnelheid volgens Shields (m/s)

Bagnold (1966) definieerde het bodemtransport volgens de vergelijking:

$$q_b = \frac{e_b \tau_b \bar{u}}{(\rho_s - \rho)g \cos \beta (\tan \varphi - \tan \beta)} \quad (3)$$

waarbij:

- q_b = volumetrische bodemtransport (m^2/s)
 $\tau_b = \rho \cdot g \cdot h \cdot I$ = algemene bodemschuifspanning (N/m^2)
 I = energigradiënt (-)
 e_b = efficiëntiefactor voor bodemtransport = 0.1
 $\tan \varphi$ = dynamische frictiecoëfficiënt = 0.6
 $\tan \beta = I_b$ = bodemhelling (-)

Het suspensietransport werd door Bagnold [1966] gedefinieerd als volgt:

$$q_s = \frac{e_s (1 - e_b) \tau_b \bar{u}}{(\rho_s - \rho)g \cos \beta [(w_s / \bar{u}) - \tan \beta]} \quad (4)$$

waarbij:

- q_s = volumetrisch suspensietransport (m^2/s)
 e_s = efficiëntiefactor voor suspensietransport = 0.01
 w_s = valsnelheid sediment (m/s)

Het bodemtransport werd door Meyer-Peter Mueller [1948] gedefinieerd als:

$$q_b = \varphi_b (s - 1)^{0.5} g^{0.5} d_{50}^{1.5} \quad (5)$$

waarbij:

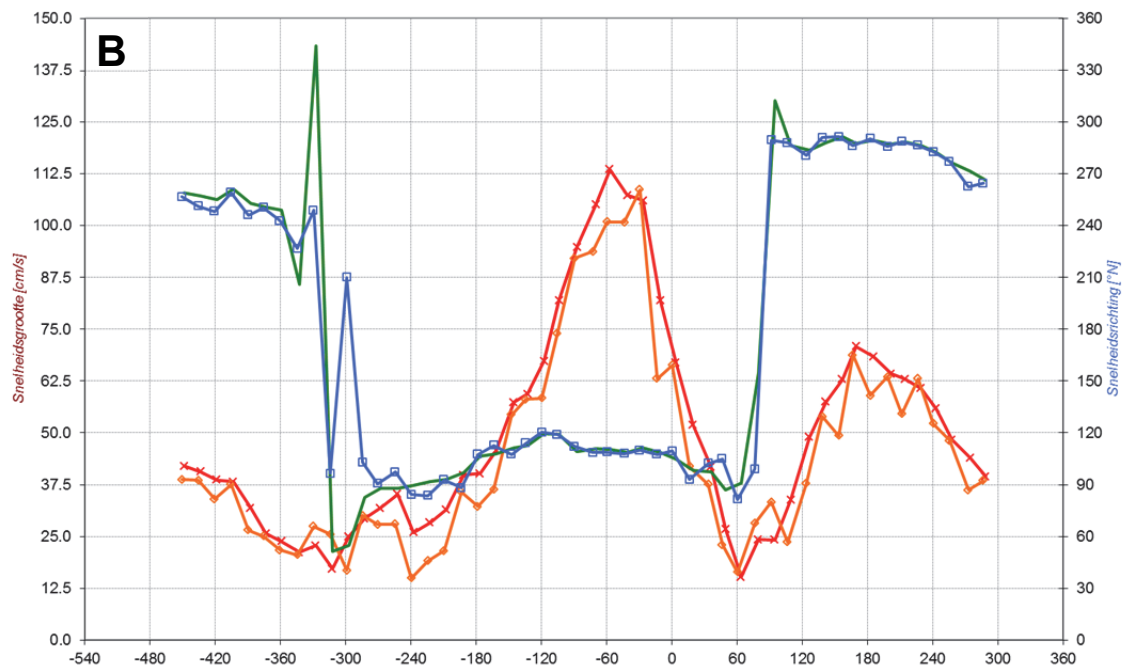
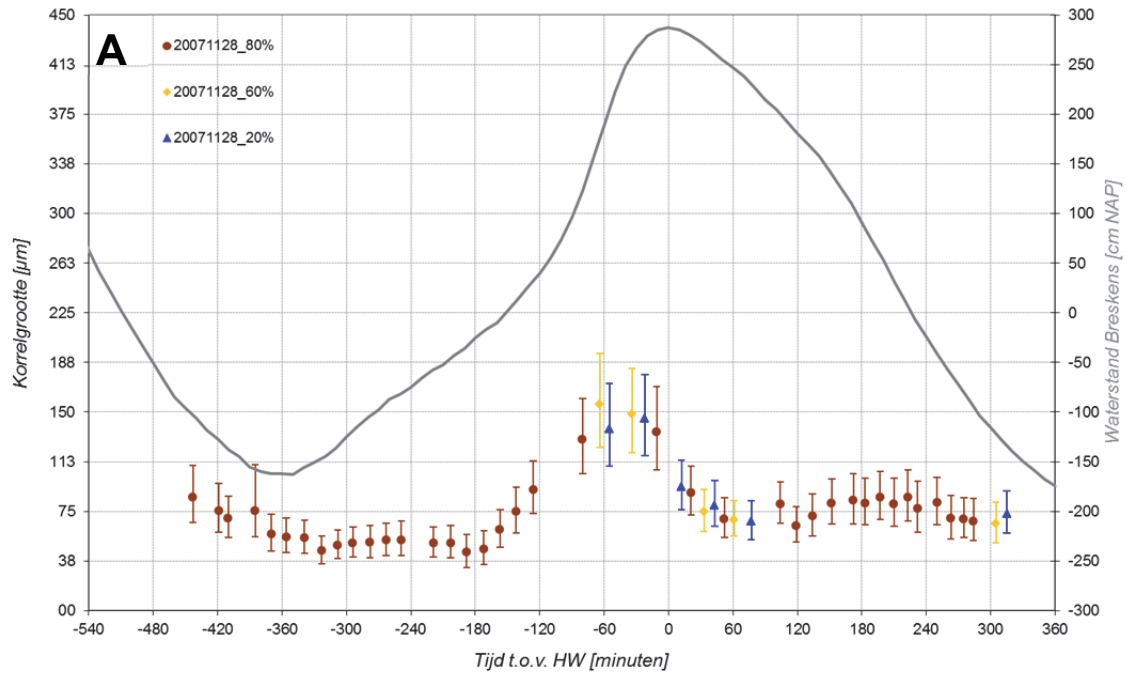
q_b = volumetrisch bodemtransport (m^2/s)

$\varphi_b = 8(\mu\theta - 0.047)^{1.5}$ = dimensieloze bodemtransportsnelheid

$\theta = \frac{\tau_{b,c}}{(\rho_s - \rho)gd_{50}}$ = dimensieloze deeltjes-mobiliteitsparameter

$\tau_{b,c} = \rho \cdot g \cdot h \cdot I$ = stroom-gerelateerde bodemschuifspanning (N/m^2)

Alle beschreven formules maken gebruik van de stroomsnelheid om het sedimenttransport te berekenen (vergelijkingen (1) tot (5)). Om sedimenttransport te berekenen werd zowel gebruik gemaakt van gemeten stroomsnelheden als van gemodelleerde stroomsnelheden. Van Rijn en Meyer-Peter Mueller gebruiken naast stroomsnelheid ook korrelgrootte als inputparameter (vergelijkingen (1), (2) en (5)). Op basis van korrelgroottes ter hoogte van Hooge Platen West [Plancke *et al.*, 2008] (Figuur 3a) werden de d_{50} en d_{90} waardes bepaald, zowel voor sediment nabij de bodem als voor sediment in suspensie. De uitgevoerde metingen (over een getijcyclus) tonen aan dat voor lagere stroomsnelheden ($\pm < 40$ cm/s) korrelgroottes constant zijn (cf. Figuur 3a en Figuur 3b). Voor deze stroomsnelheden wordt dan ook 1 constante waarde voor de korrelgrootte gebruikt. Voor hogere stroomsnelheden (> 40 cm/s) neemt de korrelgrootte toe met toenemende stroomsnelheid (cf. Figuur 3a en Figuur 3b). Om deze variatie in korrelgrootte in rekening te brengen werd een lineaire regressie uitgevoerd (voor data > 40 cm/s) op basis van de minimale en maximale korrelgrootte en stroomsnelheid. Deze methodiek zorgt er voor dat de variatie in korrelgrootte in rekening wordt gebracht bij de berekening van het sedimenttransport. De methodiek werd zowel toegepast voor het gesuspendeerde sediment (Figuur 3a), als het sediment nabij de bodem. De Bagnold transportformules (vergelijkingen (3) en (4)) maken geen gebruik van de korrelgrootte, hier is echter de bodemhelling een belangrijke inputparameter. Deze parameter is specifiek van toepassing voor terrestrische rivieren en niet voor getijdenrivieren. De bodemhelling werd dan ook vervangen door een andere energiegradiënt, namelijk de waterhelling. De waterhelling werd berekend over een volledig getij, op basis van de waterstanden tussen twee tijposten gedurende een gemiddeld hoogwater. De waterhelling werd ook gebruikt in de bodemtransportformule van Meyer-Peter Mueller (vergelijking (5)). Een laatste belangrijke inputparameter is de waterdiepte. Deze werd bepaald op basis van de bodemdiepte en de waterstanden ter hoogte van de beschouwde locatie. Alle andere parameters in de transportformules zijn afgeleid op basis van de hierboven beschreven inputparameters.



Figuur 3 – Overzicht van de metingen ter hoogte van Hooge Platen West, uitgevoerd op 28/11/2007, gedurende 1 getijcyclus. (a) Voorstelling van de korrelgrootte (d35 (onderste foutenvlag), d50 (marker) en d65 (bovenste foutenvlag)). (b) Voorstelling van de stroomsnelheid (rode lijn)

Onderwater stroomsnelheidsmeter (OSM)

Gebruik makende van een stroomsnelheidsmeter meet de onderwater stroomsnelheidsmeter (OSM) op een mechanische manier de stroomsnelheid en de stroomrichting. Het bepalen van de stroomsnelheid is hierbij gebaseerd op het aantal rotaties dat een molen draait onder invloed van de stroming. De stroomrichting wordt bepaald door een kompas.

OSM data zijn enkel beschikbaar voor de locatie Hooge Platen West (Figuur A 1). Stroomsnelheden werden gemeten op 3.5 meter van de bodem, een hoogte waarop de stroomsnelheid representatief is voor de diepte-gemiddelde stroomsnelheid (pers. comm. RWS Zeeland – Meetadviesdienst). De metingen vonden plaats over een periode van 1 springtij-doodtijcyclus.

Gemodelleerde stroomsnelheden

Op basis van een gevalideerd numeriek model [Vos *et al.*, 2012] werden stroomsnelheden gemodelleerd over 2 springtij-doodtijcycli voor elk van de 4 locaties, en dit telkens aan de opwaartse en afwaartse rand van het rekenrooster. Om een beeld te krijgen van de ruimtelijke variatie over de breedte van de rekenvakken, werd om de drie rekenrijen een uitvoerpunt gedefinieerd (locatie gemodelleerde stroomsnelheden, zie Bijlage A). Voor Hooge Platen West werden er eveneens stroomsnelheden gemodelleerd ter hoogte van de OSM locatie. Voor een beschrijving van het numerieke model wordt verwezen naar [Ides & Plancke, 2008].

4.1.3 Berekening zandbalansen

In het kader van deze studie wordt gebruik gemaakt van multibeam echo-sounding (MBES) peilingen die werden uitgevoerd bij de opvolging van de stortingen [Schrijver & Plancke, 2008]. Bij een MBES wordt aan de hand van verschillende akoestische signalen de afstand tussen de sensor (onderaan schip) en de bodem bepaald. Op deze manier (na correctie met de instantane waterstand) kan de bodemligging opgemeten worden van een bepaald gebied. De hoge dichtheid van de meetpunten laat toe om de meetdata om te zetten naar een regelmatig rooster ("grid") van 1m bij 1m.

Om sedimenttransporten te berekenen werden de interessegebieden onderverdeeld in een rooster van aaneensluitende rekenvakken. De rijen van het rooster zijn hierbij georiënteerd volgens de stromingsrichting, waarbij verondersteld werd dat er enkel sedimenttransport plaatsvindt binnen eenzelfde rij [WLB, 2007]. Door gebruik te maken van peilingen op verschillende tijdstippen werd voor ieder rekenvak het volume geërodeerd of afgezet sediment berekend over het beschouwde tijdsinterval. Om nu effectief sedimenttransporten te berekenen dient een randvoorwaarde opgelegd te worden aan de rekenrij. Positieve waarden duiden op opwaarts sedimenttransport (vloedgedomineerd), negatieve waarden duiden op afwaarts sedimenttransport (ebgedomineerd).

Peildata werden zowel gebruikt om de zandbalansen en de daaruit afgeleide sedimenttransporten te berekenen, zowel voor de "natuurlijke" situatie (voor aanvang van de stortingen) als voor de situatie na het uitvoeren van de stortingen. Deze zandbalansen kunnen berekend worden tussen om het even welke 2 peilingen. Om de invloed van de periode tussen de peilingen na te gaan, werd een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd (§ 5.1).

4.2 Sedimenttransport op basis van bodemvormen

Naast de hoger beschreven methodes werd er eveneens gebruik gemaakt van de bodemvormen om een beeld te krijgen van de grootte van het bodemtransport. Hierbij werden 2 methodes toegepast:

- Berekening van het bodemtransport op basis van de migratiesnelheid van de bodemvormen
- Berekening van het bodemtransport op basis van de verplaatste sedimentvolumes van de bodemvormen

4.2.1 Berekening op basis van migratiesnelheid

Bij de berekening van het bodemtransport op basis van de migratiesnelheid van de bodemvormen werd gebruik gemaakt van volgende vergelijking [Hoekstra *et al.*, 2004]:

$$\bar{q}_b = \alpha H$$

waarbij:

α = bodemtransport coëfficiënt; deze kan beschouwd worden als een kalibratiefactor, gebaseerd op een vergelijking tussen gemeten en berekende transporthoeveelheden. Er zijn in de literatuur verschillende waarden voor α te vinden, maar volgens de meeste auteurs ligt de waarde tussen 0,5 en 0,6. [-]

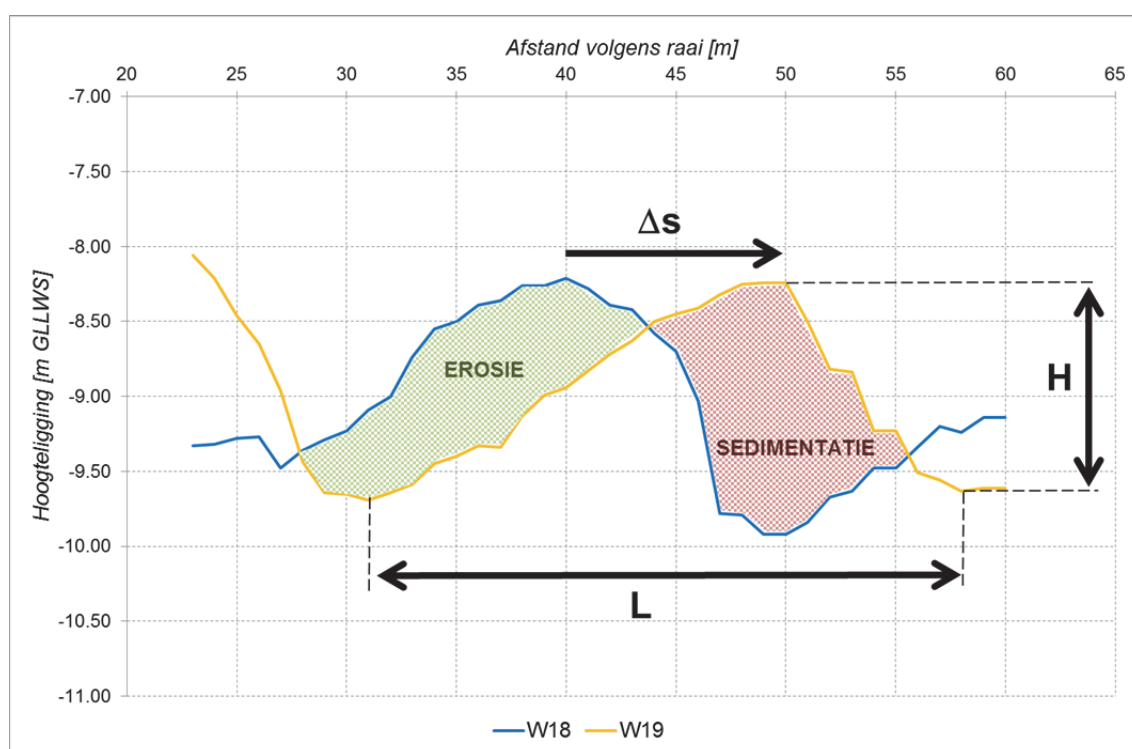
c = de voortplantingssnelheid van de bodemvorm [m/dag]

H = de hoogte van de bodemvorm [m]

Binnen het interessegebied worden een aantal langsgaaiën gedefinieerd, waarvoor de verschillende bodemvormen op een aantal momenten (i.e. beschikbare peiling) geanalyseerd worden. Aangezien de bodemvormen in opeenvolgende peilingen niet eenvoudig automatisch herkend kunnen worden, is er voor gekomen per raai een aantal bodemvormen visueel te selecteren en hiervoor de analyse uit te voeren. Voor deze bodemvorm worden de karakteristieken (hoogte, lengte, locatie top, dal – zie Figuur 4) berekend via een Matlab-routine [Plancke *et al.*, 2009]) en wordt de voortplantingssnelheid berekend als:

$$c = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{\text{verschil in positie top bodemvorm}}{\text{tijd tussen 2 peilingen}}$$

Dit wordt herhaald voor een aantal opeenvolgende peilingen, waarbij steeds visueel wordt nagegaan of dezelfde bodemvorm in beide peilingen kan geassocieerd worden. Per bodemvorm wordt vervolgens een gemiddelde waarde berekend, terwijl er ook voor de verschillende bodemvormen van de geanalyseerde raai een gemiddelde wordt afgeleid.



Figuur 4 – Overzicht van de belangrijkste karakteristieken voor bodemvormen

4.2.2 Berekening op basis van verplaatste sediment volumes

Naast de migratiesnelheid, kan ook het bodemtransport afgeleid worden uit de verplaatste sediment volumes van de bodemvormen [Berben *et al.*, 1978]. Tussen 2 opeenvolgende peilingen zal de bodemvorm zich verplaatsen, waarbij er aan de loefzijde een hoeveelheid sediment geërodeerd wordt, terwijl er zich aan de leizijde een hoeveelheid sediment afzet. Dit is weergegeven in Figuur 4. Het geërodeerde volume (groen) en het afgezette volume (rood) zijn een maat voor het bodemtransport.

Identiek aan de methodologie voor het bepalen van de migratiesnelheid, worden er per dwarsraai een aantal visueel geselecteerde bodemvormen beschouwd. Hierbij wordt tussen 2 opeenvolgende peilingen zowel het geërodeerde volume als het afgezette volume berekend (per eenheidsbreedte). Vervolgens kan hieruit het bodemtransport berekend worden:

$$q_b = \frac{\langle \Delta V \rangle}{\Delta t} = \frac{\text{gemiddelde volume sediment dat geërodeerd/afgezet is}}{\text{tijd tussen 2 peilingen}}$$

Dit wordt herhaald voor een aantal opeenvolgende peilingen, waarbij steeds visueel wordt nagegaan of de zelfde bodemvorm in beide peilingen kan geassocieerd worden. Per bodemvorm wordt vervolgens een gemiddelde waarde berekend, terwijl er ook voor de verschillende bodemvormen van de geanalyseerde raai een gemiddelde wordt afgeleid.

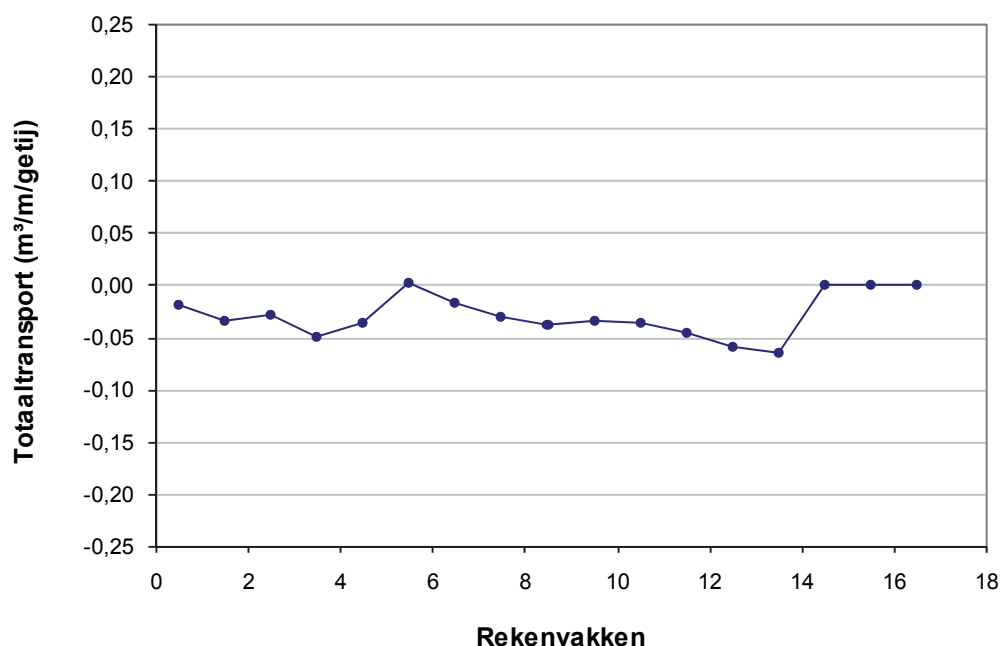
5 Gevoeligheidsonderzoek

In het voorgaande hoofdstuk werden de verschillende stappen in het berekenen van sedimenttransport via zandbalansen beschreven. Het opleggen van een randvoorwaarde om de transporten in de rekenrijen te kunnen berekenen vormt hierbij een belangrijk onderdeel. Het bepalen van deze randvoorwaarde kan op verschillende manieren gebeuren. Om de invloed van de verschillende methodes na te gaan, werd voor de Hooge Platen West een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Deze locatie werd gekozen aangezien hiervoor de meeste peildata beschikbaar waren. Naast de methode om de op te leggen randvoorwaarde te bepalen, werd ook het effect van de tussentijd tussen 2 MBES-peilingen op de zandbalans nagegaan. Dit is van belang aangezien tijdens en vlak na de stortingen 2-wekelijks peilingen werden uitgevoerd, nadien nam de frequentie geleidelijk af (tot 2-maandelijks).

5.1 Tussenperiode zandbalansen

Om het effect van de beschouwde tussenperiode op de zandbalansen na te gaan werd rekenrij O beschouwd in het rekenrooster van Hooge Platen West (Figuur A 1). Deze rekenrij is gelegen in het verlengde van de plaatpunt en loopt over het gebied waar stortingen werden uitgevoerd. Er wordt dan ook verwacht dat de invloed van de stortingen sterk zichtbaar zijn in deze rekenrij, waardoor de invloed van de tussenperiode hiervoor kan bestudeerd worden.

In een eerste stap werden, op basis van de peilingen van voor de storting, over een periode van 3 à 4 maanden (oktober 2009 – februari 2010) de natuurlijke transporten langsheen de rekenrij (Figuur 5) berekend. Hierbij werd aangenomen dat het sedimenttransport aan de opwaartse rand (plaatkant) 0 m³/m/getij bedraagt. Deze aanname is acceptabel aangezien het sedimenttransport naar de westelijke punt van de Hooge Platen miniem is. Langsheen de rekenrij varieert het natuurlijk transport tussen 0 en -0,05 m³/m/getij en bereikt het aan de afwaartse rand -0,02 m³/m/getij.



Figuur 5 – Natuurlijk transport voor rekenrij O (HPW) voor periode oktober 2009 – februari 2010

Na het uitvoeren van de stortingen werden er in het kader van de opvolging van de stortingen binnen flexibel storten [Schrijver & Plancke, 2008], initieel 2-wekelijks, later 4 wekelijks een peiling uitgevoerd, en dit over een periode van 7 maanden (nadien werden nog peilingen uitgevoerd, doch met een groter interval). Gelet op deze grote hoeveelheid data, werd nagegaan welke tussenperiode kan gehanteerd worden om de veranderingen in het zandtransport doorheen de tijd goed te kunnen vaststellen.

Hiervoor werden de sedimenttransporten op basis van de zandbalansen berekend voor rekenrij O, beschouwd over 3 verschillende tijdsintervallen:

- A. 2 tot 4 weken
- B. 4 tot 8 weken
- C. 6 tot 12 weken

Voor deze gevoeligheidsanalyse werd de opwaartse randvoorwaarde constant gehouden ($0 \text{ m}^3/\text{m}/\text{getij}$). Een overzicht van de gebruikte MBES-peilingen met bijhorende codes is terug te vinden in Tabel 4.

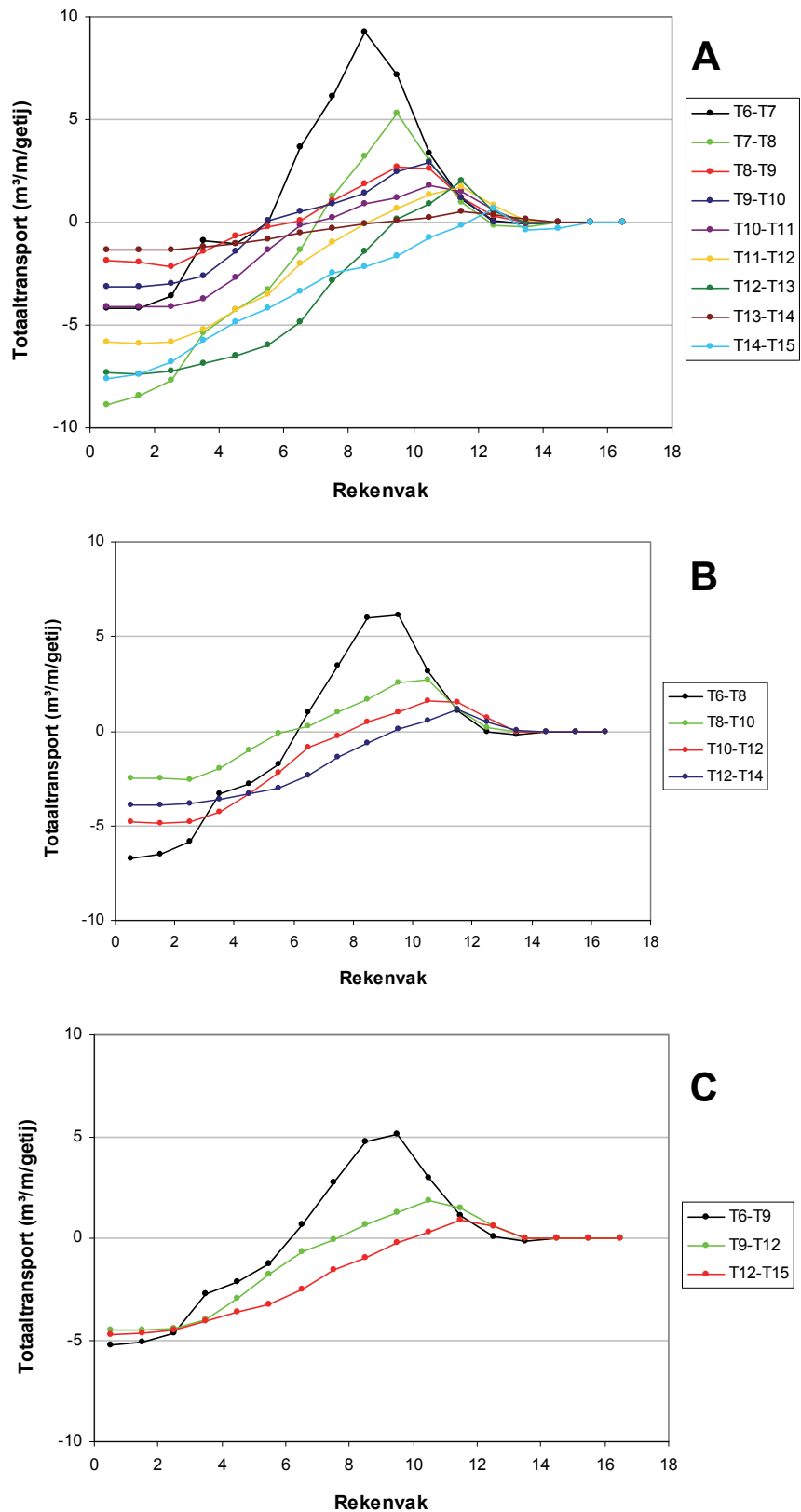
Tabel 4 – Overzicht van de gebruikte peilingen met bijhorende codes, incl. aantal weken tussen gebruikte peilingen

Code	Tijdstip	Aantal weken tussen gebruikte peilingen		
		A	B	C
T6	10/05/2010			
T7	27/05/2010	2		
T8	16/06/2010	3	5	
T9	2/07/2010	2		8
T10	16/07/2010	2	4	
T11	26/08/2010	6		
T12	21/09/2010	4	10	12
T13	16/10/2010	4		
T14	19/11/2010	5	8	
T15	9/12/2010	3		11

De geselecteerde rekenrij O is gelegen over het centrale deel van de stortzone. Vlak na het uitvoeren van de stortingen is er zowel in de stortzone zelf, als net opwaarts van de storting, een duidelijke toename in sedimenttransport. Transportwaardes bereiken hierbij een piek van bijna $10 \text{ m}^3/\text{m}/\text{getij}$ (T6-T7, Figuur 6a). Dit verloop in sedimenttransport is echter niet constant in de tijd. Na verloop van tijd verschuift de piek in de opwaartse richting en wordt deze minder uitgesproken. Waar het sedimenttransport initieel na de storting dus zeer uitgesproken en meer lokaal is (net opwaarts van de stortzone), vermindert het transport na verloop van tijd met een verschuiving van het piektransport in de opwaartse richting.

Beschouwd over langere tijdsintervallen (Figuur 6b en c) is er net als voor de kortere periodes een piek in sedimenttransport, die met de tijd opschuift in de opwaartse richting en minder uitgesproken wordt. Door echter grotere tijdsintervallen te beschouwen wordt het piektransport "gesmooth": het is minder lokaal en minder groot. Bij een tijdsinterval van 1 maand (Figuur 6b) bedraagt de piek $\text{ca.} 7 \text{ m}^3/\text{m}/\text{getij}$, bij een tijdsinterval van 2 maanden (Figuur 6b) bedraagt de piek $\text{ca.} 5 \text{ m}^3/\text{m}/\text{getij}$, terwijl dit bij een tijdsinterval van 2 weken (Figuur 6a) bijna $10 \text{ m}^3/\text{m}/\text{getij}$ was.

Om de processen gedetailleerd voor te stellen worden idealiter alle peilingen mee in beschouwing genomen. Echter omwille van de beschikbare data voor de 4 verschillende locaties, de tijdsintervallen voor het natuurlijk transport (~ 3 maanden) en de duidelijkheid van voorstelling voor het transport na storting, wordt er voor gekozen om het transport na storting in deze studie verder voor te stellen met tijdsintervallen van 1 à 2 maanden zoals voorgesteld in Figuur 6b.



Figuur 6 – Zandtransport na storting voor rekenrij O (HPW), beschouwd over tijdsintervallen van 2 weken tot 1 maand (a), 1 tot 2 maanden (b), 1,5 tot 3 maanden (c). Specie werd gestort van rekenvak 1 tot en met 8.

5.2 Bepalen randvoorwaarde

Om de zandbalansen te kunnen berekenen in de rekenrijen, dient ter hoogte van één van de randen van de rekenvakken een randvoorwaarde opgegeven worden. Deze randvoorwaarde kan opgegeven worden ter hoogte van:

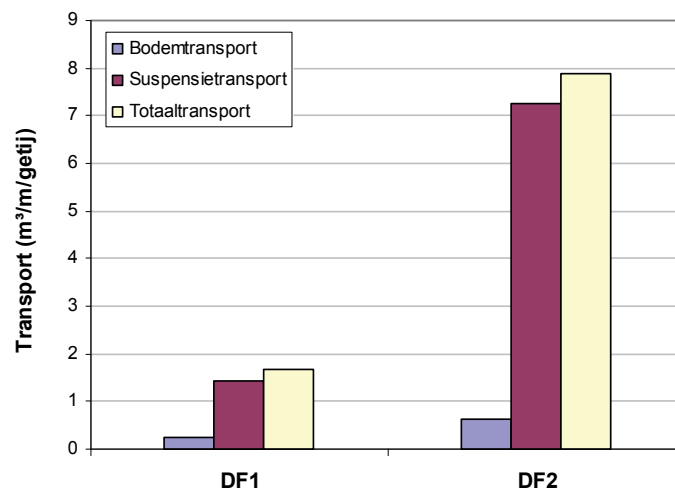
- De opwaartse rand: voor plaatranden zal ter hoogte van de opwaartse rand het sedimenttransport beperkt zijn (beperkte waterdiepte ~ laagwaterlijn); de waarde van het sedimenttransport kan echter wijzigen wanneer er stortingen uitgevoerd worden die in opwaartse richting getransporteerd worden (vloed-dominantie).
- De afwaartse rand: voor plaatranden zal ter hoogte van de afwaartse rand het sedimenttransport relatief groot zijn (grootste waterdiepte); de waarde van het sedimenttransport zal echter beperkt wijzigingen wanneer er stortingen uitgevoerd worden die in opwaartse richting getransporteerd worden (vloed-dominantie).
- De overgang tussen 2 rekenvakken: vaak zijn sedimenttransportmetingen beschikbaar op bepaalde punten; deze liggen meestal niet ter hoogte van de op- of afwaartse rand, maar in of op de rand van één van de rekenvakken.

Er dient echter opgemerkt worden dat de relatieve vorm van berekende sedimenttransporten langsheen een rekenrij onafhankelijk is van de randvoorwaarde. De randvoorwaarde zal louter de absolute ligging van het transport bepalen, doch daarmee ook of het om op- of afwaarts gericht transport gaat. Om een juiste inschatting te krijgen van de absolute sedimenttransportwaarden, dienen de gevonden transportwaardes aan de afwaartse en opwaartse rand in overeenstemming te zijn met de lokale, werkelijke transporten. Om deze natuurlijke sedimenttransporten zo goed mogelijk in te schatten, werden verschillende methodes gebruikt om natuurlijk transport te berekenen (beschrijving methodes zie § 5.2.1).

5.2.1 Methode voor het bepalen van het sedimenttransport als randvoorwaarde

5.2.1.1 Sedimenttransportmeting m.b.v. Delftse fles

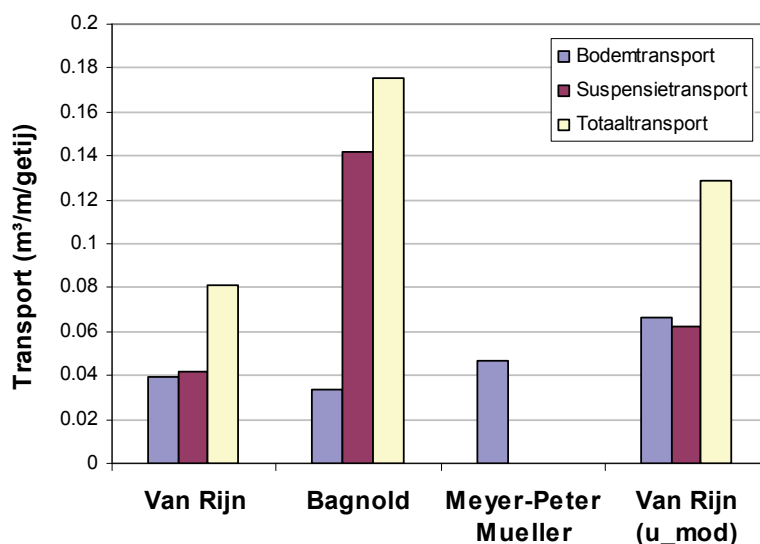
Ter hoogte van Hooge Platen West werden er op 2 verschillende locaties (Figuur A 1) metingen over een volledige getijcyclus (tijdens springtij) uitgevoerd, gebruik makende van een Delftse fles. Voor de locatie Delftse fles 1 bedraagt het bodemtransport 0,24 m³/m/getij, het suspensietransport 1,45 m³/m/getij, wat resulteert in een totaaltransport van 1,68 m³/m/getij (Figuur 7). Voor de locatie Delftse fles 2 liggen de transportwaardes duidelijk hoger: het bodemtransport bedraagt er 0,63 m³/m/getij, het suspensietransport 7,26 m³/m/getij, wat resulteert in een totaaltransport van 7,87 m³/m/getij. Deze beduidend hogere waardes zijn te wijten aan het feit dat de locatie van Delftse fles 2 aan de rand van de vloedgeul gelegen is en minder in de luwe zone gecreëerd door de Hooge Platen (Figuur A 1).



Figuur 7 – Sedimenttransport gemeten over 1 getij (tijdens springtij), met behulp van een Delftse fles, op 2 locaties ter hoogte van Hooge Platen West.

5.2.1.2 Berekening sedimenttransport op basis van stroommetingen m.b.v. OSM

Op 1 locatie ter hoogte van Hooge Platen West werden stroomsnelheden gemeten (OSM) over 1 volledige springtij-doodtijcyclus (Figuur A 1). Op basis van deze stroomsnelheden werden sedimenttransporten berekend gebruik makende van de beschreven transportformules in § 4.1.2.2. De berekende bodemtransporten zijn zowel voor Van Rijn, Bagnold en Meyer-Peter Mueller sterk vergelijkbaar en variëren tussen 0,03 en 0,05 m³/m/getij (Figuur 8). Het suspensietransport berekend volgens van Rijn is vergelijkbaar met het bodemtransport. Het suspensietransport berekend volgens Bagnold bereikt een hogere waarde (0,14 m³/m/getij). Het hogere suspensietransport volgens Bagnold resulteert bijgevolg ook in een hoger totaaltransport (Figuur 8). Ondanks deze verschillen blijven de gevonden transportwaardes sterk vergelijkbaar met elkaar, ongeacht de gebruikte transportformule.



Figuur 8 – Sedimenttransporten berekend op basis van gemeten stroomsnelheden (OSM) (Van Rijn, Bagnold, Meyer-Peter Mueller) en op basis van gemodelleerde stroomsnelheden (Van Rijn u_mod)

5.2.1.3 Berekening sedimenttransport op basis van gemodelleerde stroomsnelheden

Voor dezelfde locatie als de OSM meetlocatie, werd op basis van gemodelleerde stroomsnelheden (over 2 springtij-doodtijcycli) het sedimenttransport berekend volgens de Van Rijn transportformules. Vermits Meyer-Peter Mueller enkel bodemtransport berekent en Bagnold geen rekening houdt met korrelgroottes, werd er voor gekozen om transporten op basis van gemodelleerde stroomsnelheden enkel te berekenen volgens van Rijn.

Gevonden waardes zijn zowel voor het bodemtransport als voor het suspensietransport sterk vergelijkbaar met de transportwaardes berekend op basis van de OSM metingen (Figuur 8).

5.2.1.4 Conclusies

Er wordt geconcludeerd dat de afgeleide sedimenttransporten uit de metingen met Delftse fles duidelijk hoger zijn dan deze berekend op basis van de stroomsnelheden (zowel gemeten als gemodelleerd) en de sedimenttransportformules. De sedimenttransporten op deze punten, berekend met de aanname van geen transport ter hoogte van de opwaartse rand, zijn van dezelfde grootte-orde als de berekende transporten uit de stroomsnelheden en transportformules.

De grotere transporten bekomen uit de Delftse fles metingen kunnen deels verklaard worden door het feit dat deze hebben plaatsgevonden tijdens een springtij. Echter, uit de variatie van de berekende transporten uit de stroomsnelheden blijkt dat het totaaltransport voor een springtij op basis van OSM metingen (hoogste waterstand in beschouwde tijdperiode) slechts 0,39 m³/m/getij bedraagt, terwijl dit voor de Delftse fles metingen 1,68 en 7,87 m³/m/getij is. Een andere mogelijke oorzaak is het verschil in locatie tussen de 2 verschillende meetpunten (Figuur A 1).

Aangezien slechts op een zeer beperkt aantal locaties sedimenttransportmetingen beschikbaar zijn, wordt ervoor geopteerd om binnen deze studie gebruik te maken van de berekende sedimenttransporten op basis van gemodelleerde stroomsnelheden en het toepassen hierop van sedimenttransportformules. Bovendien geeft dit de mogelijkheid om sedimenttransporten te berekenen aan de opwaartse en afwaartse randen van meerdere rekenrijen.

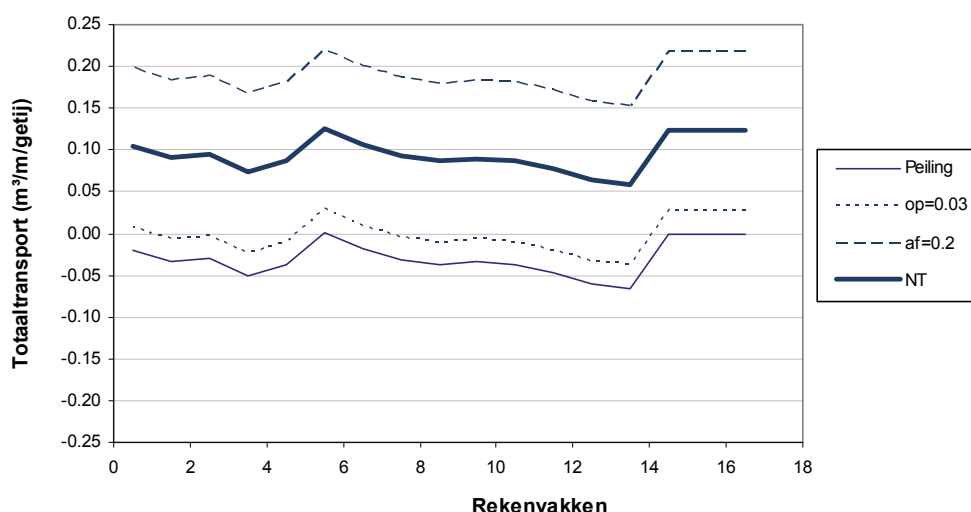
5.2.2 Toepassen van randvoorwaarde

In de vorige paragraaf werd de invloed onderzocht van de methodiek voor het bepalen van de randvoorwaarde. Hierbij kan op basis van gemodelleerde stroomsnelheden en sedimenttransportformules het sedimenttransport berekend worden, en dit zowel ter hoogte van de opwaartse rand als de afwaartse rand van een rekenrij.

Wanneer voor rekenrij O (HPW) de berekende opwaartse randvoorwaarde opgelegd wordt ($0,03 \text{ m}^3/\text{m}/\text{getij}$) bekomt men door het toepassen van de zandbalans een waarde van $0,01 \text{ m}^3/\text{m}/\text{getij}$ ter hoogte van de afwaartse rand. Deze waarde komt echter niet overeen met de berekende afwaartse randvoorwaarde ($0,2 \text{ m}^3/\text{m}/\text{getij}$). De absolute ligging van de sedimenttransporten wordt dus beïnvloed door de keuze van de randvoorwaarden. Voor de analyse van de sedimenttransporten wordt geopteerd voor volgende werkwijze:

- Berekenen van absolute sedimenttransporten met opwaartse berekende randvoorwaarde. Dit verloop bepaalt de ene kant van de omhullende (minimum of maximum) van de sedimenttransporten.
- Berekenen van absolute sedimenttransporten met afwaartse berekende randvoorwaarde. Dit verloop bepaalt de andere kant van de omhullende (minimum of maximum) van de sedimenttransporten.
- Bepalen van verwachte absolute sedimenttransporten als gemiddelde van bovenstaande extrema.

Figuur 9 geeft het resultaat voor rekenrij O. Er wordt aangenomen dat het sedimenttransport gelegen zal zijn tussen de minimale transportwaardes (bekomen door opleggen opwaartse randvoorwaarde) en de maximale transportwaardes (bekomen door opleggen afwaartse randvoorwaarde). Dit transport wordt benaderd door de gemiddelde transporten te berekenen op basis van de minimale en maximale zandbalans (dikke lijn NT, Figuur 9). De waardes voor (in casu natuurlijk) transport langsheen deze zandbalans variëren tussen $0,05$ en $0,13 \text{ m}^3/\text{m}/\text{getij}$. Deze methodiek zal in de verschillende analyses toegepast worden. Figuur 9 geeft tevens de transporten weer bekomen door aan te nemen dat het transport ter hoogte van de plaatrand 0 is. Deze aanname blijkt bij benadering acceptabel, al is er eerder een (beperkt) vloed-gedomineerd transport ter hoogte van de plaatrand.

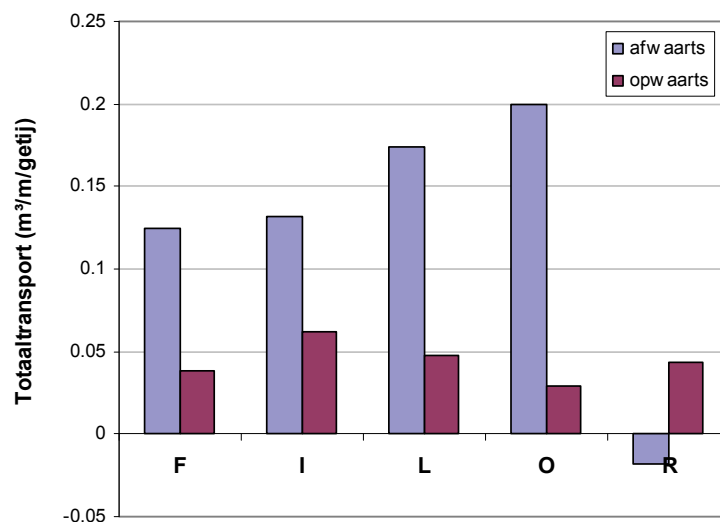


Figuur 9 – Zandbalans (natuurlijk transport) voor rekenrij O (Hooge Platen West) met de opgelegde randvoorwaarden (maximale en minimale waardes afwaarts en opwaarts) en de gemiddelde zandbalans (dikke lijn), berekend volgens de gemodelleerde stroomsnelheden

5.2.3 Variatie van de randvoorwaarde over de breedte van de rekenvakken

Het totaal sedimenttransport (berekend op basis van gemodelleerde stroomsnelheden) aan de afwaartse rand van het rekenrooster Hooge Platen West varieert tussen -0,02 (rekenrij R) en 0,2 m³/m/getij (rekenrij O) (Figuur 10, Figuur A 1 voor locaties). Voor alle rekenrijen, behalve R, is het sedimenttransport positief wat wijst op transport in de opwaartse richting (vloed-gedomineerd), waarbij de hoogste waarden voorkomen in het verlengde van de plaatpunt (L en O). De negatieve waarde voor R wijst op een eb-gedomineerd transport en wordt verklaard door de nabijheid van de nevengeul Schaar van Spijkerplaat (Figuur A 1).

Het totaal sedimenttransport (berekend op basis van gemodelleerde stroomsnelheden) aan de opwaartse rand varieert minder en de waarden schommelen rond 0,05 m³/m/getij (Figuur 10). Hier wordt overal een vloed-gedomineerd transport teruggevonden.



Figuur 10 – Totaal sedimenttransport aan de afwaartse en opwaartse rand van rekenrijen F, I, L, O en R (Hooge Platen West) op basis van gemodelleerde stroomsnelheden (2 springtij-doodtijcycli). Locaties gemodelleerde stroomsnelheden zie Figuur A 1.

5.3 Conclusie

In dit gevoeligheidsonderzoek werd gekeken naar het effect van de tussenperiode op de voorstelling van de sedimenttransporten afgeleid uit zandbalansen, en op welke manier het opleggen van randvoorwaarden de berekende absolute transporten beïnvloedt.

Rekening houdende met het correct voorstellen van de variatie in sedimenttransporten, de beschikbare data, de tijdsintervallen voor het natuurlijk transport (~3 maanden), en de duidelijkheid van voorstelling voor het transport na storting, werd er voor gekozen om het transport na storting in deze studie verder voor te stellen met tijdsintervallen van 1 à 2 maanden.

Wat betreft de opgelegde randvoorwaarden werd er gekozen om sedimenttransport te berekenen op basis van gemodelleerde stroomsnelheden. Dit omdat slechts op een zeer beperkt aantal locaties sedimenttransportmetingen beschikbaar zijn. Bovendien geeft dit de mogelijkheid om sedimenttransporten te berekenen aan de opwaartse en afwaartse randen van meerdere rekenrijen. Het verdient echter de aanbeveling om in de toekomst aandacht te besteden aan het uitvoeren van sedimenttransportmetingen: (1) om een beter inzicht te krijgen in de variatie van het sedimenttransport binnen het estuarium, (2) om de algemene sedimenttransportformules te valideren, en (3) om te beschikken over goede datasets voor het valideren van het sedimenttransport in numerieke modellen.

Tenslotte worden de absolute sedimenttransporten telkens berekend vertrekkende van zowel de opgelegde opwaartse als afwaartse randvoorwaarde. Hieruit volgt een enveloppe waarbinnen de verwachte sedimenttransporten gelegen zijn. Voor de voorstellingswijze in de volgende hoofdstukken, wordt de gemiddelde waarde uit beide extrema gepresenteerd.

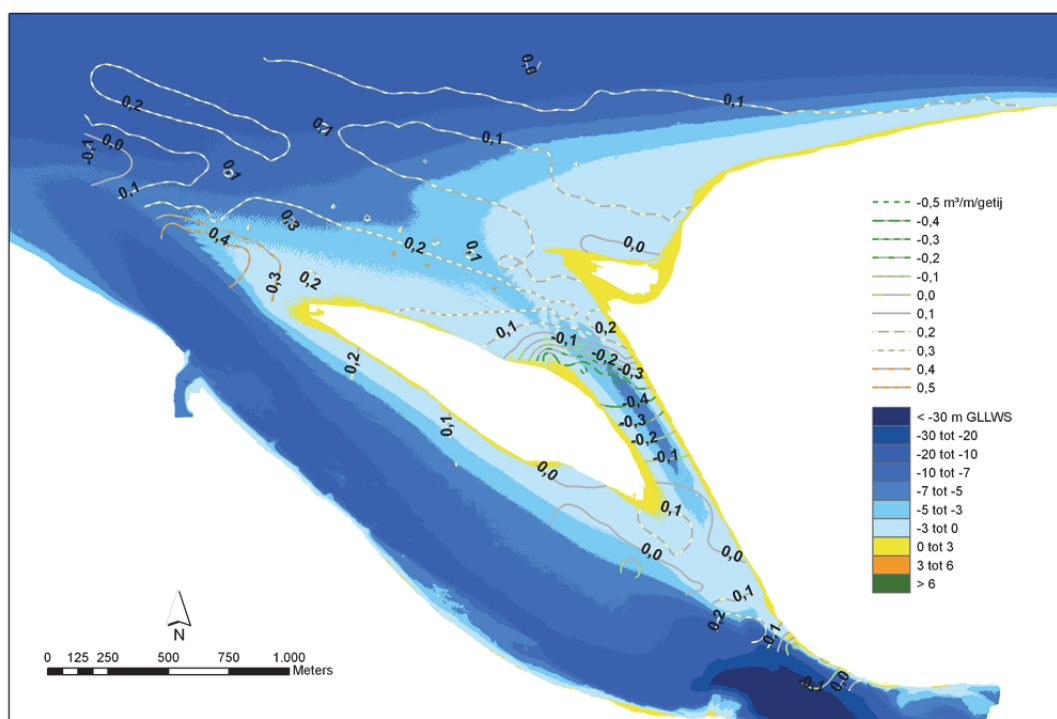
6 Natuurlijk transport

Binnen deze studie zal worden nagegaan in welke mate stortingen zich morfologisch ontwikkelen voor verschillende deelgebieden. Hiervoor is het belangrijk een beeld te hebben van de natuurlijke morfologische ontwikkelingen van deze deelgebieden. In dit hoofdstuk wordt volgens de methodiek beschreven in § 5.3, het natuurlijk sedimenttransport voor de verschillende deelgebieden (Hooge Platen West, Plaat van Walsoorden, Schaar van Waarde en Ketelputten) beschreven.

In bijlage B worden voor de verschillende deelgebieden de berekende sedimenttransporten gepresenteerd per rekenrij. De afwaartse en opwaartse randvoorwaarden die hiervoor gebruikt werden, zijn gebaseerd op sedimenttransporten berekend aan de afwaartse en opwaartse randen van de rekenroosters. Sedimenttransporten aan de randen zijn berekend om de drie rekenrijen, de transporten voor de tussenliggende rekenrijen werden gevonden op basis van lineaire interpolatie. Voor de rekenrijen gelegen aan de buitenste randen van de rekenroosters werden de waarden gebruikt van de dichtstbijzijnde rekenrij. Voor Hooge Platen West werden de gevonden sedimenttransporten aan de randen van het rekenrooster reeds opgenomen in de gevoeligheidsanalyse (§ 5.2.3, Figuur 10). Voor de overige locaties zijn de gevonden randvoorwaarden opgenomen in dit hoofdstuk.

6.1 Hooge Platen West

Het natuurlijk sedimenttransport ter hoogte van Hooge Platen West werd bepaald op basis van de peilingen van 15/10/2009 en 04/02/2010 (Figuur A 1, rechts). Het natuurlijke sedimenttransport varieert tussen -0,4 en 0,4 m³/m/getij (contourlijnen, Figuur 11). Deze plaatrand wordt hoofdzakelijk gekenmerkt door positieve transportwaardes, wat duidt op een vloedgedomineerd sedimenttransport. De grootte van het transport neemt geleidelijk af naar mate men dichterbij de plaat komt (Figuur 10). Daarnaast is er een beperkte gradiënt van de Plaat van Breskens naar de Schaar van de Spijkerplaat, waarbij het transport afneemt (doch steeds vloed-dominant blijft). In de secundaire vloedgeul (tussen plaatpunt en Vaarwater langs de Hoofdplaat) komen negatieve waardes voor, wat wijst op een eb-dominantie. Hierbij dient echter opgemerkt te worden dat voor dit deel van het deelgebieden de oriëntatie van de rekenvakken niet perfect volgens de stroming verloopt.

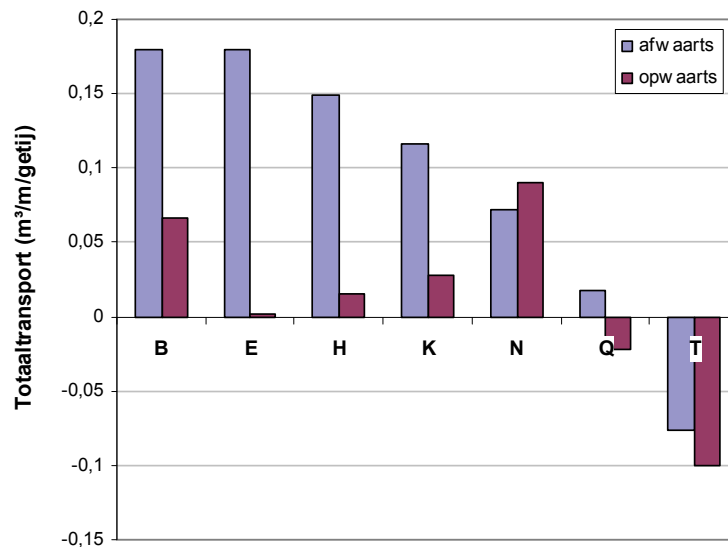


Figuur 11 – Contourplot voor het natuurlijk transport tussen 15/10/2009 en 04/02/2010 ter hoogte van Hooge Platen West, afgebeeld tegen de bathymetrie van 15/10/2009

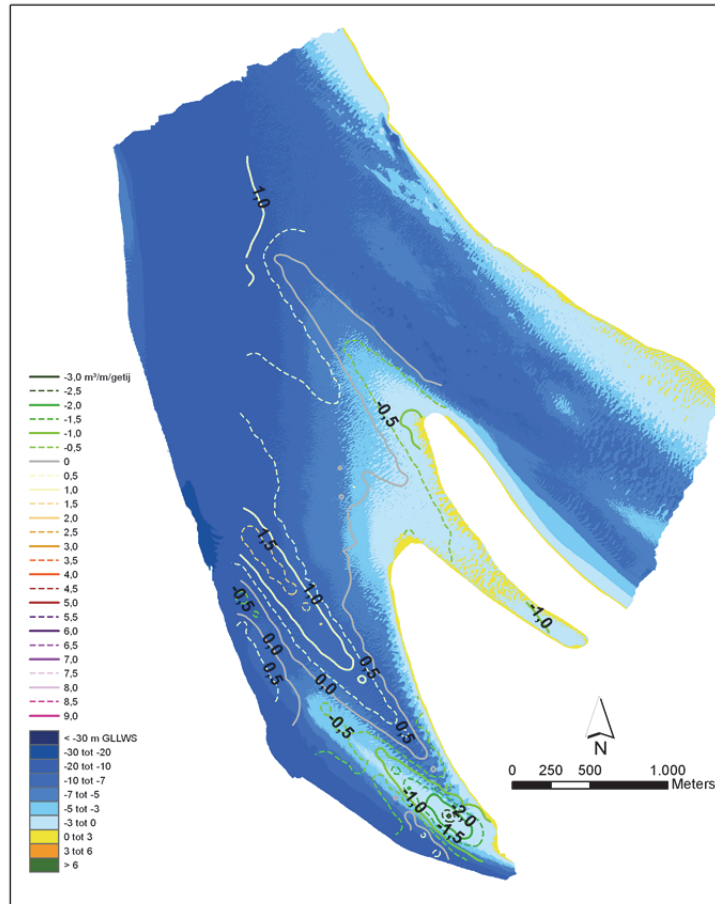
6.2 Plaat van Walsoorden

Het totaaltransport voor de Plaat van Walsoorden varieert aan de afwaartse rand tussen 0,18 en -0,08 m³/m/getij, met een afname van het vloedgedomineerde transport in zuidelijke richting (Figuur 12, Figuur A 2). Ter hoogte van rekenrij T wordt het transport uiteindelijk ebgedomineerd. Net zoals aan de afwaartse rand is het sedimenttransport aan de opwaartse rand hoofdzakelijk vloedgedomineerd, met over het algemeen echter lagere waarden. Aan de opwaartse, zuidelijke rand van de Plaat van Walsoorden komt eveneens ebgedomineerd transport voor (rekenrij Q en T, Figuur 12 en Figuur A 2).

Het gemiddelde natuurlijke sedimenttransport voor Plaat van Walsoorden varieert ruimtelijk tussen -2 en 1.5 m³/m/getij, beschouwd over de periode tussen 17/11/2009 en 16/02/2010 (Figuur 13). Ter hoogte van de noordelijke zandtong en de plaatpunt is het residueel transport vloedgedomineerd. Naarmate de afstand tot de plaatpunt toeneemt, neemt ook het sedimenttransport toe (1 m³/m/getij ter hoogte van de -10 m GLLWS). In het zuidelijke deel van deze locatie is er een grotere diversiteit in residueel transport: ter hoogte van de zuidelijke vloedschaar is het transport vloedgedomineerd, met hogere waarden (tot 1,5 m³/m/getij) in vergelijking met de plaatpunt; ter hoogte van de zuidelijke zandtong is het transport ebgedomineerd, wat verklaard wordt door de invloed van de ebgeul Zuidergat. Dit patroon stemt overeen met de bevindingen uit [WLB, 2007], waar de richting van de residuele transport werd bepaald op basis van de migratie van bodemvormen.



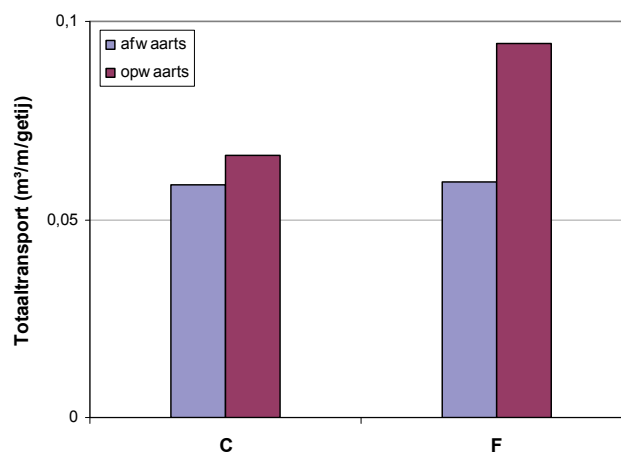
Figuur 12 – Totaal sedimenttransport aan de afwaartse en opwaartse rand van rekenrijen B, E, H, K, N, Q en T (Plaat van Walsoorden) op basis van gemodelleerde stroomsnelheden (2 springtij-doodtijcycli). Locaties gemodelleerde stroomsnelheden zie Figuur A 2



Figuur 13 – Contourplot voor het natuurlijk transport tussen 17/11/2009 en 16/02/2010 ter hoogte van Plaats van Walsoorden, afgebeeld tegen de bathymetrie van 17/11/2009

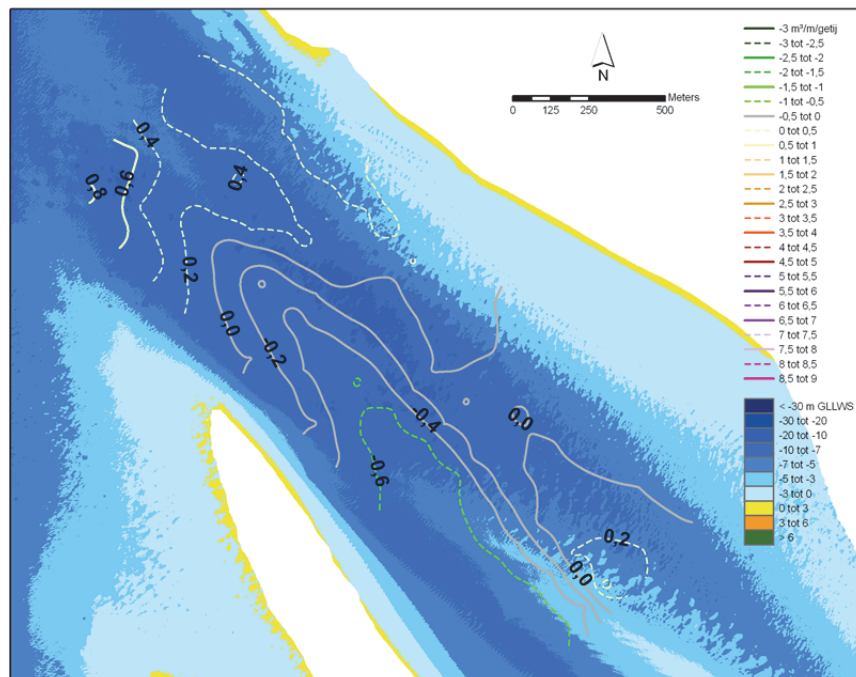
6.3 Schaar van Waarde

Voor de nevengeul Schaar van Waarde is er weinig variatie tussen enerzijds de verschillende rekenrijen en anderzijds de opwaartse en afwaartse randen. Transportwaarden zijn gelegen tussen 0.05 en 0.1 m³/m/getij (Figuur 14, Figuur A 3)



Figuur 14 – Totaal sedimenttransport aan de afwaartse en opwaartse rand van rekenrijen C en F (Schaar van Waarde) op basis van gemodelleerde stroomsnelheden (2 springtij-doodtijcycli). Locaties gemodelleerde stroomsnelheden zie Figuur A 3

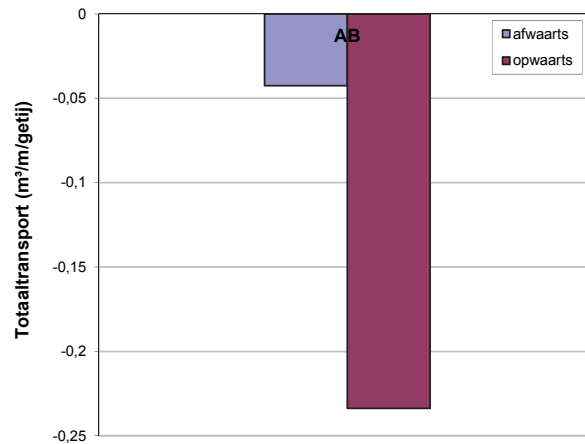
Het gemiddelde natuurlijke sedimenttransport voor Schaar van Waarde varieert ruimtelijk tussen $-0,6$ en $0,8 \text{ m}^3/\text{m}/\text{getij}$, beschouwd over de periode tussen 28/08/2006 tot 06/12/2006 (Figuur 15). Binnen de nevengeul (Figuur 15) treedt een ruimtelijke variatie op: het afwaartse deel is over de volledige breedte vloedgedomineerd; in het opwaartse deel is een gradiënt aanwezig waarbij het zuidelijke deel (verlengde van de Schaar van Valkenisse) ebgedomineerd is, terwijl het noordelijke deel (richting Zimmermangeul) vloedgedomineerd blijft.



Figuur 15 – Contourplot voor het natuurlijk transport tussen 28/08/2006 en 6/12/2006 ter hoogte van Schaar van Waarde, afgebeeld tegen de bathymetrie van 28/08/2006

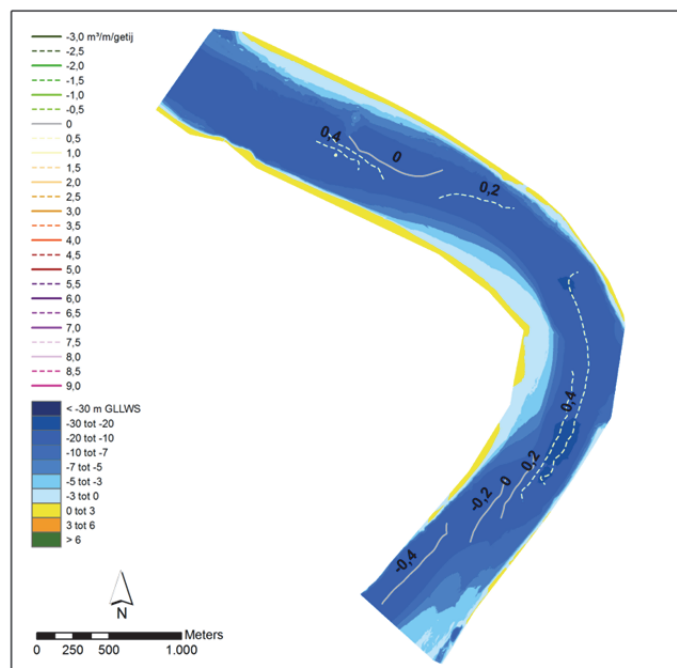
6.4 Ketelputten

Door het versmallen van de hoofdgeul zijn er slechts 2 rekenrijen beschikbaar ter hoogte van Kettelputten (Figuur A 4). Zowel aan de opwaartse als aan de afwaartse rand zijn de berekende natuurlijke transportwaardes negatief ($-0,04 \text{ m}^3/\text{m}/\text{getij}$ afwaarts, $-0,23 \text{ m}^3/\text{m}/\text{getij}$ opwaarts), wat duidt op een ebdominantie (Figuur 16). Voor deze dient echter opgemerkt te worden dat voor het bepalen van de referentiesituatie de periode tussen de 2 beschouwde peilingen groot (7 maanden) is, terwijl de oriëntatie van de rekenrijen mogelijks niet volgens de richting van het sedimenttransport loopt, omwille van het optreden van helicoïdale stromingen in deze bocht.



Figuur 16 – Totaal sedimenttransport aan de afwaartse en opwaartse rand van het rekenrooster Ketelputten op basis van gemiddelde stroomsnelheden (2 springtij-doottijcycli). Locaties gemiddelde stroomsnelheden zie Figuur A 4

Worden de gemiddelde waarden voor het natuurlijk transport beschouwd, dan varieert het transport ruimtelijk tussen -0,5 en 0,5 m³/m/getij, en dit over een periode van 01/07/2008 tot 20/02/2009 (Figuur 17). Het ebgedomineerde transport komt hierbij hoofdzakelijk voor in het opwaartse deel van de bocht, het vloedgedomineerde transport hoofdzakelijk in het afwaartse deel van de bocht.



Figuur 17 – Contourplot voor het natuurlijk transport tussen 01/07/2008 en 20/02/2009 ter hoogte van Ketelputten, afgebeeld tegen de bathymetrie van 01/07/2008

6.5 Conclusies

Het natuurlijke residuele sedimenttransport ter hoogte van de 4 beschouwde locaties varieert tussen -2 en 1,5 m³/m/getij. Deze waarden worden bereikt ter hoogte van de zuidelijke vloedsehaar (vloedgedomineerd) en de zuidelijke zandtong (ebgedomineerd onder invloed van het Zuidergat) van de Plaat van Walsoorden. Ter hoogte van het noordelijke deel van Plaat van Walsoorden variëren de waarden tussen 0 en 1 m³/m/getij, waarbij het transport hoofdzakelijk vloedgedomineerd is. Het natuurlijke residuele sedimenttransport ter hoogte van de Hooge Platen is kleiner, met maxima rond 0,5 m³/m/getij. Ook hier is het transport hoofdzakelijk vloedgedomineerd.

Voor de 2 beschouwde locaties in de geul, variëren de waardes tussen -0,5 en 0,5 m³/m/getij. Voor beide gebieden bestaan er zones die ebgedomineerd zijn, terwijl andere zones vloedgedomineerd zijn.

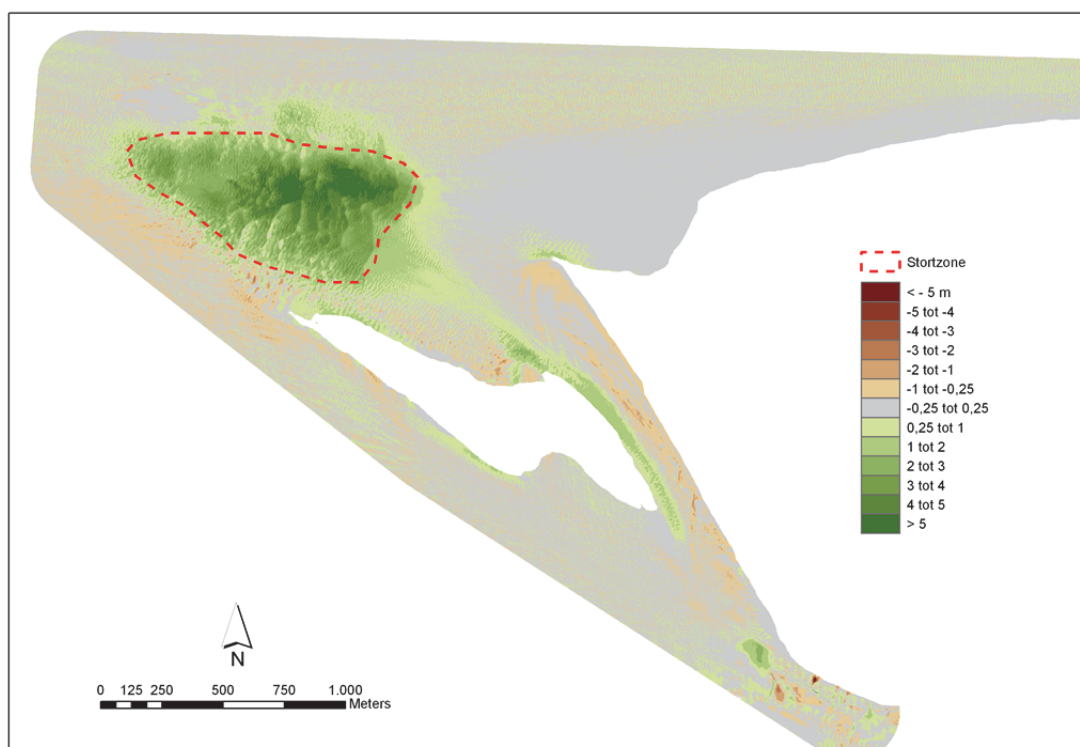
7 Transport na storting

Vergelijkbaar met het natuurlijk transport, werden er op basis van de zandbalansen gemiddelde transporten berekend na storting, en dit voor iedere rekenrij van de 4 verschillende locaties. Het transport na storting werd voor 4 opeenvolgende tijdsperiodes beschouwd, om op die manier na te gaan hoe de gestorte specie getransporteerd wordt doorheen de tijd. Ten gevolge van minder frequente peilingen, zijn voor Schaar van Waarde slechts 3 tijdsperiodes berekend. Net zoals voor het natuurlijk transport zijn er voor het transport na storting contourkaarten gemaakt van het gemiddelde sedimenttransport en dit voor de verschillende beschouwde tijdsintervallen. Daarnaast werd voor ieder tijdsinterval een verschilkaart gemaakt.

De uitgebreide berekening van de zandbalansen (gemiddelde, de minimale en de maximale zandbalansen) zijn voor iedere rekenrij opgenomen in Bijlage C.

7.1 Hooge Platen West

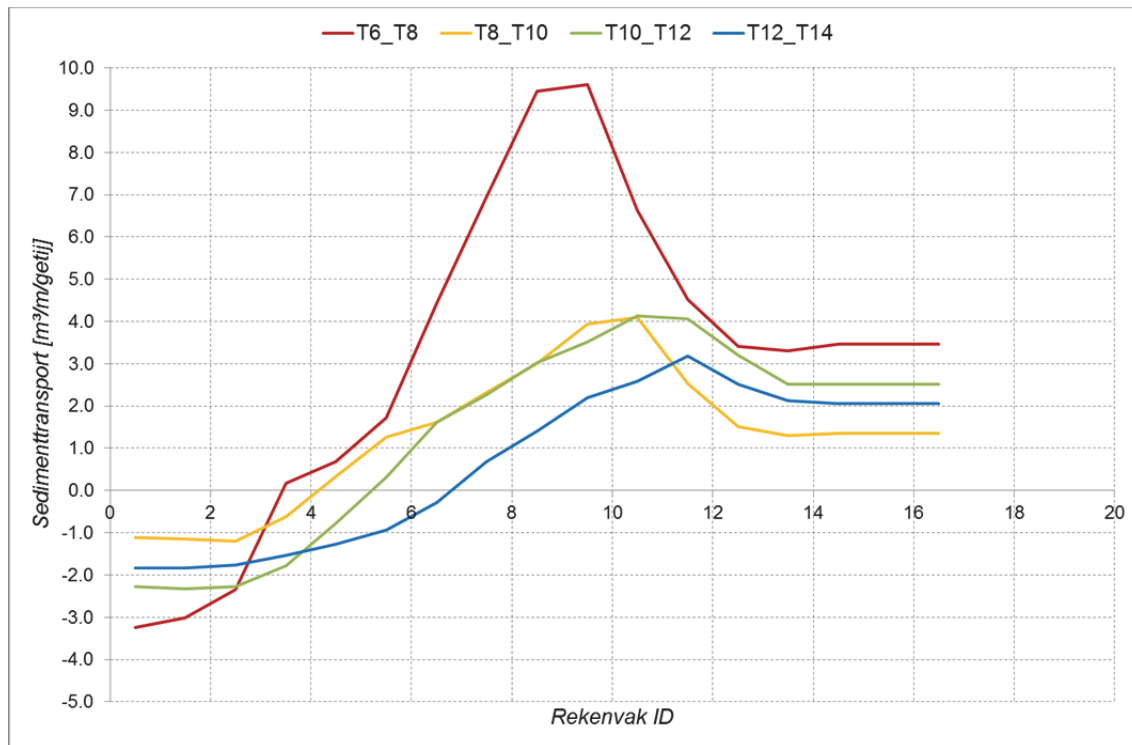
Van maart 2010 tot en met mei 2010 werd er ter hoogte van Hooge Platen West 1 923 278 m³ specie gestort. Het gebied waarbinnen de stortingen plaatsvonden is weergegeven aan de hand van een verschilkaart (Figuur 18).



Figuur 18 – Verskilkaart op basis van de peiling net voor, en de peiling net na de storting, Hooge Platen West

Het transport na storting langsheen rekenrij O (centraal gelegen over de stortzone, zie Figuur A 1 linksboven) wordt weergegeven in Figuur 19. Het natuurlijke transport op deze locatie was grotendeels vloedgedomineerd, met waarden beperkt tot 0,5 m³/m/getij. Na de stortingen is het transport aanzienlijk hoger: in de periode direct na het beëindigen van de stortingen, wordt net plaatwaarts van de storting een transportpiek teruggevonden van bijna 10 m³/m/getij. Aan de zeewaartse kant is er in deze periode een beperkt ebgedomineerd transport. In de volgende periodes neemt de piekwaarde geleidelijk af (tot 3 m³/m/getij in de laatste periode), terwijl de ligging van de piek langzaam in de richting van de plaat verschuift (ca. 300 m over 6 maanden).

Deze ontwikkeling is te verklaren door het feit dat een deel van het oorspronkelijk gestorte sediment in de richting van de plaat wordt getransporteerd, terwijl de hoogteverandering ten gevolge van de storting geleidelijk afneemt, waardoor de magnitude van het transport afneemt in de tijd.



Figuur 19 – Zandbalans (gemiddelde transporten) voor rekenrij O (Hooge Platen West) na de stortingen

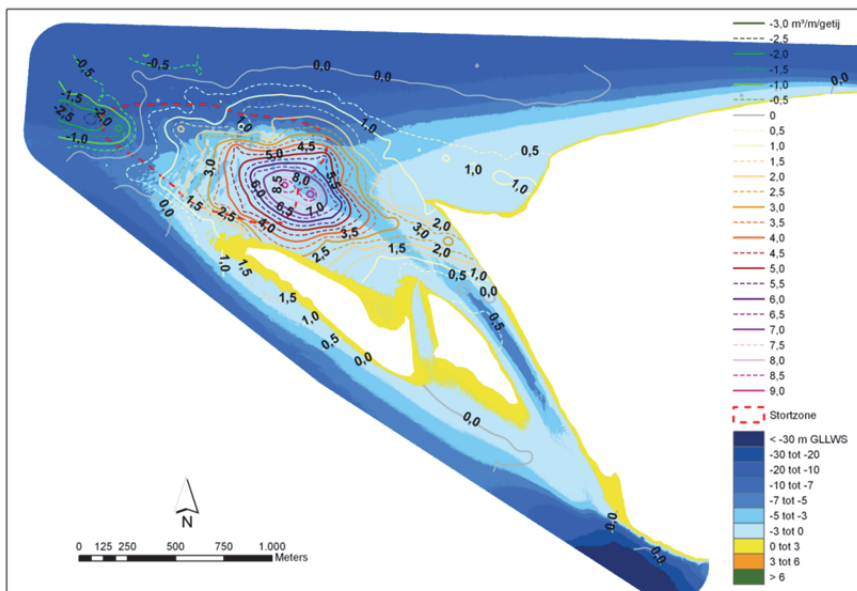
Om het ruimtelijk patroon in sedimenttransport te kennen voor het volledige gebied Hooge Platen West werden contourkaarten gemaakt op basis van de gemiddelde zandbalansen van alle rekenrijen. Deze zijn weergegeven in Figuur 20 tot en met Figuur 23. Hierbij wordt ook telkens de bathymetrische verschilkaart voor de betreffende periode voorgesteld.

Het beeld dat voor rekenrij O werd bekomen, wordt ook ruimtelijk teruggevonden: net na het uitvoeren van de storting komen de hoogste waarden voor sedimenttransport voor (Figuur 20 – links). De waarden zijn hierbij het hoogst aan de centrale, plaatwaartse rand van de stortzone en bereiken waarden tot 8,5 m³/m/getij (sterk vloedgedomineerd sedimenttransport). Rondom deze centrale zone nemen de transportwaarden geleidelijk aan af, met echter nog steeds hoge transportwaarden net opwaarts en net afwaarts van de plaatwaartse stortrand. Het grootste deel van de gestorte specie wordt dus in de plaatwaartse richting getransporteerd (vloedtransport). Dit is ook duidelijk op de verschilkaart (Figuur 20 - rechts). Hoewel het grootste deel van de gestorte specie getransporteerd wordt in de vloedrichting, wordt aan de zeewaartse rand van de stortzone een deel zeewaarts getransporteerd (negatieve waarden, tot -2,5 m³/m/getij, Figuur 20).

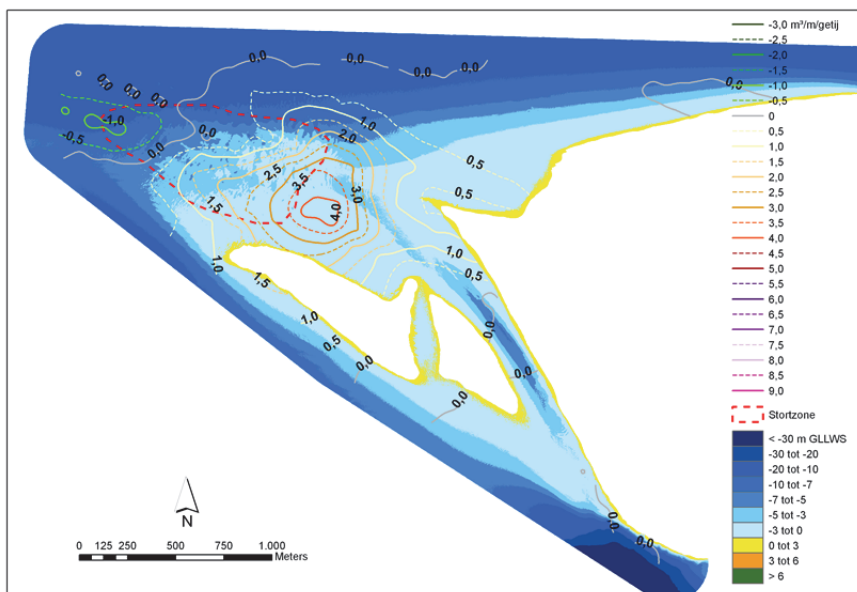
In de volgende tijdsperiodes, verschuift de transportpiek geleidelijk naar de plaatrand toe. In de 2^e maand na de stortingen (Figuur 21) ligt de piek net buiten de plaatwaartse rand van het stortgebied en bedraagt de piekwaarde 4 m³/m/getij. Ook de volgende periode gaat deze trend door, waarbij 6 maanden na het einde van de stortingen de piekwaarden gereduceerd zijn tot 2,5 m³/m/getij (Figuur 23). Het opschuiven van het piektransport zorgt er bijgevolg voor dat er een migratie is van de gestorte specie in de richting van de plaatrand. Gedurende de volledige periode blijft er een beperkt (-1,5 m³/m/getij) ebgedomineerd transport plaatsvinden aan de zeewaartse rand.

In vergelijking met het natuurlijke transport, blijven de berekende transportwaardes aanzienlijk hoger (initieel factor 20, na 6 maanden factor 5). Dit wijst erop dat het sedimenttransport door de stortingen beïnvloed is, en dat zich na 6 maanden nog geen nieuwe morfologische “evenwichtssituatie”⁴ heeft ingesteld.

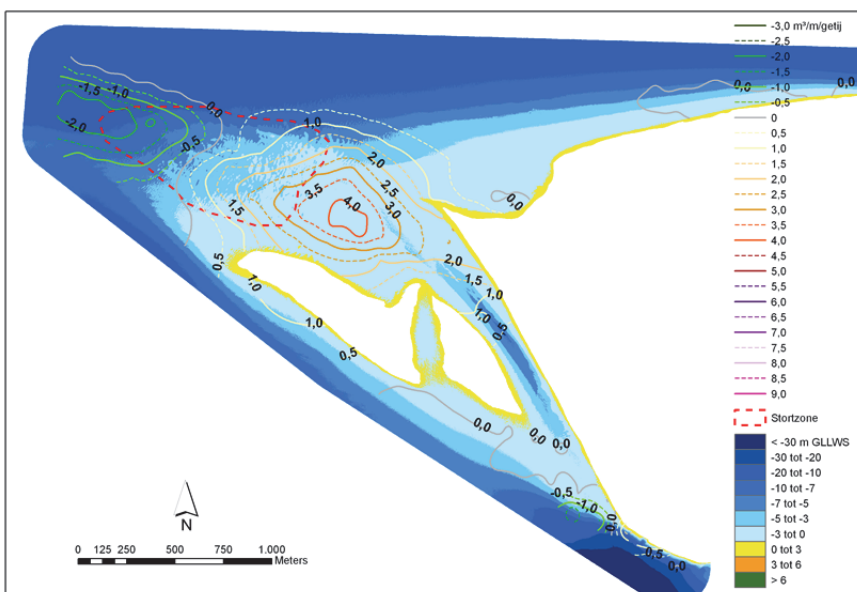
⁴ De term “evenwichtssituatie” dient met de nodige omzichtigheid te worden geïnterpreteerd. In een dynamisch systeem zoals de Westerschelde, zal de morfologie continu in ontwikkeling zijn, en is evenwicht een relatief begrip. Binnen dit rapport worden de term evenwicht gebruikt om aan te geven of de berekende sedimenttransporten na de stortingen, in dezelfde grootte-orde zijn als deze in de natuurlijke situatie.



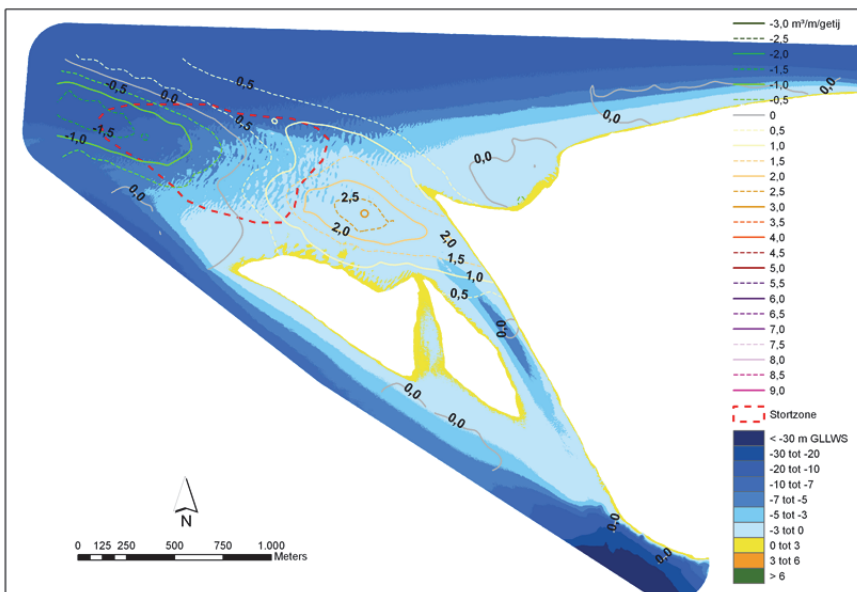
Figuur 20 – Contourplot (links) en verschilkaart (rechts) voor het transport na storting tussen 10/05/2010 (T6) en 16/06/2010 (T8) ter hoogte van Hooge Platen West



Figuur 21 – Contourplot (links) en verschilkaart (rechts) voor het transport na storting tussen 16/06/2010 (T8) en 16/07/2010 (T10) ter hoogte van Hooge Platen West



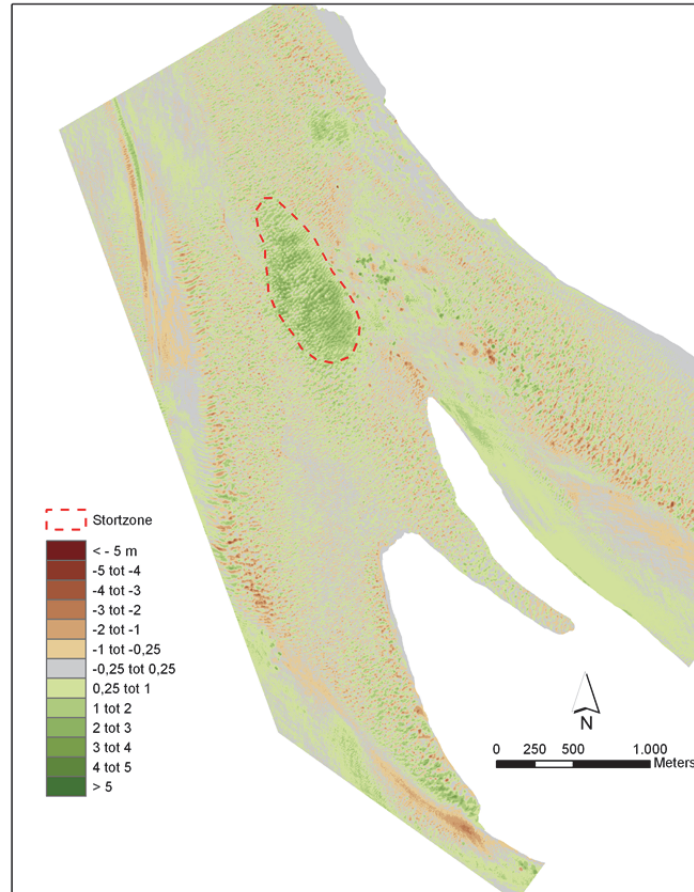
Figuur 22 – Contourplot (links) en verschilkaart (rechts) voor het transport na storting tussen 16/07/2010 (T10) en 21/09/2010 (T12) ter hoogte van Hooge Platen West



Figuur 23 – Contourplot (links) en verschilkaart (rechts) voor het transport na storting tussen 21/09/2010 (T12) en 19/11/2010 (T14) ter hoogte van Hooge Platen West

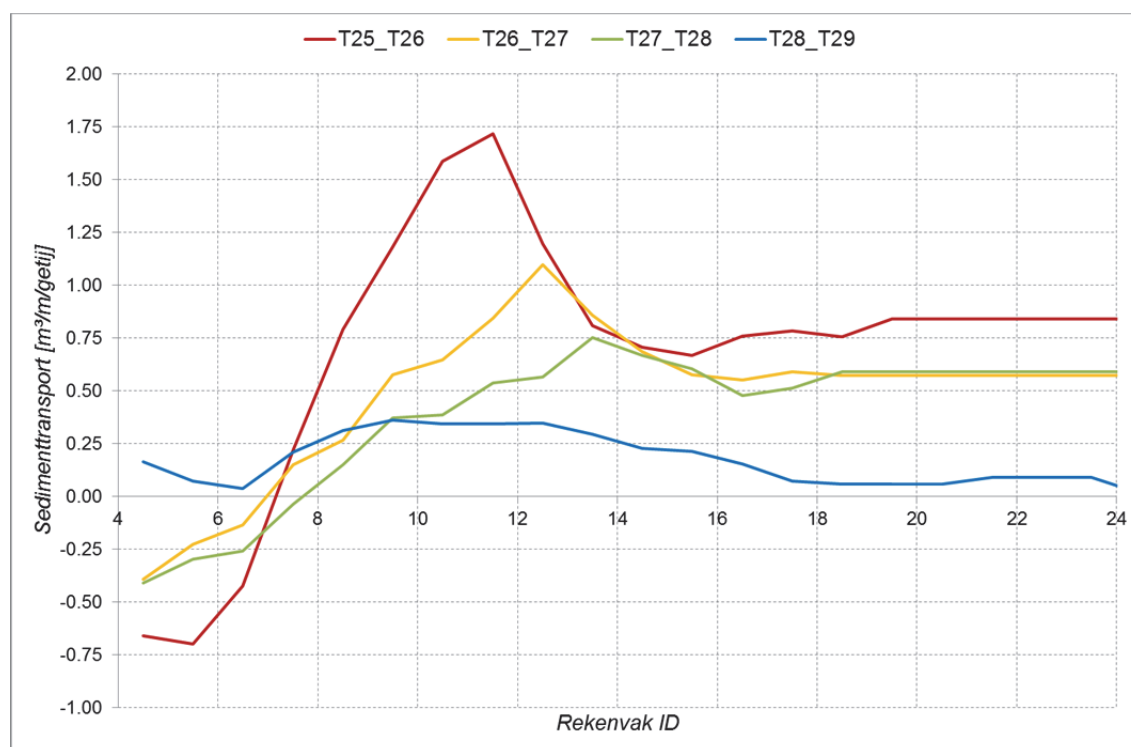
7.2 Plaat van Walsoorden

Van september 2006 tot en met maart 2007 werd er ter hoogte van Plaat van Walsoorden 900 000 m³ specie gestort. Het gebied waarbinnen de stortingen plaatsvonden is weergegeven aan de hand van een verschilkaart (Figuur 24).



Figuur 24 – Verschilkaart op basis van de peiling net voor, en de peiling net na de storting, Plaat van Walsoorden

Het transport na storting langsheen rekenrij E (centraal gelegen over de stortzone, zie Figuur A 2) wordt weergegeven in Figuur 25. Het natuurlijke transport op deze locatie was grotendeels vloedgedomineerd, met waarden beperkt tot 1 m³/m/getij. Na de stortingen neemt de grootte van het transport ietwat toe: in de periode direct na het beëindigen van de stortingen, wordt net plaatwaarts van de storting een transportpiek teruggevonden van bijna 2 m³/m/getij. Aan de zeewaartse kant is er in deze periode een beperkt ebgedomineerd transport. In de volgende periodes neemt de piekwaarde geleidelijk af (tot minder dan 0,5 m³/m/getij in de laatste periode), terwijl de ligging van de piek langzaam in de richting van de plaat verschuift (ca. 200m over 6 maanden). Deze ontwikkeling is te verklaren door het feit dat een deel van het oorspronkelijk gestorte sediment in de richting van de plaat wordt getransporteerd, terwijl de hoogteverandering ten gevolge van de storting geleidelijk afneemt, waardoor de magnitude van het transport afneemt in de tijd.

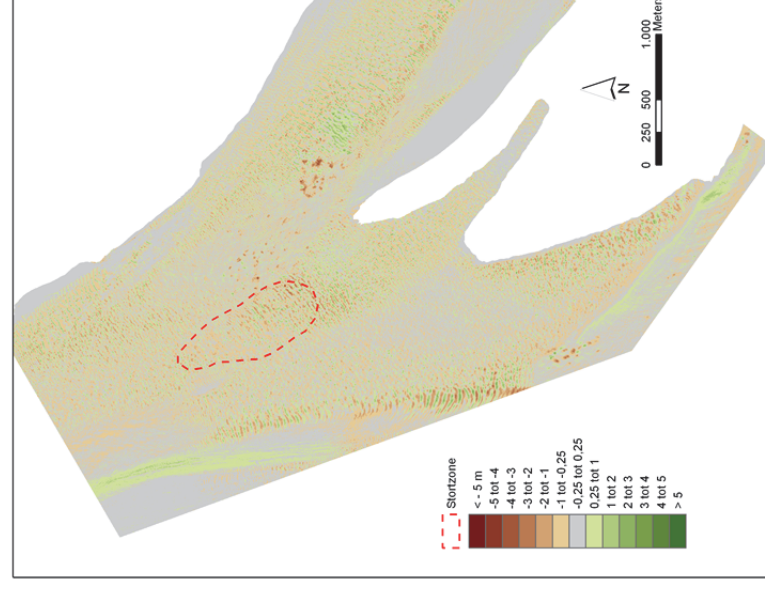
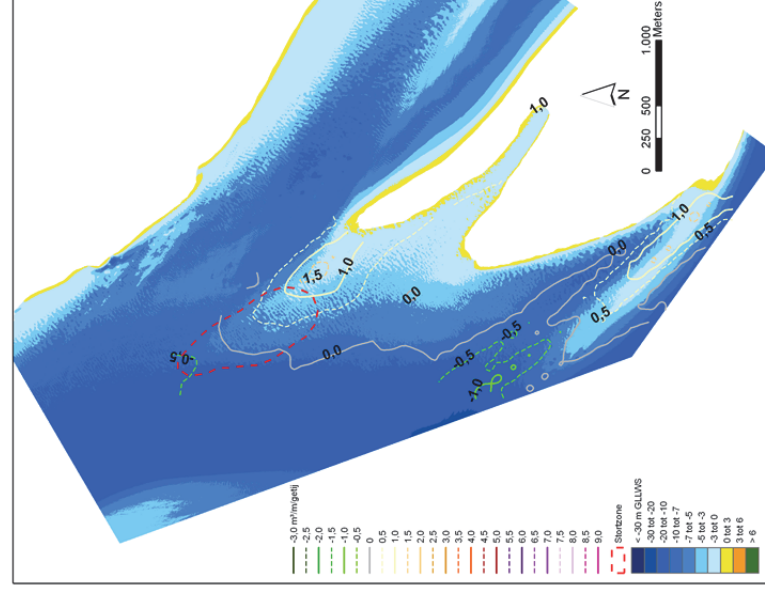
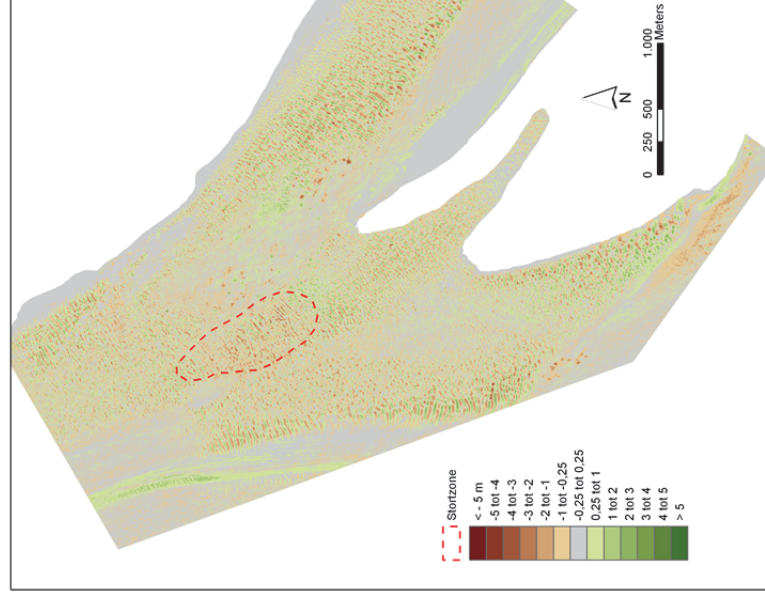
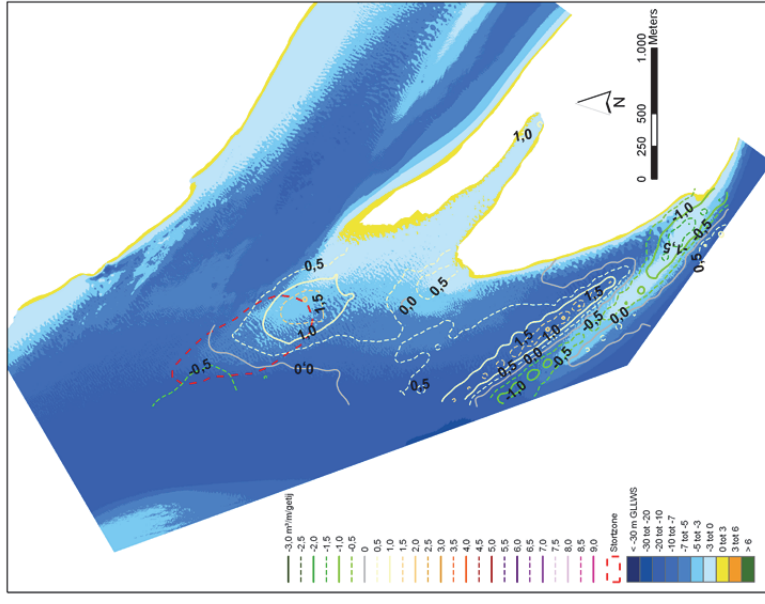


Figuur 25 – Zandbalans (gemiddelde transporten) voor rekenrij E (Plaat van Walsoorden) na de stortingen

Om het ruimtelijk patroon in sedimenttransport te kennen voor het volledige gebied Plaat van Walsoorden werden contourkaarten gemaakt op basis van de gemiddelde zandbalansen van alle rekenrijen. Deze zijn weergegeven in Figuur 26 tot en met Figuur 29. Hierbij wordt ook telkens de bathymetrische verschilkaart voor de betreffende periode voorgesteld.

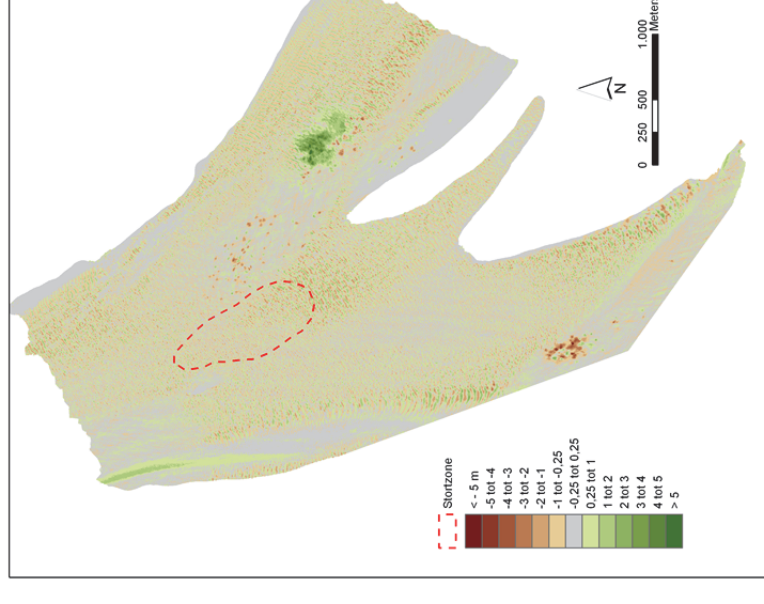
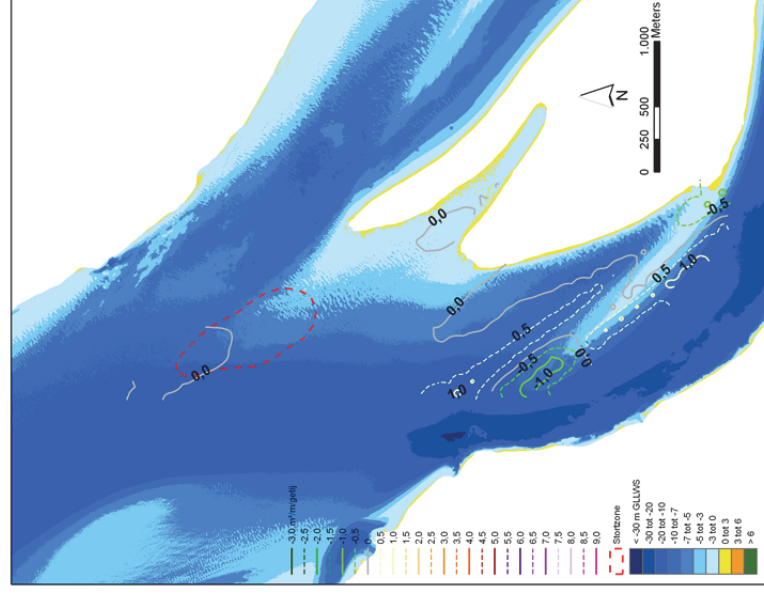
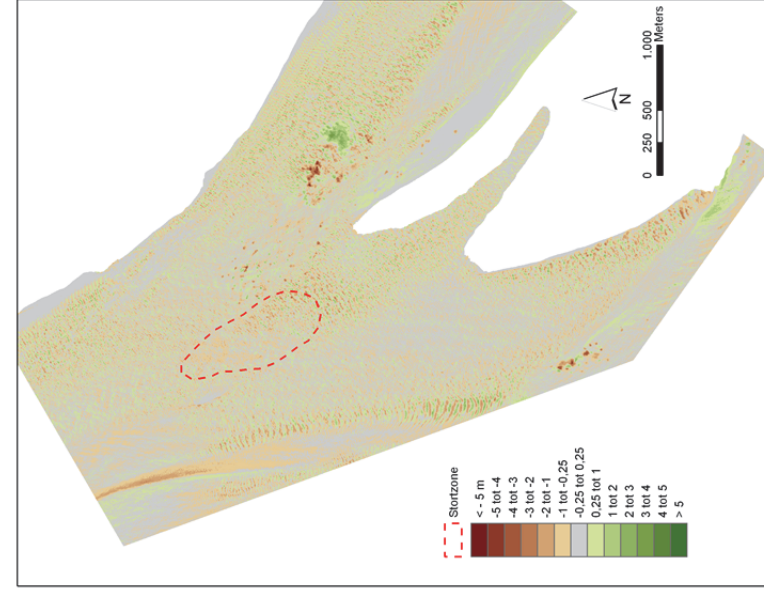
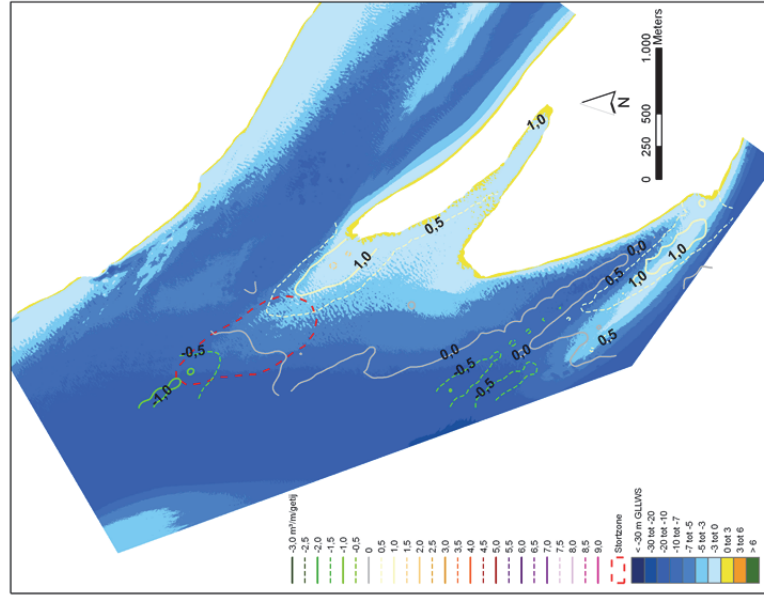
Het beeld dat voor rekenrij E werd bekomen, wordt ook ruimtelijk teruggevonden: net na het uitvoeren van de storting komen de hoogste waarden voor sedimenttransport voor (Figuur 26 – links). De waarden zijn hierbij het hoogst aan de centrale, plaatwaartse rand van de stortzone en bereiken waarden tot $2 \text{ m}^3/\text{m}/\text{getij}$ (vloedgedomineerd sedimenttransport). Rondom deze centrale zone nemen de transportwaarden geleidelijk af, met echter nog steeds verhoogde transportwaarden net opwaarts en net afwaarts van de plaatwaartse stortrand. Het grootste deel van de gestorte specie wordt dus in de plaatwaartse richting getransporteerd (vloedtransport). Dit is ook duidelijk op de verschilkaart (Figuur 26-rechts). Hoewel het grootste deel van de gestorte specie getransporteerd wordt in de vloedrichting, wordt aan de zeewaartse rand van de stortzone een deel weg van de plaat getransporteerd (negatieve waarden, tot $-1 \text{ m}^3/\text{m}/\text{getij}$, Figuur 26). Opgemerkt kan worden dat in zuidelijke deel (zuidelijke zandtong) de berekende transportwaarden van dezelfde grootte-orde zijn als het natuurlijke transport. De stortingen die in het noordelijke deel van de zone plaatsvonden, hebben dus geen invloed op dit gebied.

In de volgende tijdsperiodes, verschuift de transportpiek geleidelijk naar de plaatrand toe, maar neemt hij ook in grootte af. 6 maanden na het einde van de stortingen (Figuur 29) zijn de transportwaarden gereduceerd tot de waarden die voor het natuurlijke transport werden bekomen. Dit wijst erop dat het sedimenttransport door de stortingen slechts beperkt beïnvloed is, en dat zich na 6 maanden de morfologische “evenwichtssituatie” heeft ingesteld.



Figuur 26 – Contourplot (links) en verschilkaart (rechts) voor het transport na storting tussen 15/03/2007 en 09/05/2007 ter hoogte van Plaat van Waisoorden

Figuur 27 - Contourplot (links) en verschilkaart (rechts) voor het transport na storting tussen 09/05/2007 en 07/07/2007 ter hoogte van Plaat van Waisoorden

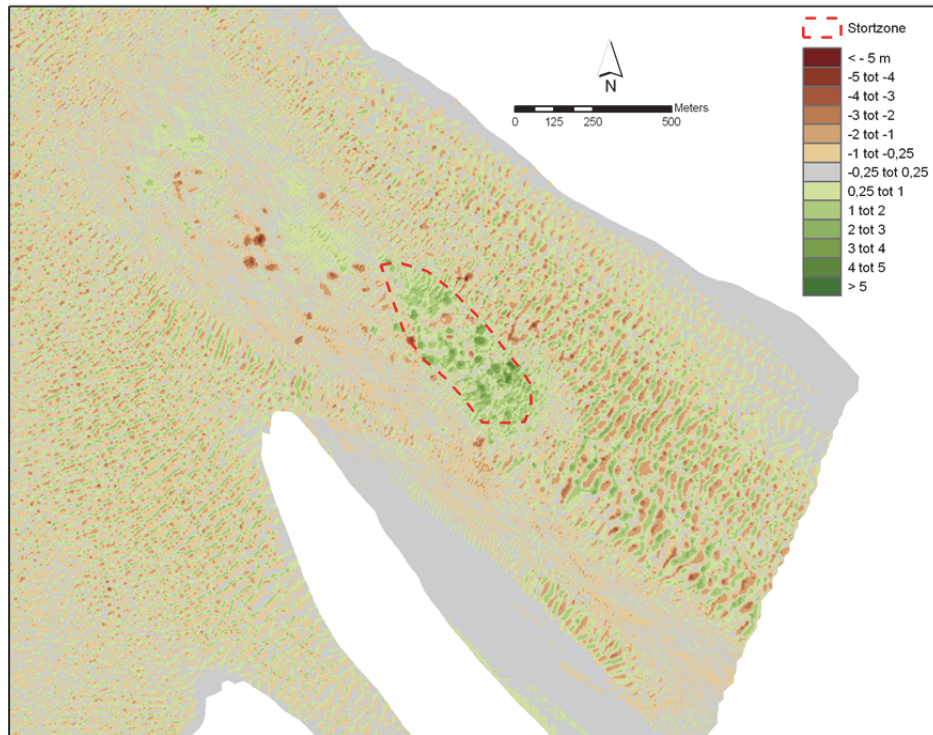


Figuur 28 – Contourplot (links) en verschilkaart (rechts) voor het transport na storting tussen 07/07/2007 en 10/09/2007 ter hoogte van Plaat van Waisoorden

Figuur 29 – Contourplot (links) en verschilkaart (rechts) voor het transport na storting tussen 10/09/2007 en 15/11/2007 ter hoogte van Plaat van Waisoorden

7.3 Schaar van Waarde

In april 2009 werd er ter hoogte van Schaar van Waarde 252 305 m³ specie gestort. Het gebied waarbinnen de stortingen plaatsvonden is weergegeven aan de hand van een verschilkaart (Figuur 30).



Figuur 30 – Verschilkaart op basis van de peiling net voor, en de peiling net na de storting, Schaar van Waarde

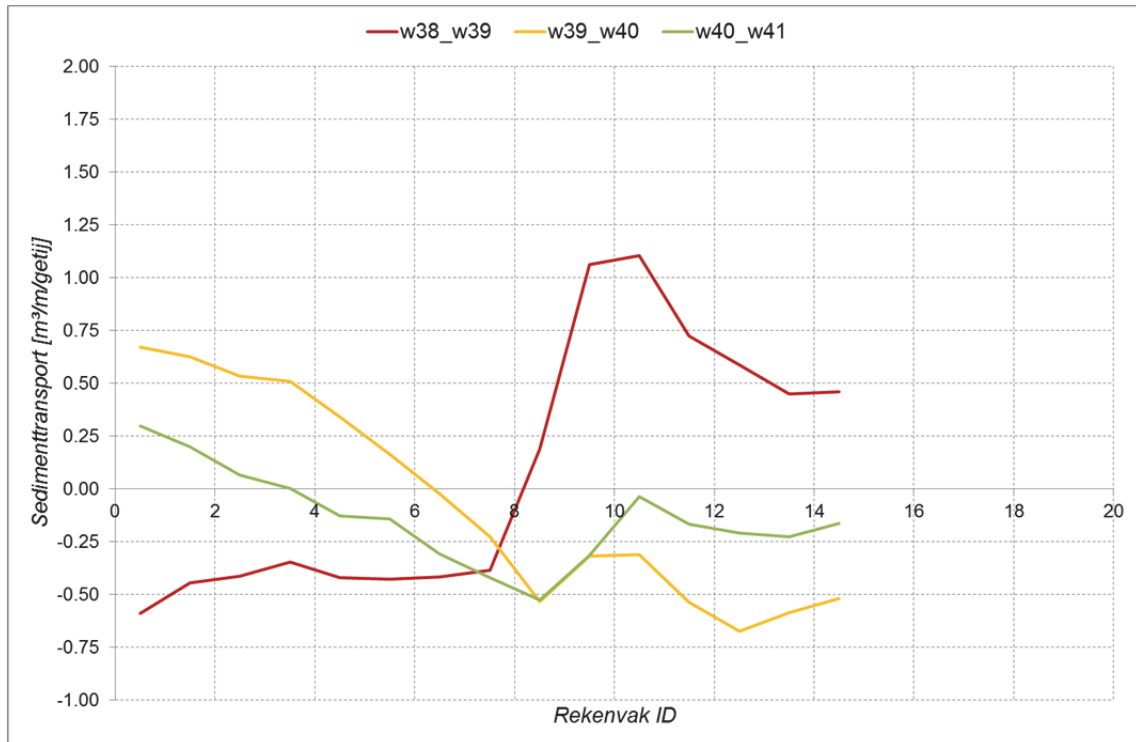
Het transport na storting langsheen rekenrij D (centraal gelegen over de stortzone, zie Figuur A 3) wordt weergegeven in Figuur 31. Deze rekenrij ligt ter hoogte van de splitsingslijn in de Schaar van Waarde richting enerzijds de Zimmermangeul (eerder vloedgedomineerd natuurlijk transport) en anderzijds de Schaar van Valkenisse (eerder ebgedomineerd natuurlijk transport). De grootte van het natuurlijke transport blijft beperkt tot 0,5 m³/m/getij. Direct na de stortingen neemt de grootte van het transport ietwat toe, waarbij opwaarts van de storting een transportpiek wordt teruggevonden van 1 m³/m/getij. Aan de zeewaartse kant is er in deze periode een beperkt ebgedomineerd transport. In de volgende periodes wijzigt het beeld: opwaarts wordt een beperkt ebgedomineerd transport teruggevonden, terwijl afwaarts een beperkt vloedgedomineerd transport wordt teruggevonden (grootte beperkt tot 0,5 m³/m/getij).

Om het ruimtelijk patroon in sedimenttransport te kennen voor het volledige gebied Schaar van Waarde werden contourkaarten gemaakt op basis van de gemiddelde zandbalansen van alle rekenrijen. Deze zijn weergegeven in Figuur 32 tot en met Figuur 34. Hierbij wordt ook telkens de bathymetrische verschilkaart voor de betreffende periode voorgesteld.

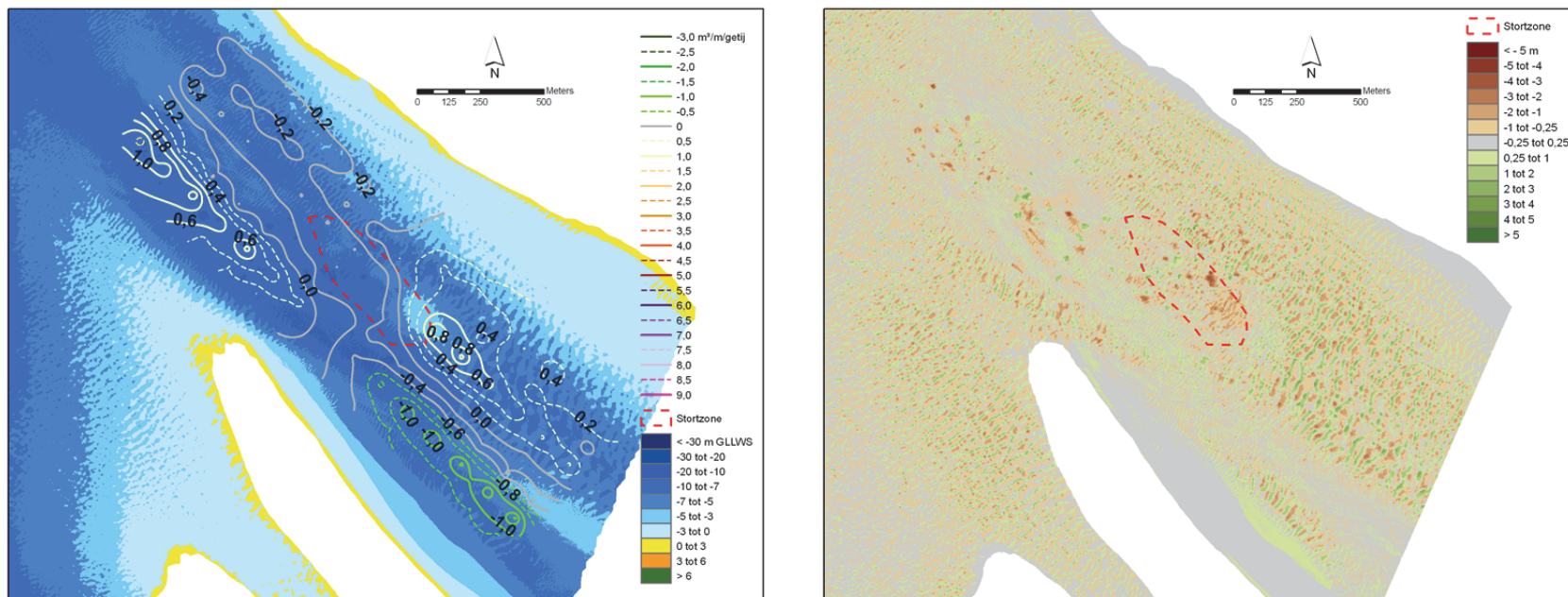
In de eerste periode na de stortingen (Figuur 32) wordt er net opwaarts van de stortzone een verhoogd vloedgedomineerd transport waargenomen (tot 1 m³/m/getij). Ook aan het zuidelijke deel van de afwaartse grens van de Schaar van Waarde wordt een verhoogd vloedgedomineerd transport waargenomen, wat vermoedelijk wordt veroorzaakt door de stortingen ter hoogte van de Plaat van Walsoorden. In het zuidelijke deel van de opwaartse grens is het sedimenttransport ebgedomineerd, vermoedelijk omwille van de sterkere ebstroming uit de Schaar van Valkenisse. In de volgende periodes (2 maanden na het beëindigen van de stortingen - Figuur 33) vertonen de sedimenttransporten terug vergelijkbare patronen en waardes zoals in de referentieperiode.

Dit beeld zet zit ook daarna verder (Figuur 34). Dit wijst erop dat het sedimenttransport door de stortingen slechts beperkt beïnvloed is, en dat zich na 2 maanden de morfologische "evenwichtssituatie" heeft ingesteld.

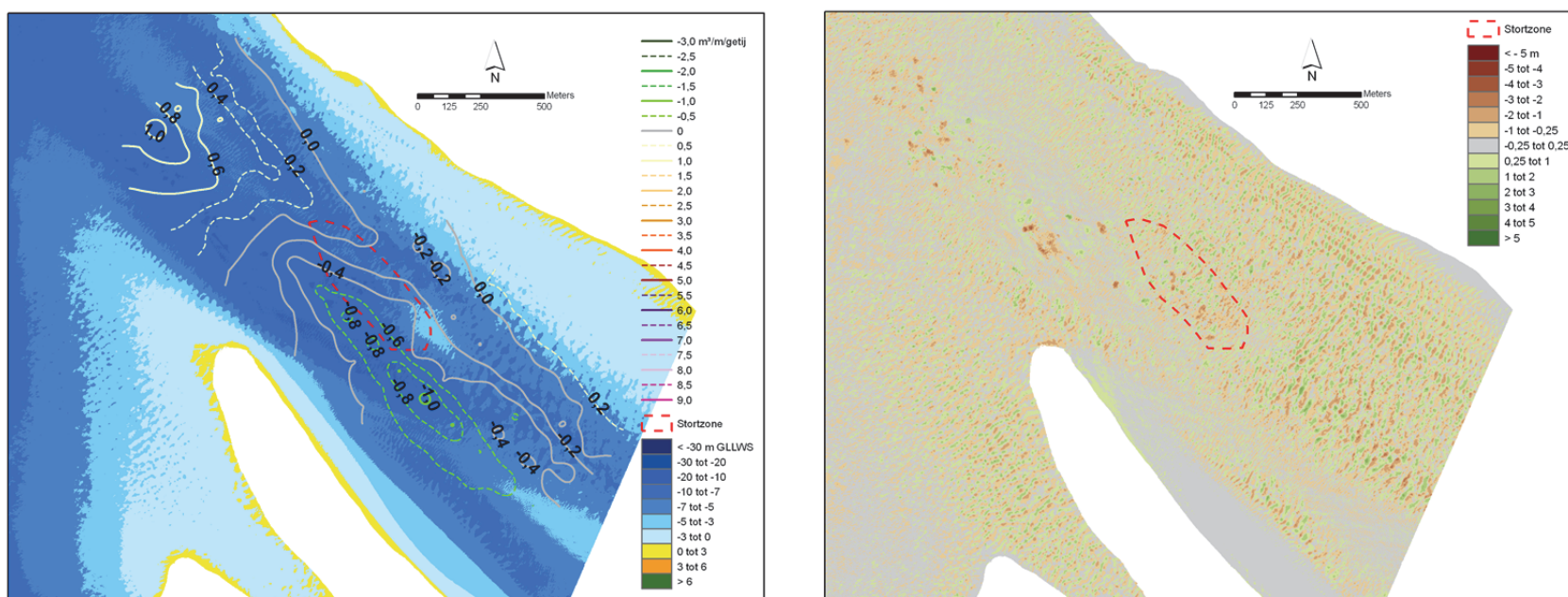
Voor deze locatie dient tevens opgemerkt te worden dat er binnen het beschouwde studiegebied zandwinningen werden uitgevoerd (putten, rode stippen op Figuur 34). Omwille van de beperkte informatie hieromtrent, werden de jaarlijkse zandwinvolumes over het volledige zandwinvak verdeeld (geen ruimtelijk, noch temporeel onderscheid binnen de zandwinvakken) en alzo in rekening gebracht bij de zandbalansen en de hieruit afgeleide sedimenttransportberekeningen.



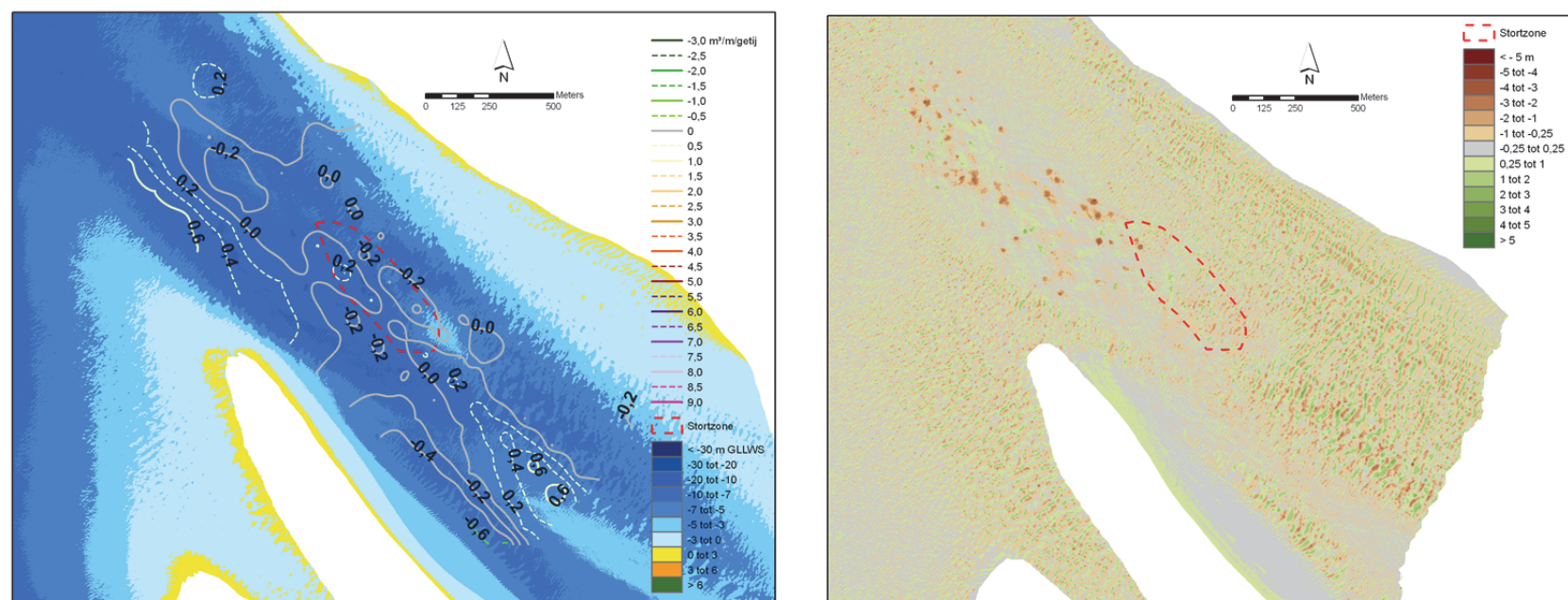
Figuur 31 – Zandbalansen (gemiddelde transporten) voor rekenrij D (Schaar van Waarde) na de stortingen



Figuur 32 – Contourplot (links) en verschilkaart (rechts) voor het transport na storting tussen 07/05/2009 en 09/07/2009 ter hoogte van Schaar van Waarde



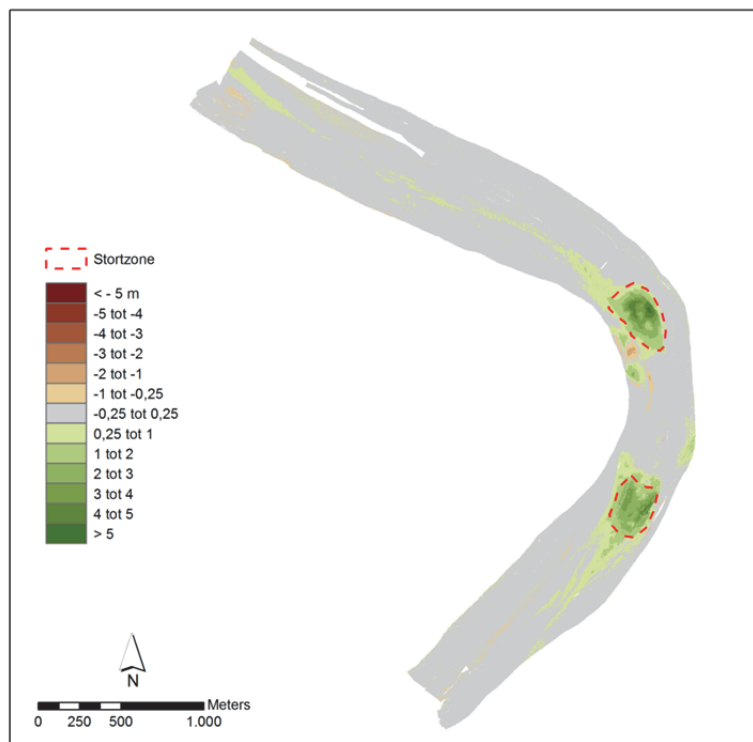
Figuur 33 – Contourplot (links) en verschilkaart (rechts) voor het transport na storting tussen 09/07/2009 en 14/09/2009 ter hoogte van Schaar van Waarde



Figuur 34 – Contourplot (links) en verschilkaart (rechts) voor het transport na storting tussen 14/09/2009 en 19/11/2009 ter hoogte van Schaar van Waarde

7.4 Ketelputten

In maart 2010 werd er ter hoogte van Ketelputten gestort op 2 verschillende locaties (Figuur 35) [IMDC, 2011]. De gestorte volumes bedragen voor de afwaartse (noordelijk) en opwaartse (zuidelijk) zone respectievelijk 292 057 m³ en 270 564 m³, wat resulteert in een totaal stortvolume van 562 621 m³.



Figuur 35 – Verschilkaart op basis van de peiling op 14/09/2009 en 19/11/2009, Schaar van Waarde

Het transport na storting langsheen rekenrij A (gelegen langs de buitenzijde van de bocht, zie Figuur A 4) wordt weergegeven in Figuur 36. Onmiddellijk na het beëindigen van de stortingen wordt ter hoogte van het afwaartse stortvak een ebgedomineerd transport waargenomen (4 m³/m/getij), terwijl ter hoogte van het opwaartse stortvak een vloedgedomineerd transport wordt waargenomen (3 m³/m/getij). Dit patroon wijkt af van de natuurlijke situatie (afwaarts vloeddominant, opwaarts ebdominant), al dient hierbij de bemerking gemaakt te worden dat bij het bepalen van het natuurlijke transport een relatief grote tussentijd aanwezig was tussen de beschikbaar peilingen. In de volgende periode nemen beide transportpieken af in grootte, terwijl deze ook verder van de stortzone lijken te verplaatsen. In de laatst beschouwde periode is de dominantie omgekeerd, waarbij in het merendeel van de rekenrij vloedgedomineerd transport optreedt (tot 1 m³/m/getij), en ter hoogte van de opwaartse rand beperkt ebgedomineerd transport (0,5 m³/m/getij).

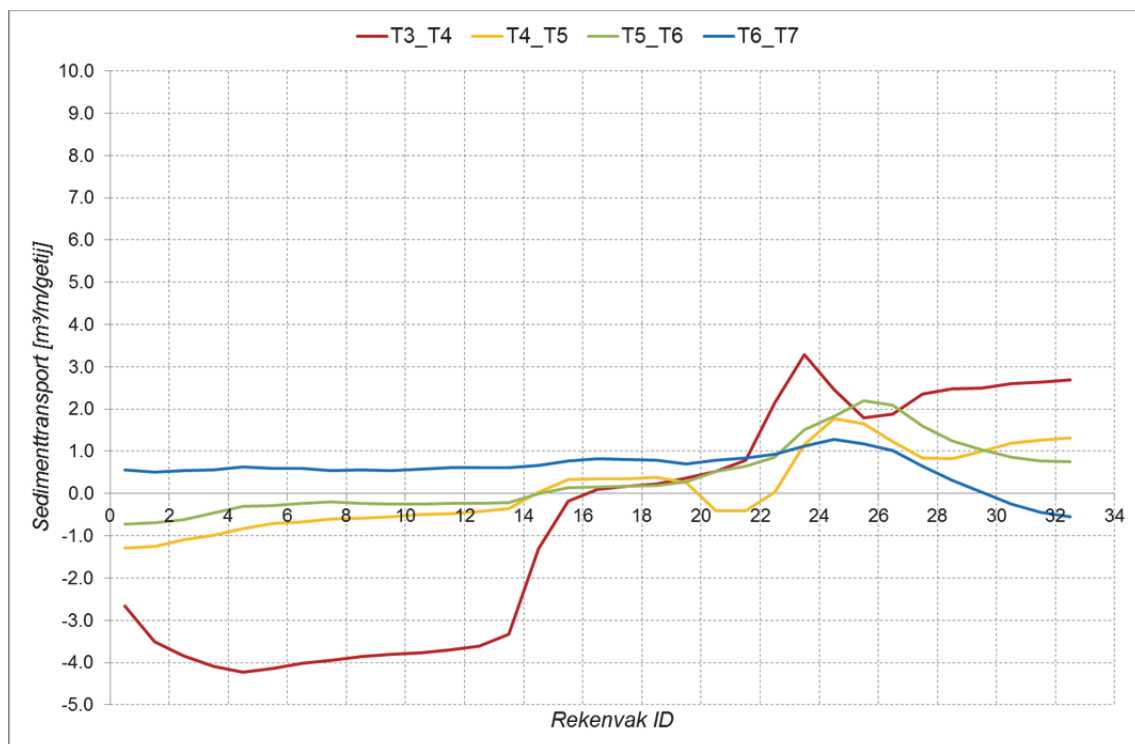
Om het ruimtelijk patroon in sedimenttransport te kennen voor het volledige gebied ter hoogte van de ketelputten werden contourkaarten gemaakt op basis van de gemiddelde zandbalansen van alle rekenrijen. Deze zijn weergegeven in Figuur 37 tot en met Figuur 40. Hierbij wordt ook telkens de bathymetrische verschillkaart voor de betreffende periode voorgesteld.

Net na het uitvoeren van de stortingen is er ter hoogte van de opwaartse stortzone en verhoogd sedimenttransport in de opwaartse richting (waardes tot 3 m³/m/getij, Figuur 37). Na verloop van tijd verschuift deze zone met verhoogd sedimenttransport verder in de opwaartse richting (Figuur 37 tot Figuur 40) en neemt de maximale waarde af (tot 1 m³/m/getij, Figuur 40).

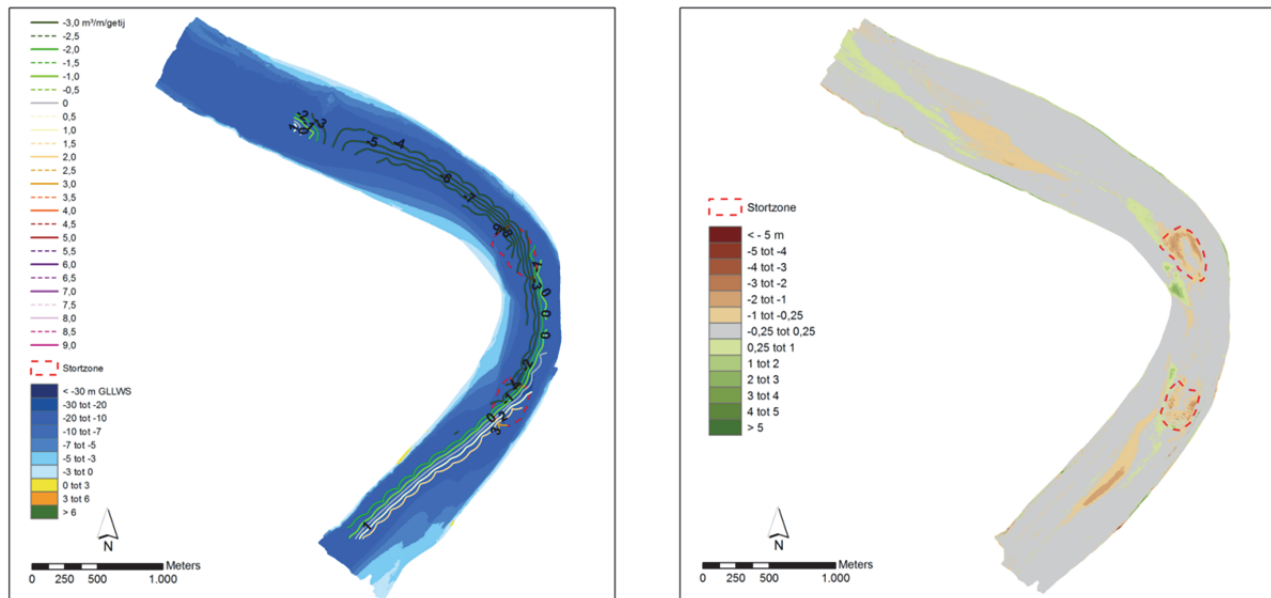
Ter hoogte van de afwaartse stortzone wordt er net na de storting een sterk ebgedomineerd transport waargenomen (waardes tot 9 m³/m/getij, Figuur 37), en zijn er geen aanwijzingen voor opwaarts transport. Na verloop van tijd verschuift deze zone met verhoogd sedimenttransport verder in de afwaartse richting (Figuur 37 tot Figuur 40) en neemt de maximale waarde af (tot 1 m³/m/getij, Figuur 40).

Voor deze locatie moet echter opgemerkt worden dat de gehanteerde methodiek niet optimaal is. Door de aanwezigheid van de bocht, en hierdoor het optreden van helicoïdale stromingen, is de aanname dat het sedimenttransport plaatsvindt volgens de rekenrijen niet gerechtvaardigd. Dit blijkt ook als de verschilkaart mee in beschouwing genomen worden (Figuur 37 tot Figuur 40 - rechts). Voor de afwaartse stortzone kan er direct na het stoppen van de stortingen zowel in de afwaartse als in de opwaartse richting sedimentatie vastgesteld worden. In de opwaartse richting wordt het sediment echter naar de binnenbocht van de bocht verplaatst (ten gevolge van de helicoïdale stroming), waardoor dit niet in de berekende transporten van de rekenrij tot uiting komt. Ook voor de zuidelijke stortzone wordt er in de afwaartse richting sediment afgezet buiten de rekenrijen. Bijgevolg is er volgens de transportkaarten enkel transport in de opwaartse richting, ondanks het feit dat er transport is in beide richtingen (groen zones, Figuur 37 tot Figuur 40).

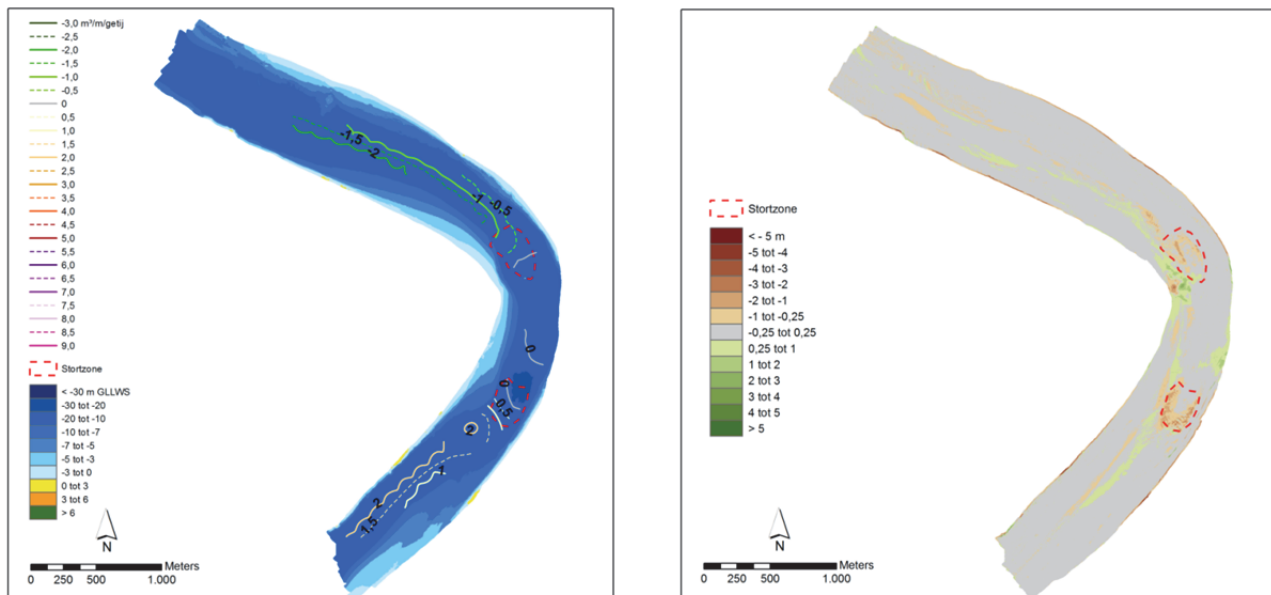
Voor deze locatie dient tevens opgemerkt te worden dat er binnen het beschouwde studiegebied baggerwerkzaamheden werden uitgevoerd, zowel opwaarts (drempel van de Parel - Figuur 40) als afwaarts (drempel van Lillo - Figuur 37). De gebaggerde volumes werden meegenomen in de zandbalansen en de hieruit afgeleide sedimenttransportberekeningen.



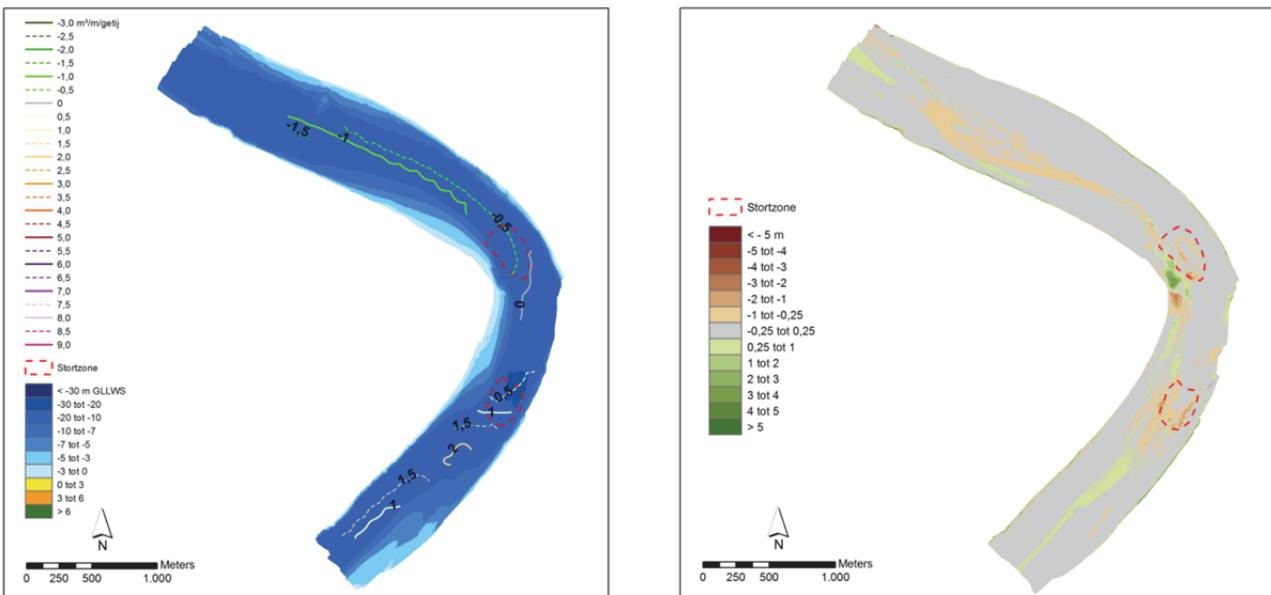
Figuur 36 – Zandbalans (gemiddelde transporten) voor rekenrij A (Ketelputten) na de stortingen



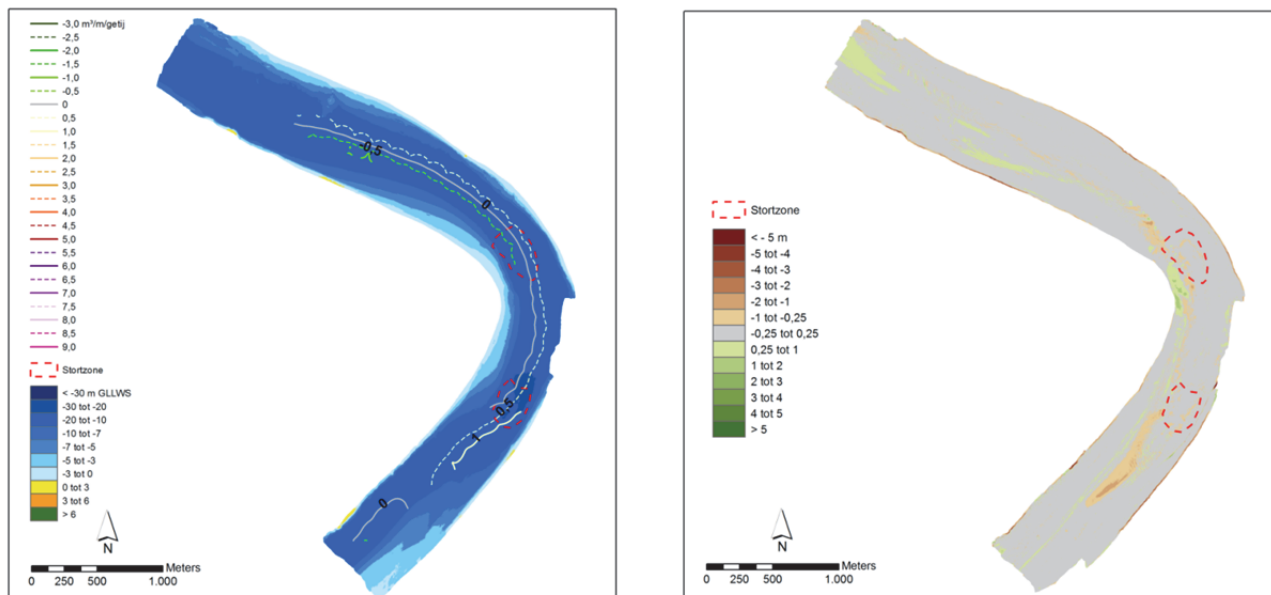
Figuur 37 – Contourplot (links) en verschilkaart (rechts) voor het transport na storting tussen 06/04/2010 en 07/05/2010 ter hoogte van Ketelputten



Figuur 38 – Contourplot (links) en verschilkaart (rechts) voor het transport na storting tussen 07/05/2010 en 16/06/2010 ter hoogte van Ketelputten



Figuur 39 – Contourplot (links) en verschilkaart (rechts) voor het transport na storting tussen 16/06/2010 en 18/08/2010 ter hoogte van Ketelputten



Figuur 40 – Contourplot (links) en verschilkaart (rechts) voor het transport na storting tussen 18/08/2010 en 29/09/2010 ter hoogte van Ketelputten

7.5 Conclusies

Voor de 4 beschouwde deelgebieden werd het sedimenttransport (berekend uit de zandbalansen) na uitvoering van stortingen onderzocht. Hierbij moet opgemerkt worden dat de stortingen verschillend werden uitgevoerd. Voor de Hooge Platen West werd een grote ($1,92 \text{ Mm}^3$) hoeveelheid specie gestort in een relatief korte periode (3 maanden). Ook voor de Ketelputten werd geconcentreerd in de tijd (1 maand) gestort, al was de gestorte hoeveelheid hier aanzienlijk lager ($0,56 \text{ Mm}^3$). Voor de Plaat van Walsoorden werd een aanzienlijke hoeveelheid gestort ($0,90 \text{ Mm}^3$), weliswaar meer gespreid in de tijd (7 maanden), terwijl voor de Schaar van Waarde de gestorte hoeveelheid beperkt was ($0,25 \text{ Mm}^3$ in 1 maand). Voorts vinden er in een aantal van de beschouwde studiegebieden andere activiteiten (onderhoudsbaggerwerk, zandwinning) plaats die van invloed zijn op de zandbalansen en dus ook de berekende sedimenttransporten.

Voor de verschillende locaties kan een vergelijkbaar patroon worden vastgesteld: afhankelijk van de dominantie (resp. vloed of eb), treedt er langs de resp. opwaartse of afwaartse rand van het stortgebied initieel een verhoogd sedimenttransport op. Deze toename varieert van een factor 2 tot een factor 20 (Hooge Platen West). Deze transportpiek verplaatst zich geleidelijk onder invloed van de dominante stroming, waarbij de piekwaarde in de tijd afneemt. Voor 3 van de locaties is het sedimenttransport 6 maanden na het beëindigen van de stortingen van dezelfde grootte-orde als de natuurlijke transporten, enkel voor de Hooge Platen West zijn de transporten nog groter dan in de referentieperiode. De oorzaak hiervan ligt in de grotere "verstoring" (grotere hoeveelheid op korte tijd) die door de stortingen is aangebracht.

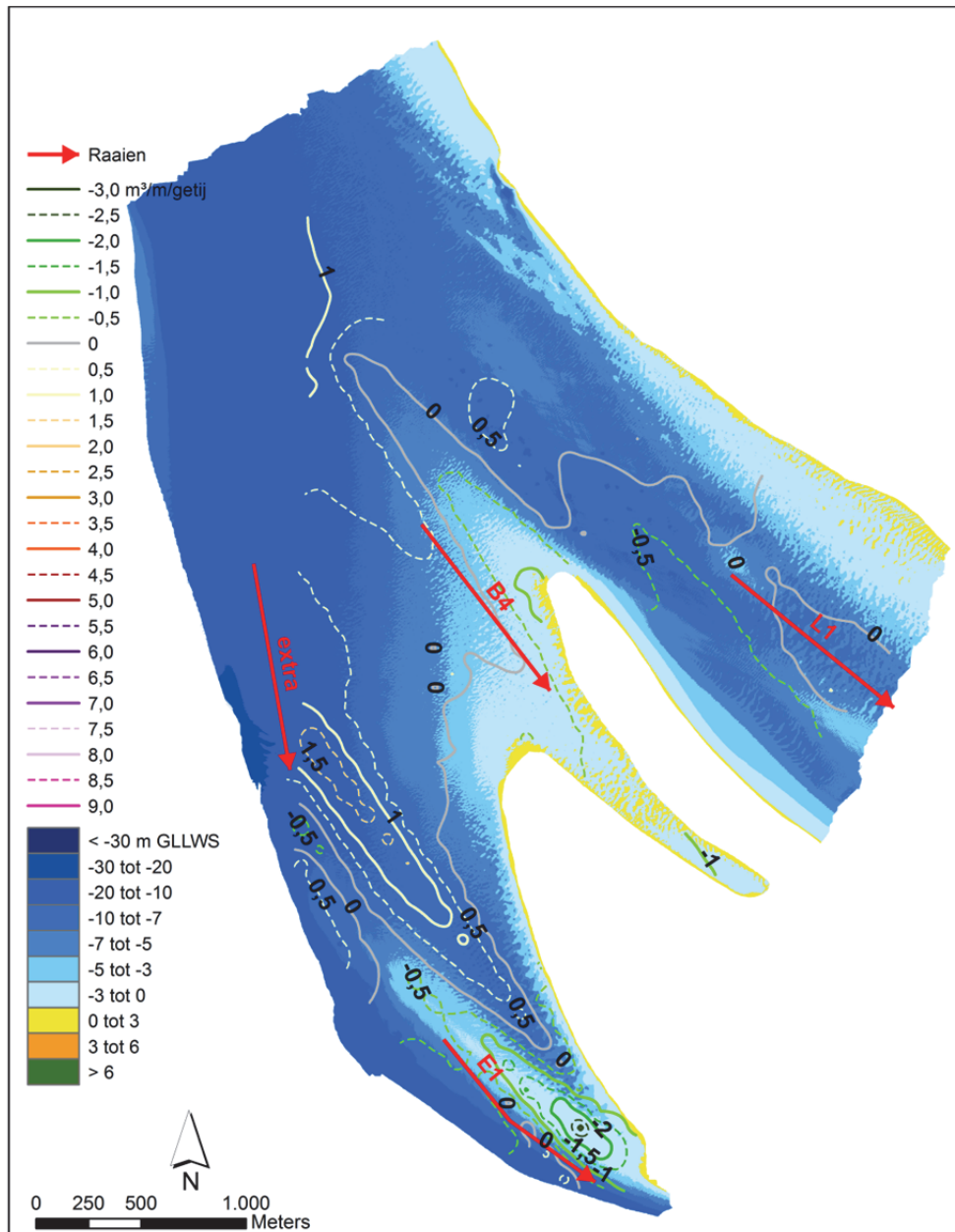
8 Duinvoortplanting

In voorgaande hoofdstukken werd het sedimenttransport steeds bepaald via de zandbalansen. In deze methodiek werden een aantal veronderstellingen gemaakt (§ 4.1.1) die niet altijd volledig werden vervuld. In dit hoofdstuk wordt het sedimenttransport berekend op een alternatieve manier, nl. op basis van de voortplanting van de bodemvormen⁵. Om deze methodiek te kunnen toepassen moet voldaan zijn aan een aantal voorwaarden:

- Er dienen voldoende grote bodemvormen (geen ribbels (hoogte < 25 cm), maar eerder duinen (hoogte > 50 cm)) aanwezig te zijn in het gebied.
- Er dienen voldoende peilingen beschikbaar te zijn met een beperkte tussenperiode (maximaal 1 à 2 maanden) opdat de individuele bodemvormen herkend kunnen worden.
- De bodemvormen moeten gelijkaardig in grootte en vorm blijven in de tijd. Hierdoor is het enkel mogelijk deze methodiek toe te passen in een periode zonder stortingen, aangezien zich tijdens (vlakke bodem bij sproeiponten of stortbulten bij kleppen) en na de stortingen (instellen nieuwe situatie na de stortingen) een overgangssituatie voordoet die niet representatief is voor de lokale bodemvormen.

Gelet op bovenstaande beperkingen, bleken enkel de locaties Plaat van Walsoorden en Schaar van Waarde in aanmerking te komen om deze methodiek toe te passen. Bij de Hooge Platen West bleken voornamelijk kleinere bodemvormen aanwezig te zijn, terwijl het aantal beschikbare peilingen voor de stortingen te beperkt was. Dit was ook het geval voor de Ketelputten waar voor aanvang van de stortingen slechts jaarlijkse peilingen beschikbaar waren.

⁵ Sedimenttransporten bepaald op basis van de voortplanting van bodemvormen werden berekend in $m^3/m/dag$. In de bespreking van dit hoofdstuk worden naast de waarden in $m^3/m/dag$ ook de waarden in $m^3/m/getij$ vermeld, net zoals voor de sedimenttransporten berekend op basis van de zandbalansen (§ 5)



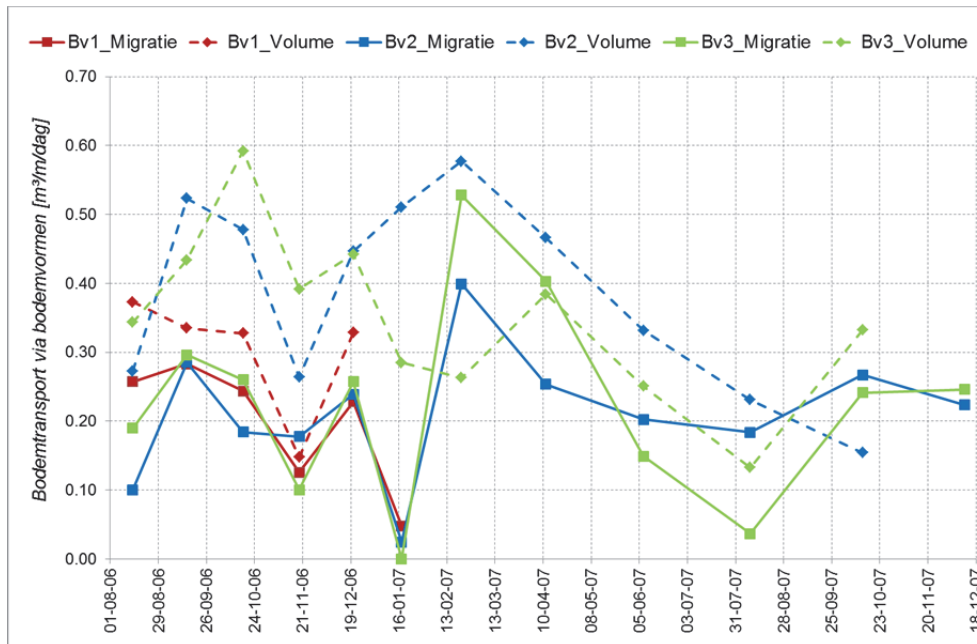
Figuur 41 – Overzicht van de raaien voor de bepaling van het sedimenttransport op basis van bodemvormen. Contourlijnen stellen het sedimenttransport voor berekend op basis van de zandbalansen

Voor de verschillende raaien (lengte ca. 1000m) werden telkens 2 à 3 bodemvormen weerhouden waarop de analyse werd uitgevoerd. Het sedimenttransport werd voor elk van de bodemvormen (Bv1 t.e.m. Bv3) bepaald op basis van zowel de migratiesnelheid als de erosie-sedimentatie volumes van de bodemvorm. Tabel 5 geeft per raai de verschillende in de tijd gemiddelde karakteristieken (hoogte, lengte van de bodemvorm, sedimenttransport volgens migratiesnelheid, sedimenttransport volgens erosie-sedimentatie volumes) weer voor elke bodemvorm.

Tabel 5 – Overzicht berekende bodemtransporten (gemiddeld over beschouwde periode)
op basis van bodemvormen

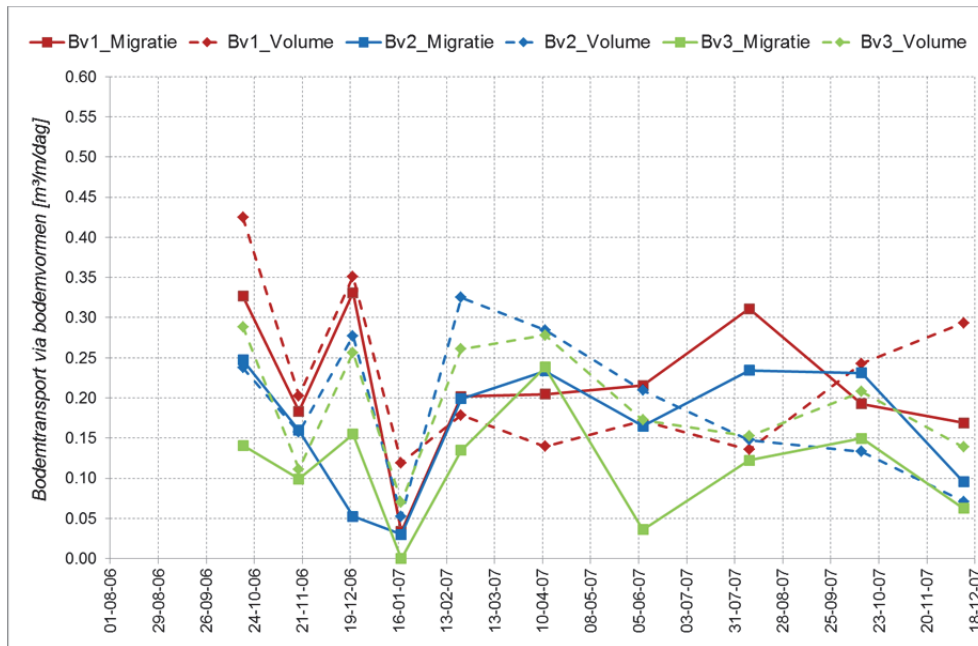
Raai ID	Bodemvorm ID	Hoogte [m]	Lengte [m]	Bodemtransport (Migratie) [m ³ /m/dag]	Bodemtransport (Volume) [m ³ /m/dag]
L1	1	1.54	27.4	0.198	0.302
	2	1.43	30.6	0.212	0.387
	3	1.24	26.3	0.226	0.350
	Gemiddeld	1.40	28.1	0.212	0.346
B4	1	1.64	31.2	0.217	0.226
	2	1.46	26.7	0.165	0.190
	3	1.28	31.6	0.114	0.194
	Gemiddeld	1.46	29.8	0.165	0.203
E1	1	0.68	16.0	-0.146	-0.146
	2	0.65	15.7	-0.143	-0.124
	Gemiddeld	0.66	15.9	-0.145	-0.135

Raai L1 is gelegen in de Schaar van Waarde en wordt gekenmerkt door duinen met een gemiddelde hoogte van 1,40 m en een gemiddelde lengte van 28 m. Volgens de methodiek gebruikt in [Plancke *et al.*, 2009] worden deze bodemvormen gecategoriseerd in de klasse "Duinen 2". Figuur D 1 tot en met Figuur D 3 geeft de ontwikkeling in de tijd weer van de individuele bodemvormen. Figuur 42 geeft voor de 3 geselecteerde bodemvormen het berekende sedimenttransport. Hierbij ligt in de beschouwde periode het berekende transport volgens de migratie van de duinen (-) systematisch lager dan dit volgens de erosie-sedimentatie volumes (--) (gemiddeld 0,212 m³/m/dag ⇔ 0,346 m³/m/dag = 0,11 m³/m/getij ⇔ 0,179 m³/m/getij). Het sedimenttransport is steeds vloedgedomineerd en varieert in de tijd tussen 0 m³/m/dag (januari 2007) en 0,6 m³/m/dag (= 0,31 m³/m/getij) (februari 2007), waarbij de variatie in de tijd vergelijkbaar is voor de 3 beschouwde bodemvormen op deze raai. De sedimenttransporten bekomen op basis van de bodemvormen liggen in dezelfde grootte-orde als het natuurlijke transport op basis van de zandbalansen.



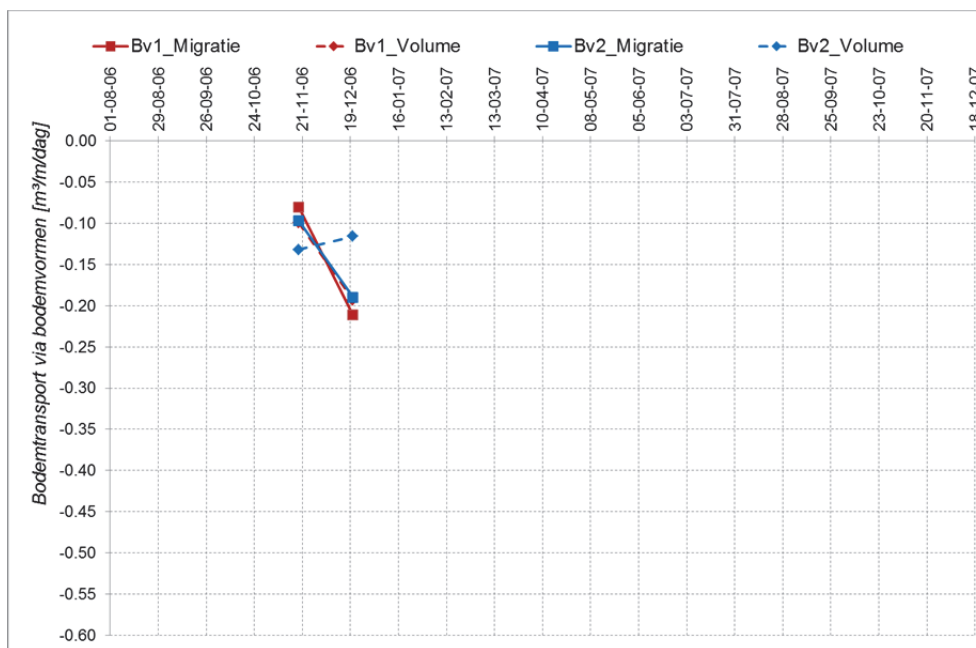
Figuur 42 – Evolutie in de tijd van berekende bodemtransporten op basis van bodemvormen raai L1

Raai B4 is gelegen ter hoogte van de zeewaartse punt van de Plaat van Walsoorden en wordt gekenmerkt door duinen met een gemiddelde hoogte van 1,46 m en een gemiddelde lengte van 30 m. Volgens de methodiek gebruikt in [Plancke et al., 2009] worden deze bodemvormen gecategoriseerd in de klasse “Duinen 2”. Figuur D 4 tot en met Figuur D 6 geeft de ontwikkeling in de tijd weer van de individuele bodemvormen. Figuur 43 geeft voor de 3 geselecteerde bodemvormen het berekende sedimenttransport. Hierbij zijn de afwijkingen tussen het berekende transport volgens de migratie van de duinen (-) en volgens de erosie-sedimentatie volumes (-) beperkt, met een gemiddeld sedimenttransport van respectievelijk 0,165 m³/m/dag en 0,203 m³/m/dag (respectievelijk 0,085 en 0,105 m³/m/getij). Het sedimenttransport is steeds vloedgedomineerd en varieert in de tijd tussen 0 m³/m/dag (januari 2007) en 0,45 m³/m/dag (= 0,233 m³/m/getij) (oktober 2006), waarbij de variatie in de tijd vergelijkbaar is voor de 3 beschouwde bodemvormen op deze raai. De sedimenttransporten bekomen op basis van de bodemvormen liggen in dezelfde grootte-orde als het natuurlijke transport op basis van de zandbalansen.



Figuur 43 – Evolutie in de tijd van berekende bodemtransporten op basis van bodemvormen raai B4

Raai E1 is gelegen langs de geul kant (Zuidergat) van de zuidelijke zand tong van de Plaat van Walsoorden en wordt gekenmerkt door duinen met een gemiddelde hoogte van 0,66 m en een gemiddelde lengte van 16 m. Volgens de methodiek gebruikt in [Plancke et al., 2009] worden deze bodemvormen gecategoriseerd in de klasse “Duinen 1”. Deze raai werd speciaal geselecteerd omwille van het ebgedomineerd transport dat hier volgens de zandbalansen zou optreden. Omwille van de sterke variatie in de vorm van de bodemvormen, bleek de analyse van de bodemvorm slechts mogelijk op een zeer beperkte periode (3 peilingen tijdens de winter 2006-2007). Figuur D 7 en Figuur D 8 geeft de ontwikkeling in de tijd weer van de individuele bodemvormen. Figuur 44 geeft voor de 2 geselecteerde bodemvormen het berekende sedimenttransport. Hierbij zijn de afwijkingen tussen het berekende transport volgens de migratie van de duinen (-) en volgens de erosie-sedimentatie volumes (-) beperkt, met een gemiddeld sedimenttransport van respectievelijk -0,145 m³/m/dag en -0,135 m³/m/dag (respectievelijk -0,075 m³/m/getij en -0,070 m³/m/getij). Beide beschouwde bodemvormen vertonen dus ook een ebgedomineerd sedimenttransport, wat in overeenstemming is met de bevindingen op basis van de zandbalansen.



Figuur 44 – Evolutie in de tijd van berekende bodemtransporten op basis van bodemvormen raai E1

9 Conclusies en aanbevelingen

9.1 Conclusies

De doelstelling van dit onderzoek was om het morfodynamisch gedrag van gestorte specie na te gaan binnen diverse morfologische gebieden van het estuarium (plaatrand, nevengeul, hoofdgeul). De morfodynamica van de gestorte specie werd hierbij beschouwd op mesoschaal en over een korte tijdsperiode van minder dan 1 jaar. Binnen deze studie werd de morfodynamica via het sedimenttransport onderzocht voor 4 locaties in het Schelde-estuarium. Elke locatie is gekenmerkt door een eigen morfologische karakter: 2 locaties zijn gelegen langsheen een plaatrand (Hooge Platen West en Plaat van Walsoorden), 1 locatie in een nevengeul (Schaar van Waarde) en 1 locatie in de hoofdgeul (Ketelputten). Voor iedere locatie werd het sedimenttransport berekend voor zowel natuurlijk transport als voor het transport na storting.

Om het sedimenttransport te berekenen werd gebruik gemaakt van zandbalansen. Een gevoeligheidsanalyse liet toe te komen tot de optimale uitgangspunten inzake de tussenperiode tussen de beschouwde peilingen (ca. 3 maanden voor natuurlijk transport, 1 à 2 maanden voor transport na storting), de bepaling van de op te leggen randvoorwaarden (toepassen van een sedimenttransportformule op gemodelleerde stroomsnelheden) en het berekenen van het sedimenttransport (opleggen van de randvoorwaarde zowel op- als afwaarts en vervolgens de gemiddelde waarde bepalen uit deze enveloppe).

9.1.1 Natuurlijk transport

Ter hoogte van de plaatranden (Hooge Platen West en Plaat van Walsoorden) is er hoofdzakelijk vloedgedomineerd sedimenttransport waarbij het sediment naar de plaatrand toe wordt verplaatst. Ter hoogte van de zeewaartse plaatpunt van zowel de Plaat van Walsoorden als de Hooge Platen West liggen de transportwaardes tussen 0 en 0,5 m³/m/getij. Voor de Plaat van Walsoorden worden er ter hoogte van de zuidelijke vloedschaar hogere waardes teruggevonden (tot 2 m³/m/getij). Voor beide plaatpunten worden er door de lokale morfologie ook zones gevonden die ebgedomineerd zijn. Bij de Hooge Platen West treedt dit op ter hoogte van de secundaire vloedgeul tussen de Plaat van Breskens en de Hooge Platen. Voor de Plaat van Walsoorden is er een ebdominante zone langs de geulkant van de zuidelijke zand tong (kant Zuidergat).

In de nevengeul en hoofdgeul wordt sediment zowel in de vloedrichting als in de ebrichting getransporteerd. Dit is te wijten aan de morfologie binnen het gebied. Voor de Schaar van Waarde wordt dit verschil veroorzaakt door de connectie met de Schaar van Valkenisse in het zuidelijke deel (ebdominant), terwijl het noordelijk deel vloeddominant is. Voor de Ketelputten is dit verschil te wijten aan de helicoïdale bochtstroming die er zich voordoet. Duidelijk is echter wel dat het ebtransport in deze geulsystemen belangrijker is dan het ebtransport langsheen een plaatrand. Transportwaardes in de nevengeul en hoofdgeul zijn sterk vergelijkbaar met elkaar en variëren tussen -0,6 en 0,8 m³/m/getij.

Voor de Plaat van Walsoorden en de Schaar van Waarde werd ook het sedimenttransport bepaald op basis van bodemvormen. Voor de 2 andere locaties bleek dit niet mogelijk omwille van een te beperkte dataset voor aanvang van de stortingen. Bij deze methodiek werd zowel op basis van de migratiesnelheid als op basis van de erosie-sedimentatie volumes een inschatting gemaakt van het sedimenttransport. Dit werd uitgevoerd voor 4 raaien, waarbij de gevonden gemiddelde transportwaardes gelijkaardig waren met deze uit de zandbalansen. Ook de ebdominantie ter hoogte van de geulkant van de zuidelijke zand tong werd op basis van de bodemvormen teruggevonden.

9.1.2 Transport na storting

Voor de 4 beschouwde deelgebieden werd het sedimenttransport (berekend uit de zandbalansen) na uitvoering van stortingen onderzocht. Hierbij moet opgemerkt worden dat de stortingen verschillend werden uitgevoerd. Voor de Hooge Platen West werd een grote (1,92 Mm³) hoeveelheid specie gestort in een relatief korte periode (3 maanden). Ook voor de Ketelputten werd geconcentreerd in de tijd (1 maand) gestort, al was de gestorte hoeveelheid hier aanzienlijk lager (0,56 Mm³).

Voor de Plaat van Walsoorden werd een aanzienlijke hoeveelheid gestort ($0,90 \text{ Mm}^3$), weliswaar meer gespreid in de tijd (7 maanden), terwijl voor de Schaar van Waarde de gestorte hoeveelheid beperkt was ($0,25 \text{ Mm}^3$ in 1 maand). Voorts vinden er in een aantal van de beschouwde studiegebieden andere activiteiten (onderhoudsbaggerwerk, zandwinning) plaats die van invloed zijn op de zandbalansen en dus ook de berekende sedimenttransporten. De locatie Ketelputten is gelegen ter hoogte van een bocht wat er voor zorgt dat een deel van de gestorte specie richting binnenbocht wordt getransporteerd onder invloed van helicoïdale stroming, en niet volgens de richting van de rekenrijen.

Voor de verschillende locaties kan een vergelijkbaar patroon worden vastgesteld: afhankelijk van de dominantie (resp. vloed of eb), treedt er langs de resp. opwaartse of afwaartse rand van het stortgebied initieel een verhoogd sedimenttransport op. Deze toename varieert van een factor 2 tot een factor 20 (Hooge Platen West). Deze transportpiek verplaatst zich geleidelijk onder invloed van de dominante stroming, waarbij de piekwaarde in de tijd afneemt. Voor 3 van de locaties is het sedimenttransport 6 maanden na het beëindigen van de stortingen van dezelfde grootte-orde als de natuurlijke transporten, enkel voor de Hooge Platen West zijn de transporten nog groter dan in de referentieperiode. De oorzaak hiervan ligt in de grotere “verstoring” (grotere hoeveelheid op korte tijd) die door de stortingen is aangebracht.

Na het uitvoeren van een storting wordt langs de plaatranden (Hooge Platen West en Plaat van Walsoorden) het grootste deel van de gestorte specie in de richting van de plaatrand getransporteerd. Een kleiner deel (aan de afwaartse zijde van de gestorte specie) wordt weg van de plaatranden getransporteerd. Hoewel het natuurlijk sedimenttransport voor Hooge Platen West gelijkaardig is met dat voor de Plaat van Walsoorden, zijn de maximale transportwaardes na storting voor Hooge Platen West beduidend hoger (net na storting; $8,5 \text{ m}^3/\text{m}/\text{getij}$ voor Hooge Platen West tegenover $1,5 \text{ m}^3/\text{m}/\text{getij}$ voor Plaat van Walsoorden). Mogelijks heeft de hoeveelheid gestorte specie hierin zijn invloed ($1,92 \text{ m}^3$ voor Hooge Platen West, $0,90 \text{ m}^3$ voor Plaat van Walsoorden).

9.2 Aanbevelingen

De uitgevoerde analyse gebeurde op een aantal locaties waarvoor in het kader van de opvolging van plaatsgevonden stortingen frequente peilingen werden uitgevoerd. Hierbij zijn er grote afwijkingen tussen de periode waarin gestort werd, alsook de hoeveelheden die per locatie werden gestort. Dit kan leiden tot verschillen in het morfologische gedrag van de gestorte specie. Gelet op de intensieve opvolging van de plaatrandstortingen in het kader van “flexibel storten”, verdient het de aanbeveling bijkomende analyses uit te voeren voor de nieuwe stortlocaties waar grote hoeveelheden sediment werden gestort (o.a. Plaat van Walsoorden, Hooge Platen Noord, SH51 – Zuidergat, SH41 – Gat van Ossensisse) om een beeld te krijgen van het morfologische gedrag van de stortingen in deze gebieden.

Tijdens het gevoeligheidsonderzoek naar het bepalen van de randvoorwaarden, bleken voor sommige locaties grote verschillen op te treden tussen het berekende sedimenttransport en de metingen. Gelet op de kleine beschikbare dataset rond sedimenttransportmetingen, verdient het de aanbeveling meer aandacht te besteden aan dit aspect, en meer specifiek het nabij-bodem transport. Naast het verhogen van de inzichten in het sedimenttransport in het estuarium, zal dergelijke dataset kunnen ingezet worden bij de validatie van numerieke sedimenttransportmodellen.

De huidige studie was gericht op het in beeld brengen van het morfologisch gedrag van sedimentstortingen (mesoschaal). Op sommige locaties bleek er tevens een invloed te zijn zandonttrekkingen binnen het studiegebied. Het verdient dan ook de aanbeveling om in de toekomst de scope uit te breiden naar het gedrag op mesoschaal van sedimentonttrekkingen (zandwinning en/of onderhoudsbaggerwerken).

10 Referenties

- Bagnold R.A. (1966). An approach to the sediment transport problem for general physics. Geological Survey prof. paper 422-I, Washington.
- Berben F., Brouwer M, Kohsiek L., Lemkes J., Steyaert F. (1978). Ribbelvormen, waterbeweging en hun onderlinge samenhang in een getijdengebied (Plaat van Ossensisse, Westerschelde). Geografisch Instituut, Rijksuniversiteit Utrecht.
- Ides S., Plancke Y. (2008). Determinatieonderzoek plaatrandstortingen – Deelrapport 2 - Numerieke modellering. WL Rapporten, 791_06. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.
- Ides S., Plancke Y., Peters J.J. (2008). Determinatieonderzoek plaatrandstortingen – Deelrapport 3 – Voorstel praktijk stortstrategie. WL Rapporten, 791_06. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.
- Hoekstra P., Bell P., van Santen P., Roode N., Levoy F., Whitehouse R. (2004). Bedform migration and bedload transport on an intertidal shoal. *Continental Shelf Research* 24, 1249-1269.
- IMDC, 2011. Monitoringprogramma flexibel storten - Stortproef diepe putten Ketelplaat.
- Meyer-Peter E., Mueller R. (1948). Formulas for bed load transport. Sec. Int. IAHR congress, Stockholm, Sweden.
- Plancke Y., Ides S., Peters J. J. (2008). Determinatieonderzoek plaatrandstortingen – Deelrapport 1 – Historische morfologische analyse en analyse en interpretatie terreinmetingen. WL Rapporten, 791_06. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.
- Plancke Y., Vos G., De Mulder T., Mostaert F. (2009). Habitatmapping Westerschelde - Deelrapport 1: classificatie op basis van bodemvormen en hydrodynamica. WL Rapporten, 754_06. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.
- Schrijver M., Plancke Y. (2008). Uitvoeringsplan MONEOS-T 2008 – 2018. Rijkswaterstaat Zeeland, Middelburg, Waterbouwkundig Laboratorium Borgerhout.
- Van Rijn L.C. (1984a). Sediment transport, Part I: Bed load transport. *Journal of Hydraulic Engineering ASCE* 110(10).
- Van Rijn L.C. (1984b). Sediment transport, Part II: Suspended load transport. *Journal of Hydraulic Engineering ASCE* 110(11).
- Vos G., Ides S., Plancke Y., De Mulder, T., Mostaert, F. (2009a). Alternatieve stortstrategie Westerschelde – Proefstorting Walsoorden – Eindevaluatie proefstorting 2006. WL Rapporten, 754_3B.
- Vos, G.; Plancke, Y.; Mostaert, F. (2011). Overleg flexibel storten: Methodologie opvolging plaatrandstortingen. Versie 2.0. WL Rapporten, 791/08. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.
- Waterbouwkundig Laboratorium Borgerhout (WLB) (2006). Alternatieve stortstrategie Westerschelde – Proefstorting Walsoorden Eindevaluatie monitoring. WL Rapporten, 754_2C. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.
- Waterbouwkundig Laboratorium Borgerhout, “Beneden Zee- en Westerschelde – Morfologische analyse van de bagger- en stortintensiteitsdata van 2000 tot en met 2005”, Juni 2007. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.

Tabellen

Tabel A 1 – Overzicht van de gebruikte MBES-peilingen per locatie. De groene velden verwijzen naar peilingen gebruikt voor het natuurlijk transport, de gele velden voor het transport na storting

HPW	PWA	SVW	KET
15/10/2009	15/03/2007	28/08/2006	01/07/2008
04/02/2010	09/05/2007	06/12/2006	13/02/2009
10/05/2010	07/07/2007	20/05/2009	06/04/2010
16/06/2010	10/09/2007	20/07/2009	07/05/2010
16/07/2010	15/11/2007	20/09/2009	16/06/2010
21/09/2010	17/11/2009	17/11/2009	18/08/2010
19/11/2010	01/02/2010		29/09/2010

Tabel A 2 – Bodemtransport via bodemvormen voor raai L1

ID	Datum	Bodemvorm 1				Bodemvorm 2				Bodemvorm 3			
		H [m]	L [m]	Qb1 [m³/m/d]	Qb2 [m³/m/d]	H [m]	L [m]	Qb1 [m³/m/d]	Qb2 [m³/m/d]	H [m]	L [m]	Qb1 [m³/m/d]	Qb2 [m³/m/d]
	GEMIDDELDE	1.54	27.4	0.198	0.302	1.43	30.6	0.212	0.387	1.24	26.3	0.226	0.350
W18	31/07/2006	1.71	22	0.257	0.373	1.01	25	0.100	0.273	0.48	16	0.190	0.343
W19	28/08/2006	1.49	25	0.283	0.335	0.86	34	0.285	0.523	1.30	22	0.296	0.434
W20	2/10/2006	1.55	30	0.243	0.327	1.36	45	0.184	0.478	1.14	28	0.260	0.592
W21	2/11/2006	1.80	30	0.126	0.148	1.50	25	0.177	0.264	1.34	22	0.100	0.391
W22	6/12/2006	1.62	31	0.228	0.328	1.52	38	0.239	0.446	1.38	29	0.257	0.442
W23	4/01/2007	1.32	30	0.048	0.000	1.94	39	0.024	0.511	1.33	30	0.000	0.285
W24	31/01/2007	1.26	24	0.257	0.373	0.66	15	0.399	0.577	1.04	28	0.528	0.263
W25	15/03/2007					1.88	25	0.253	0.466	2.21	41	0.403	0.384
W26	9/05/2007					1.83	46	0.202	0.332	1.65	29	0.149	0.250
W27	7/07/2007					1.58	28	0.184	0.231	1.28	26	0.036	0.132
W28	10/09/2007					0.81	9	0.267	0.154	1.08	33	0.241	0.332
W29	15/11/2007					2.39	31	0.223		1.57	22	0.246	
W30	7/01/2008					1.25	38			0.36	16		

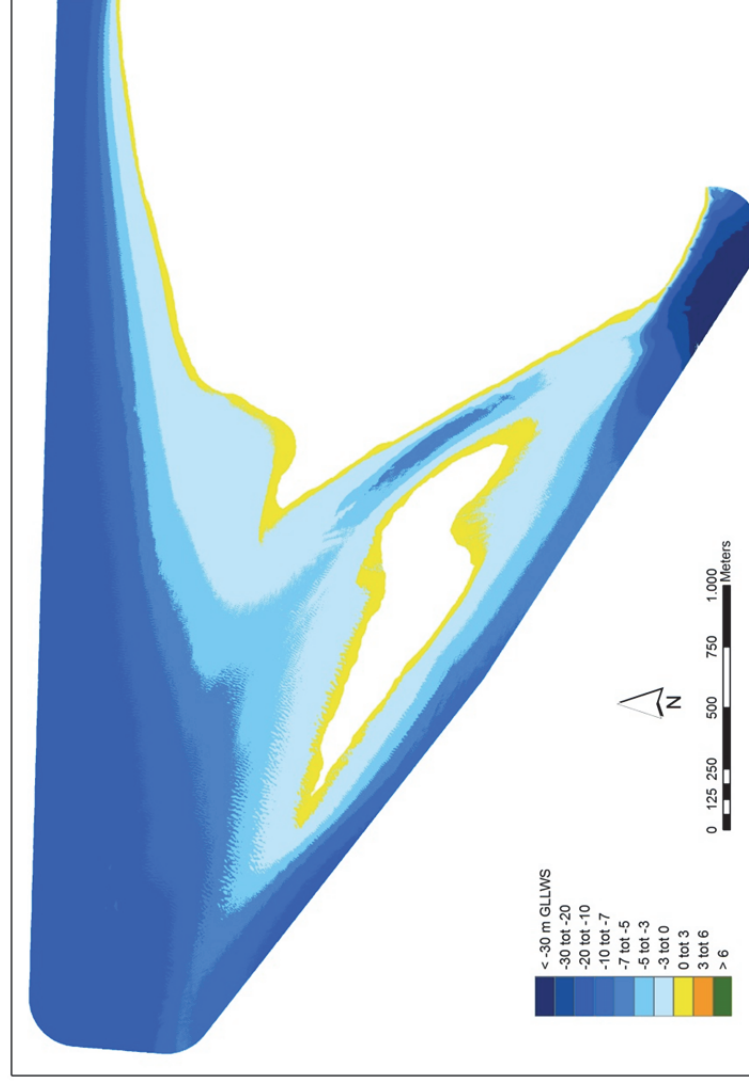
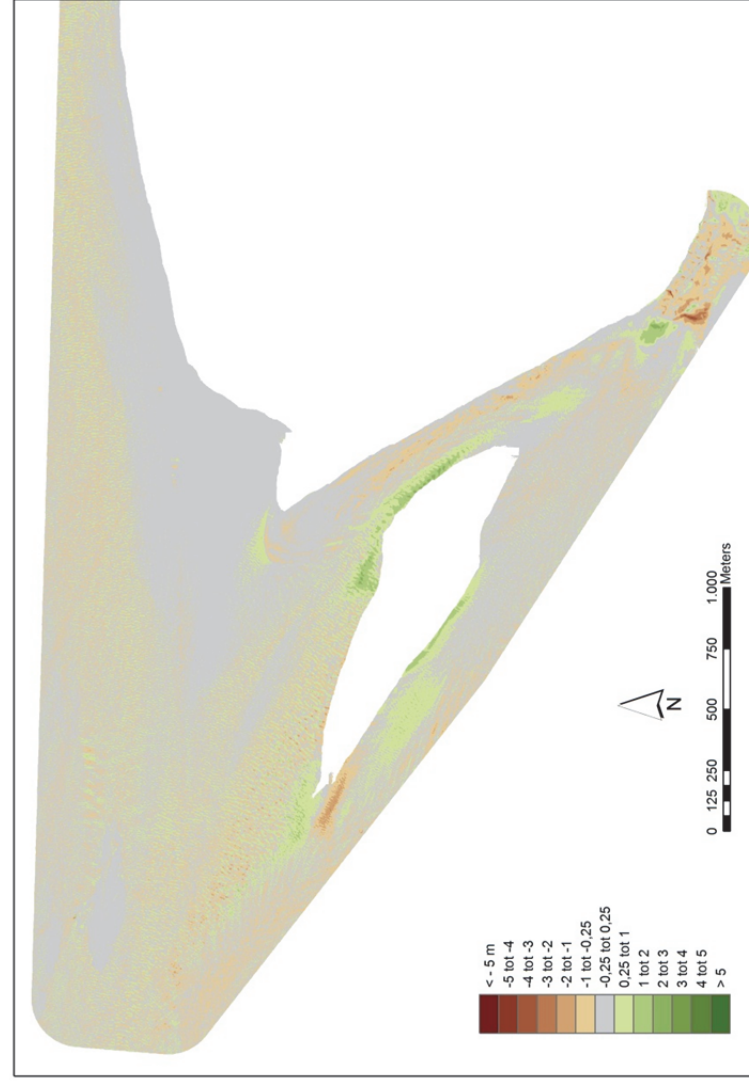
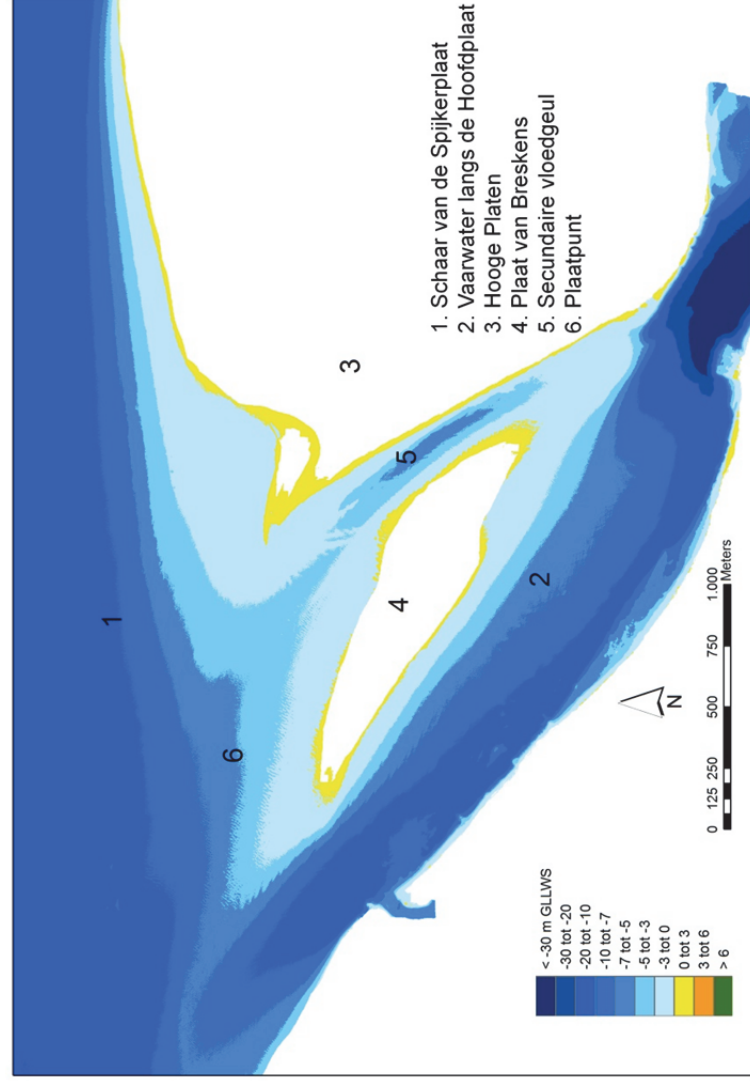
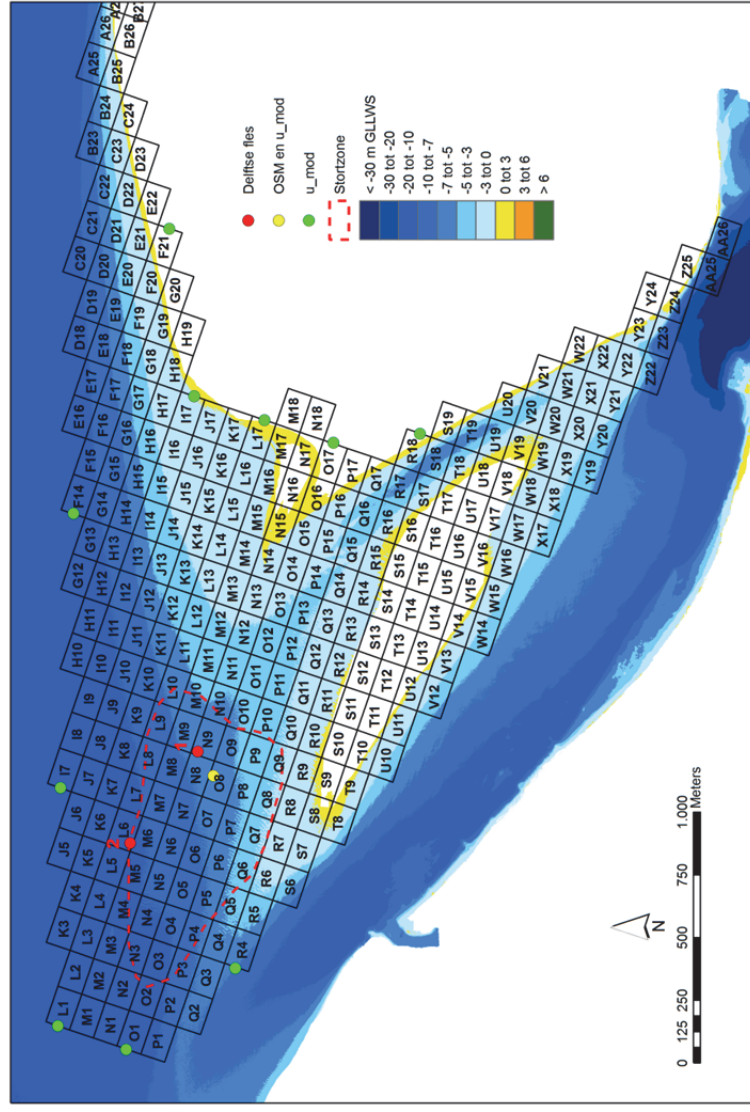
Tabel A 3 – Bodemtransport via bodemvormen voor raai B4

ID	Datum	Bodemvorm 1				Bodemvorm 2				Bodemvorm 3			
		H [m]	L [m]	Qb1 [m³/m/d]	Qb2 [m³/m/d]	H [m]	L [m]	Qb1 [m³/m/d]	Qb2 [m³/m/d]	H [m]	L [m]	Qb1 [m³/m/d]	Qb2 [m³/m/d]
	GEMIDDELDE	1.63	31.3	0.217	0.226	1.46	26.7	0.165	0.190	1.28	31.6	0.114	0.194
W20	2/10/2006	1.75	33	0.327	0.425	0.72	21	0.247	0.238	0.82	21	0.141	0.288
W21	2/11/2006	1.93	29	0.184	0.203	1.33	25	0.160	0.157	1.12	28	0.099	0.111
W22	6/12/2006	2.23	28	0.331	0.351	1.39	23	0.053	0.277	1.13	25	0.155	0.256
W23	4/01/2007	2.04	27	0.034	0.119	1.67	30	0.030	0.053	1.12	28	0.000	0.070
W24	31/01/2007	1.58	29	0.202	0.179	1.59	32	0.199	0.325	1.06	31	0.135	0.261
W25	15/03/2007	1.31	33	0.205	0.140	1.83	31	0.234	0.285	1.52	33	0.238	0.278
W26	9/05/2007	1.06	33	0.216	0.172	1.84	31	0.165	0.210	1.76	34	0.036	0.173
W27	7/07/2007	1.94	32	0.311	0.135	1.70	28	0.234	0.148	1.09	35	0.122	0.153
W28	10/09/2007	1.18	39	0.193	0.243	1.51	30	0.231	0.133	1.18	34	0.150	0.208
W29	15/11/2007	1.37	31	0.169	0.293	1.27	21	0.096	0.071	1.64	38	0.063	0.139
W30	7/01/2008	1.62	30			1.27	22			1.68	41		

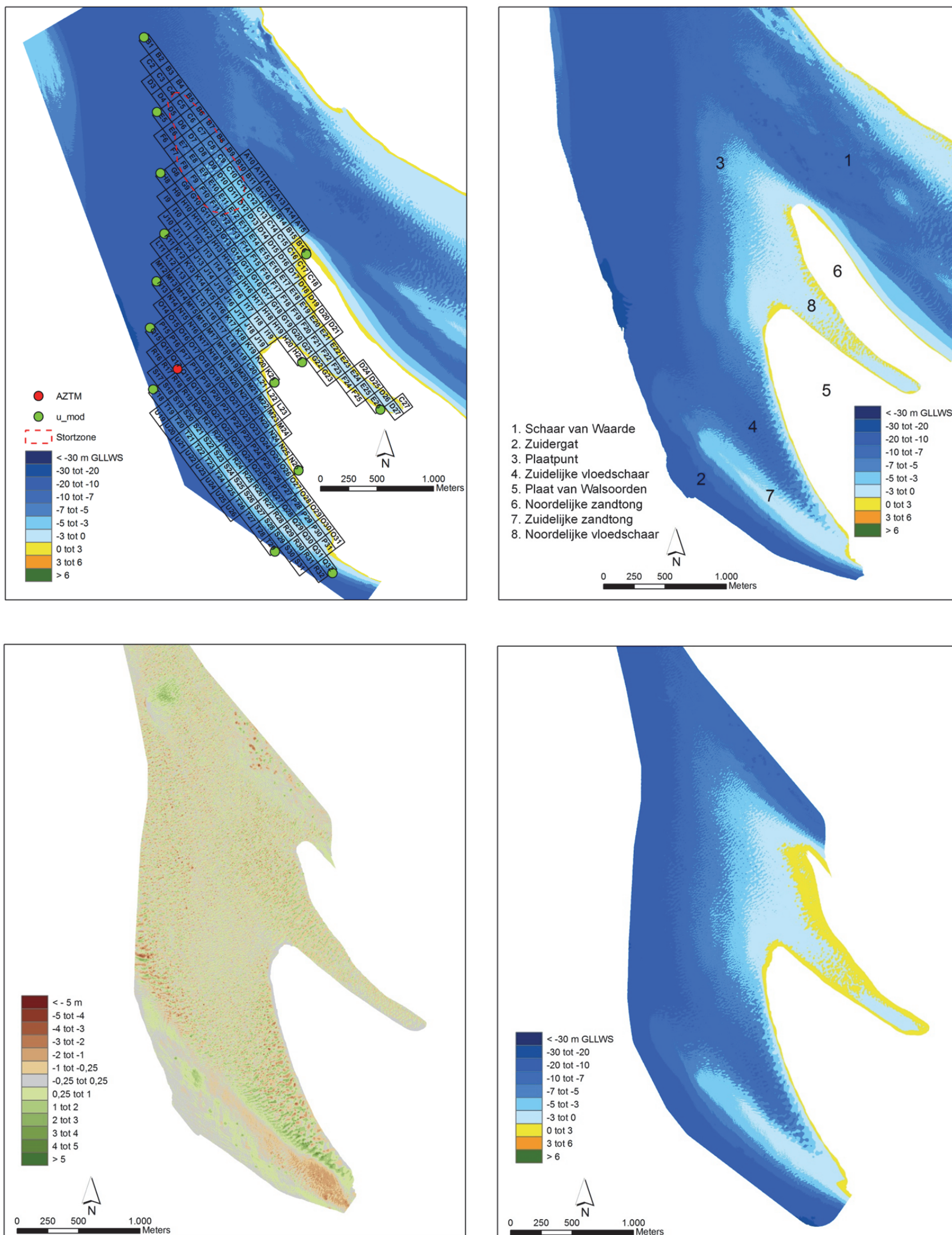
Tabel A 4 – Bodemtransport via bodemvormen voor raai E1

ID	Datum	Bodemvorm 1				Bodemvorm 2			
		H [m]	L [m]	Qb1 [m³/m/d]	Qb2 [m³/m/d]	H [m]	L [m]	Qb1 [m³/m/d]	Qb2 [m³/m/d]
	GEMIDDELDE	068	16.0	-0.146	-0.146	0.65	15.7	-0.143	-0.124
W21	2/11/2006	0.52	12	-0.081	-0.099	0.39	15	-0.097	-0.132
W22	6/12/2006	0.85	20	-0.211	-0.193	0.93	22	-0.190	-0.116
W23	4/01/2007	0.68	16			0.64	10		

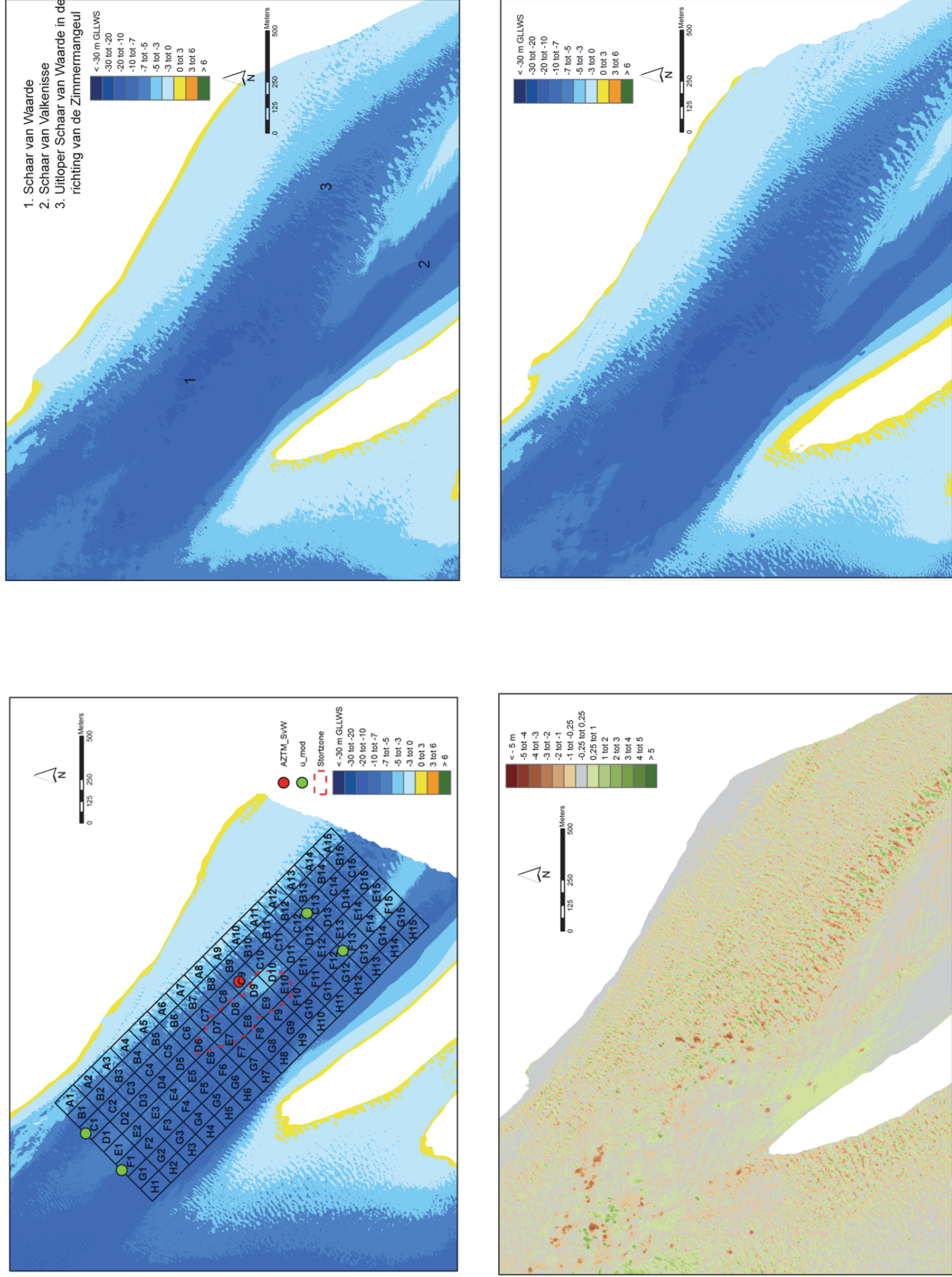
Bijlage A – Overzichtskaarten



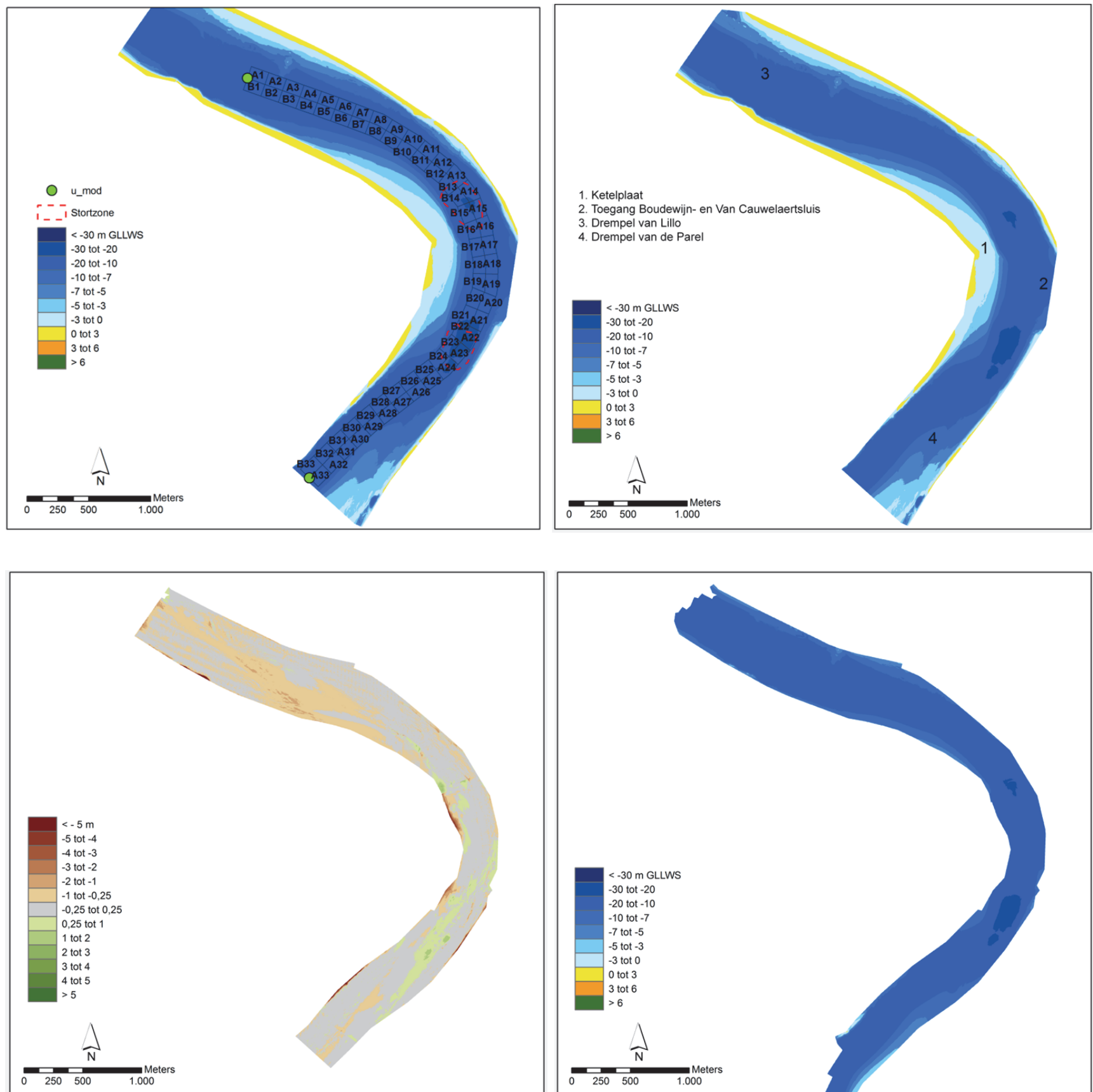
Figuur A 1 – Overzichtskaarten Hooge Platen West – Linksboven: weergave van het rekenrooster, de puntlocaties en de stortzone. Labels in rekenrooster verwijzen naar de rekenrij (letters) en het rekenvak (cijfers). Rechts: de peilingen van 15/10/2009 (rechtsboven) en 04/02/2010 (rechtsonder), gebruikt voor de berekening van het natuurlijk sedimenttransport. Linksonder: de verschillkaart tussen beide tijdstippen



Figuur A 2 – Overzichtskaarten Plaats van Walsoorden – Linksboven: weergave van het rekenrooster, de puntlocaties en de stortzone. Labels in rekenrooster verwijzen naar de rekenrij (letters) en het rekenvak (cijfers). Rechts: de peilingen van 17/11/2009 (rechtsboven) en 01/02/2010 (rechtsonder), gebruikt voor de berekening van het natuurlijk sedimenttransport. Linksonder: de verschilkaart tussen beide tijdstippen.



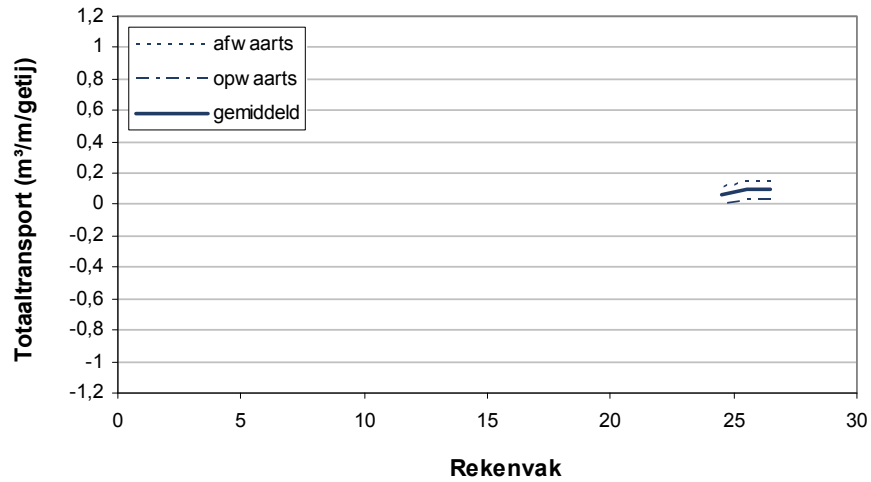
Figuur A 3 – Overzichtskaarten Schaar van Waarde – Linksboven: weergave van het rekenrooster, de puntlocaties en de stortzone. Labels in rekenrooster verwijzen naar de rekenrij (letters) en het rekenvak (cijfers). Rechts: de peilingen van 28/08/2006 (rechtsboven) en 06/12/2006 (rechtsonder), gebruikt voor de berekening van het natuurlijk sedimenttransport. Linksonder: de verschillkaart tussen beide tijdstippen



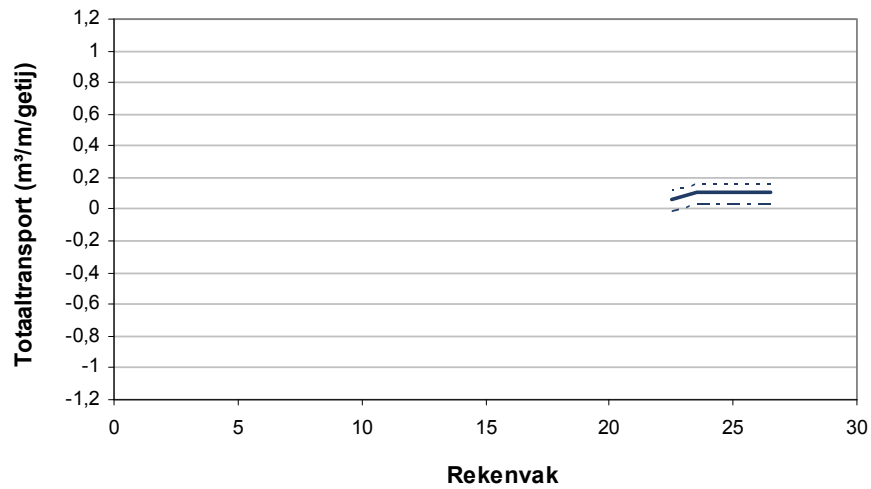
Figuur A 4 – Overzichtskaarten Ketelputten – Linksboven: weergave van het rekenrooster, de puntlocaties en de stortzone. Labels in rekenrooster verwijzen naar de rekenrij (letters) en het rekenvak (cijfers). Rechts: de peilingen van 01/07/2008 (rechtsboven) en 13/02/2009 (rechtsonder), gebruikt voor de berekening van het natuurlijk sedimenttransport. Linksonder: de verschilkaart tussen beide tijdstippen.

Bijlage B – Zandbalansen natuurlijk transport

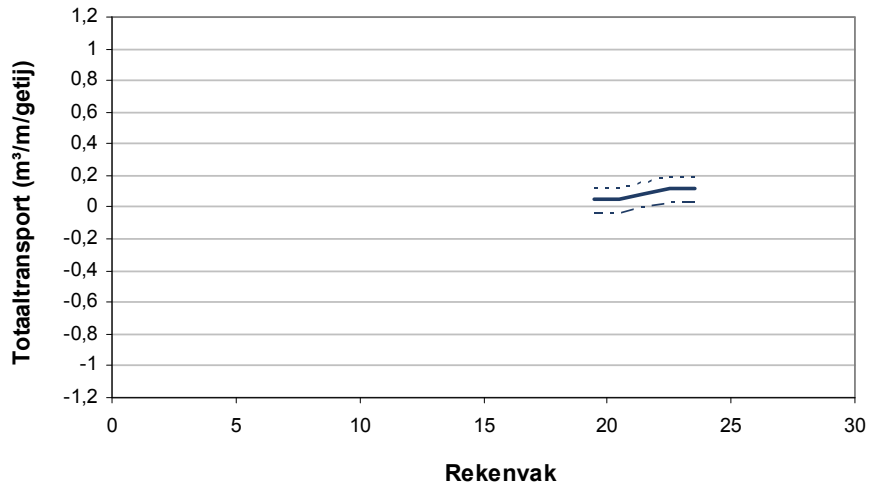
HOOGЕ PLATEN WEST



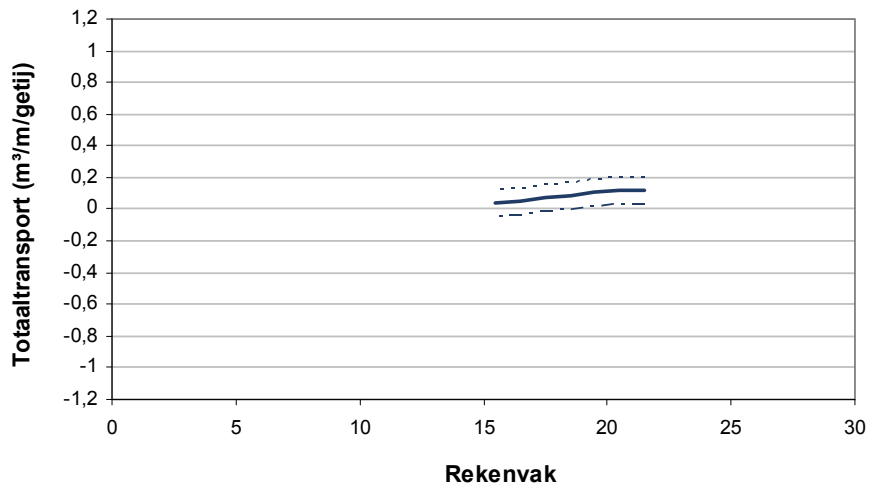
Figuur B 1 – Zandbalans voor rekenrij A, Hooge Platen West



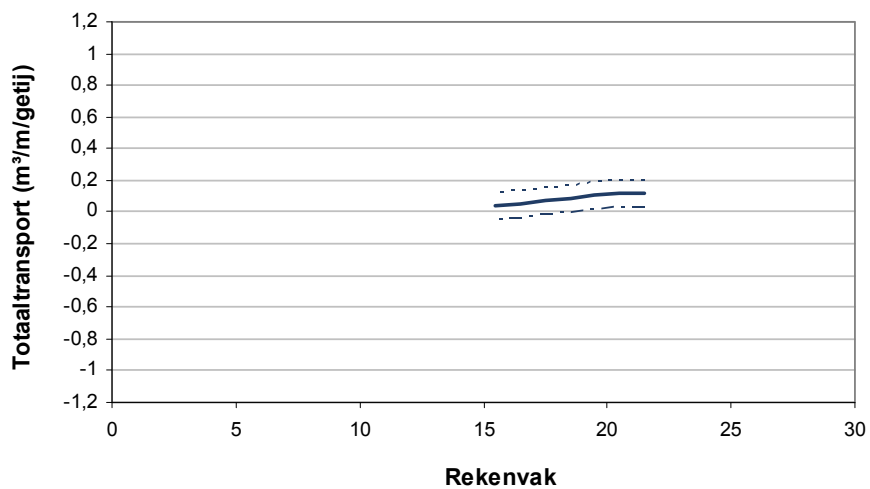
Figuur B 2 – Zandbalans voor rekenrij B, Hooge Platen West



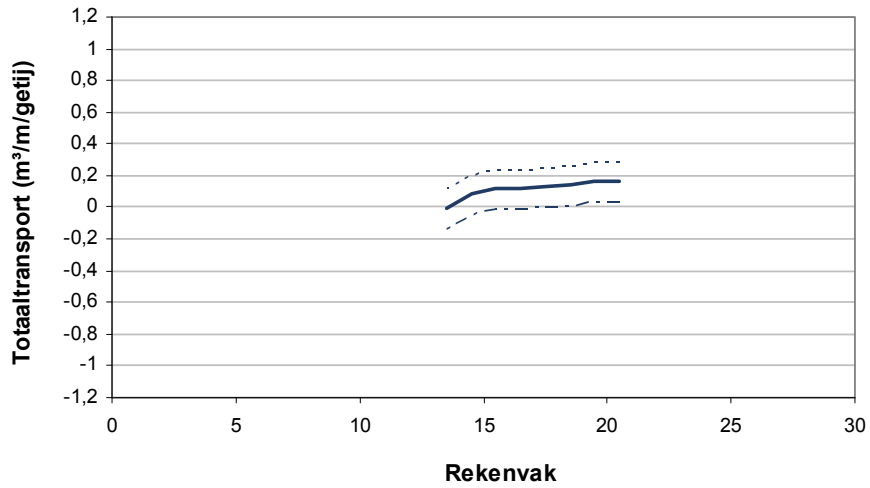
Figuur B 3 – Zandbalans voor rekenrij C, Hooge Platen West



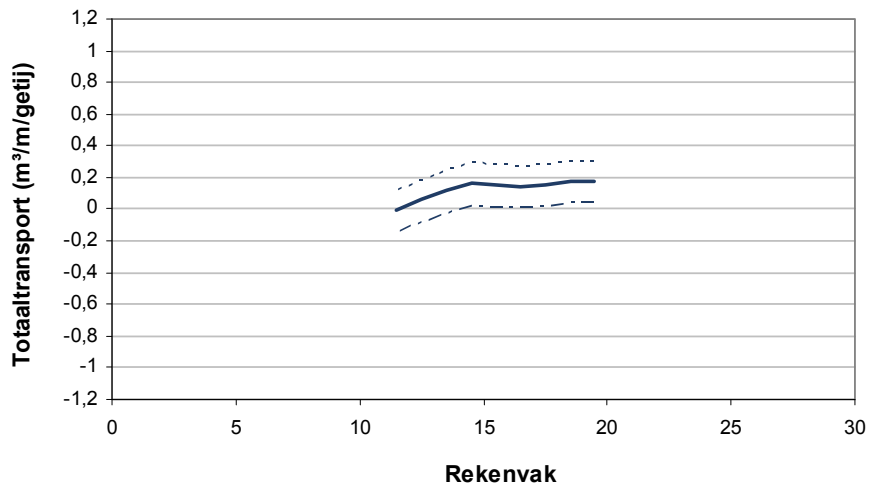
Figuur B 4 – Zandbalans voor rekenrij D, Hooge Platen West



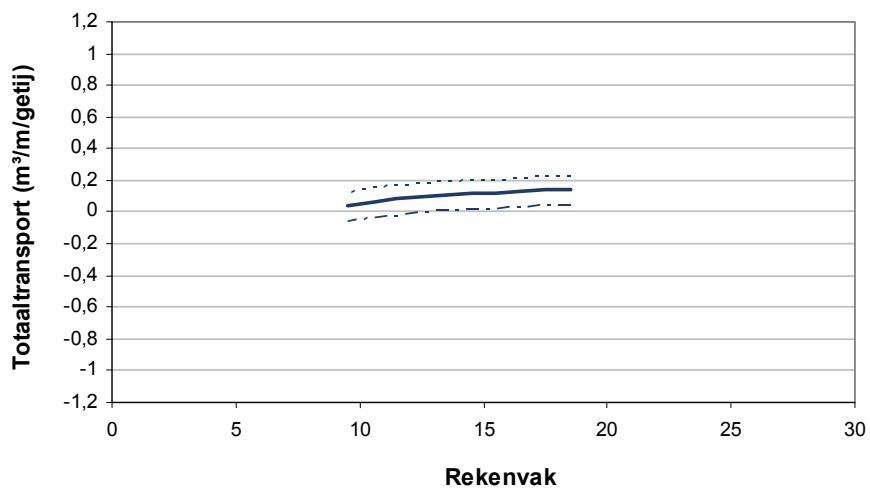
Figuur B 5 – Zandbalans voor rekenrij E, Hooge Platen West



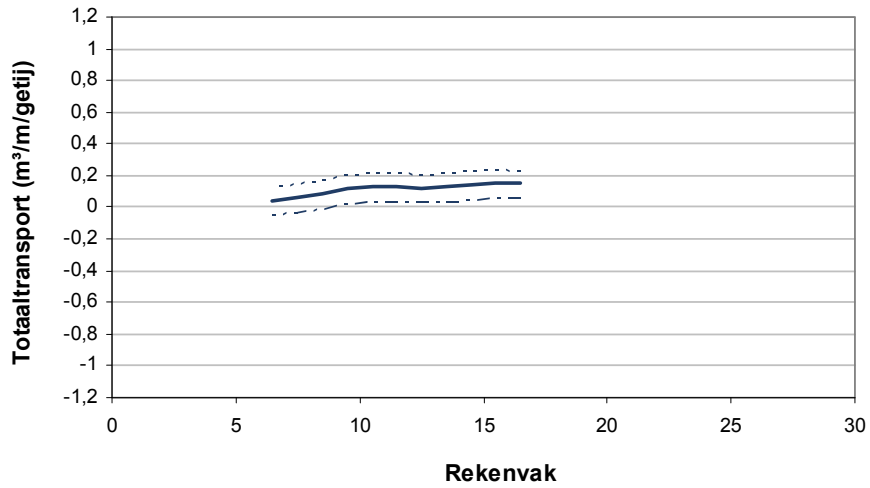
Figuur B 6 – Zandbalans voor rekenrij F, Hooge Platen West



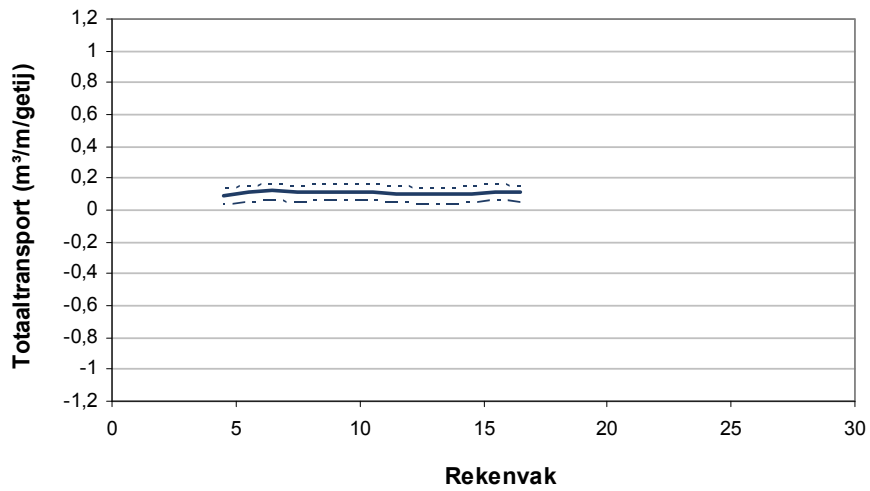
Figuur B 7 – Zandbalans voor rekenrij G, Hooge Platen West



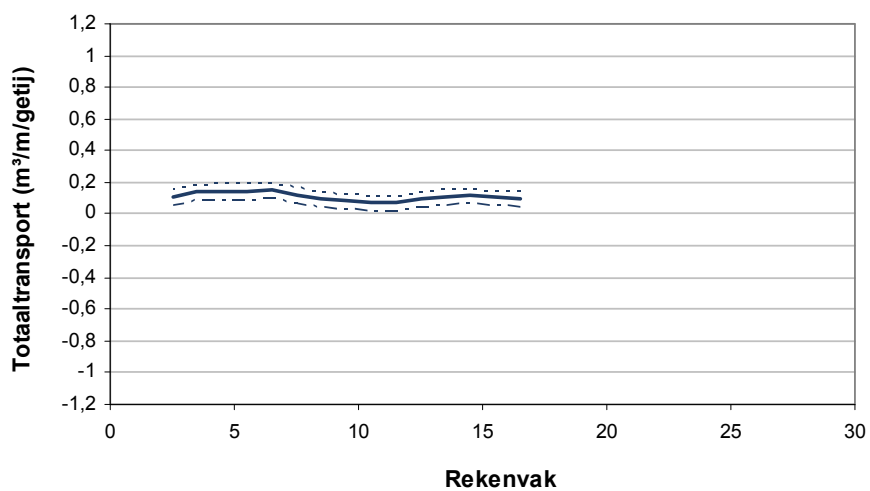
Figuur B 8 – Zandbalans voor rekenrij H, Hooge Platen West



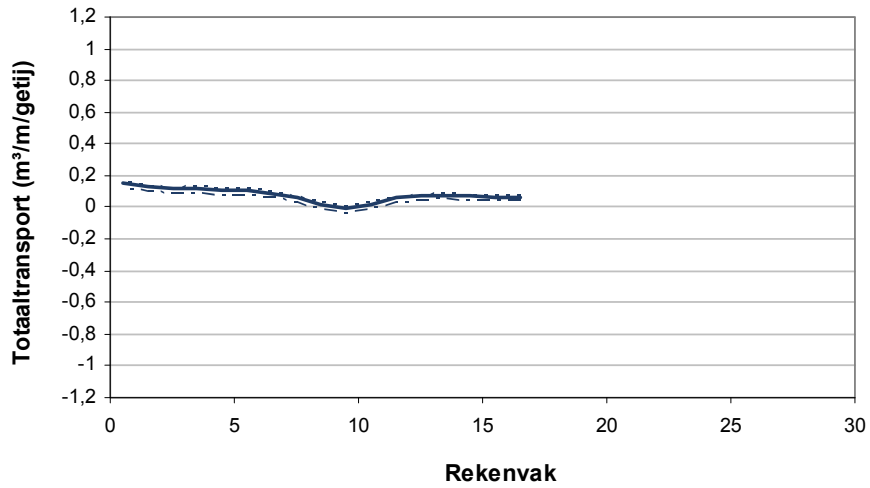
Figuur B 9 – Zandbalans voor rekenrij I, Hooge Platen West



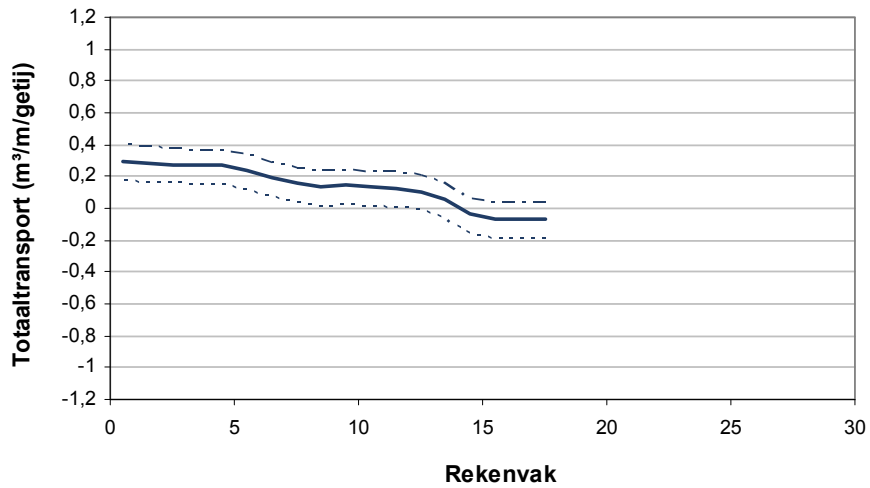
Figuur B 10 – Zandbalans voor rekenrij J, Hooge Platen West



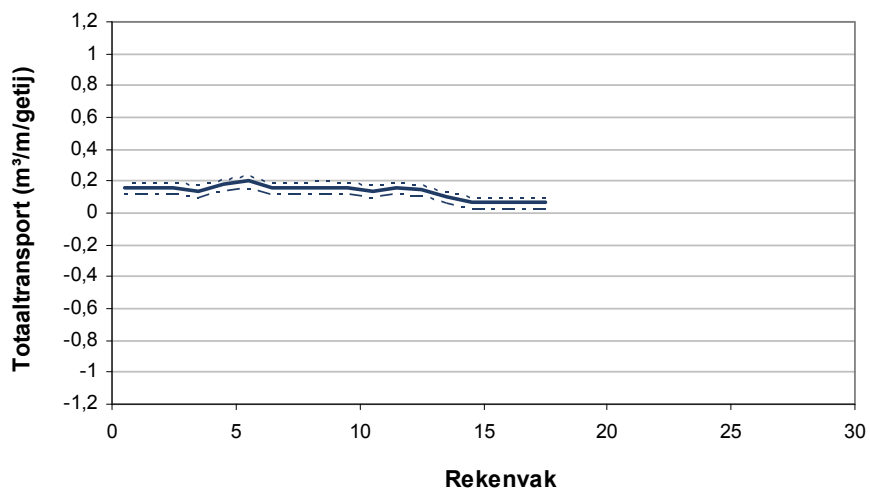
Figuur B 11 – Zandbalans voor rekenrij K, Hooge Platen West



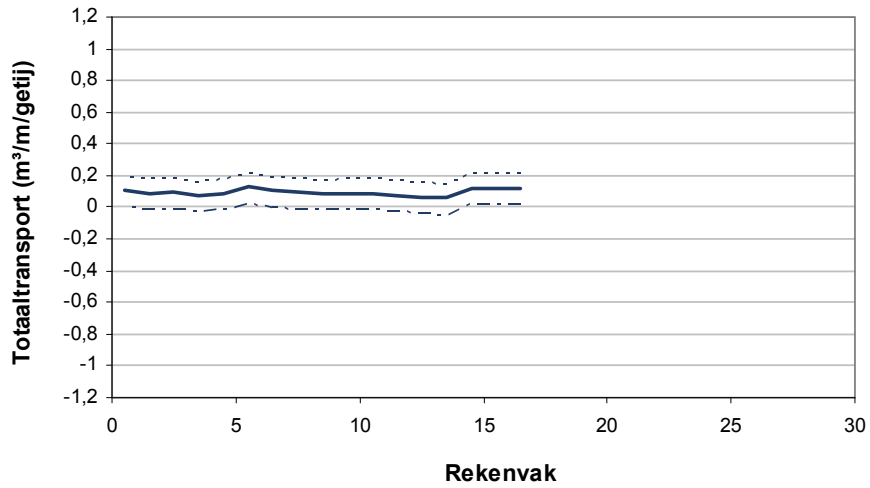
Figuur B 12 – Zandbalans voor rekenrij L, Hooge Platen West



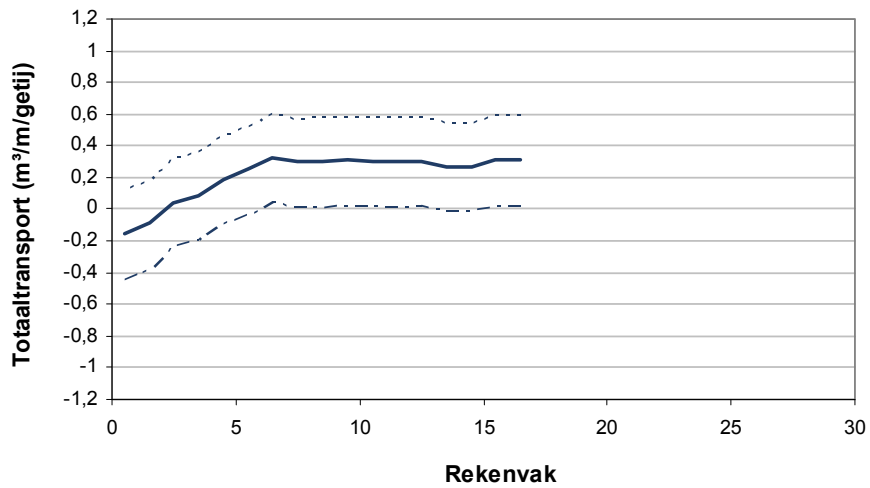
Figuur B 13 – Zandbalans voor rekenrij M, Hooge Platen West



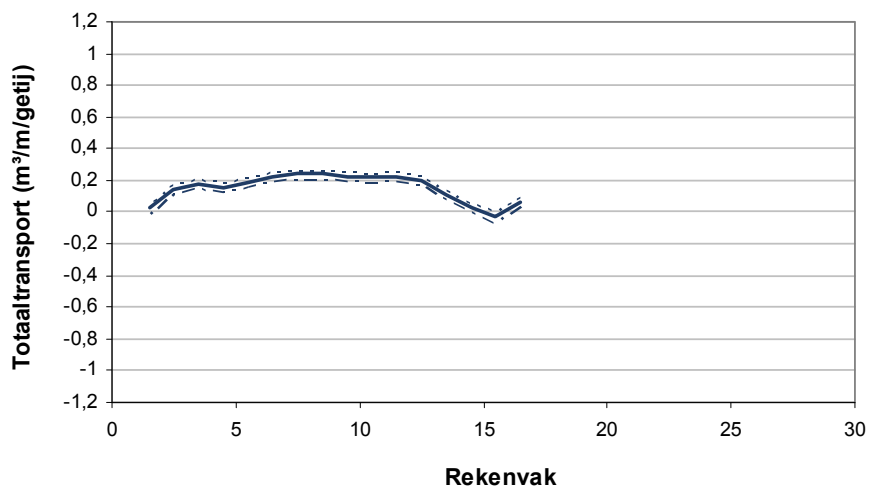
Figuur B 14 – Zandbalans voor rekenrij N, Hooge Platen West



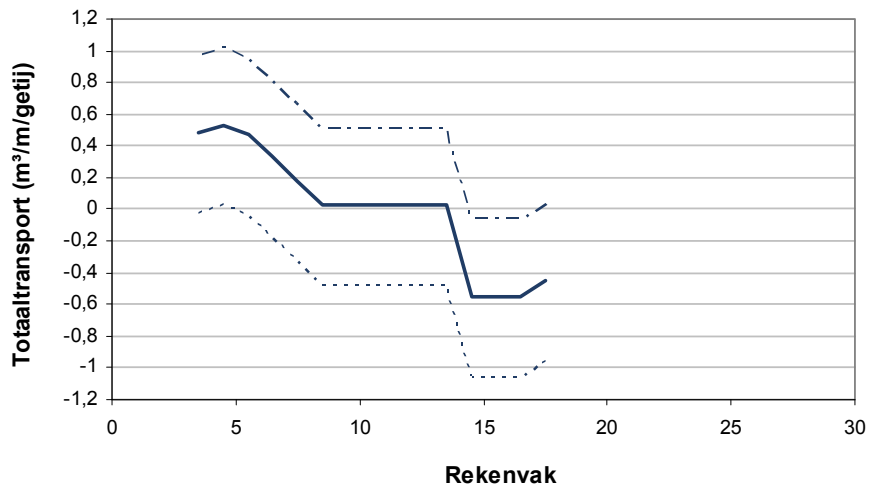
Figuur B 15 – Zandbalans voor rekenrij O, Hooge Platen West



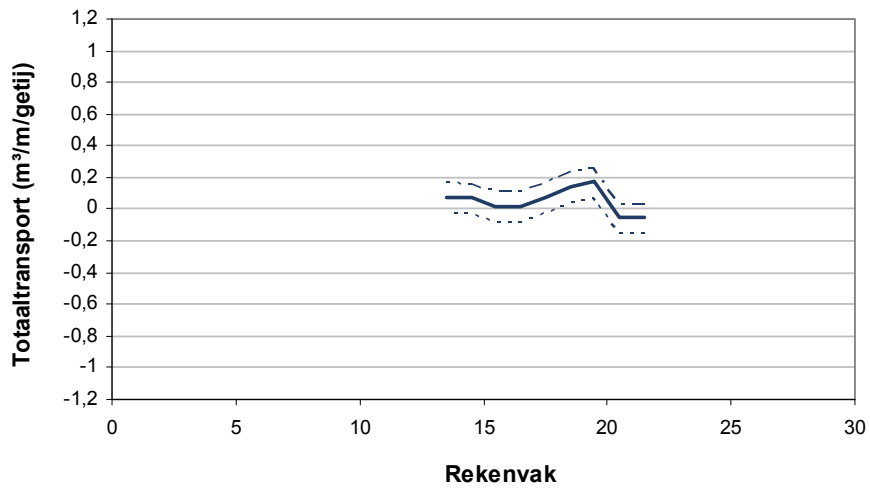
Figuur B 16 – Zandbalans voor rekenrij P, Hooge Platen West



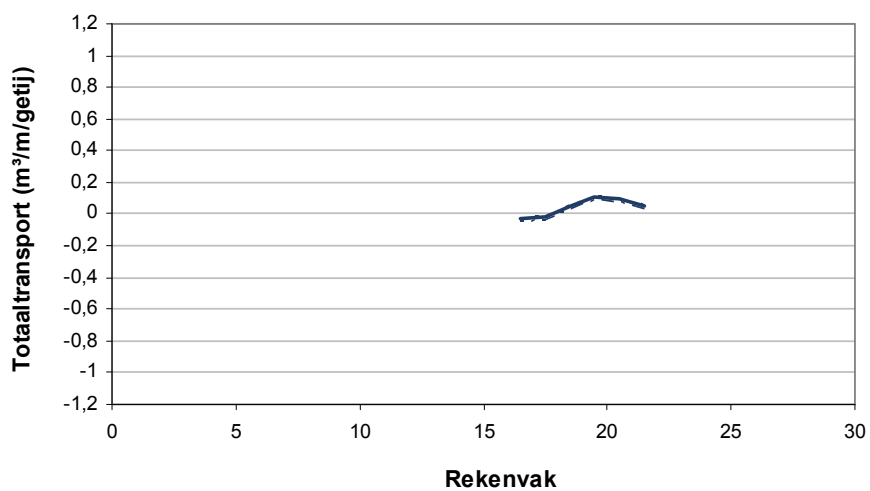
Figuur B 17 – Zandbalans voor rekenrij Q, Hooge Platen West



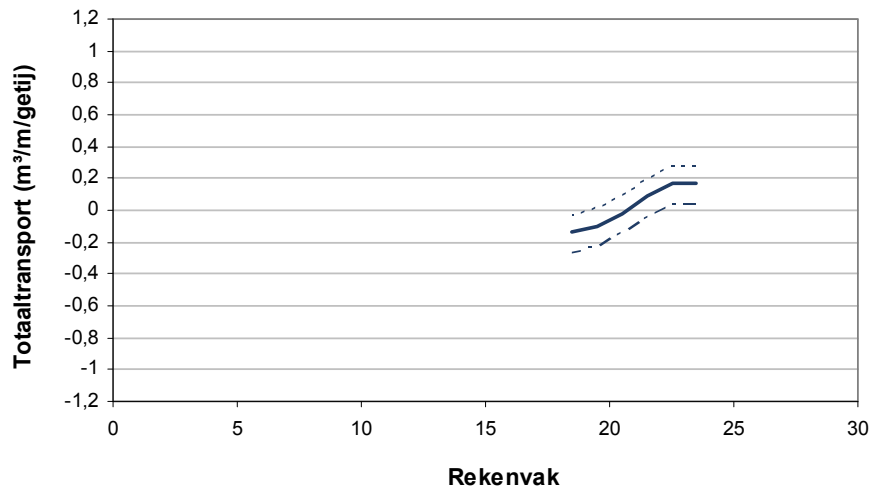
Figuur B 18 – Zandbalans voor rekenrij R, Hooge Platen West



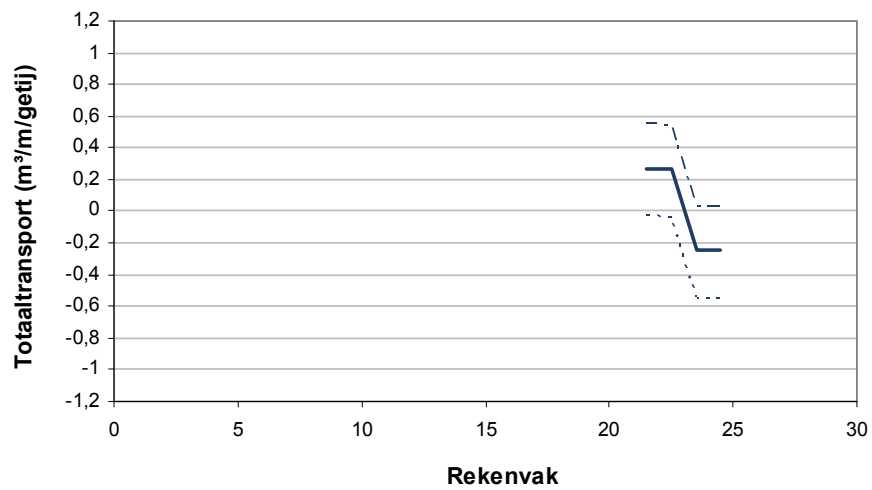
Figuur B 19 – Zandbalans voor rekenrij W, Hooge Platen West



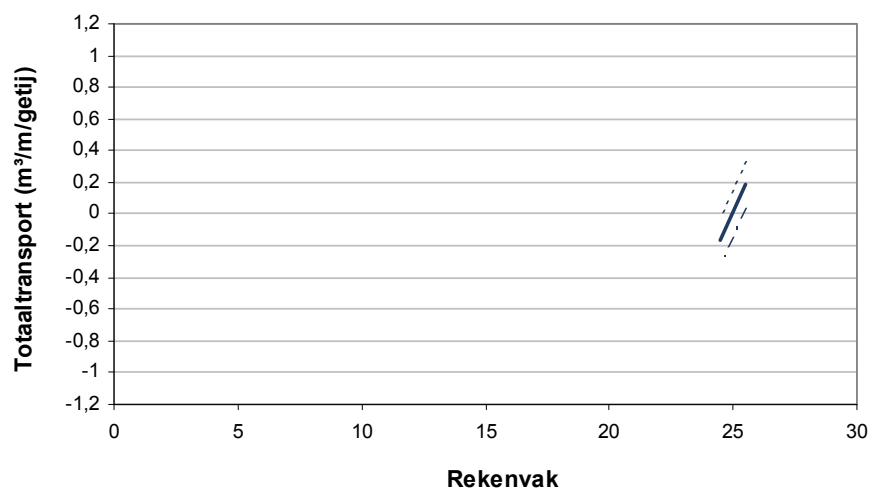
Figuur B 20 – Zandbalans voor rekenrij X, Hooge Platen West



Figuur B 21 – Zandbalans voor rekenrij Y, Hooge Platen West

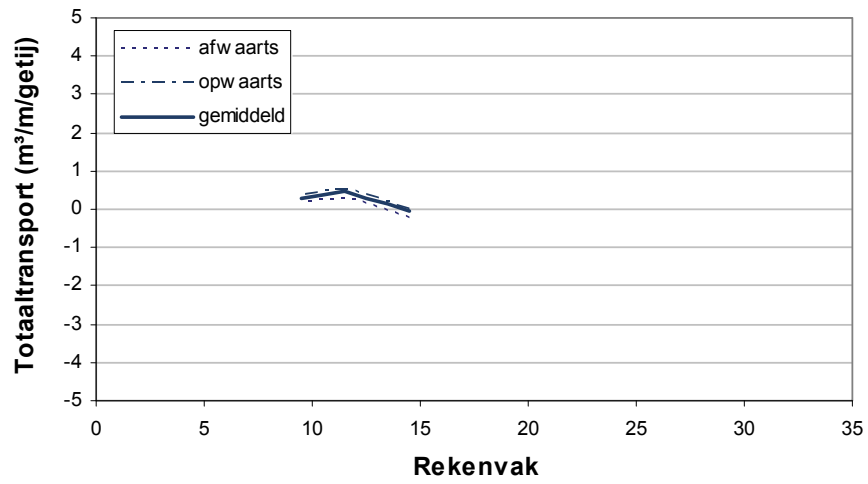


Figuur B 22 – Zandbalans voor rekenrij Z, Hooge Platen West

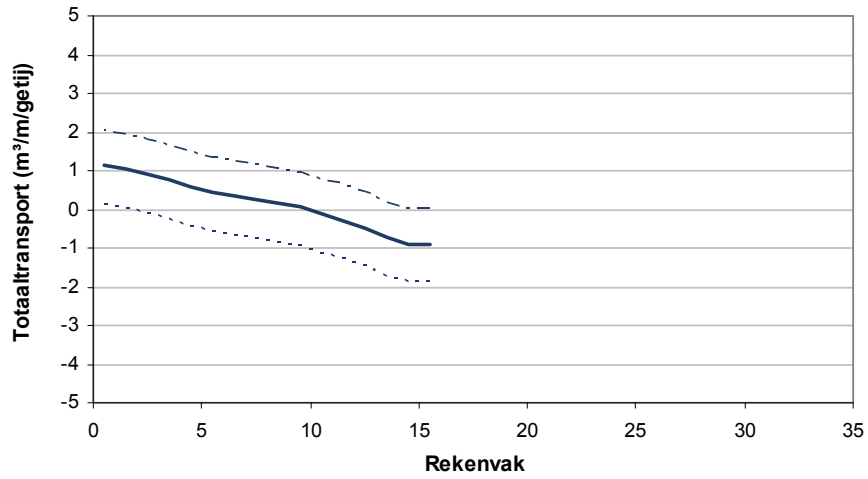


Figuur B 23 – Zandbalans voor rekenrij AA, Hooge Platen West

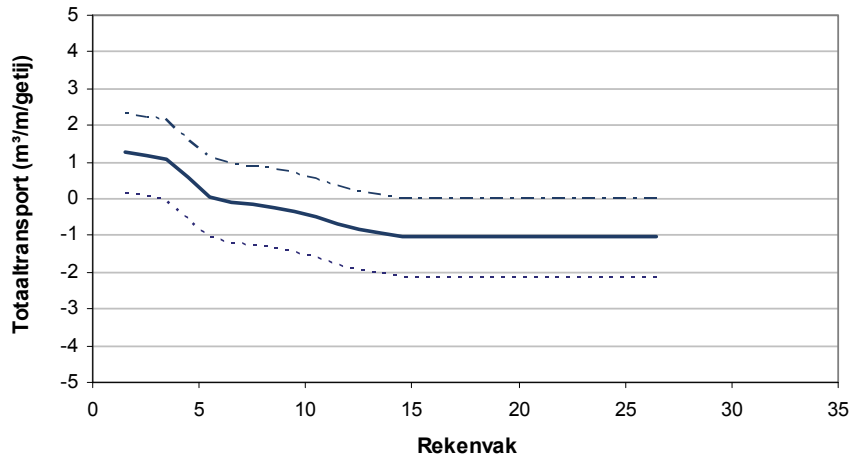
PLAAT VAN WALSOORDEN



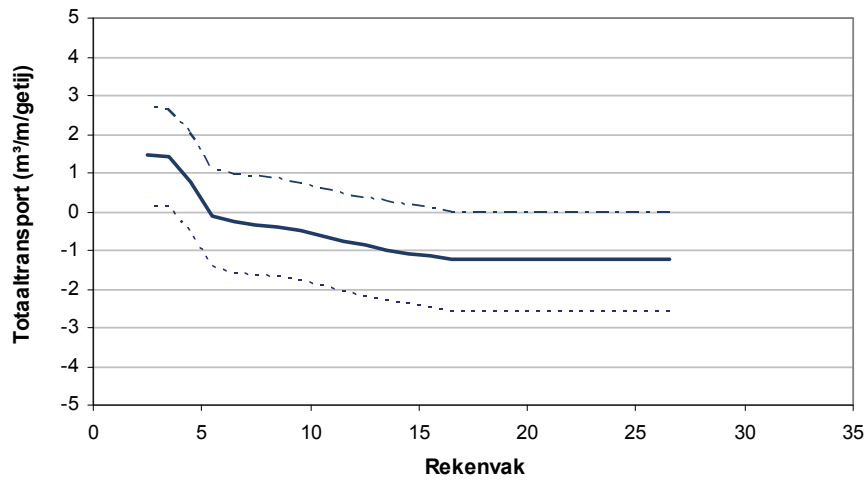
Figuur B 24 – Zandbalans voor rekenrij A, Plaat van Walsoord



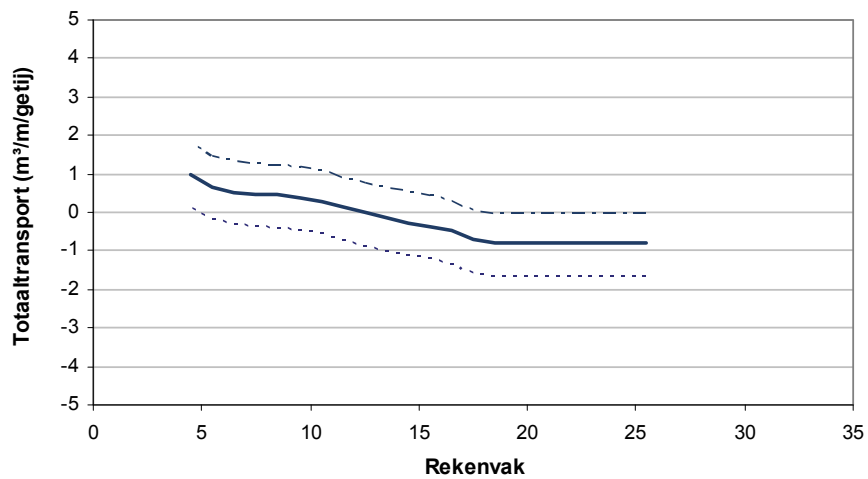
Figuur B 25 – Zandbalans voor rekenrij B, Plaat van Walsoord



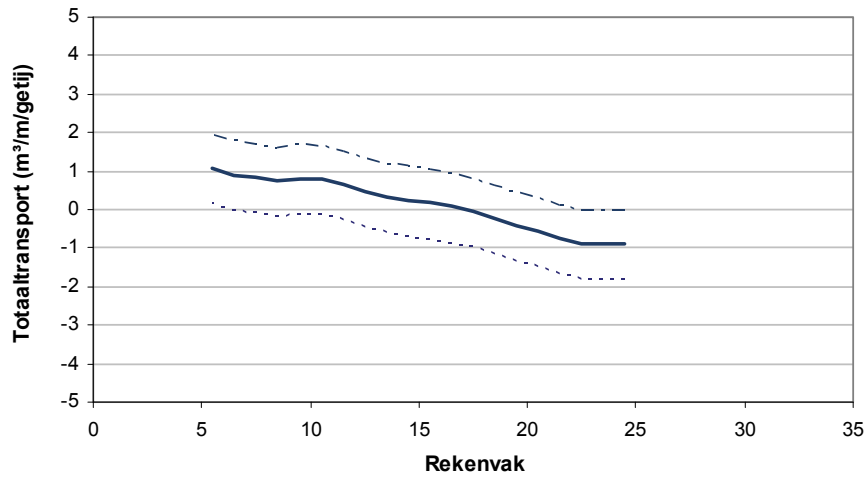
Figuur B 26 – Zandbalans voor rekenrij C, Plaat van Walsoorden



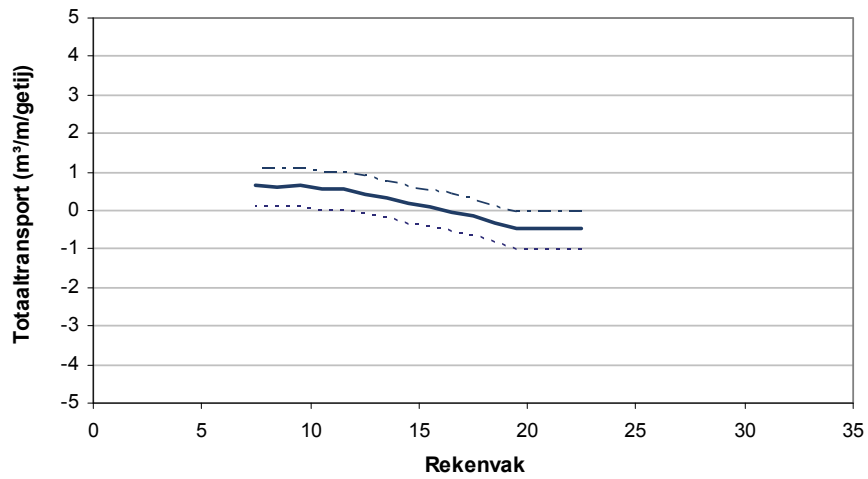
Figuur B 27 – Zandbalans voor rekenrij D, Plaat van Walsoorden



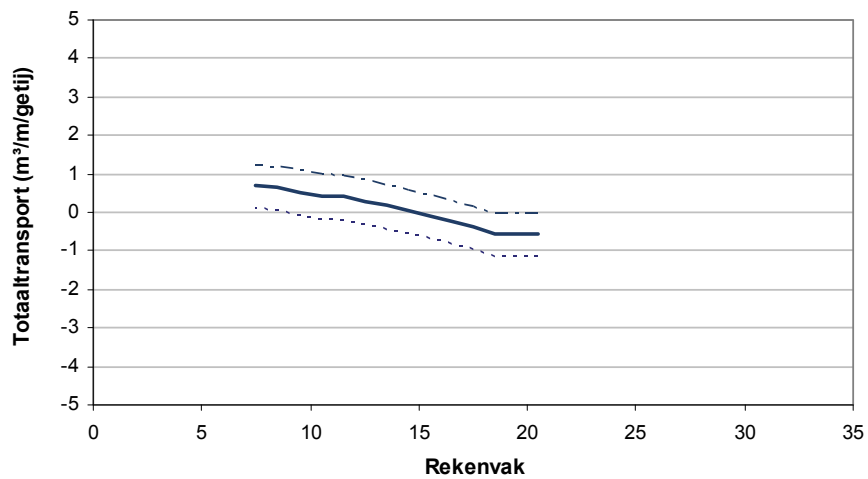
Figuur B 28 – Zandbalans voor rekenrij E, Plaat van Walsoorden



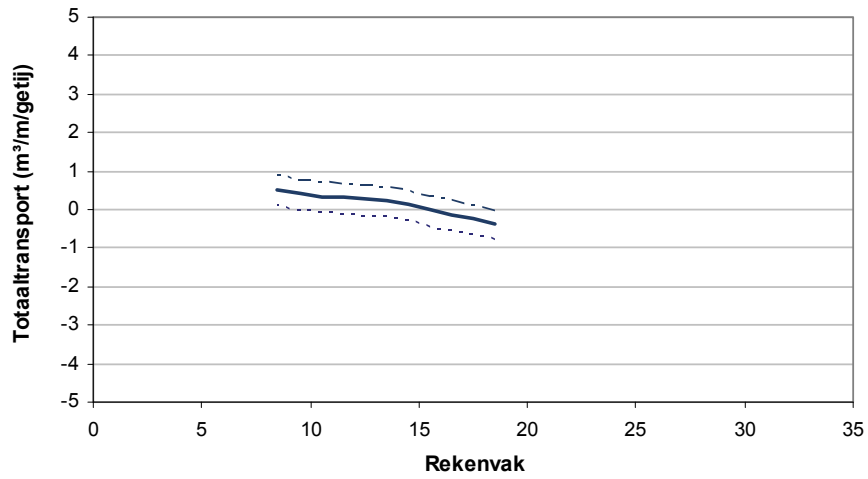
Figuur B 29 – Zandbalans voor rekenrij F, Plaat van Walsoorden



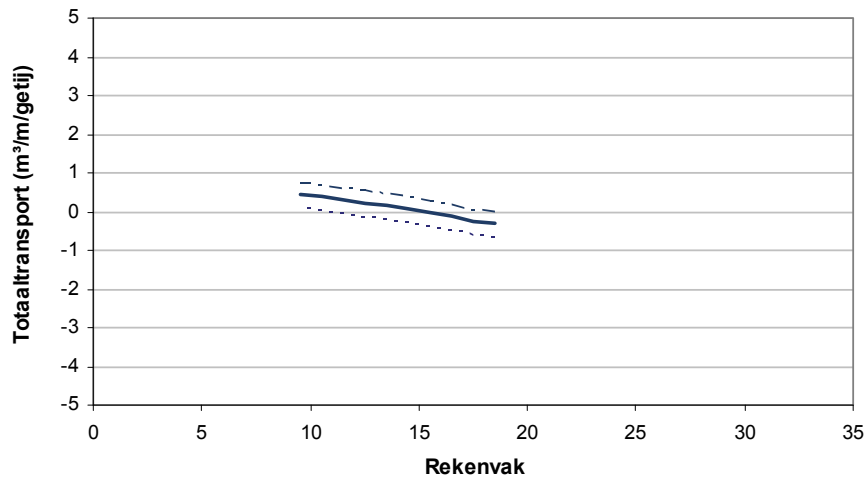
Figuur B 30 – Zandbalans voor rekenrij G, Plaat van Walsoorden



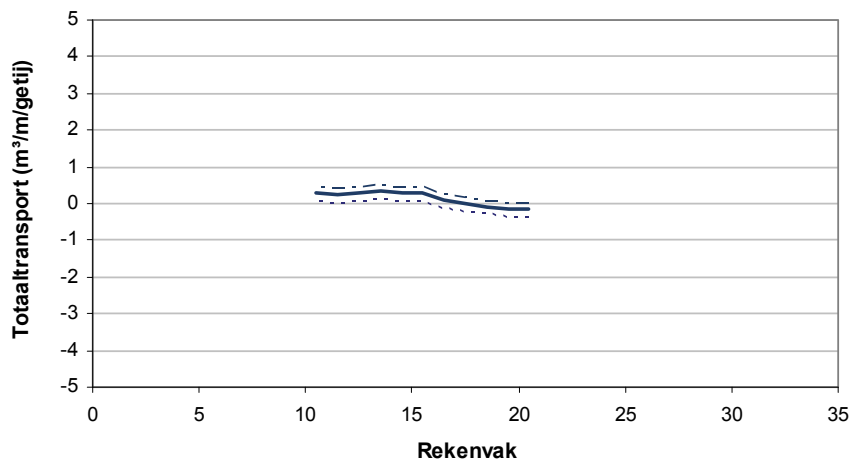
Figuur B 31 – Zandbalans voor rekenrij H, Plaat van Walsoorden



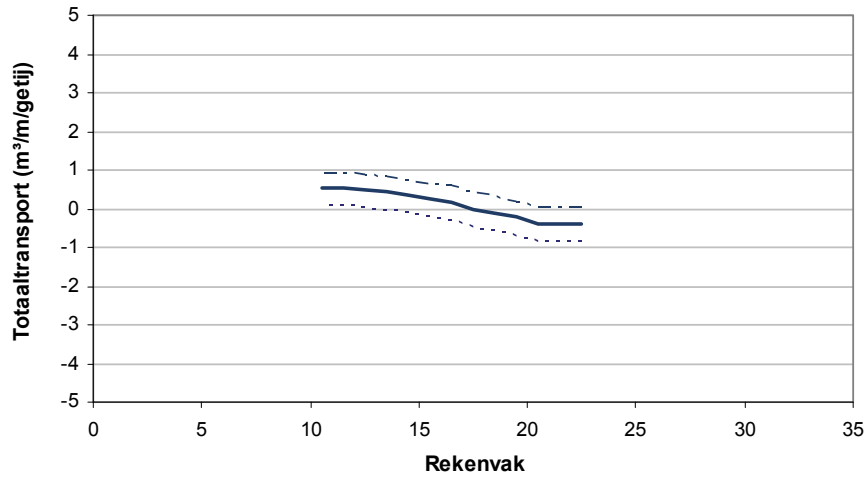
Figuur B 32 – Zandbalans voor rekenrij I, Plaat van Walsoorden



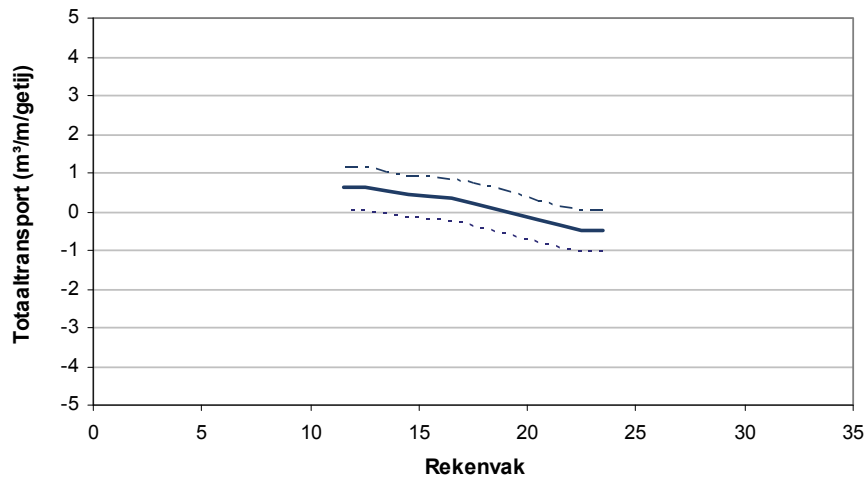
Figuur B 33 – Zandbalans voor rekenrij J, Plaat van Walsoorden



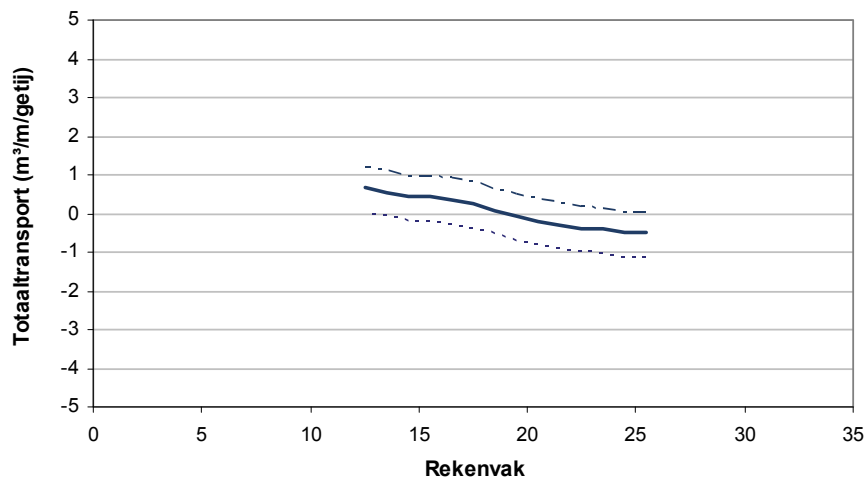
Figuur B 34 – Zandbalans voor rekenrij K, Plaat van Walsoorden



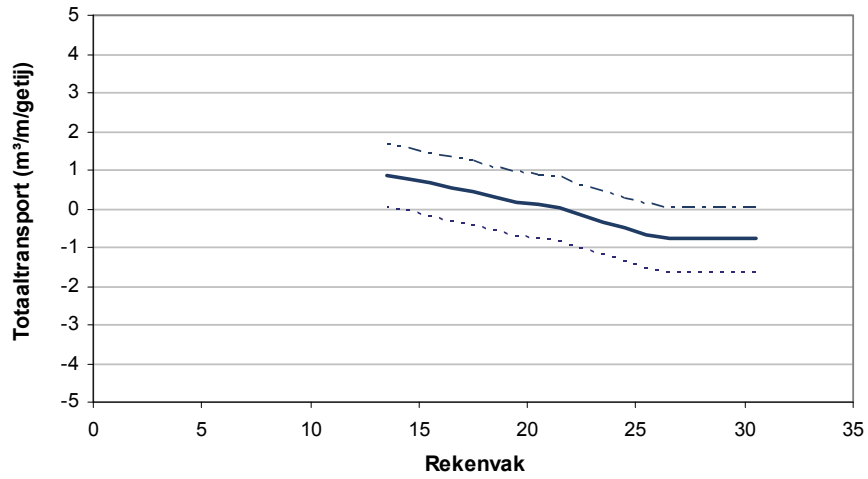
Figuur B 35 – Zandbalans voor rekenrij L, Plaat van Walsoorden



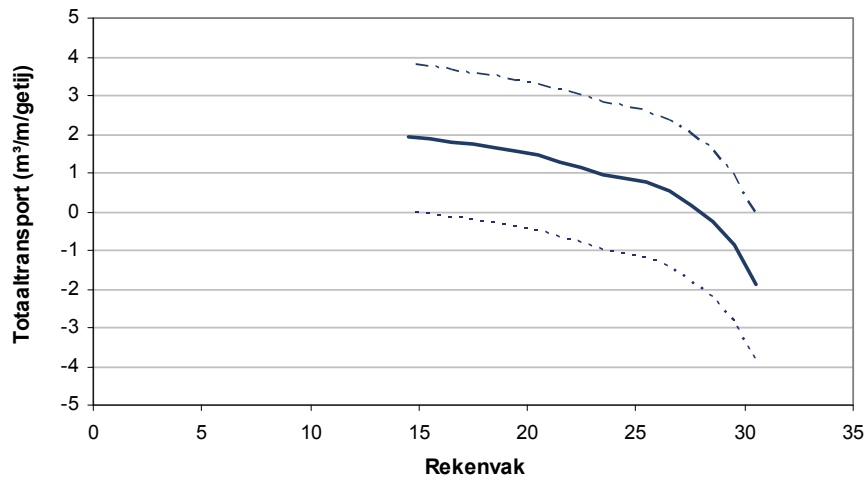
Figuur B 36 – Zandbalans voor rekenrij M, Plaat van Walsoorden



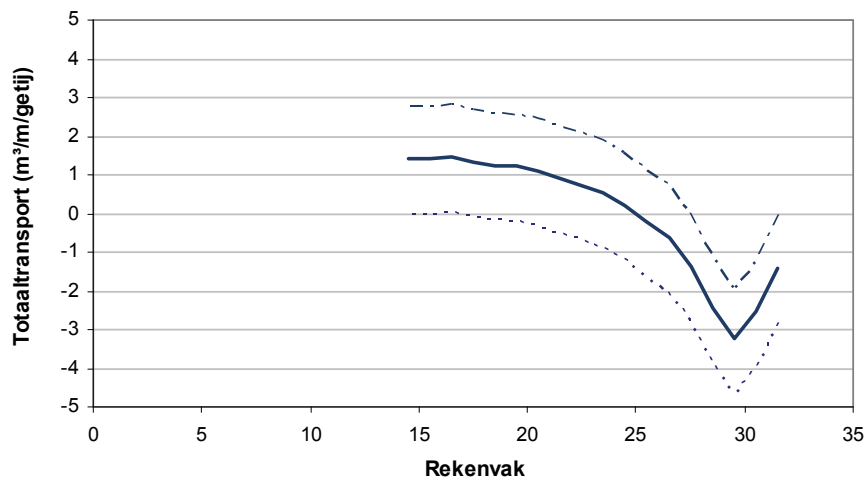
Figuur B 37 – Zandbalans voor rekenrij N, Plaat van Walsoorden



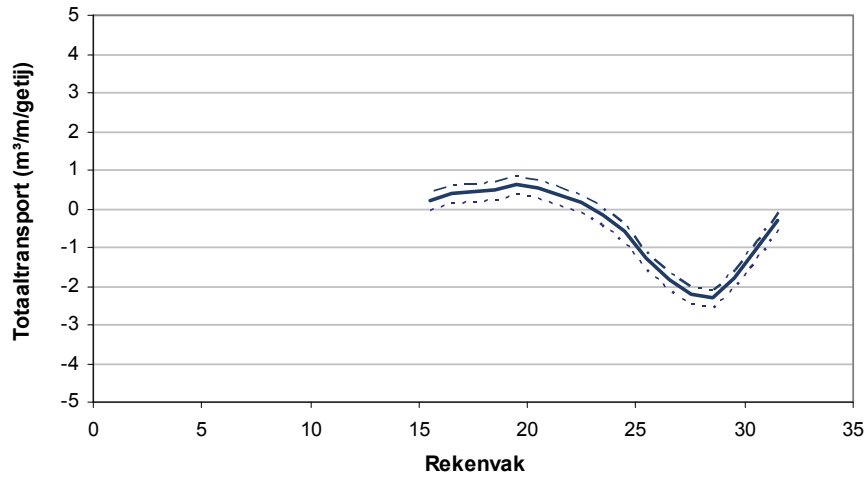
Figuur B 38 – Zandbalans voor rekenrij O, Plaat van Walsoorden



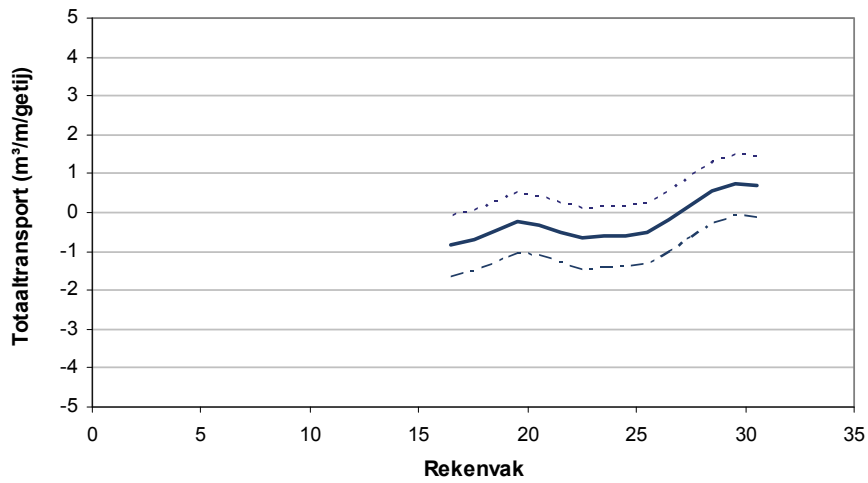
Figuur B 39 – Zandbalans voor rekenrij P, Plaat van Walsoorden



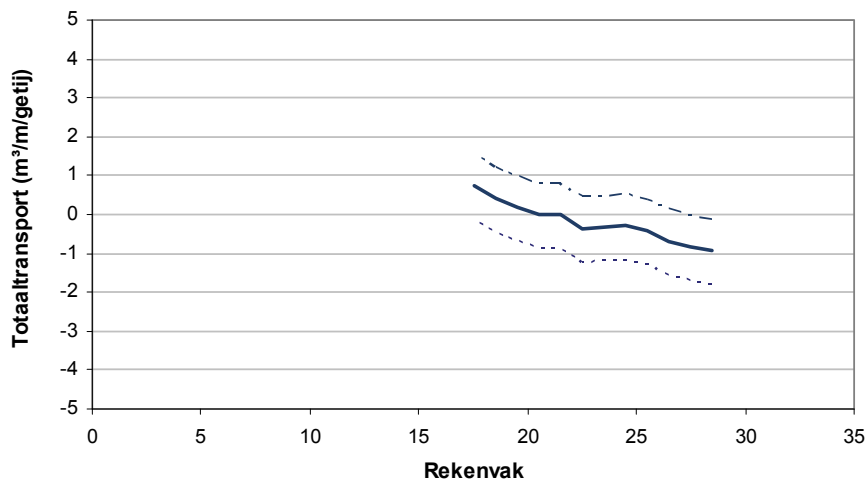
Figuur B 40 – Zandbalans voor rekenrij Q, Plaat van Walsoorden



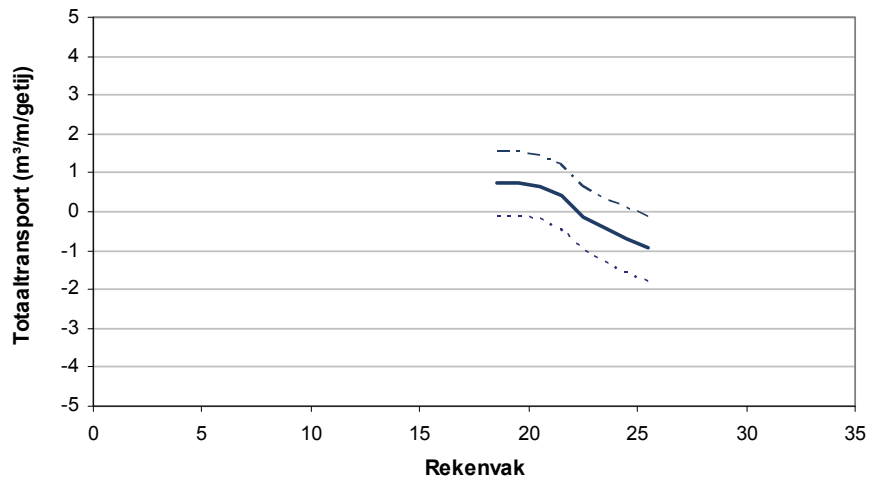
Figuur B 41 – Zandbalans voor rekenrij R, Plaat van Walsoorden



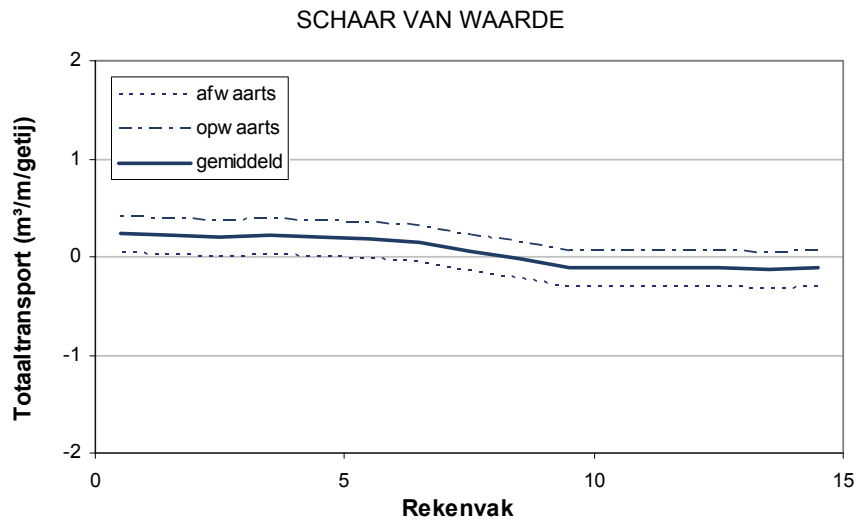
Figuur B 42 – Zandbalans voor rekenrij S, Plaat van Walsoorden



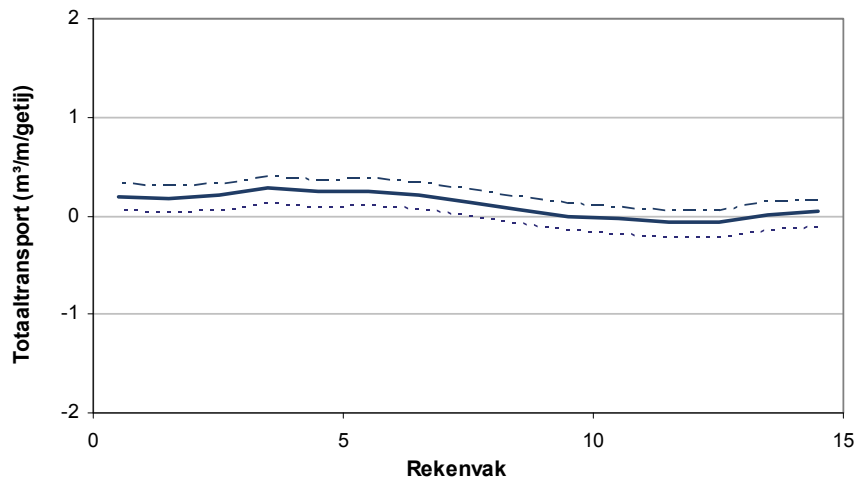
Figuur B 43 – Zandbalans voor rekenrij T, Plaat van Walsoorden



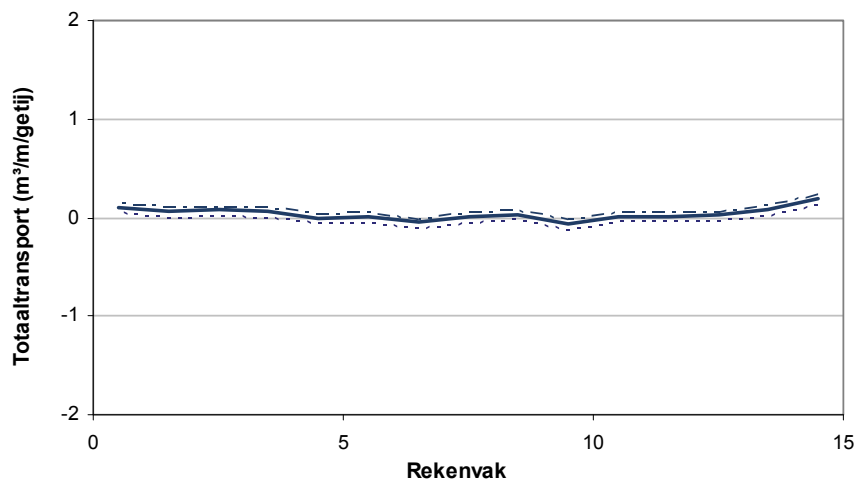
Figuur B 44 – Zandbalans voor rekenrij U, Plaat van Walsvoorden



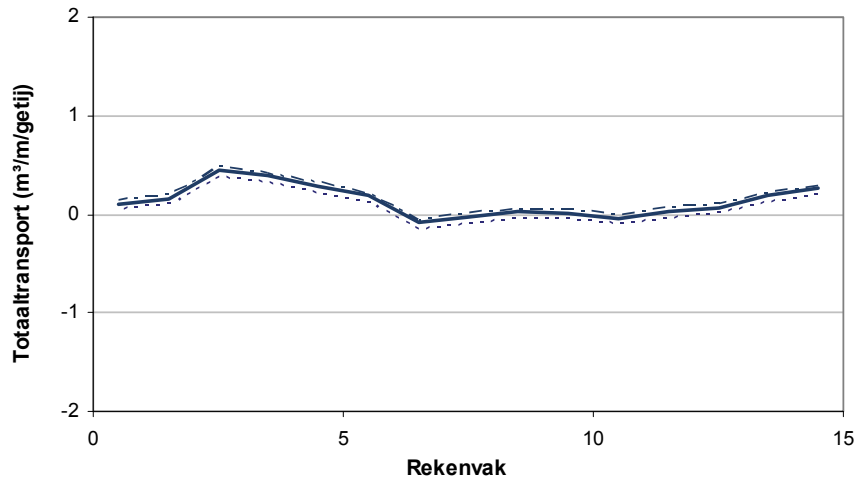
Figuur B 45 – Zandbalans voor rekenrij A, Schaar van Waarde



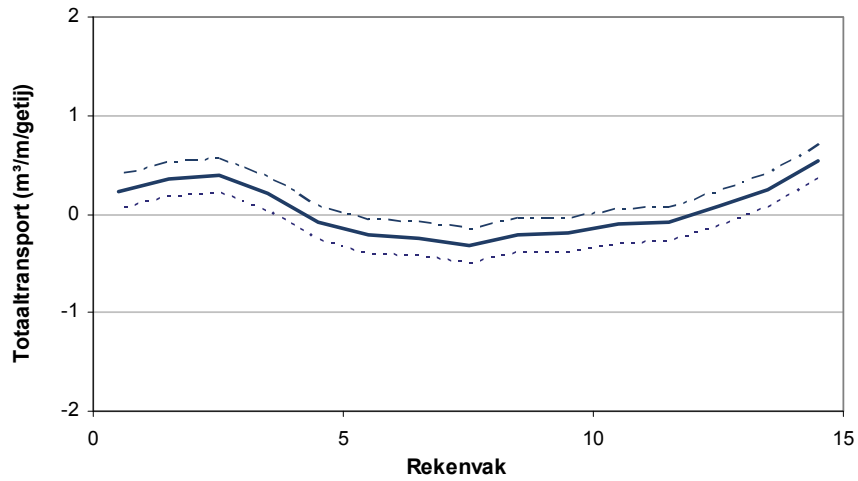
Figuur B 46 – Zandbalans voor rekenrij B, Schaar van Waarde



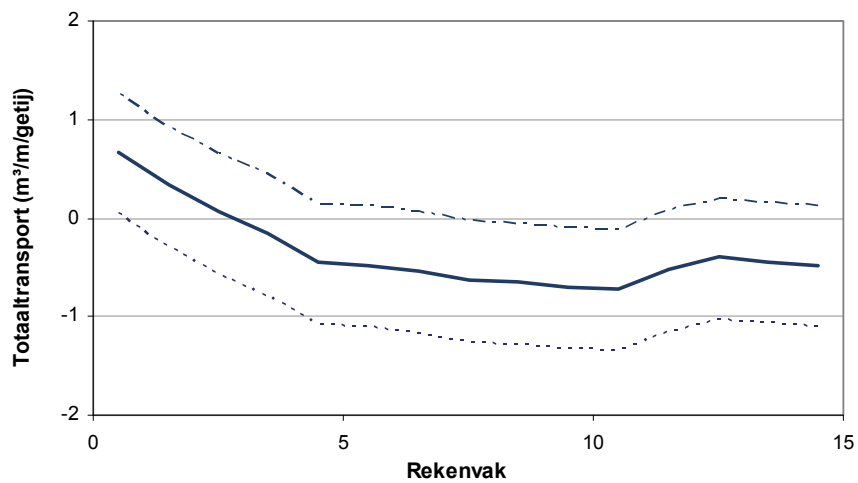
Figuur B 47 – Zandbalans voor rekenrij C, Schaar van Waarde



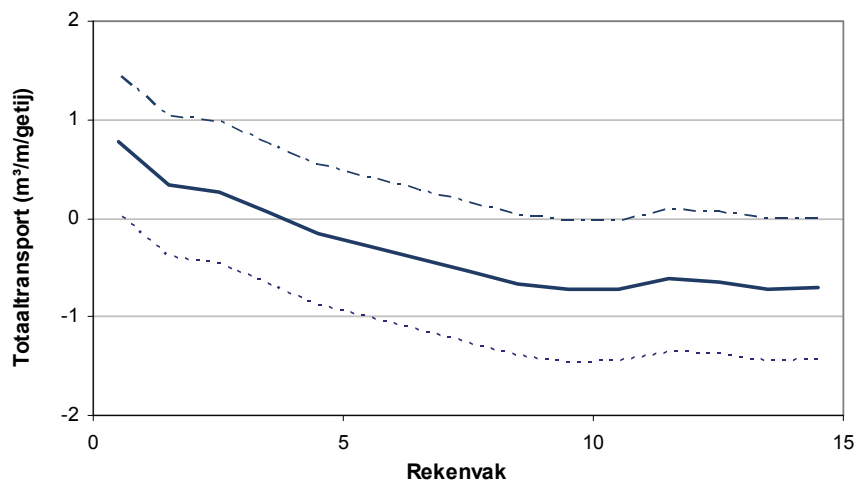
Figuur B 48 – Zandbalans voor rekenrij D, Schaar van Waarde



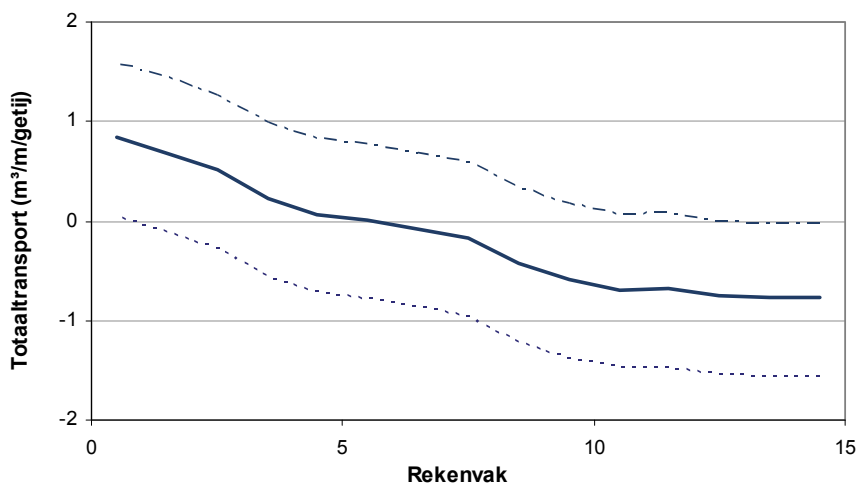
Figuur B 49 – Zandbalans voor rekenrij E, Schaar van Waarde



Figuur B 50 – Zandbalans voor rekenrij F, Schaar van Waarde

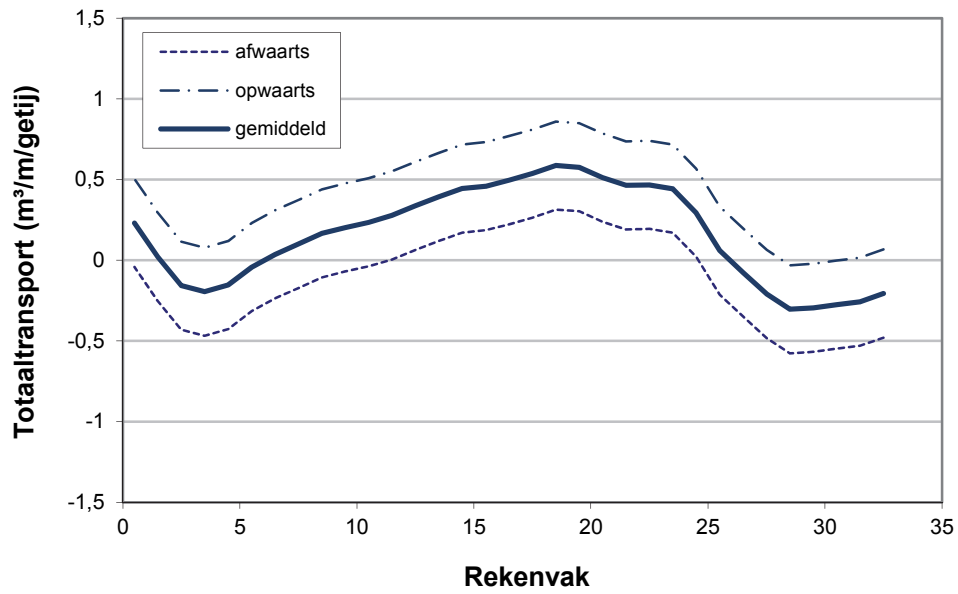


Figuur B 51 – Zandbalans voor rekenrij G, Schaar van Waarde

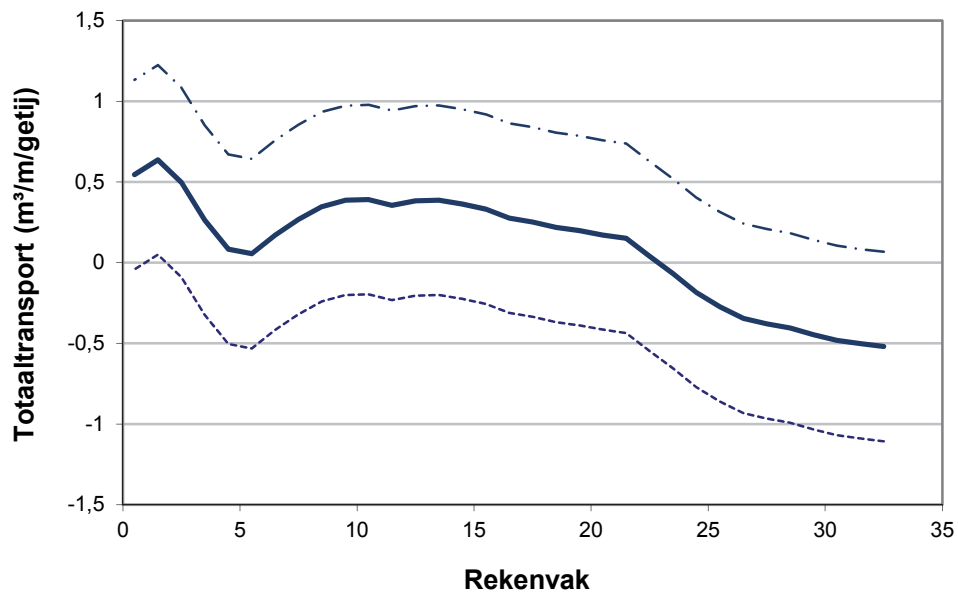


Figuur B 52 – Zandbalans voor rekenrij H, Schaar van Waarde

KETELPUTTEN



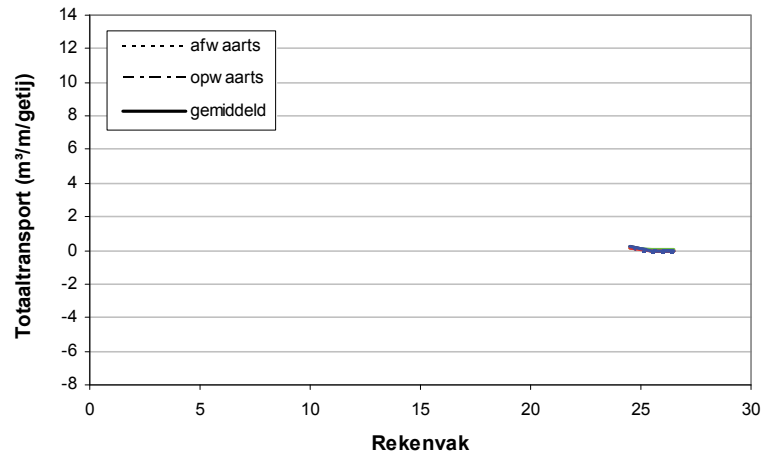
Figuur B 53 – Zandbalans voor rekenrij A, Ketelputten



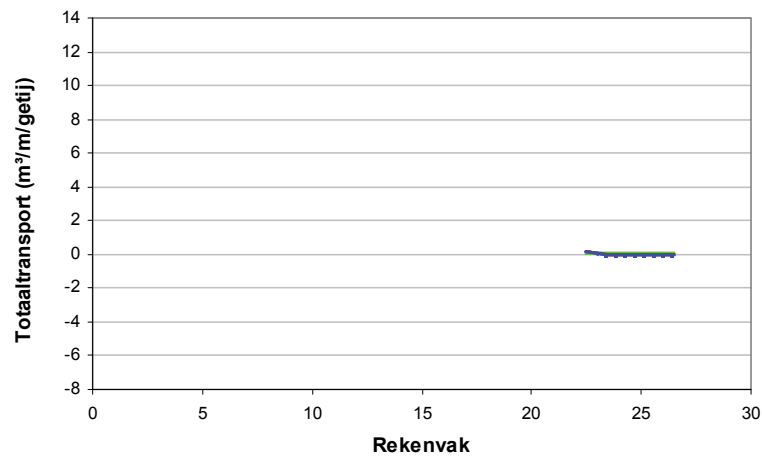
Figuur B 54 – Zandbalans voor rekenrij A, Ketelputten

Bijlage C – Zandbalansen transport na storting

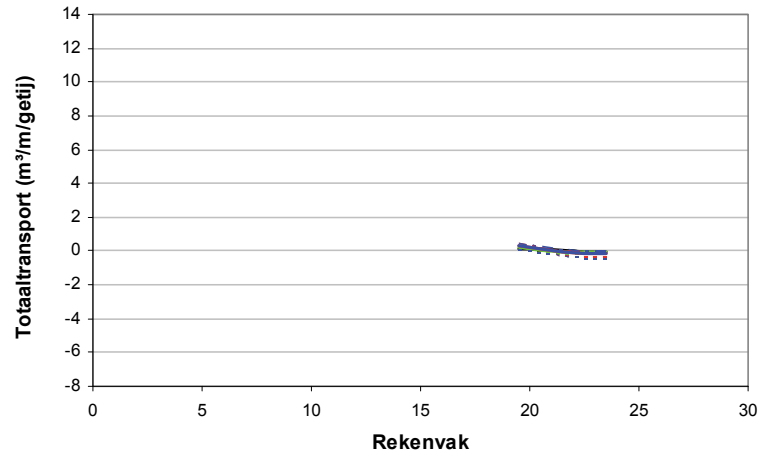
HOOGЕ PLATEN WEST



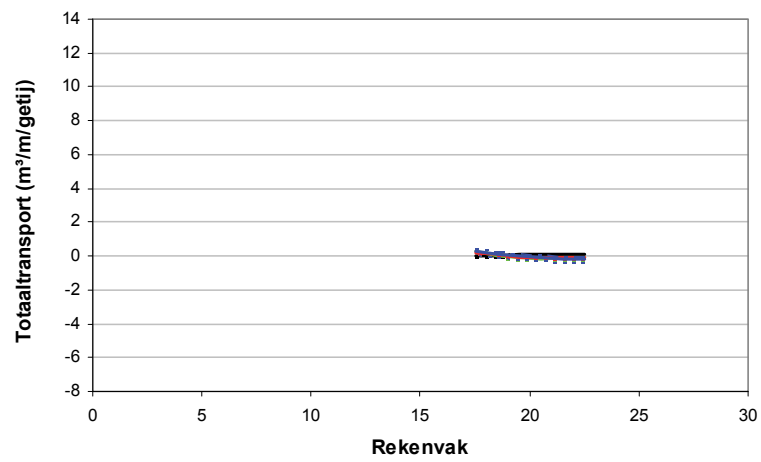
Figuur C 1 – Zandbalansen voor rekenrij A, Hooge Platen West



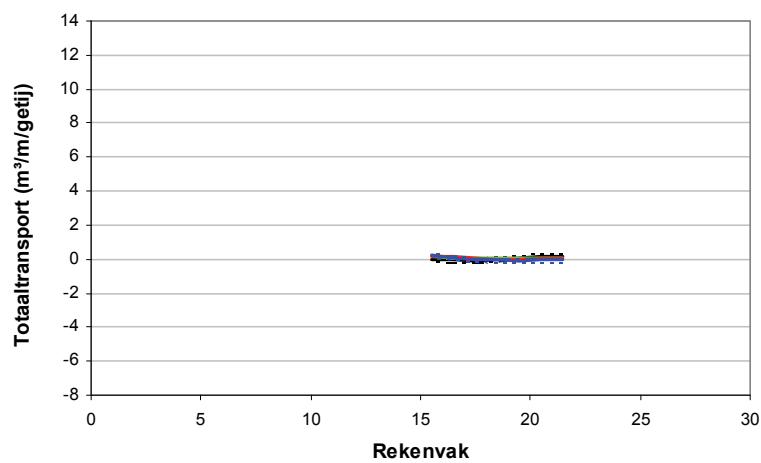
Figuur C 2 – Zandbalansen voor rekenrij B, Hooge Platen West



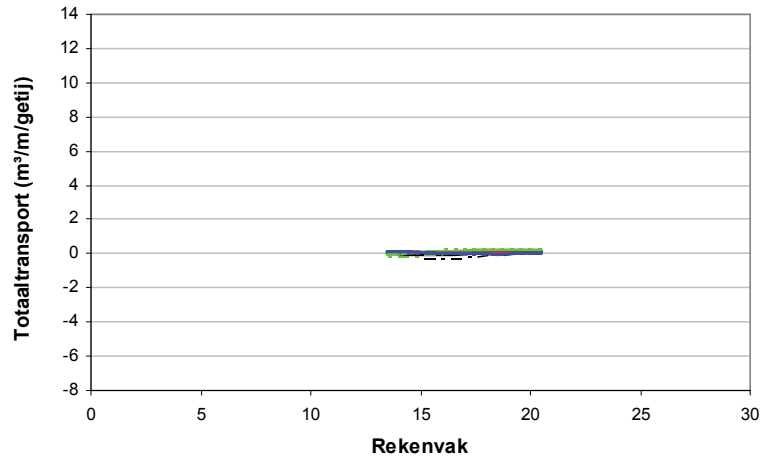
Figuur C 3 – Zandbalansen voor rekenrij C, Hooge Platen West



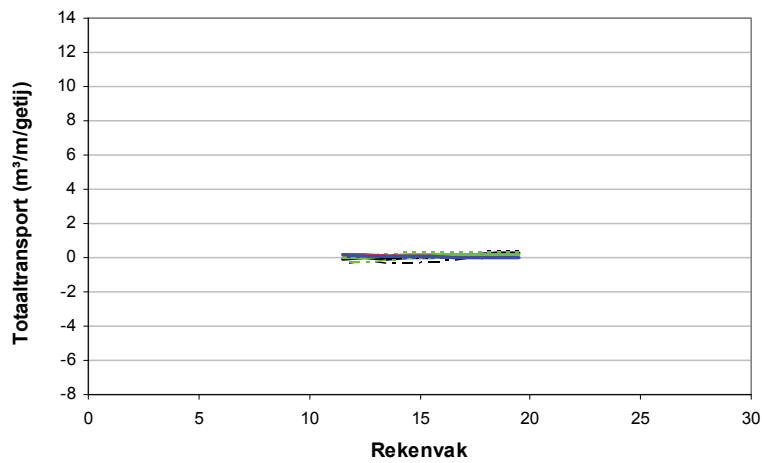
Figuur C 4 – Zandbalansen voor rekenrij D, Hooge Platen West



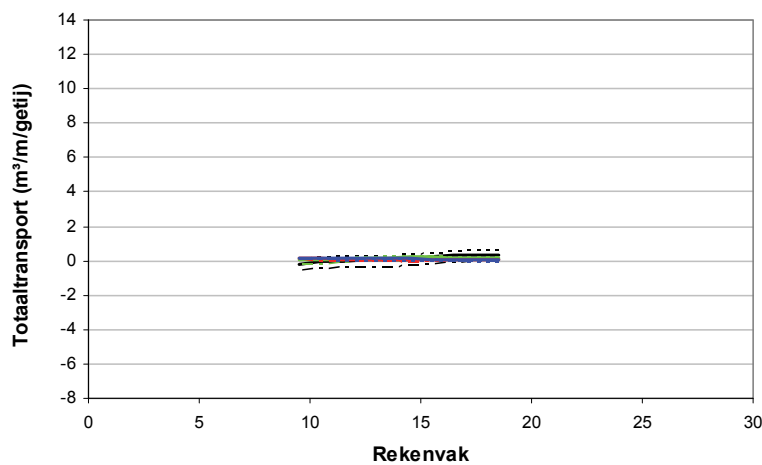
Figuur C 5 – Zandbalansen voor rekenrij E, Hooge Platen West



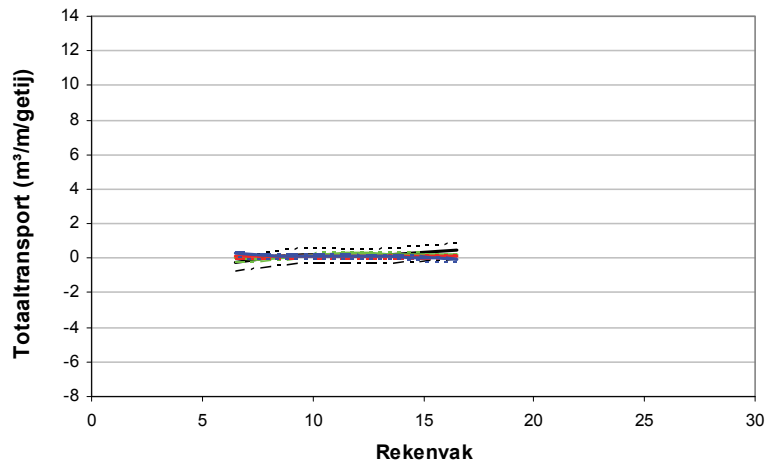
Figuur C 6 – Zandbalansen voor rekenrij F, Hooge Platen West



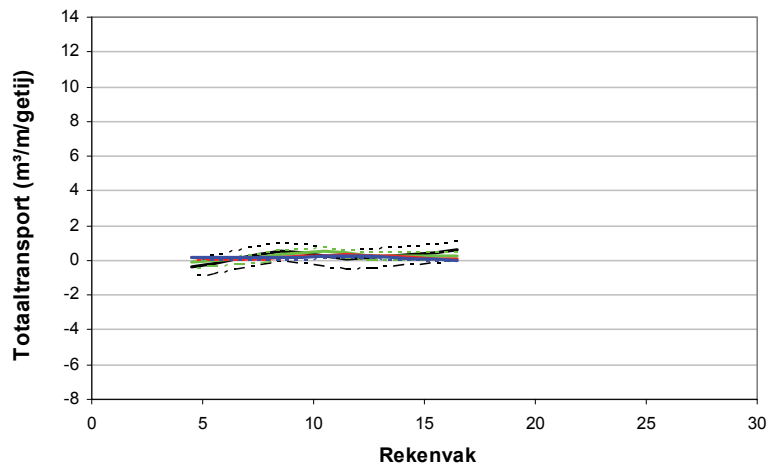
Figuur C 7 – Zandbalansen voor rekenrij G, Hooge Platen West



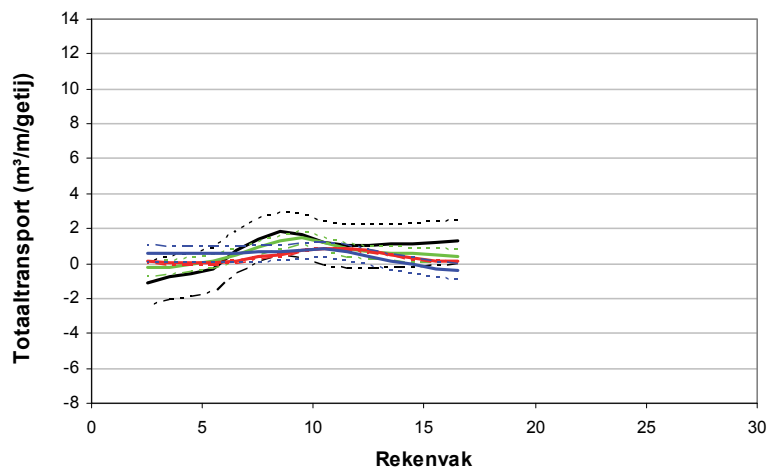
Figuur C 8 – Zandbalansen voor rekenrij H, Hooge Platen West



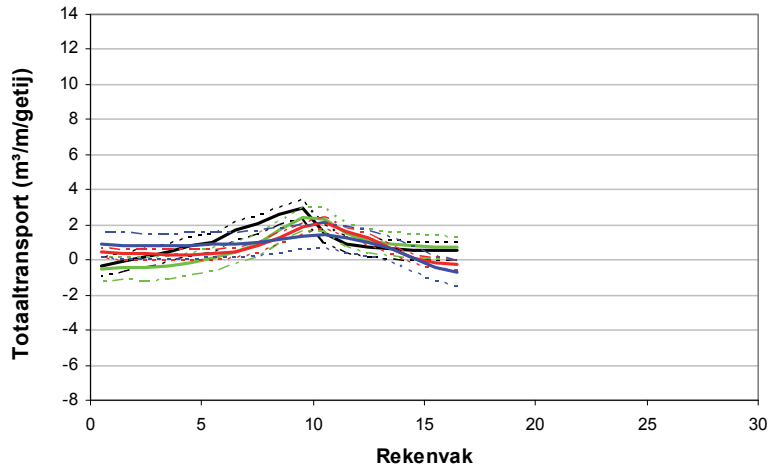
Figuur C 9 – Zandbalansen voor rekenrij I, Hooge Platen West



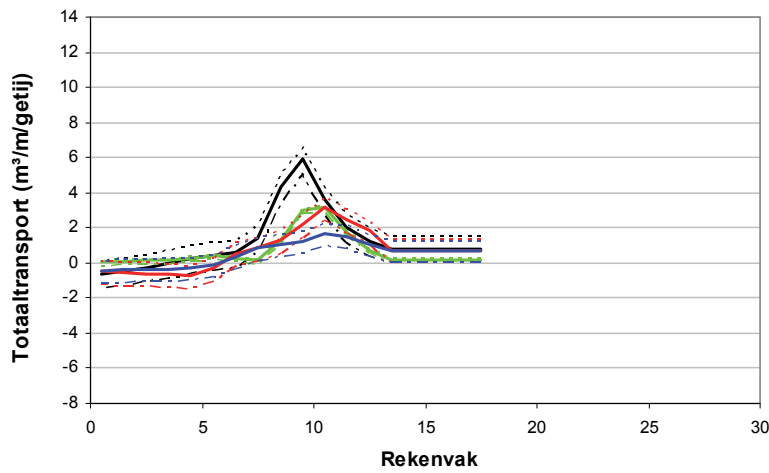
Figuur C 10 – Zandbalansen voor rekenrij J, Hooge Platen West



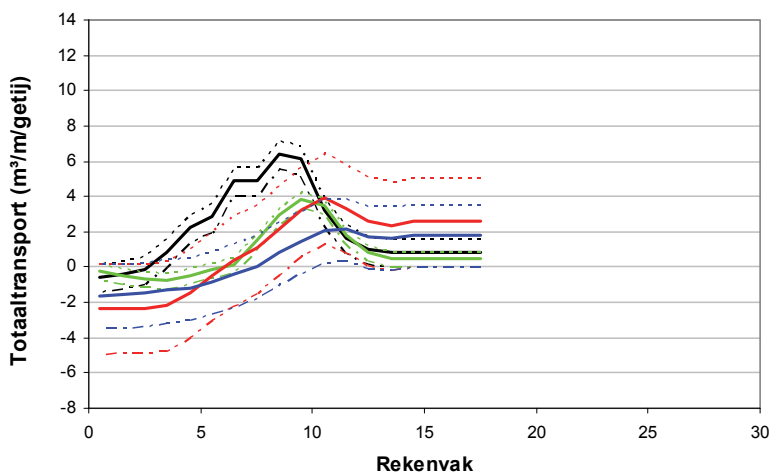
Figuur C 11 – Zandbalansen voor rekenrij K, Hooge Platen West



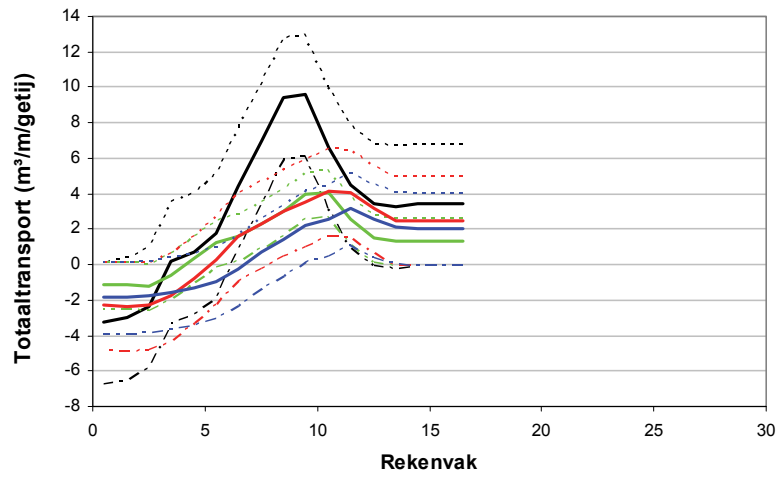
Figuur C 12 – Zandbalansen voor rekenrij L, Hooge Platen West



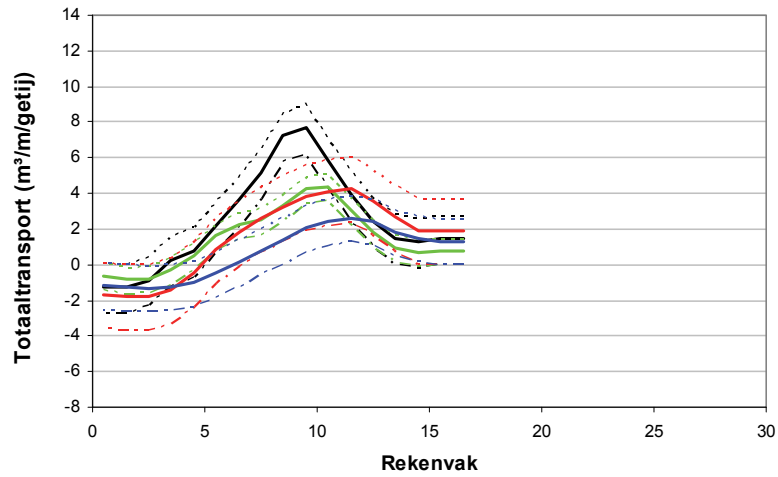
Figuur C 13 – Zandbalansen voor rekenrij M, Hooge Platen West



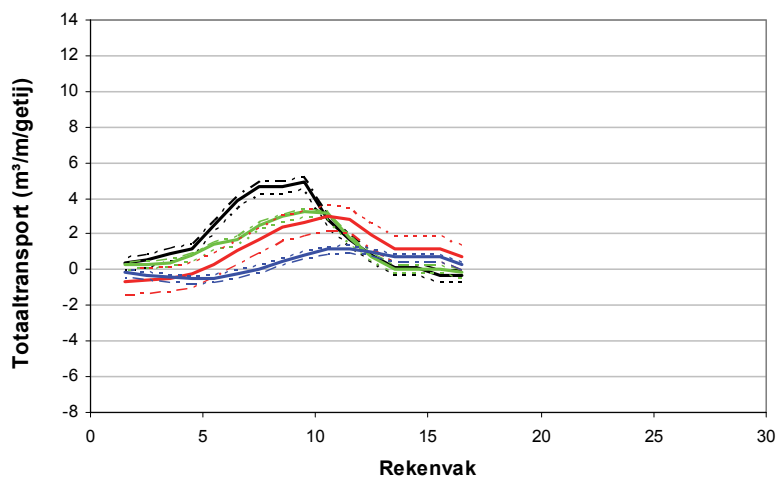
Figuur C 14 – Zandbalansen voor rekenrij N, Hooge Platen West



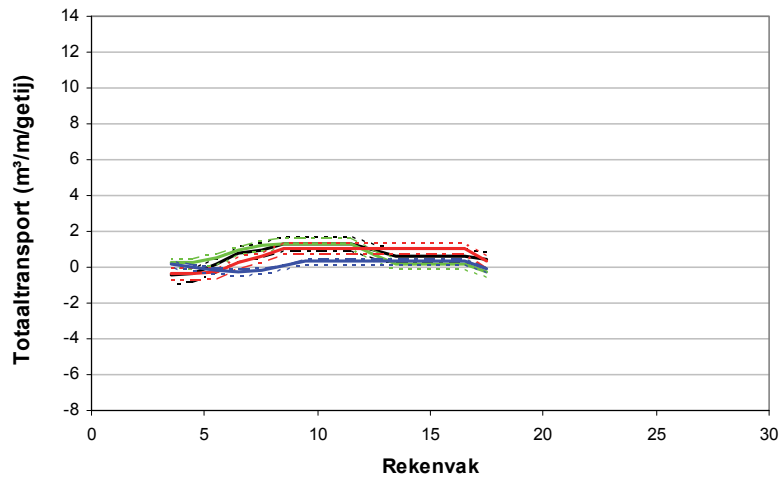
Figuur C 15 – Zandbalansen voor rekenrij O, Hooge Platen West



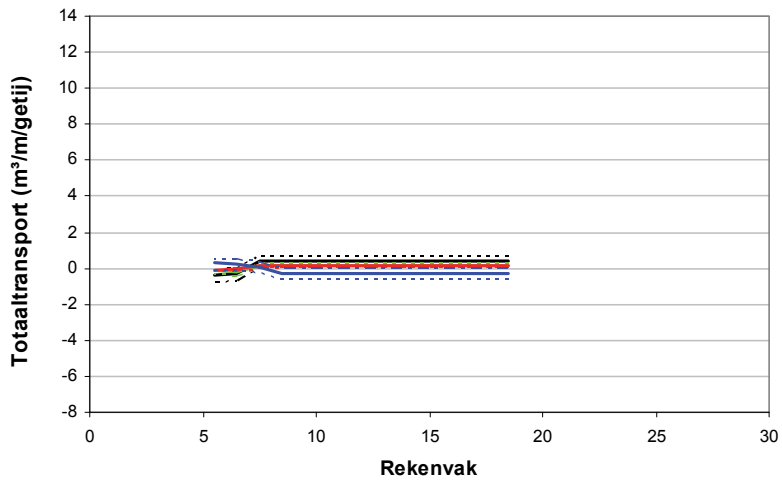
Figuur C 16 – Zandbalansen voor rekenrij P, Hooge Platen West



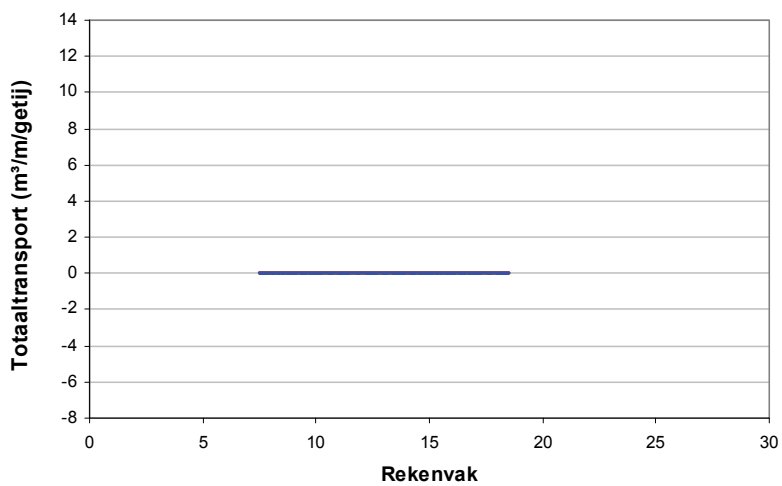
Figuur C 17 – Zandbalansen voor rekenrij Q, Hooge Platen West



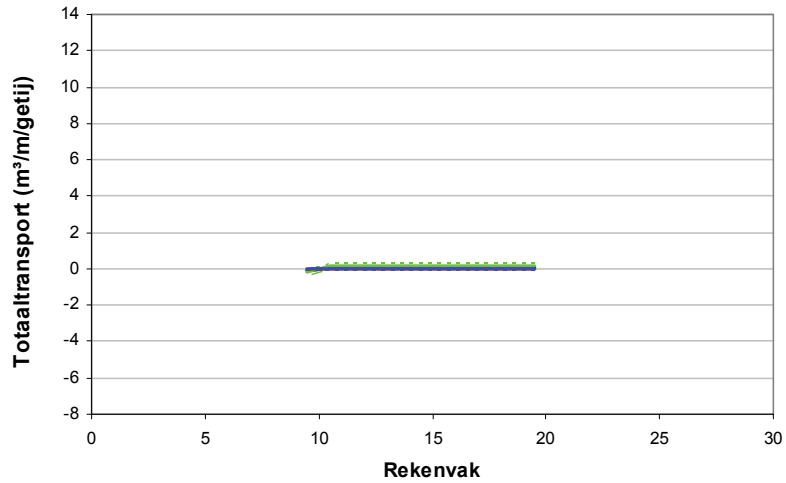
Figuur C 18 – Zandbalansen voor rekenrij R, Hooge Platen West



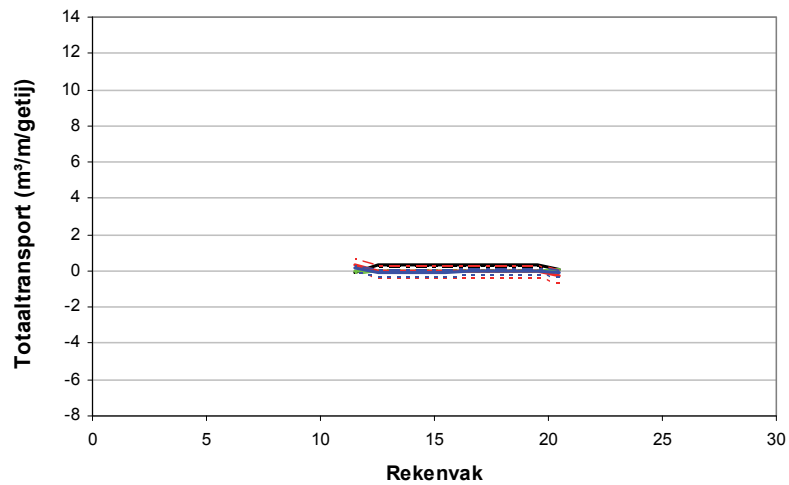
Figuur C 19 – Zandbalansen voor rekenrij S, Hooge Platen West



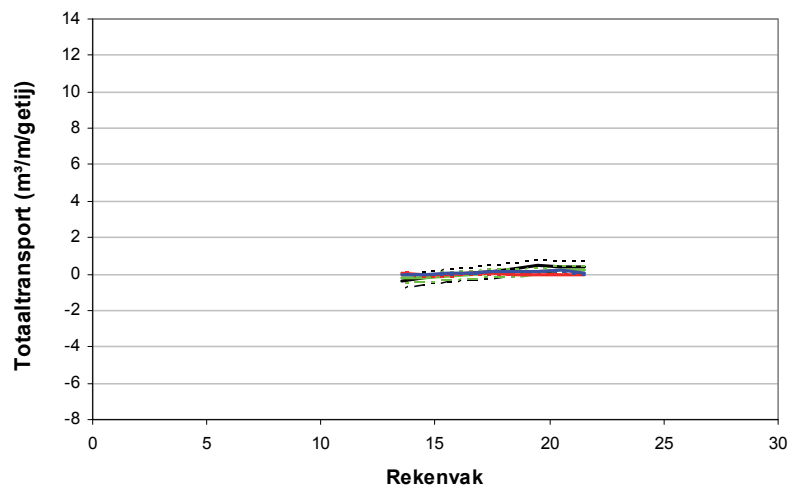
Figuur C 20 – Zandbalansen voor rekenrij T, Hooge Platen West



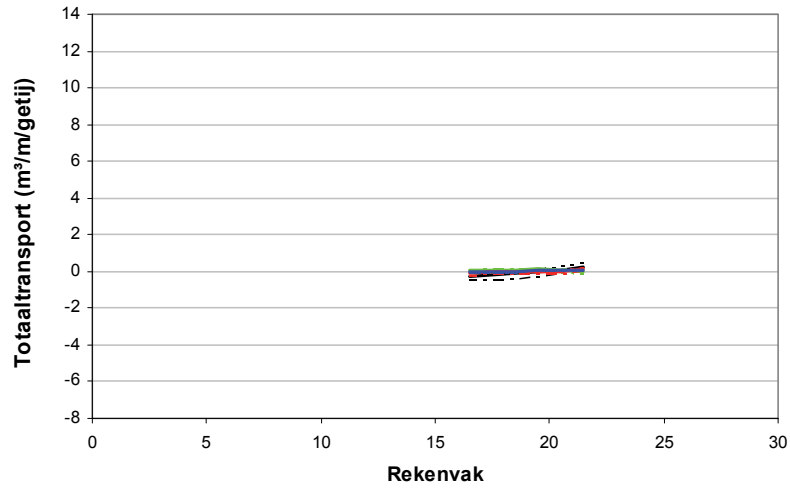
Figuur C 21 – Zandbalansen voor rekenrij U, Hooge Platen West



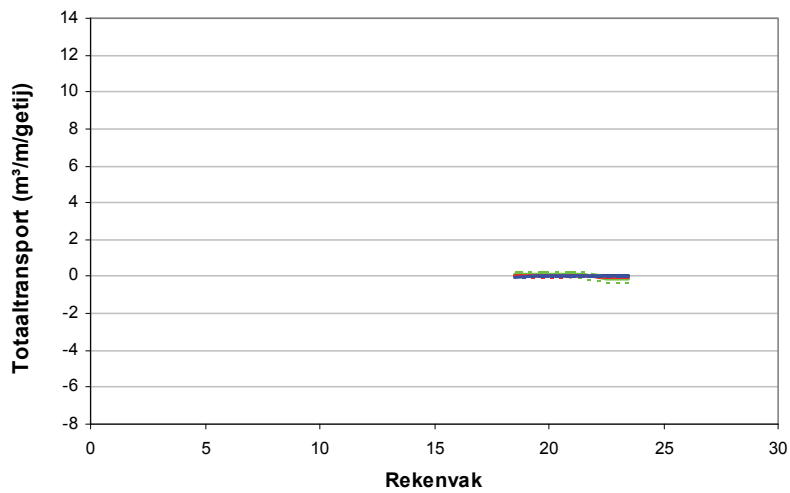
Figuur C 22 – Zandbalansen voor rekenrij V, Hooge Platen West



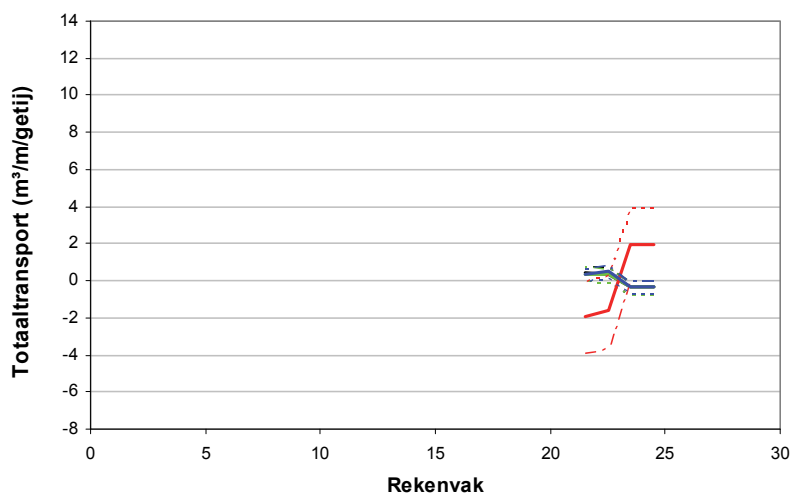
Figuur C 23 – Zandbalansen voor rekenrij W, Hooge Platen West



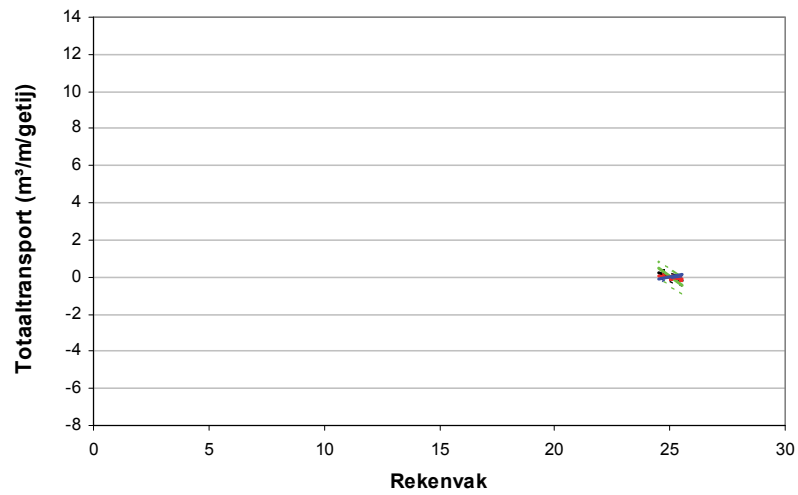
Figuur C 24 – Zandbalansen voor rekenrij X, Hooge Platen West



Figuur C 25 – Zandbalansen voor rekenrij Y, Hooge Platen West

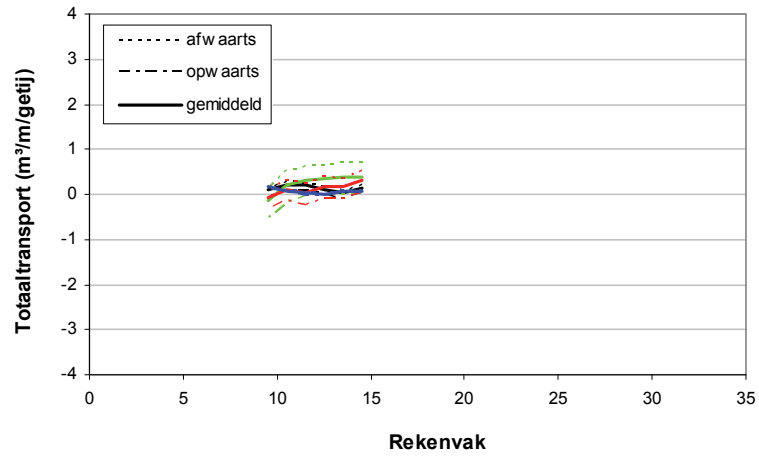


Figuur C 26 – Zandbalansen voor rekenrij Z, Hooge Platen West

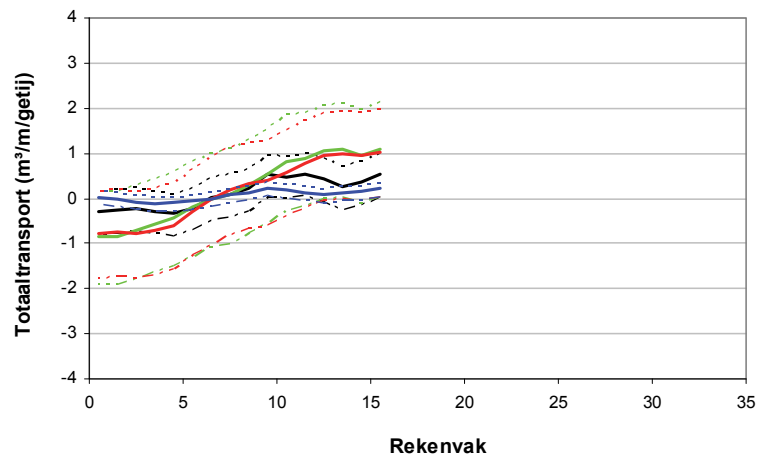


Figuur C 27 – Zandbalansen voor rekenrij Z, Hooge Platen West

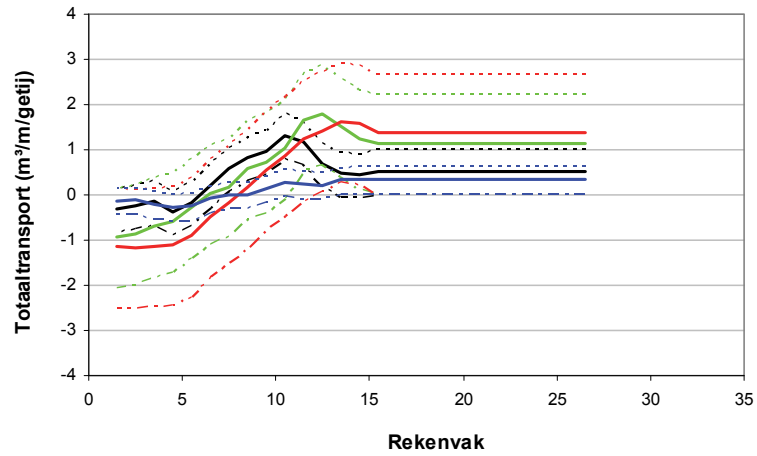
PLAAT VAN WALSOORDEN



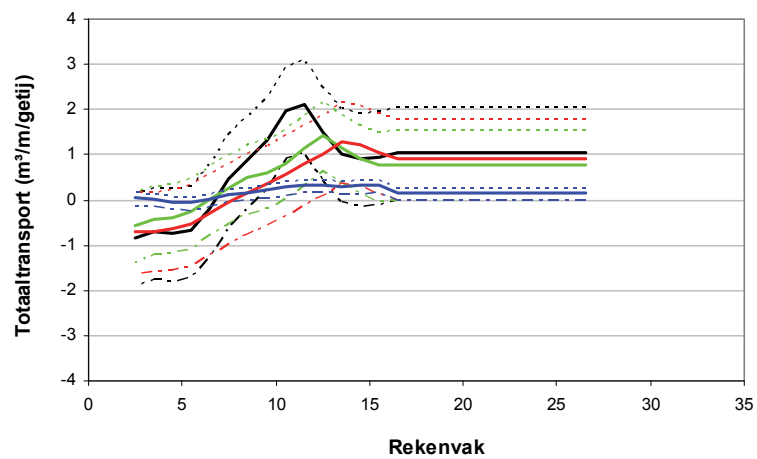
Figuur C 28 – Zandbalansen voor rekenrij A, Plaat van Walsoorden



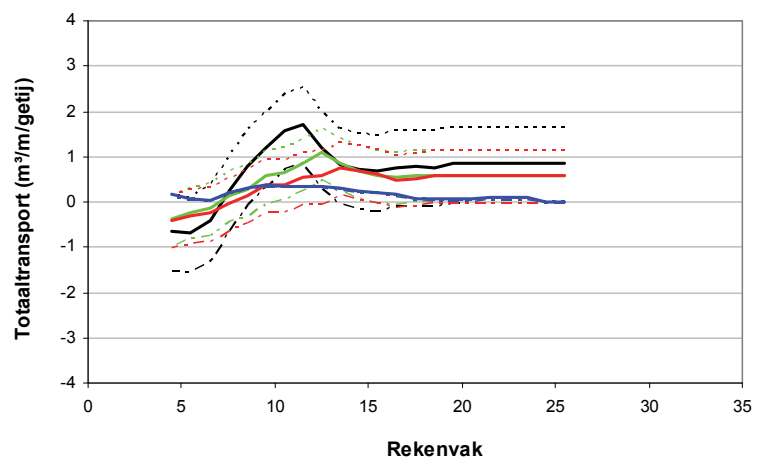
Figuur C 29 – Zandbalansen voor rekenrij B, Plaat van Walsoorden



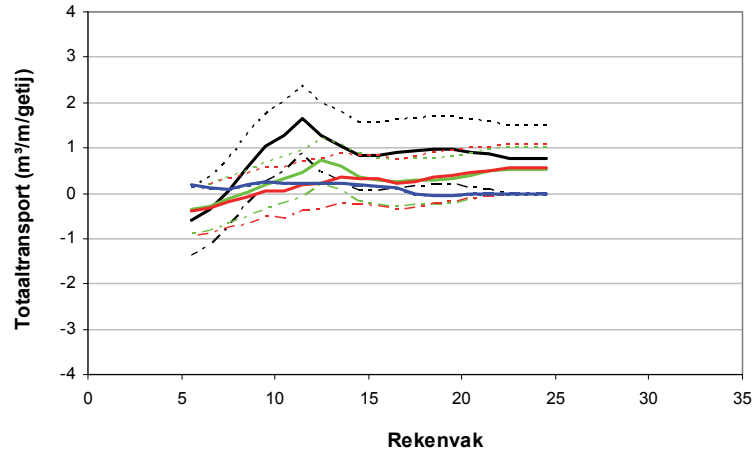
Figuur C 30 – Zandbalansen voor rekenrij C, Plaat van Walsoorden



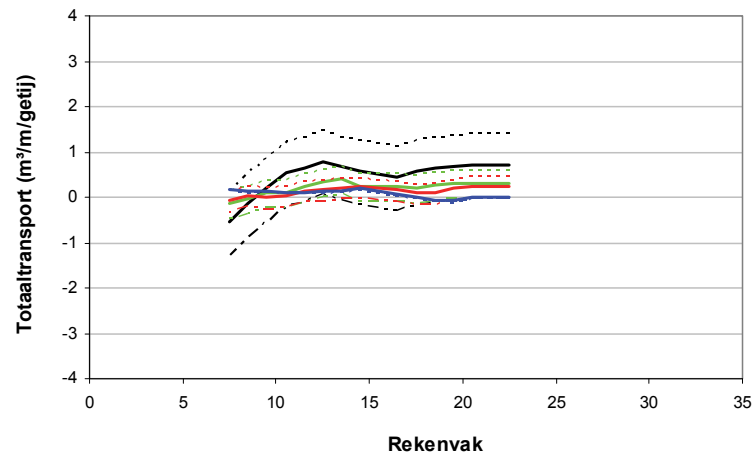
Figuur C 31 – Zandbalansen voor rekenrij D, Plaat van Walsoorden



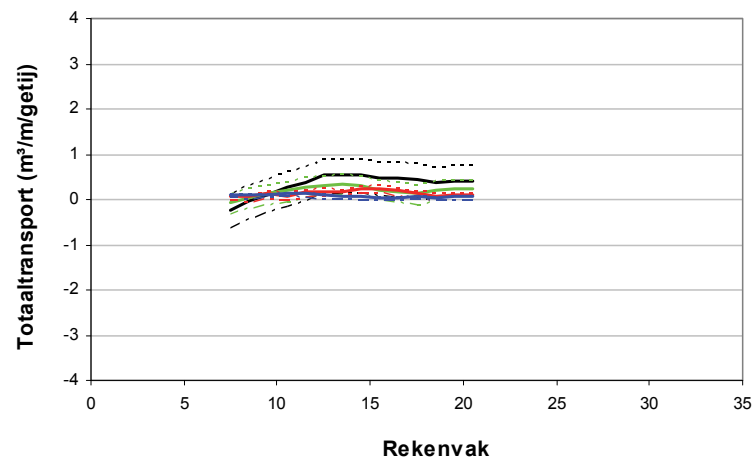
Figuur C 32 – Zandbalansen voor rekenrij E, Plaat van Walsoorden



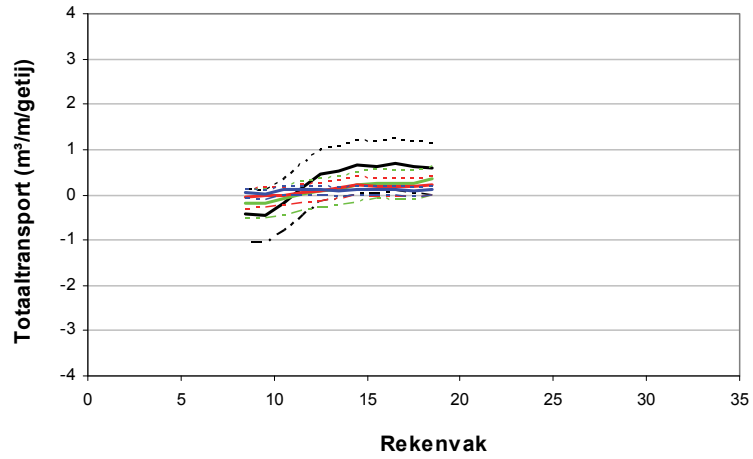
Figuur C 33 – Zandbalansen voor rekenrij F, Plaat van Walsoorden



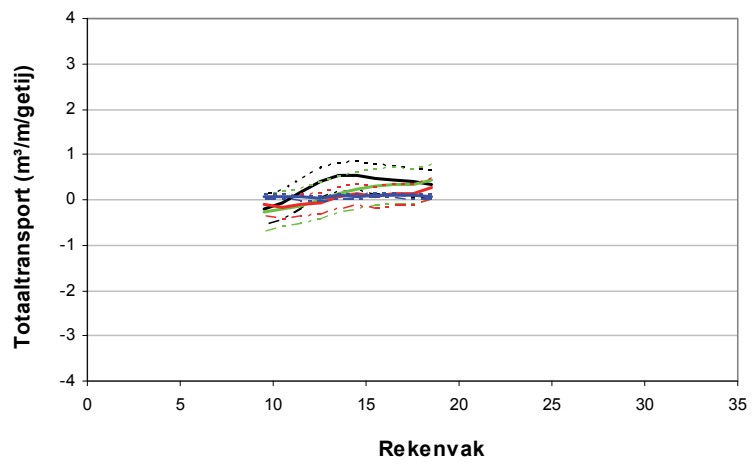
Figuur C 34 – Zandbalansen voor rekenrij G, Plaat van Walsoorden



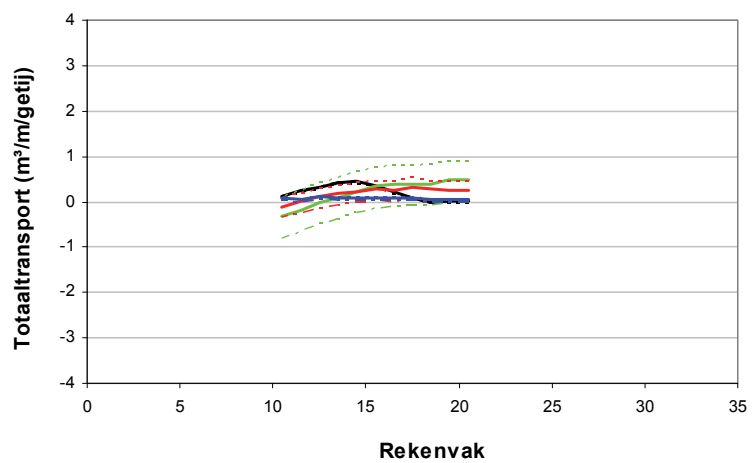
Figuur C 35 – Zandbalansen voor rekenrij H, Plaat van Walsoorden



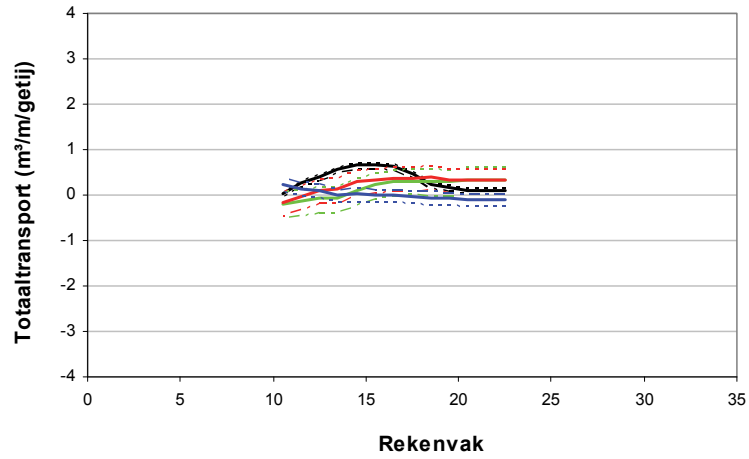
Figuur C 36 – Zandbalansen voor rekenrij I, Plaat van Walsoorden



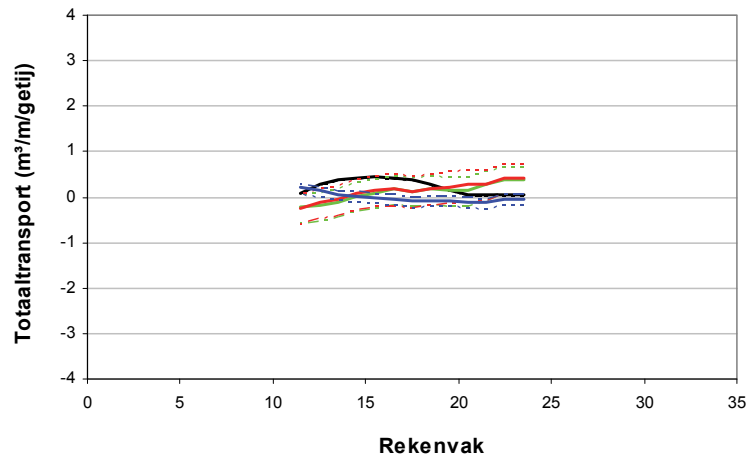
Figuur C 37 – Zandbalansen voor rekenrij J, Plaat van Walsoorden



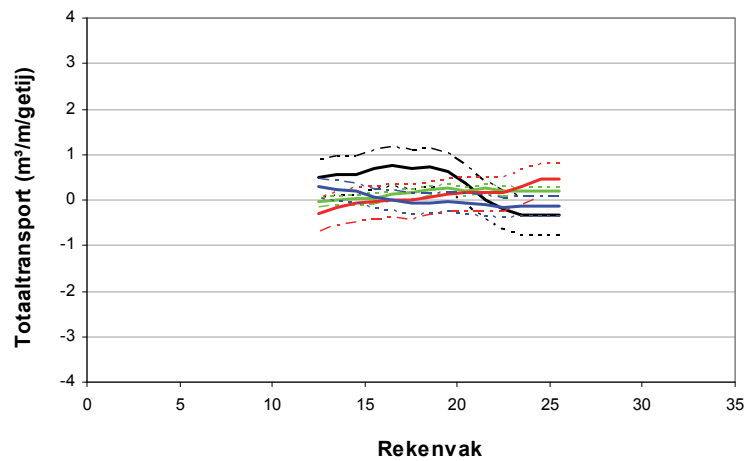
Figuur C 38 – Zandbalansen voor rekenrij K, Plaat van Walsoorden



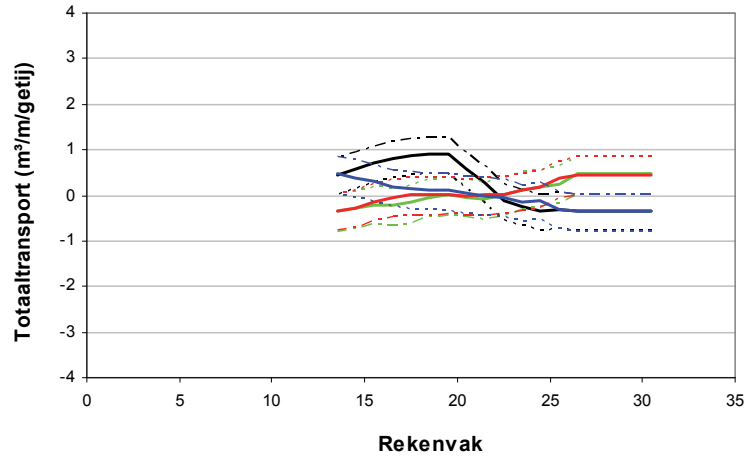
Figuur C 39 – Zandbalansen voor rekenrij L, Plaat van Walsoorden



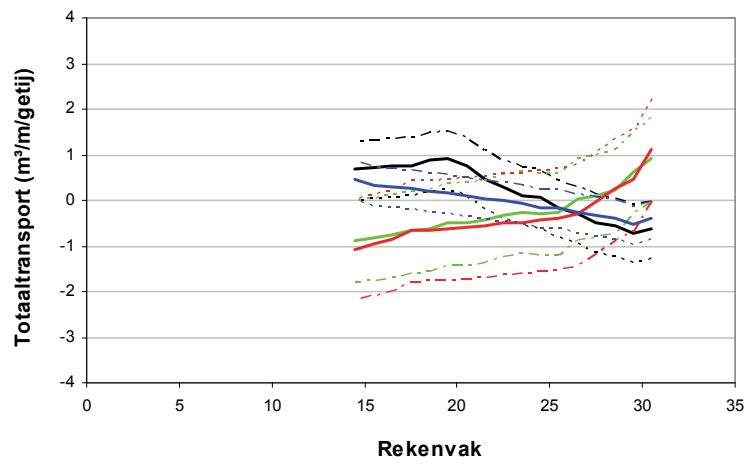
Figuur C 40 – Zandbalansen voor rekenrij M, Plaat van Walsoorden



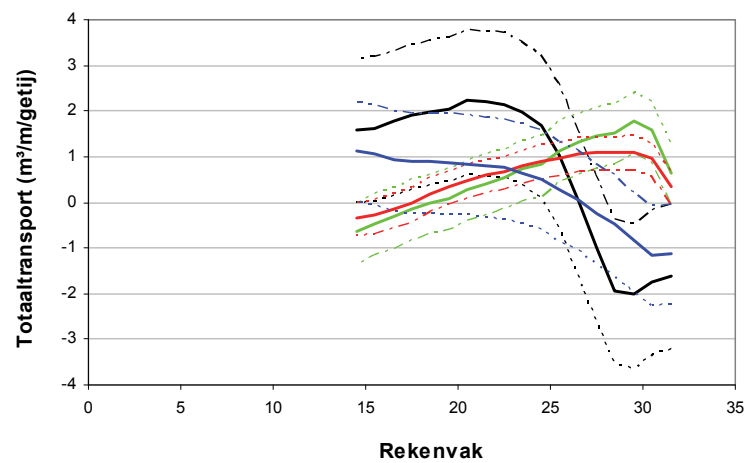
Figuur C 41 – Zandbalansen voor rekenrij N, Plaat van Walsoorden



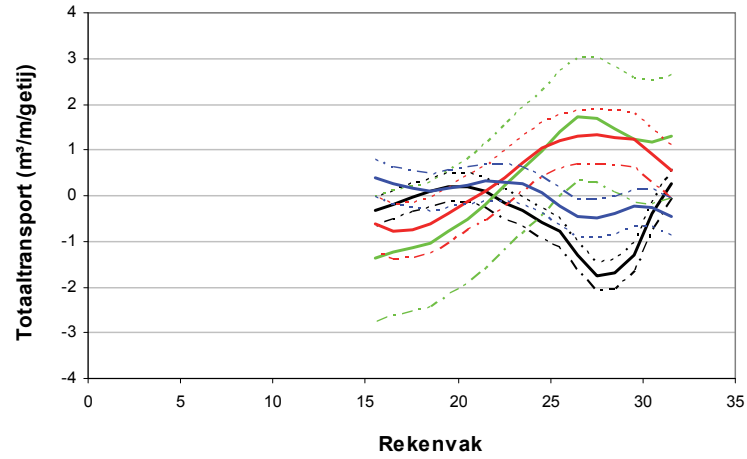
Figuur C 42 – Zandbalansen voor rekenrij O, Plaat van Walsoorden



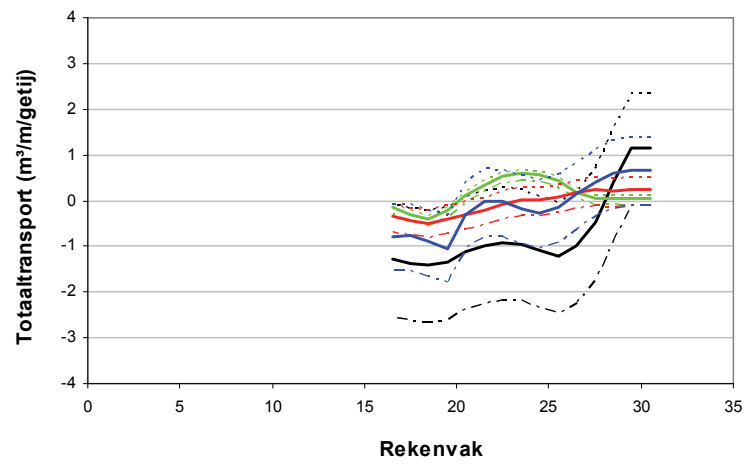
Figuur C 43 – Zandbalansen voor rekenrij P, Plaat van Walsoorden



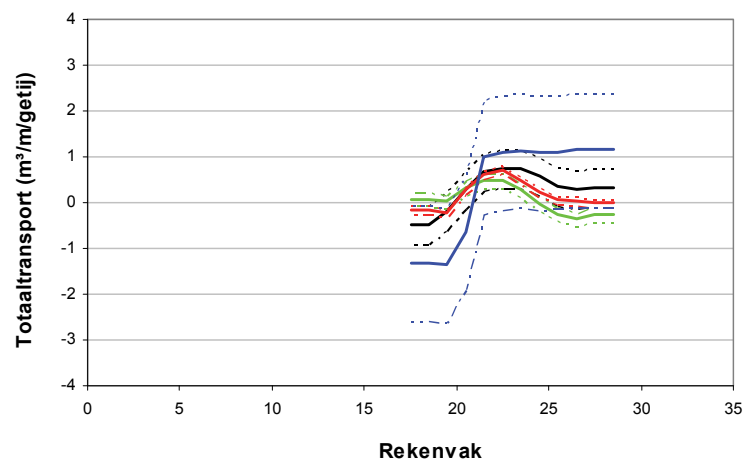
Figuur C 44 – Zandbalansen voor rekenrij Q, Plaat van Walsoorden



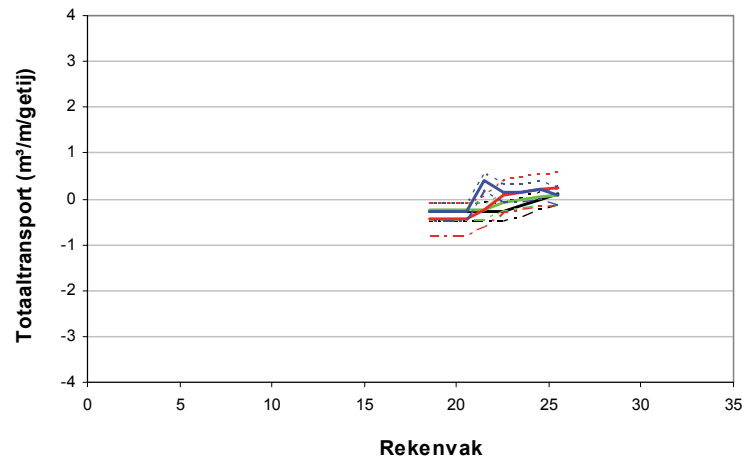
Figuur C 45 – Zandbalansen voor rekenrij R, Plaat van Walsoorden



Figuur C 46 – Zandbalansen voor rekenrij S, Plaat van Walsoorden

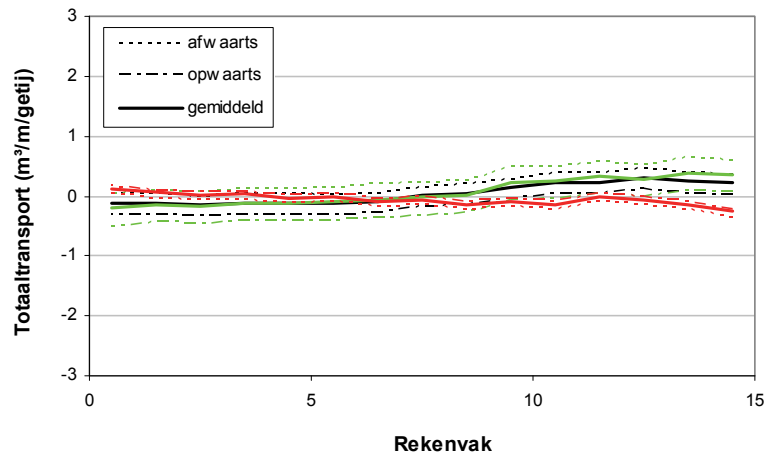


Figuur C 47 – Zandbalansen voor rekenrij T, Plaat van Walsoorden

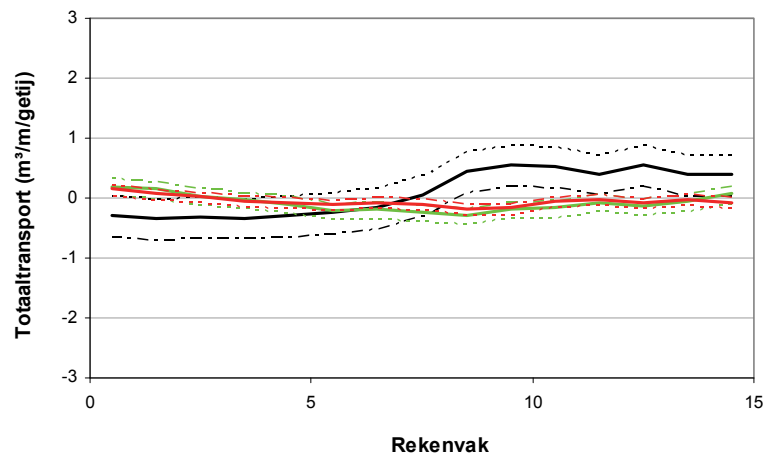


Figuur C 48 – Zandbalansen voor rekenrij U, Plaat van Walsoorden

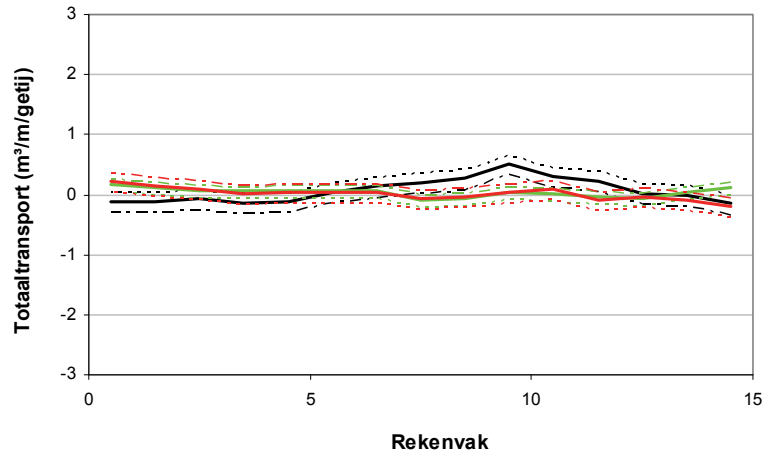
SCHAAR VAN WAARDE



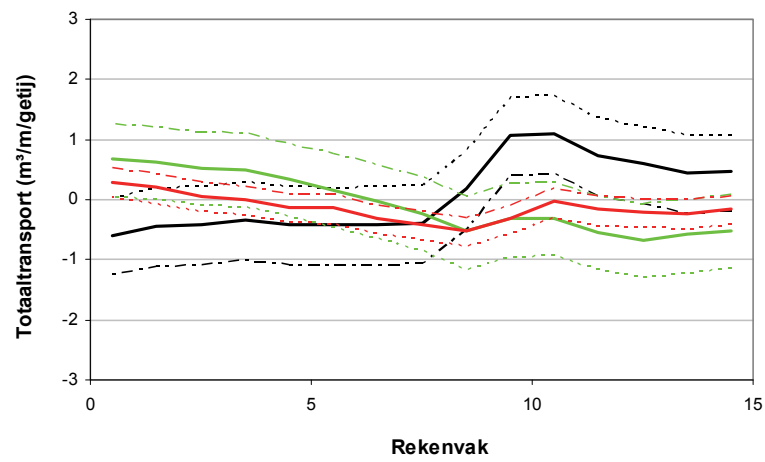
Figuur C 49 – Zandbalansen voor rekenrij A, Schaar van Waarde



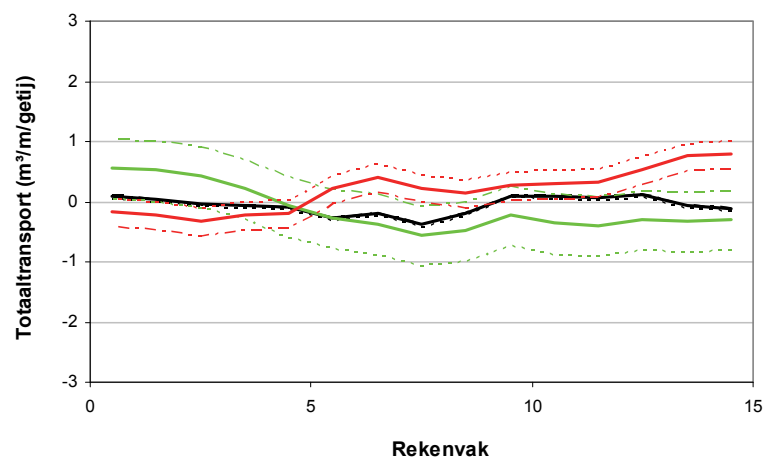
Figuur C 50 – Zandbalansen voor rekenrij B, Schaar van Waarde



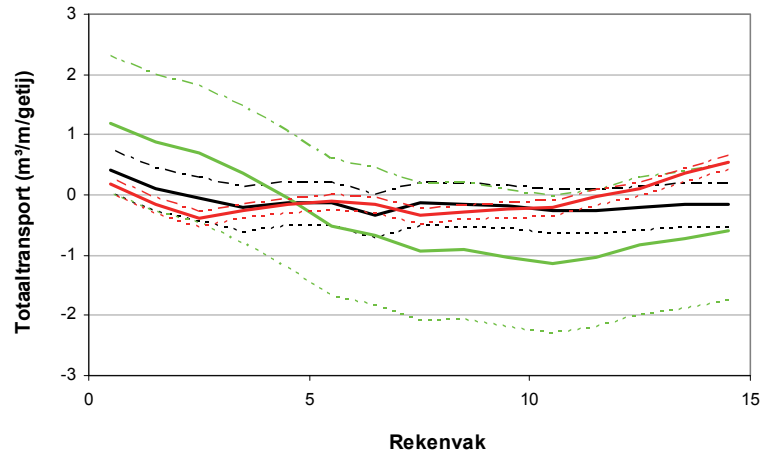
Figuur C 51 – Zandbalansen voor rekenrij C, Schaar van Waarde



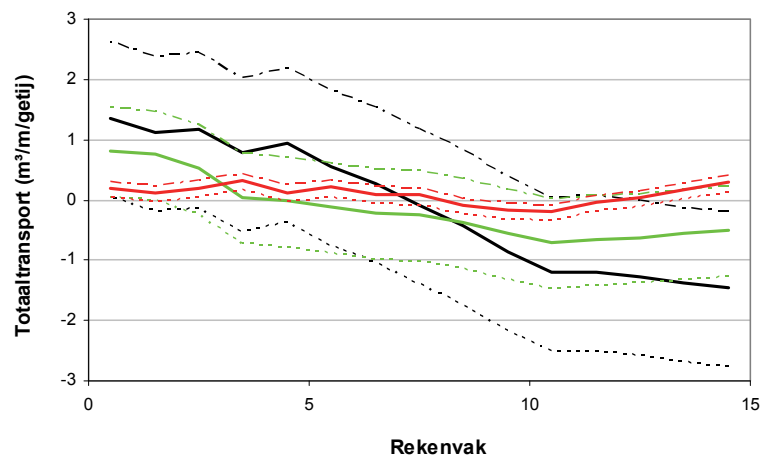
Figuur C 52 – Zandbalansen voor rekenrij D, Schaar van Waarde



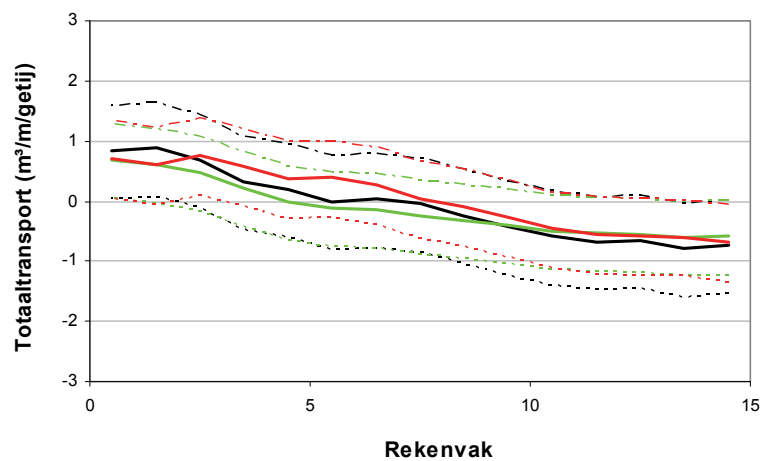
Figuur C 53 – Zandbalansen voor rekenrij E, Schaar van Waarde



Figuur C 54 – Zandbalansen voor rekenrij F, Schaar van Waarde

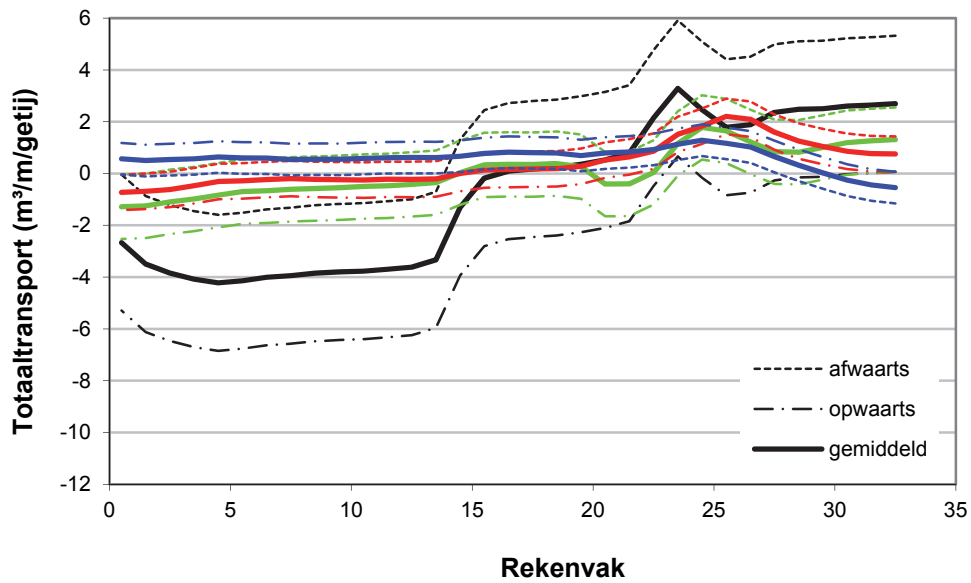


Figuur C 55 – Zandbalansen voor rekenrij G, Schaar van Waarde

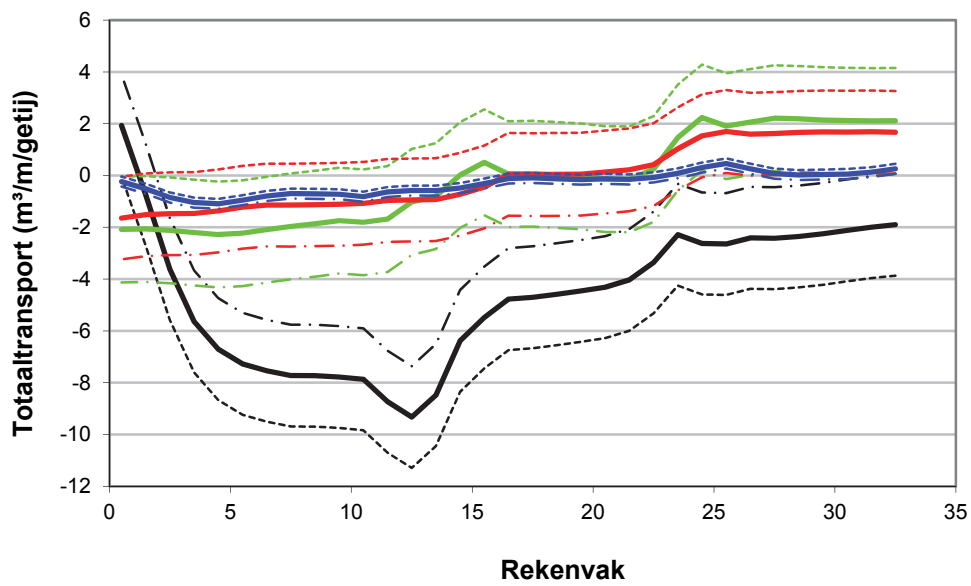


Figuur C 56 – Zandbalansen voor rekenrij H, Schaar van Waarde

KETELPUTTEN



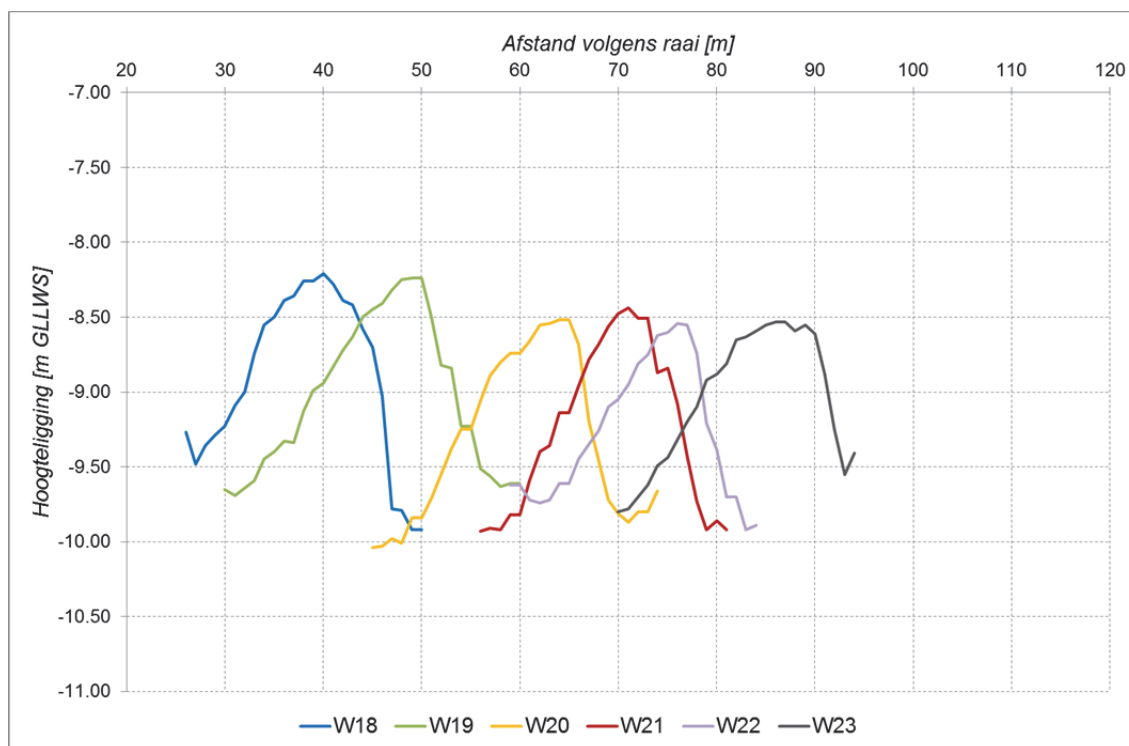
Figuur C 57 – Zandbalansen voor rekenrij A, Ketelputten



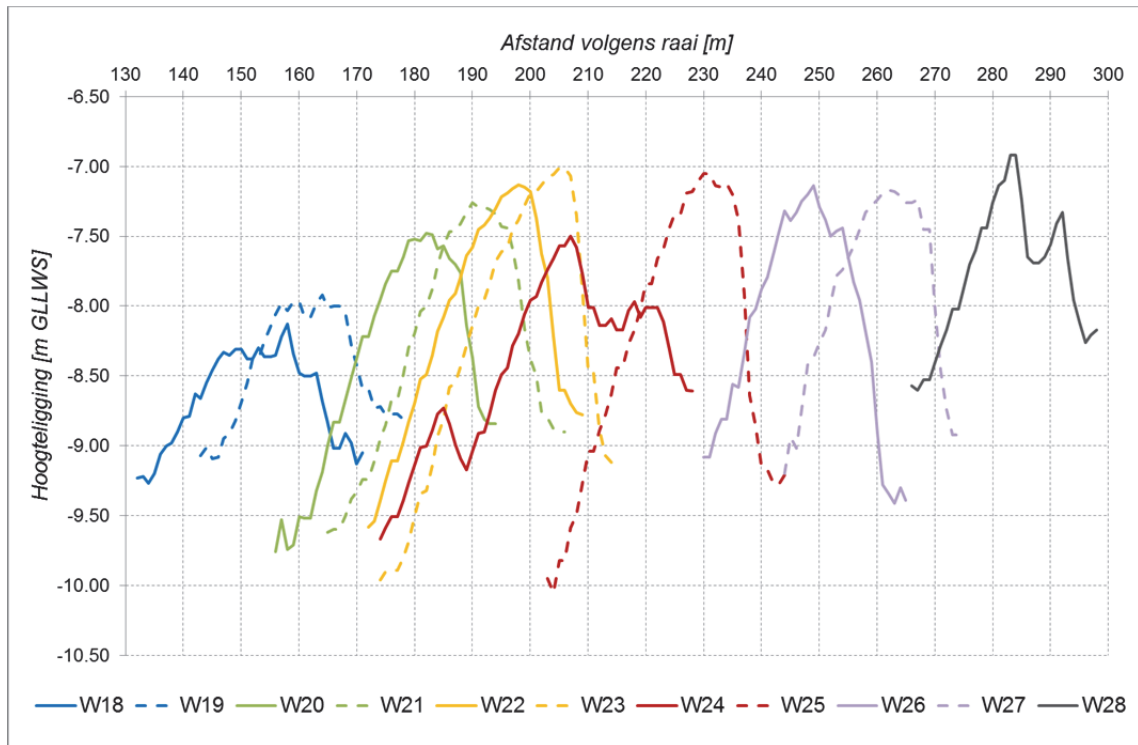
Figuur C 58 – Zandbalansen voor rekenrij B, Ketelputten

Bijlage D – Sedimenttransport op basis van bodemvormen

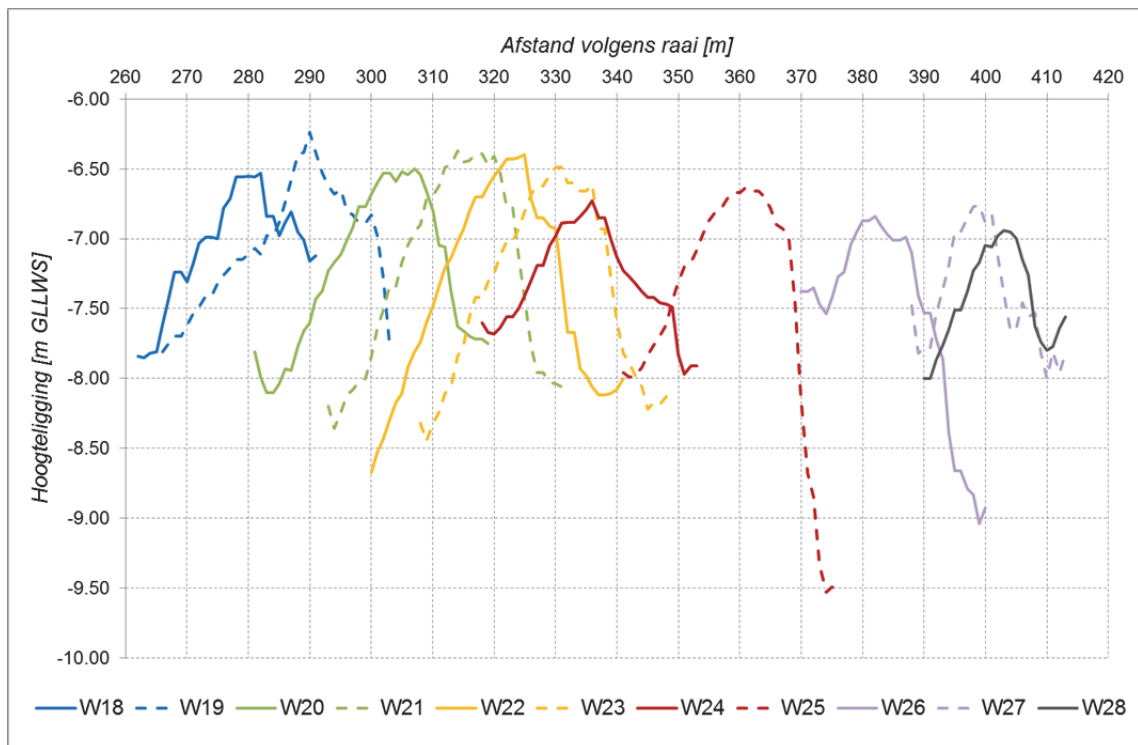
Raai L1



Figuur D 1 – Ontwikkeling in de tijd bodemvorm Bv1 raai L1

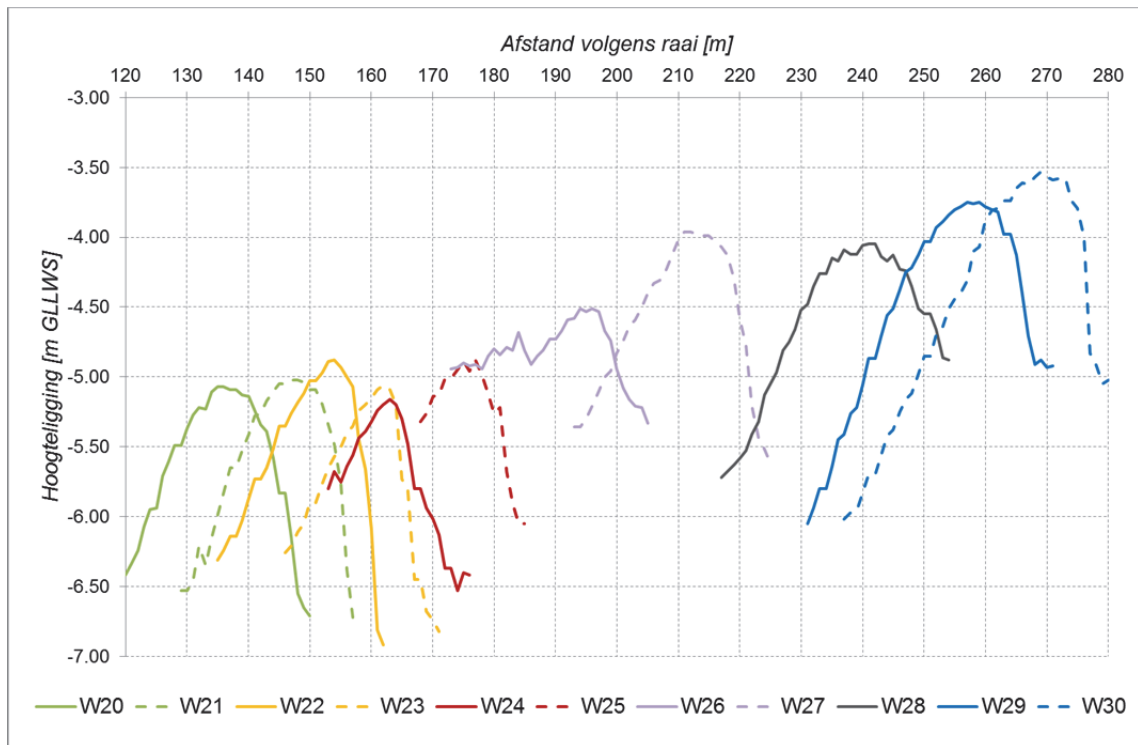


Figuur D 2 – Ontwikkeling in de tijd bodemvorm Bv2 raai L1

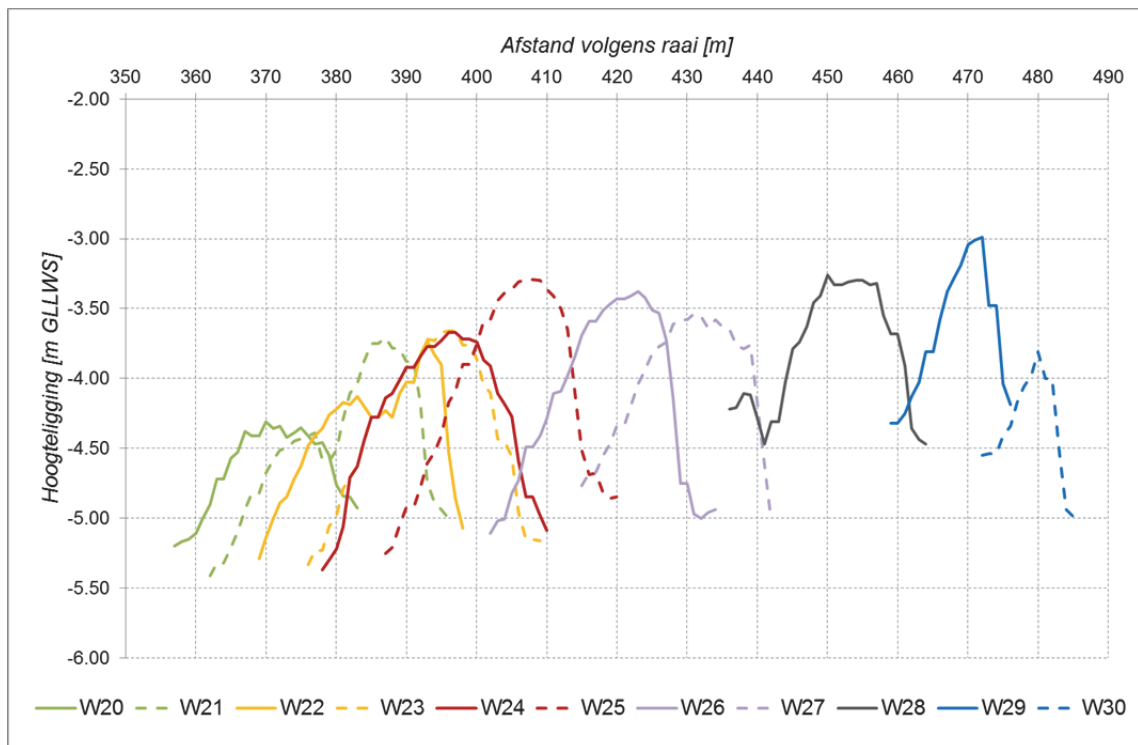


Figuur D 3 – Ontwikkeling in de tijd bodemvorm Bv3 raai L1

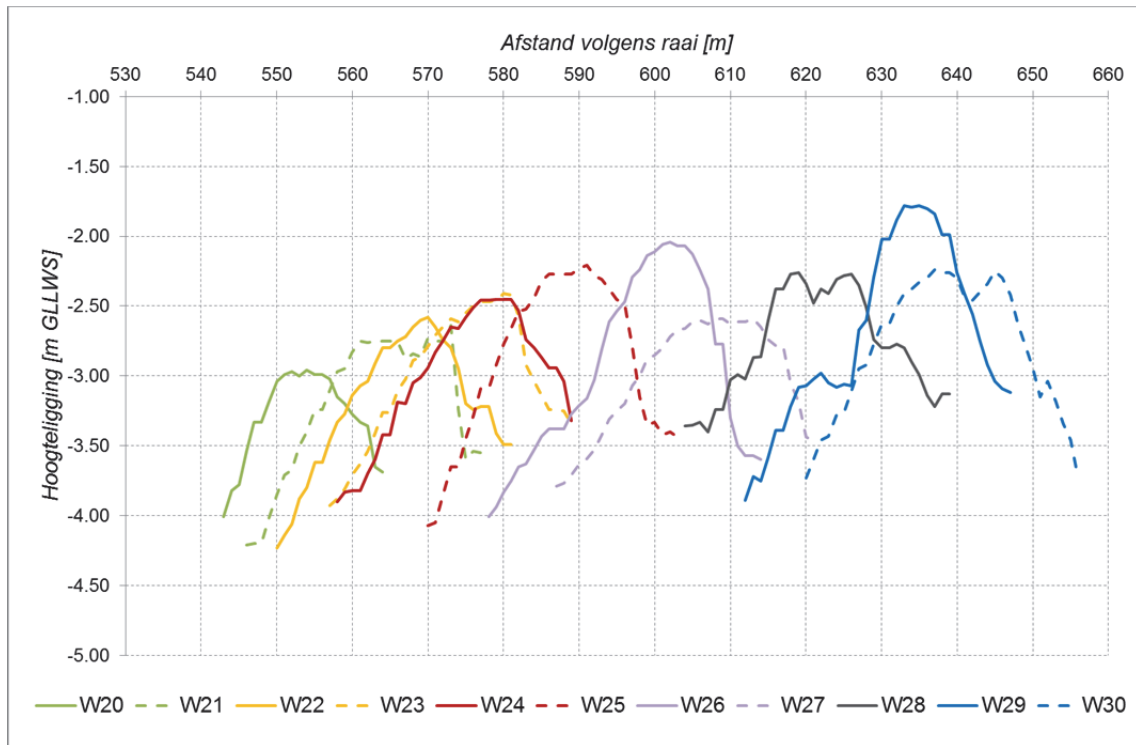
Raai B4



Figuur D 4 – Ontwikkeling in de tijd bodenvorm Bv1 raai B4

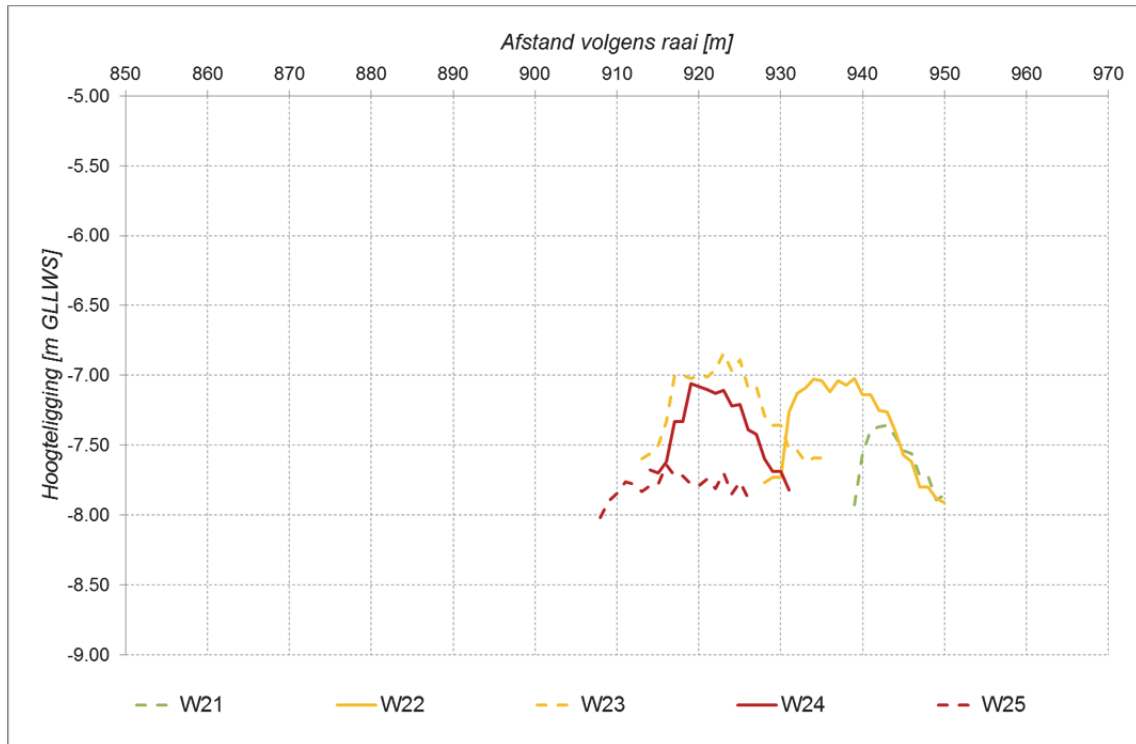


Figuur D 5 – Ontwikkeling in de tijd bodenvorm Bv2 raai B4

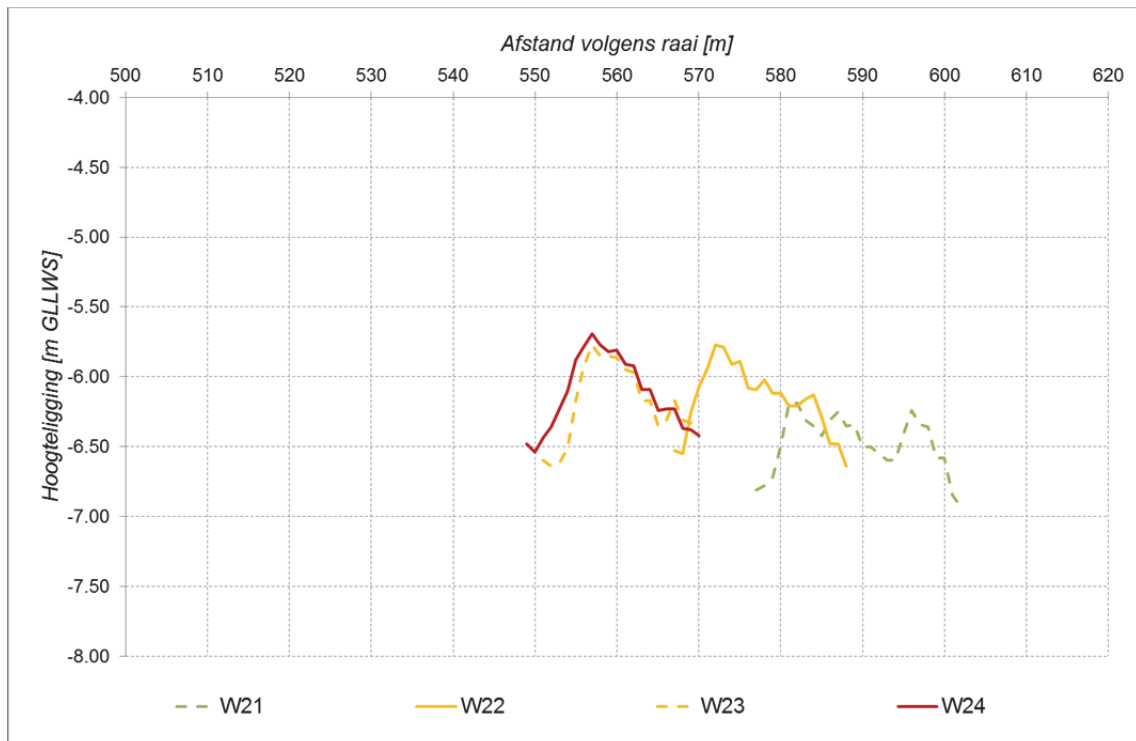


Figuur D 6 – Ontwikkeling in de tijd bodemvorm Bv3 raai B4

Raai E1



Figuur D 7 – Ontwikkeling in de tijd bodemvorm Bv1 raai E1



Figuur D 8 – Ontwikkeling in de tijd bodemvorm Bv2 raai E1



Waterbouwkundig Laboratorium

Flanders Hydraulics Research

Berchemlei 115

B-2140 Antwerpen

Tel. +32 (0)3 224 60 35

Fax +32 (0)3 224 60 36

E-mail: waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be

www.watlab.be