

Vlaanderen
is wetenschap

00_031_23
WL rapporten

Overleg flexibel storten

Deelrapport 23
Stroming- en sedimentmeting ter hoogte van de diepe put van Hansweert

DEPARTEMENT
MOBILITEIT & OPENBARE WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Overleg Flexibel Storten

Deelrapport 23 – Stroming- en sedimentmeting ter hoogte van de diepe put van Hansweert

Plancke, Y.; Claeys, S.; Verwaest, T.; Mostaert, F.

Waterbouwkundig Laboratorium
Vlaanderen is wetenschap

Cover figuur © Vlaamse overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Waterbouwkundig Laboratorium

Juridische kennisgeving

Het Waterbouwkundig Laboratorium is van mening dat de informatie en standpunten in dit rapport onderbouwd worden door de op het moment van schrijven beschikbare gegevens en kennis.
De standpunten in deze publicatie zijn deze van het Waterbouwkundig Laboratorium en geven niet noodzakelijk de mening weer van de Vlaamse overheid of één van haar instellingen.
Het Waterbouwkundig Laboratorium noch iedere persoon of bedrijf optredend namens het Waterbouwkundig Laboratorium is aansprakelijk voor het gebruik dat gemaakt wordt van de informatie uit dit rapport of voor verlies of schade die eruit voortvloeit.

Copyright en wijze van citeren

© Vlaamse overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Waterbouwkundig Laboratorium 2017

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Plancke, Y.; Claeys, S.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2017). Overleg Flexibel Storten: Deelrapport 23 – Stroming- en sedimentmeting ter hoogte van de diepe put van Hansweert. Versie 3.0. WL Rapporten, 00_031_23. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

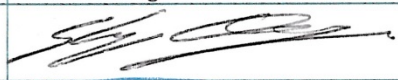
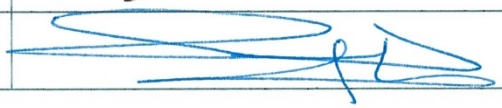
Overname uit en verwijzingen naar deze publicatie worden aangemoedigd, mits correcte bronvermelding.

Documentidentificatie

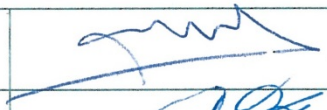
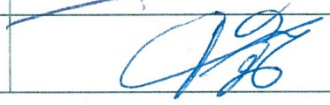
Opdrachtgever:	Overleg Flexibel Storten	Ref.:	WL2017R00_031_23
Keywords (3-5):	Stroming, sediment, meting, storten, Westerschelde		
Tekst (p.):	19	Bijlagen (p.):	45
Vertrouwelijk:	☒ Nee	☒ Online beschikbaar	

Auteur(s):	Plancke, Y.

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Claeys, S.	
Projectleider:	Plancke, Y.	

Goedkeuring

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

Abstract

In het kader van de onderhoudsbaggerwerken in de Westerschelde, werd in 2016 een eerste proefstorting uitgevoerd waarbij 1 Mm³ sediment werd gestort in de diepe put van Hansweert. Op basis van de uitgevoerde peilingen werd aanzienlijk verlies vastgesteld tijdens en/of vlak na de uitvoering van de storting.

Om de sedimentverspreiding tijdens het storten in beeld te brengen, werd tijdens de tweede proefstorting in juli 2017 een ADCP-meting uitgevoerd. Hiermee werd een beeld verkregen van de variatie in sedimentconcentratie tijdens en na het uitvoeren van enkele stortingen. Uit de metingen bleek dat er een verhoging kon worden vastgesteld tijdens en vlak na het storten. Aangezien de meettechniek niet toelaat het nabij-bodem transport te meten, is het moeilijk een volledige inschatting te maken van de exacte hoeveelheid sediment dat tijdens en onmiddellijk na de storting door de stroming getransporteerd wordt.

Naast deze variatie in sedimentconcentratie bij het uitvoeren van een storting in de diepe put van Hansweert, werd tijdens de meetcampagne ook het stroombeeld ter hoogte van deze locatie in beeld gebracht. Hiervoor werden dwarsraaien gevaren ter hoogte van de diepe put. Uit deze metingen bleek dat de maximale stroomsnelheden in het midden van de waterkolom optreden en dat de concentratie van de stroming verschillend is bij eb en bij vloed. Daarnaast werd ook de transversale stromingscomponent in beeld gebracht.

Inhoudstafel

Abstract III
Inhoudstafel V
Lijst van de tabellen VI
Lijst van de figuren VII
1 Inleiding 1
2 Beschrijving meetcampagne 2
2.1 Meetlocatie diepe put van Hansweert 2
2.1.1 Ligging en morfologie 2
2.1.2 Stortingen en stabiliteit gestorte specie 3
2.2 Opzet meetcampagne 6
2.3 Meettechnieken 7
2.3.1 Stroming 7
2.3.2 Sedimentconcentratie 7
2.3.3 Korrelgrootte 7
2.4 Verwerking 8
2.4.1 Validatie metingen 8
2.4.2 Transversale component stroming 8
2.4.3 Sedimentconcentratie op basis van akoestische backscatter 8
3 Resultaten sedimentverspreiding 9
3.1 Sedimentconcentratie op basis van ABS 9
3.2 Korrelgrootte 10
3.3 Verloop sedimentconcentratie bij stortingen 11
3.3.1 Storting 1 11
3.3.2 Storting 2 13
3.3.3 Storting 3 14
3.4 Conclusie 15
4 Resultaten stroming 16
5 Referenties 19
Bijlage A – ligging gevaren raaien B1
Bijlage B – stroming en sedimentconcentraties op de gevaren raaien B4
Bijlage C – transversale component van de stroming op de gevaren dwarsraaien B25

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Overzicht stortingen tijdens meetperiode door Sebastiano Caboto 4
Tabel 2 – Overzicht karakteristieken ADCP 6
Tabel 3 – Overzicht karakteristieken ADCP 7
Tabel 4 – Overzicht korrelgrootte (in µm) van gestort sediment voor verschillende trips 10
Tabel 5 – Overzicht korrelgrootte (in µm) van waterstalen 11

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Doorsnede en ligging diepe put van Hansweert 2

Figuur 2 – Verschilkaart februari 2007 – maart 2006 ter hoogte van diepe put van Hansweert 3

Figuur 3 – Stabiliteit gestorte specie ter hoogte van diepe put van Hansweert voor stortproef 2016 4

Figuur 4 – Verschilkaarten MBES peilingen ter hoogte van diepe put van Hansweert voor stortproef 2016 .. 5

Figuur 5 –Relatie gecorrigeerde akoestische backscatter – sedimentconcentratie. 9

Figuur 6 –Verloop tijdens de meetdag van SSC op basis van de gecorrigeerde ABS en de SSC uit de pompstalen 10

Figuur 7 – Verloop van de sedimentconcentratie (op basis van ABS) bij eerste storting voor meetraai 8 (links) en 9 (rechts) De storting vond plaats om ca. 450 s na aanvang van meetraai 8 en 8 minuten voor aanvang van meetraai 9. 12

Figuur 8 – Illustratie van sedimentverplaatsing bij storten 12

Figuur 9 –Verloop diepte-gemiddelde sedimentconcentratie (op basis van ABS) bij eerste storting 13

Figuur 10 –Verloop van de sedimentconcentratie (op basis van ABS) bij eerste storting voor meetraai 20 (links) en 21 (rechts) De storting vond plaats bij aanvang meetraai 20. 13

Figuur 11 –Verloop diepte-gemiddelde sedimentconcentratie (op basis van ABS) bij tweede storting 14

Figuur 12 –Verloop van de sedimentconcentratie (op basis van ABS) bij de derde storting voor meetraai 25 (links) en 26 (rechts) De storting vond plaats tijdens meetraai 20. 14

Figuur 13 –Verloop diepte-gemiddelde sedimentconcentratie (op basis van ABS) bij derde storting 15

Figuur 14 –Verloop diepte-gemiddelde stroomsnelheid en waterstand gedurende de meetcampagne 16

Figuur 15 – Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 3 (vloedfase - links) en raai 27 (ebfase - rechts) 17

Figuur 16 – Gemeten transversale component van de stroming voor raai 3 (vloedfase - links) en raai 27 (ebfase - rechts) 18

Figuur 17 –Ligging gevaren raaien (raai 1 tot en met 5) B1

Figuur 18 –Ligging gevaren raaien (raai 6 tot en met 10) B1

Figuur 19 –Ligging gevaren raaien (raai 11 tot en met 15) B2

Figuur 20 –Ligging gevaren raaien (raai 16 tot en met 20) B2

Figuur 21 –Ligging gevaren raaien (raai 21 tot en met 25) B3

Figuur 22 –Ligging gevaren raaien (raai 26 tot en met 27) B3

Figuur 23 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 1 ..... B4

Figuur 24 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 2 ..... B5

Figuur 25 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 3 ..... B6

Figuur 26 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 4 ..... B7

Figuur 27 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 5 ..... B8

Figuur 28 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 6 ..... B9

Figuur 29 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 7 ..... B10

Figuur 30 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 10 ..... B11

Figuur 31 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 11 ..... B12

Figuur 32 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 12 ..... B13

Figuur 33 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 13 ..... B14

Figuur 34 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 14 ..... B15

Figuur 35 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 15 ..... B16

Figuur 36 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 16 ..... B17

Figuur 37 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 17 ..... B18

Figuur 38 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 18 ..... B19

Figuur 39 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 19 ..... B20

Figuur 40 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 22 ..... B21

Figuur 41 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 23 ..... B22

Figuur 42 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 24 ..... B23

Figuur 43 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 27 ..... B24

Figuur 44 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 1 ..... B25

Figuur 45 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 2 ..... B26

Figuur 46 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 3 ..... B27

Figuur 47 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 4 ..... B28

Figuur 48 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 5 ..... B29

Figuur 49 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 6 ..... B30

Figuur 50 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 7 ..... B31

Figuur 51 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 10 ..... B32

Figuur 52 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 11 ..... B33

Figuur 53 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 12 ..... B34

Figuur 54 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 13 ..... B35

Figuur 55 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 14 ..... B36

Figuur 56 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 15 ..... B37

Figuur 57 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 16 ..... B38

Figuur 58 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 17 ..... B39

Figuur 59 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 18 ..... B40

Figuur 60 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 19 ..... B41

Figuur 61 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 22 ..... B42

Figuur 62 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 23 ..... B43

Figuur 63 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 24 ..... B44

Figuur 64 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 27 ..... B45

1 Inleiding

In het kader van de verruiming van de vaargeul in de Westerschelde en de Beneden Zeeschelde werd een stortstrategie ontwikkeld waarbij de onderhoudsspecie deels in de hoofdgeulen, deels in de nevengeulen en deels langs een aantal plaatranden wordt teruggestort. Deze strategie werd ook na het aflopen van de vergunningstermijn van 5 jaar verdergezet in de vigerende vergunning.

Ter voorbereiding van de toekomstige stortstrategie werd, na voorbereidend onderzoek (Arcadis, 2015), in 2016 een vergunning verkregen voor het uitvoeren van proefstortingen (maximaal 2 campagnes met storthoeveelheid van maximaal 1 Mm³ per campagne) in de Westerschelde. Eén van deze vergunde locaties is de diepe put van Hansweert.Op deze locatie werd in 2016 een eerste proefstorting uitgevoerd van 1 Mm³ sediment. Op basis van de uitgevoerde monitoring (multibeam echosounding peiling) werd de stabiliteit van de gestorte specie opgevolgd. Uit deze meting werd vastgesteld dat een groot deel van de gestorte specie buiten de controlepolygoon terecht kwam.

Dit leidde tot volgende onderzoeksvraag: wanneer doet het verlies van specie zich voor: tijdens de stortingen, alvorens de specie bezonken is of na de stortingen, op het moment dat de specie de bodem reeds bereikt heeft?

Om een antwoord te geven op bovenstaande vraag, werd bij het uitvoeren van de tweede proefstorting op deze locatie een meting uitgevoerd waarbij de sedimentverspreiding tijdens het storten in beeld werd gebracht.

Daarnaast werd deze meetcampagne gebruikt om de stromingspatronen ter hoogte van de diepe put van Hansweert in beeld te brengen. Dit sluit aan bij een eerdere gelijkaardige meetcampagne uitgevoerd door Rijkswaterstaat ter hoogte van de diepe put van Borssele (Svasek Hydraulics, 2013).

Bij het uitvoeren van terreinmetingen zijn verschillende partijen betrokken die niet op de voorgrond verschijnen. Vandaar een woord van dank aan zij die hebben meegewerkt aan het tot stand komen van deze meetcampagne: Erwin De Backer voor de mobilisatie van het meetschip, Steven van Holt en de bemanning van de MS Pierre Petit voor het uitvoeren van de meting, Silvy Thant voor de assistentie bij de uitvoering van de meting en de dames van het sedimentologisch laboratorium voor het analyseren van de genomen stalen..

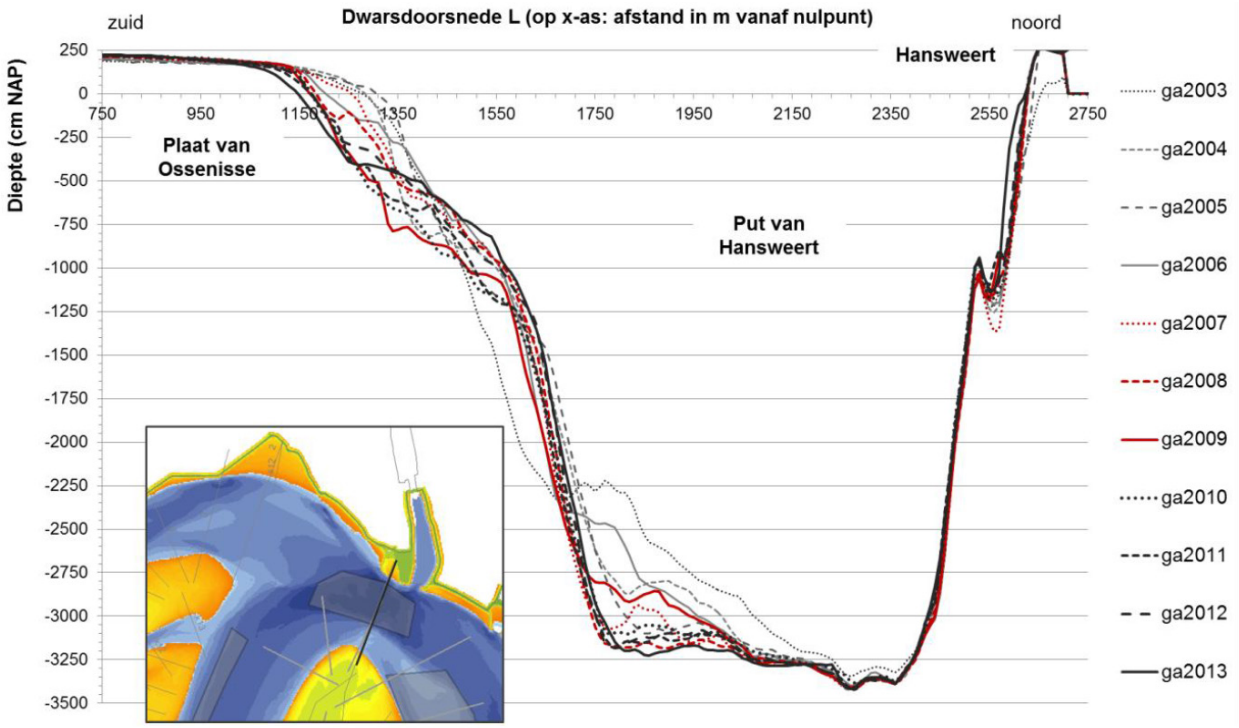
2 Beschrijving meetcampagne

2.1 Meetlocatie diepe put van Hansweert

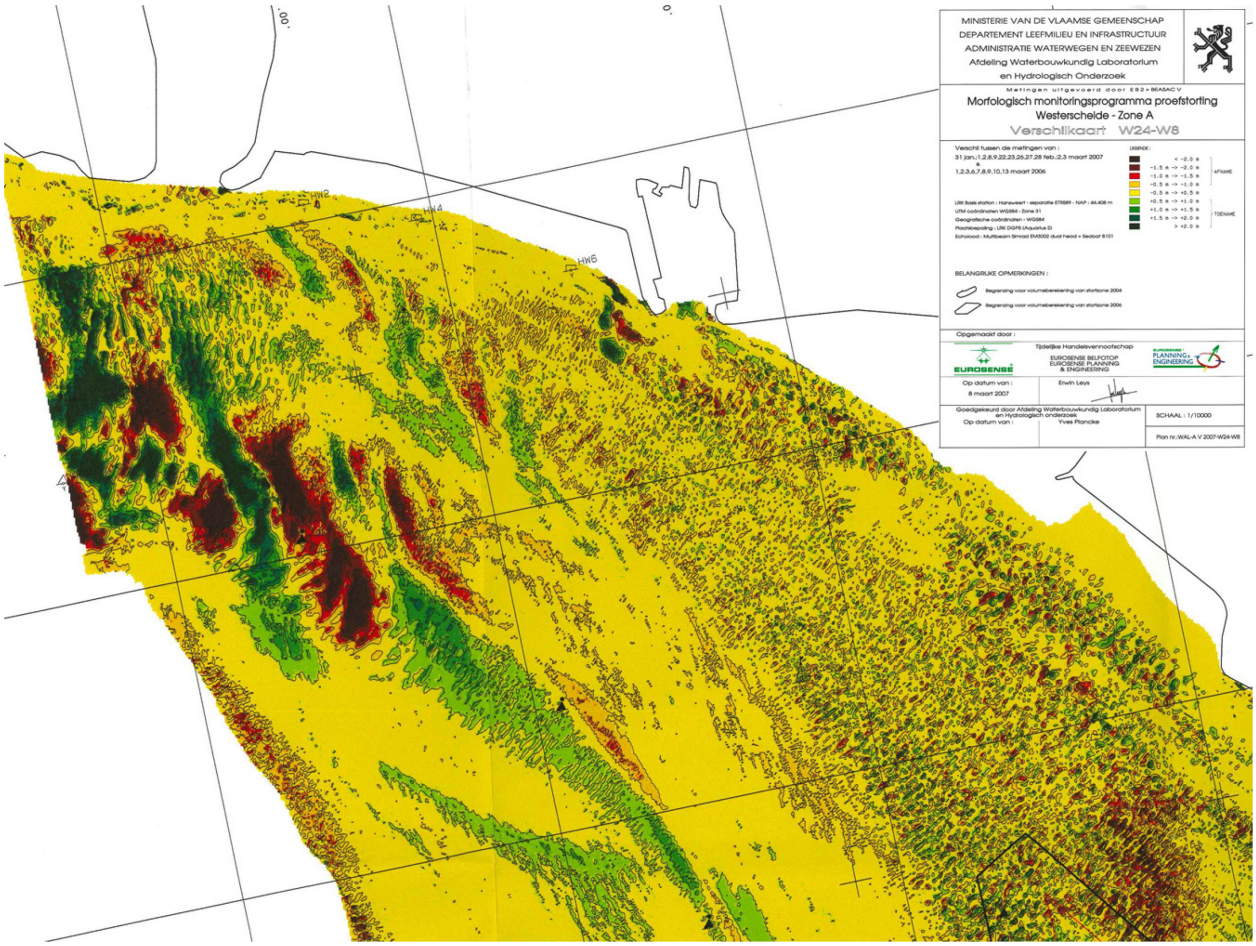
2.1.1 Ligging en morfologie

De proefstortlocatie diepe put van Hansweert is gelegen ter hoogte van de toegang tot het Kanaal door Zuid-Beveland ter hoogte van Hansweert (zie detailkaart in Figuur 1). In het noorden is de locatie begrenst door de oever met geulwandverdediging. Deze harde begrenzing is de hoofdreden van het bestaan van de diepe zone aangezien de laterale migratie van de geul er verhinderd wordt en er alzo een uitschuring in de diepte heeft plaatsgevonden. Ten zuiden van de diepe put ligt de Plaat van Ossenisse die gekenmerkt wordt door een vrij steile rand. De diepe put wordt enerzijds gekenmerkt door een grote dynamiek van bodemvormen en bijbehorend sedimenttransport (Figuur 2), maar blijft anderzijds redelijk stabiel op zijn positie (vaststelling op basis van vaklodingen). De diepte loopt op tot ca. -30m LAT en is daarmee één van de diepste delen in het oostelijk deel van de Westerschelde.

Figuur 1 – Doorsnede en ligging diepe put van Hansweert
bron: (Arcadis, 2015)



Figuur 2 – Verschilkaart februari 2007 – maart 2006 ter hoogte van diepe put van Hansweert



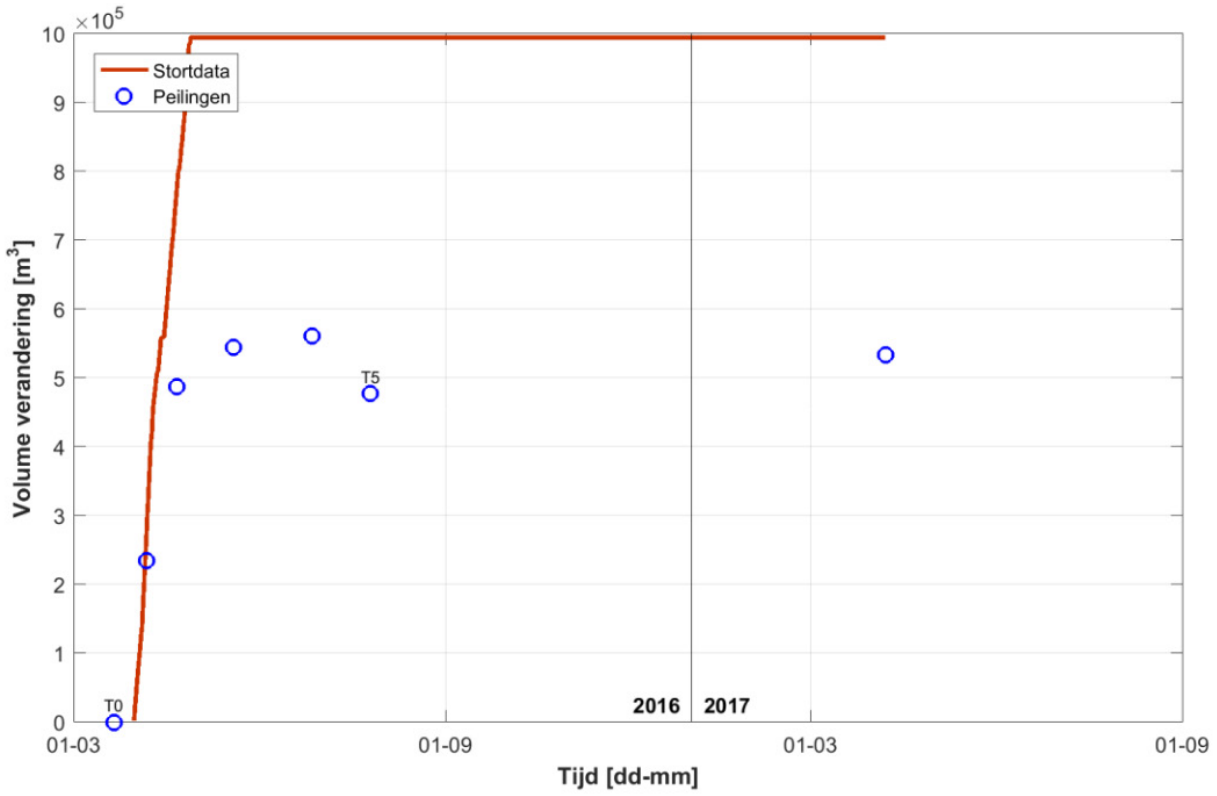
2.1.2 Stortingen en stabiliteit gestorte specie

In 2016 werd in de loop van de maanden maart en april een eerste proefstorting uitgevoerd ter hoogte van de diepe put van Hansweert. Hierbij werd in het kader van het regulier onderhoud van de vaarweg in de Westerschelde 1 Mm³ sediment gestort (“geklept”) met behulp van sleephopperzuigers.

Om de stabiliteit van de gestorte specie te kunnen opvolgen werden multibeam echosounding (MBES) peiling uitgevoerd, voor, tijdens en na de stortcampagne. Binnen een vooraf gedefinieerd controlepolygoon (zwarte contour op Figuur 4) kan dan het sedimentvolume bepaald worden voor elke beschikbare MBES-peiling (IMDC, 2017). Figuur 3 geeft de stabiliteit over één jaar weer van de stortproef uit 2016. De initiële stabiliteit (na het beëindigen van de stortingen) is eerder beperkt (ca. 50%), maar in de daaropvolgende maanden blijft de hoeveelheid sediment die binnen de controlepolygoon wordt teruggevonden, quasi constant. Hierbij moet echt opgemerkt worden dat deze “stabiliteit” niet betekent dat het sediment niet beweegt: Figuur 4 illustreert de dynamiek waaruit blijkt dat het gestorte sediment in het noordelijke deel van het stortvak grotendeels geërodeerd is, terwijl in het zuidelijke deel (tegen de rand van de Plaat van Ossenisse) belangrijke sedimentatie optreedt.

In juli 2017 werd een tweede proefstorting uitgevoerd ter hoogte van de diepe put van Hansweert. Hierbij werd in het kader van het regulier onderhoud van de vaarweg in de Westerschelde opnieuw 1 Mm³ sediment gestort (“geklept”) met behulp van sleephopperzuigers. Voorliggend rapport beschrijft de resultaten van de aanvullende meting die uitgevoerd tijdens deze tweede campagne. De gestorte specie was tijdens de meetdag (20 juli 2017) afkomstig van de naastgelegen drempel van Hansweert. Gedurende de uitgevoerde metingen werd er 3 maal (Tabel 1) gestort door de sleephopperzuiger Sebastiano Caboto.

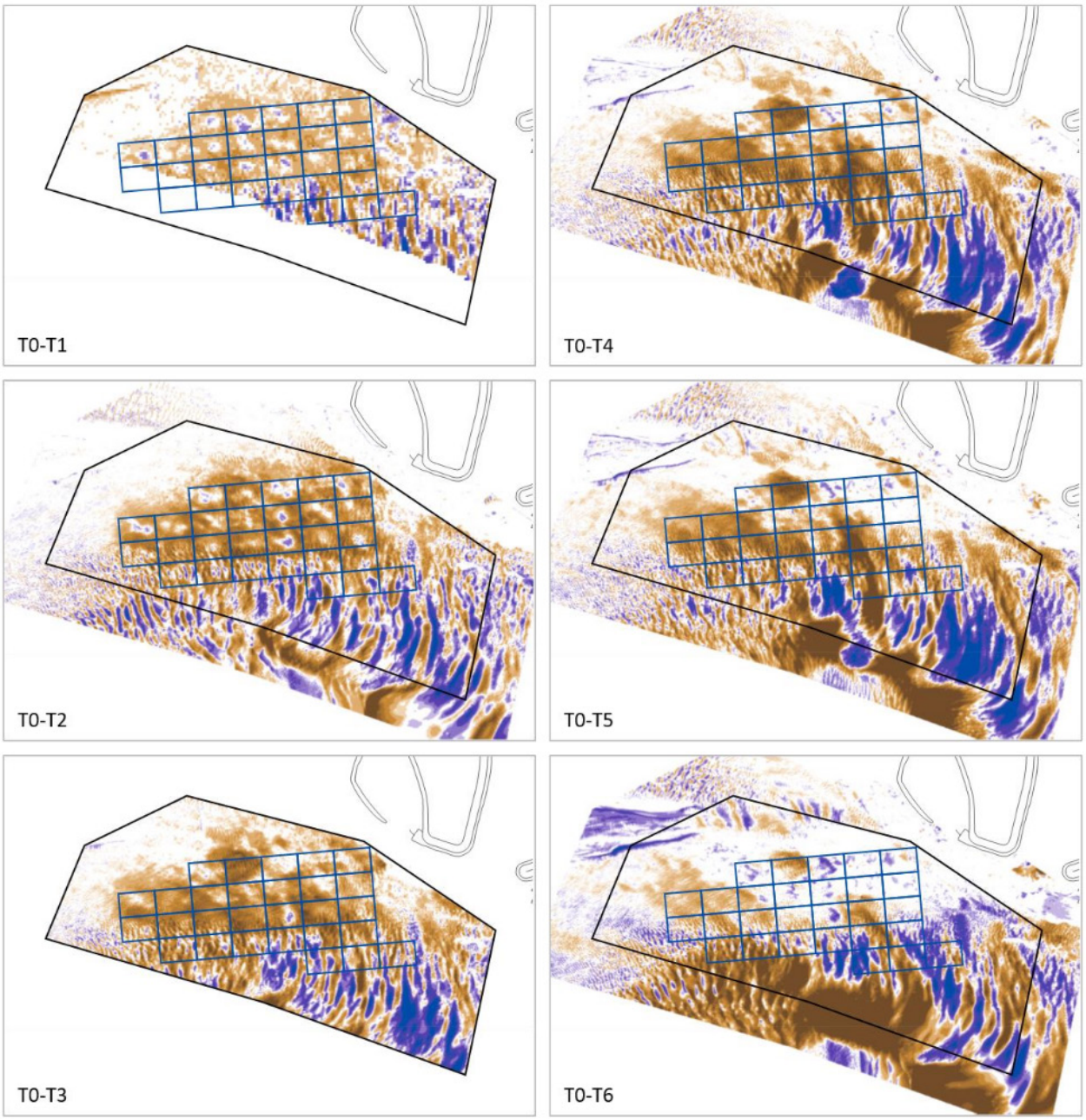
Figuur 3 – Stabiliteit gestorte specie ter hoogte van diepe put van Hansweert voor stortproef 2016
bron: (IMDC, 2017)



Tabel 1 – Overzicht stortingen tijdens meetperiode door Sebastiano Caboto

Tripnummer	Aanvang cyclus [MET]	Aanvang storting [MET]
1781	20/07/2017 09:27:00	20/07/2017 10:45:00
1782	20/07/2017 11:15:00	20/07/2017 12:26:00
1783	20/07/2017 12:45:00	20/07/2017 13:54:00

Figuur 4 – Verschilkaarten MBES peilingen ter hoogte van diepe put van Hansweert voor stortproef 2016
bron: (IMDC, 2017)



Zwarte polygoon = berekeningspolygoon | blauwe rechthoeken = stortvakken
Voor tijdstippen TX voor verwezen naar Figuur 3

2.2 Opzet meetcampagne

De meting richtte zich in eerste instantie op het in beeld brengen van de sedimentverspreiding tijdens en onmiddellijk na het storten van de specie. Hierbij werd telkens stroomafwaarts (landwaarts bij vloed, zeewaarts bij eb) op een afstand van ca. 250m van het stortende baggerschip ter plaatse gebleven en werden stroom- en sedimentmetingen uitgevoerd.

Echter, aangezien de bagger- en stortcyclus tijdens de meetdag ca. 100 minuten in beslag nam, is ervoor gekozen om in de tussentijd aanvullende stromingsmetingen uit te voeren en hiermee de stroming ter hoogte van de diepe put van Hansweert in beeld te brengen. Hierbij werd een dwarsraai gevaren tussen de ingang van het Kanaal door Zuid-Beveland (rechteroever) en de kop van de Plaat van Ossenisse (linkeroever).

De meting vond plaats op 20 juli 2017, met aanvang om 09:45 MET en einde om 14:20 MET. Ze werd uitgevoerd met behulp van het meetschip MS Pierre Petit (DAB Vloot). Binnen deze periode werden drie stortacties (Tabel 1) van 2400-2500 m³ zanderige specie uitgevoerd door de sleephopperzuiger Sebastiano Caboto (trip 1781-1783). Van elke trip werd ook een beunmonster genomen om de korrelverdeling van de gestorte specie te kennen. In totaal werden 27 transecten gemeten (dit kan zowel dwarsprofiel als puntmeting achter stortend baggerschip zijn).

Tabel 2 – Overzicht karakteristieken ADCP

Track	***Type (startpunt)***		***Track***	***Type (startpunt)***		***Track***	***Type (startpunt)***
1	Dwars (LO)		10	Dwars (LO)		19	Dwars (RO)
2	Dwars (RO)		11	Dwars (RO)		20	Punt (stort)
3	Dwars (LO)		12	Dwars (LO)		21	Punt (stort)
4	Dwars (RO)		13	Dwars (RO)		22	Dwars (LO)
5	Dwars (LO)		14	Dwars (mid)		23	Dwars (RO)
6	Dwars (RO)		15	Dwars (RO)		24	Dwars (LO)
7	Dwars (RO)		16	Dwars (LO)		25	Punt (stort)
8	Langs (stort)		17	Dwars (LO)		26	Punt (stort)
9	Punt (stort)		18	Dwars (mid)		27	Dwars (LO)

2.3 Meettechnieken

2.3.1 Stroming

De stroming werd gemeten aan de hand van een Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP). De karakteristieken zijn hieronder weergegeven in Tabel 3

Tabel 3 – Overzicht karakteristieken ADCP

Toesteleigenschappen	
Type	RDI Workhorse Monitor
Frequentie	600 kHz
Configuratie	Down-looking vanaf meetschip
Beam hoek	20°
Aantal beams	4
Snelheidsresolultie	0,1 cm/s
Accuraatheid	0,3%
Ping rate	2 Hz (typical)
Instellingen	
Cel grootte	0,5 m
Eerste cel (midden)	0,8 m
Maximaal bereik	38 m
Ensemble interval	4 s
Pings per ensemble	4

2.3.2 Sedimentconcentratie

De sedimentconcentratie wordt zowel direct (waterstalen) als indirect (akoestische backscatter, zie § 2.4.3) gemeten. De waterstalen werden op regelmatige tijdstippen opgepompt en opgeslagen in flessen van 1000 ml. De sedimentconcentratie werd hierop via filtratie bepaald. Er werd geopteerd om zowel de massa van de zandfractie (filter 63 µm) als van de slibfractie (filter 0,45 µm) te bepalen.

2.3.3 Korrelgrootte

Naast waterstalen voor de sedimentconcentratie, werden er extra stalen genomen waarvan de korrelverdeling werd bepaald. Ook voor de sedimentstalen uit het beun van het baggerschip werd de korrelverdeling bepaald. Dit gebeurt door middel van laserdiffractie met behulp van de Mastersizer 2000 (Malvern Instruments). De analyse wordt uitgevoerd volgens een vastgelegd protocol.

2.4 Verwerking

2.4.1 Validatie metingen

De ADCP geeft resultaten voor het volledige bereik van de cellen. Op basis van de diepte van bodem, bepaald via de bodemdetectie functie (“bottom-track”), werden alle metingen beneden dit niveau verwijderd. Daarnaast werden ook alle metingen (en dit voor alle parameters) met onrealistische waarden (cfr. dummy waarde = -32768) verwijderd.

2.4.2 Transversale component stroming

Aangezien de meting plaatsvond op een locatie waar de stroming een bocht neemt, zal er mogelijks een belangrijke transversale stroming optreden. De verticale component van de stroming wordt direct uit de metingen verkregen via de verwerkingssoftware[1]. De dwarse component werd berekend door de horizontale snelheidscomponent op te splitsen in een component volgens de gemiddelde stromingsrichting van de raai en een component dwars hierop. Het is deze laatste component in combinatie met de verticale component, die gebruikt wordt in het berekenen van de transversale stroomsnelheden.

2.4.3 Sedimentconcentratie op basis van akoestische backscatter

Naast de sedimentconcentratie bepaald op de waterstalen, kan ook de sterkte van het gereflecteerde akoestische signaal (acoustic backscatter – ABS) als maat voor de sedimentconcentratie bepaald worden. Hiervoor dient de gemeten intensiteit van het gereflecteerde signaal gecorrigeerd te worden voor de diepte, geluidsverliezen in het water en absorptie door het sediment. De methodiek die binnen voorliggend rapport is gebruikt is analoog aan deze van (Landers *et al.*, 2016), waarbij de sedimentabsorptiecoëfficiënt volgens de hybride manier (Urick en Sheng and Hay) werd bepaald.

In dit rapport wordt zowel de sedimentconcentratie over het volledige bemeten diepte-profiel gepresenteerd als een diepte-gemiddelde waarde. De diepte-gemiddelde waarde werd bekomen door het gemiddelde te nemen van alle metingen over een verticaal profiel, zonder extrapolatie naar de niet-bemeten zones nabij de wateroppervlak en de bodem.

[1] In eerste instantie werd WinADCP gebruikt. Aangezien de richting verkregen uit WinADCP anomalieën vertoonden, werd een bijkomende export gegenereerd via WinRiver II die deze anomalieën niet vertoonde. De overige geëxporteerde waarden bleken identiek tussen beide softwarepakketten.

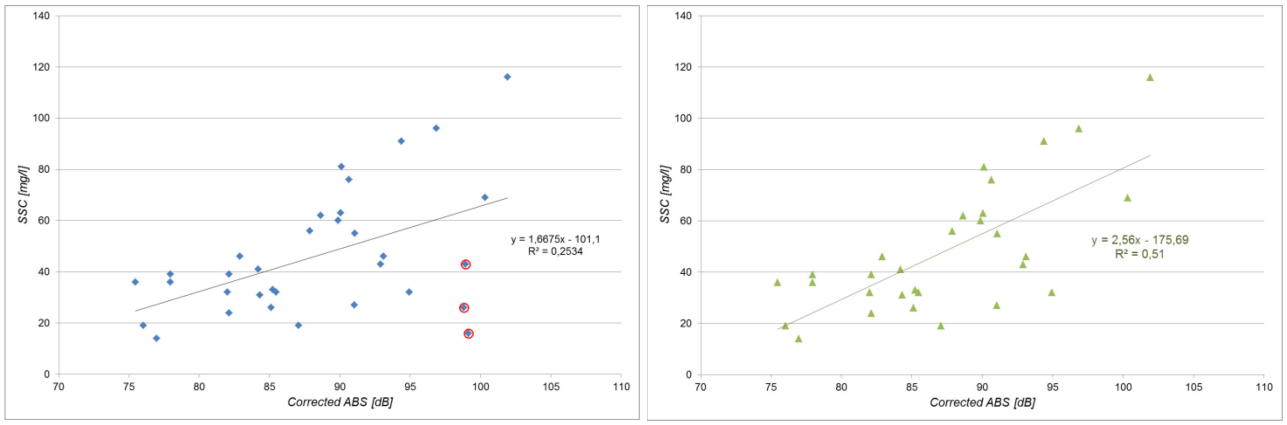
3 Resultaten sedimentverspreiding

3.1 Sedimentconcentratie op basis van ABS

Alvorens de sedimentconcentratie kan afgeleid worden uit de akoestische backscatter van de ADCP dient het ontvangen signaal gecorrigeerd te worden voor een aantal factoren (zie § 2.4.3) en dient daarnaast het gecorrigeerde ABS signaal omgerekend worden naar een sedimentconcentratie. Dit gebeurt aan de hand van de waterstalen die op een bepaalde diepte werden genomen gedurende de meting op eenzelfde tijdstip. Figuur 5 toont deze relatie. Wanneer alle stalen in beschouwing worden genomen, is een redelijke spreiding waar te nemen die aanleiding geeft tot een zwakke relatie tussen de gecorrigeerde ABS en de sedimentconcentratie van de waterstalen.

Een aantal (3) punten hebben een lage sedimentconcentratie (< 50 mg/l) terwijl de gecorrigeerde ABS hoog ligt (> 95 dB). De staalname voor deze 3 punten gebeurde enkele minuten na de derde storting, wanneer ook hogere sedimentconcentraties werden gemeten in de waterstalen. Deze lagere concentraties zijn eerder onverwacht, en hoewel er geen aantoonbare reden is dat deze staalnames niet goed zouden gebeurd zijn, werd een tweede relatie opgesteld waarbij deze punten (“uitschieters”) weggelaten werden. Hoewel de spreiding nog steeds aanwezig is, geeft dit toch een aanzienlijke verbetering in de R^2-waarde (toename van 0,25 naar 0,51). Deze tweede relatie (zonder uitschieters) werd dan ook toegepast in de omrekening van gecorrigeerde ABS naar sedimentconcentratie.

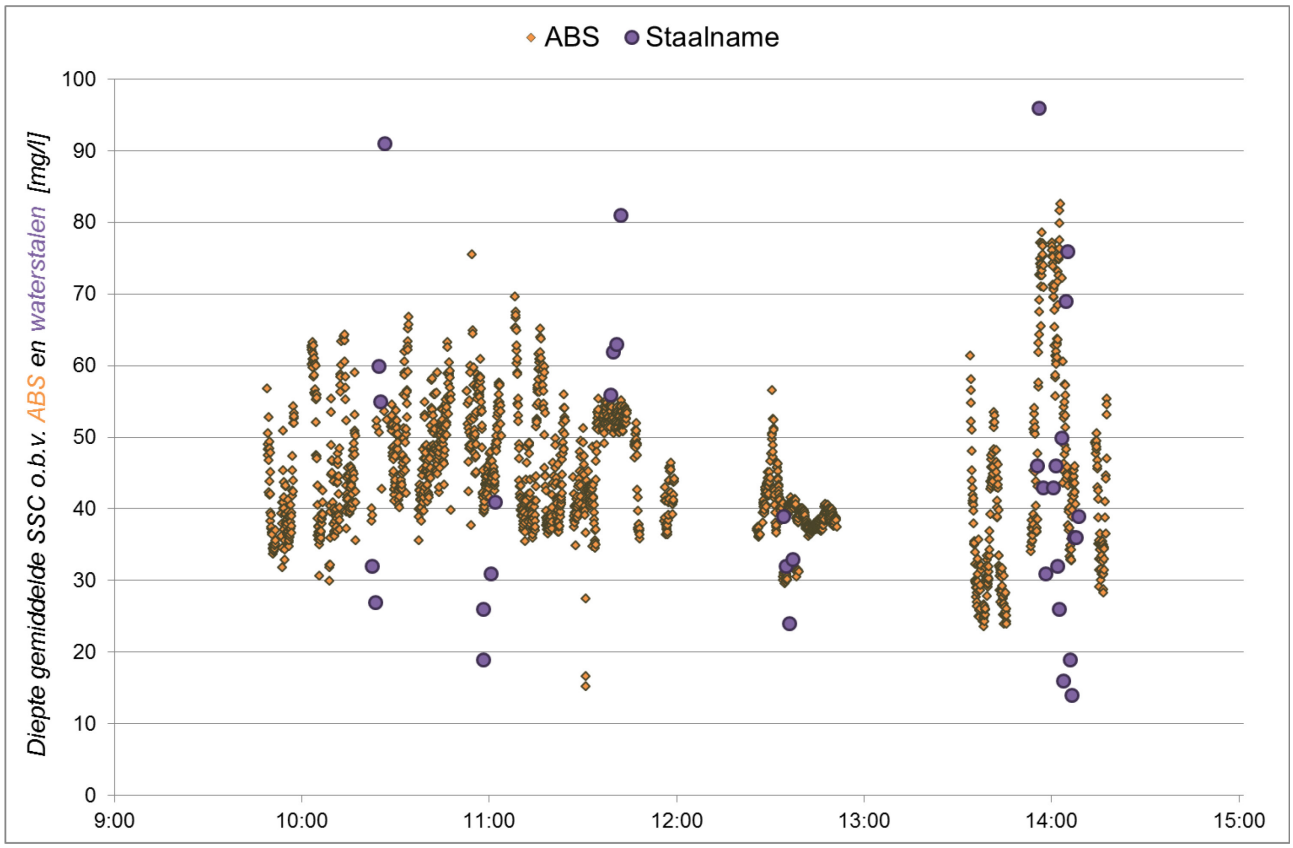
Figuur 5 –Relatie gecorrigeerde akoestische backscatter – sedimentconcentratie.



Links: correlatie met alle punten, hier worden 3 uitschieters gemarkeerd | rechts: correlatie zonder de gemarkeerde uitschieters.

Figuur 6 geeft het verloop weer van de diepte-gemiddelde sedimentconcentratie op basis van de gecorrigeerde ABS en de sedimentconcentratie van de verschillende waterstalen (genomen op één diepte).

Figuur 6 –Verloop tijdens de meetdag van SSC op basis van de gecorrigeerde ABS en de SSC uit de pompstalen



3.2 Korrelgrootte

Tabel 4 geeft een overzicht van de karakteristieke diameters van het gestorte sediment voor de verschillende trips. Hieruit blijkt dat bij de 3 verschillende trip gelijkaardig sediment werd gebaggerd en gestort, nl. fijn zand met een mediane korreldiameter (D50) van 180 à 190 µm. Er bleek tevens geen fijne fractie (< 63 µm) aanwezig te zijn in de verschillende sedimentstalen uit het beun van het baggerschip.

Aangezien het staal werd genomen bovenaan het beun, dient opgemerkt te worden dat de fijne fractie hier mogelijks is uitgewassen en dat lager in het beun nog wel fijnere sedimenten aanwezig zijn.

Tabel 4 – Overzicht korrelgrootte (in µm) van gestort sediment voor verschillende trips

Tripnummer	D10 [µm]	D35 [µm]	D50 [µm]	D65 [µm]	D90 [µm]	< 63 µm [%]
1781	123	162	183	206	271	0
1782	122	160	181	204	268	0
1783	128	169	191	217	286	0

Tabel 5 geeft een overzicht van de karakteristieke diameters van de waterstalen op verschillende tijdstippen gedurende de meetcampagne. Hieruit blijkt dat de mediane korreldiameter (D50) aanzienlijk fijner is dan het gestorte sediment (D50 ~ 15 µm) en dat de fijne fractie (< 63 µm) dominant was in de alle stalen (75 tot 95%).

Aangezien de waterstalen ongeveer halverwege in de waterkolom werden genomen, is het mogelijk dat dichter bij de bodem ook grovere sediment wordt getransporteerd.

Tabel 5 – Overzicht korrelgrootte (in µm) van waterstalen

Tijdstip [MET]	D10 [µm]	D35 [µm]	D50 [µm]	D65 [µm]	D90 [µm]	< 63 µm [%]
10:45	Aanvang storting TRIP 1781					
11:01	3	9	14	24	83	86
11:40	3	9	13	23	100	84
11:42	4	11	18	34	145	75
12:26	Aanvang storting TRIP 1782					
12:34	4	10	15	22	54	93
12:37	4	10	14	21	52	94
13:54	Aanvang storting TRIP 1783					
13:56	4	9	13	21	90	87
14:03	4	11	16	24	63	90
14:08	4	11	17	25	59	92

3.3 Verloop sedimentconcentratie bij stortingen

Het verloop van de waterstand te Hansweert en de diepte-gemiddelde stroomsnelheid voor alle gevaren raaien wordt weergegeven in Figuur 14; Hier wordt verder op ingegaan in Hoofdstuk 4. In volgende paragrafen wordt ingegaan op het verloop van de sedimentconcentratie tijdens en na de uitgevoerde stortingen tijdens de meetcampagne.

3.3.1 Storting 1

De eerste storting tijdens de meetcampagne vond plaats ongeveer 75 minuten voor het moment van hoogwater, wanneer de vloedstroming nog sterk aanwezig was (ca. 110 cm/s). Figuur 7 geeft het verloop in de tijd weer van de sedimentconcentratie, afgeleid uit de ABS, voor, tijdens en na de eerste storting. Figuur 9 geeft een zelfde type tijdsverloop voor de diepte-gemiddelde sedimentconcentratie.

Raai 8 werd gestart nabij Hansweert, waarna naar het stortende baggerschip toe werd gevaren (zie Figuur 18), terwijl voor raai 9 stroomafwaarts (in casu bij vloed dus “landwaarts”) van het stortende baggerschip ter plaatse werd gebleven. Tijdens het storten en direct na het storten is het akoestische signaal van de ADCP onbruikbaar (zie einde van raai 8). Potentiële oorzaken zijn:

- Akoestische verstoring door weerkaatsing op gasbellen:
    - Door gasbellen gebonden aan de baggerspecie

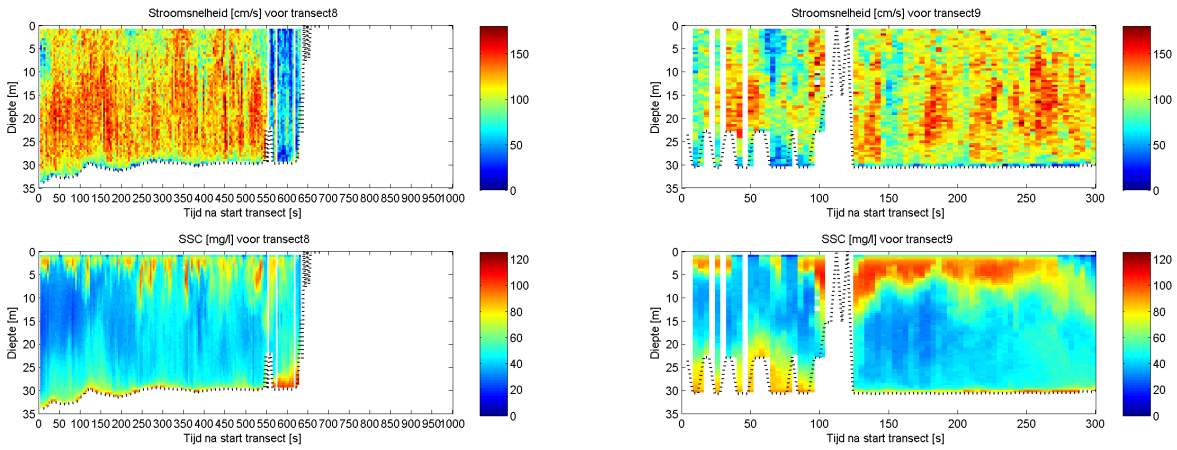
  - Door gasbellen ontstaan door schroefwater van het schip (oppervlakte lucht-water mengsel en cavitatie)
- Te hoge sediment concentraties waardoor het ADCP signaal niet kan penetreren

Voor raai 9 is er nabij de bodem (0 tot 100 s na start meetraai) een verhoogde sedimentconcentratie waar te nemen. Vermoedelijk is deze verhoging nabij de bodem gerelateerd aan het transport van het gestorte sediment. In de diepste delen bleek het akoestische signaal regelmatig weg te vallen waardoor de eventuele verhoging nabij de bodem niet volledig in beeld kon worden gebracht.

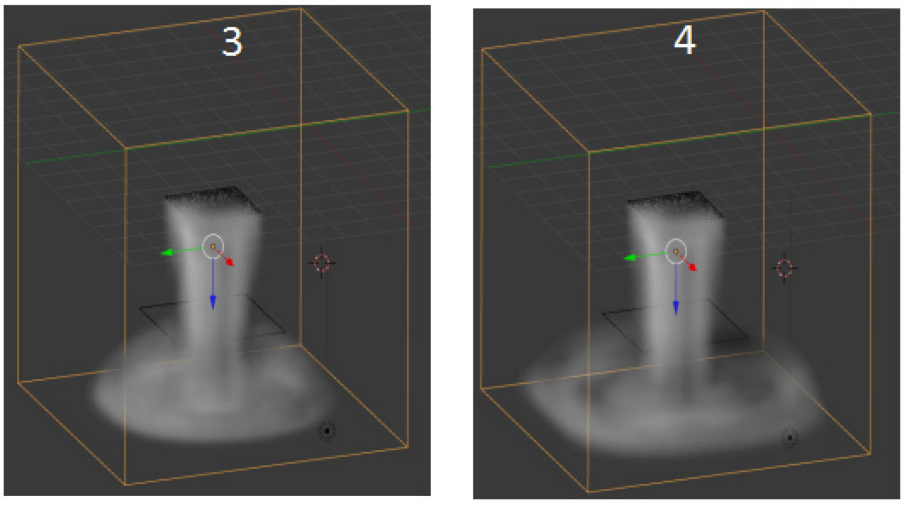
Vanaf 100 s is er ook een verhoogde sedimentconcentratie nabij het wateroppervlak waar te nemen. Deze kan toegeschreven worden aan het naspoelen van het beun, het manoeuvreren van het baggerschip (diepteligging van het lege baggerschip van ca. 5 m onder het wateroppervlak) en het opwoelen van het gestorte sediment (zie Figuur 8) waardoor sediment en turbulentie in de waterkolom terecht komt.

De diepte-gemiddelde sedimentconcentratie vertoont weliswaar een variatie van ca. 20 mg/l, doch deze variatie was ook reeds aanwezig voor aanvang van de storting.

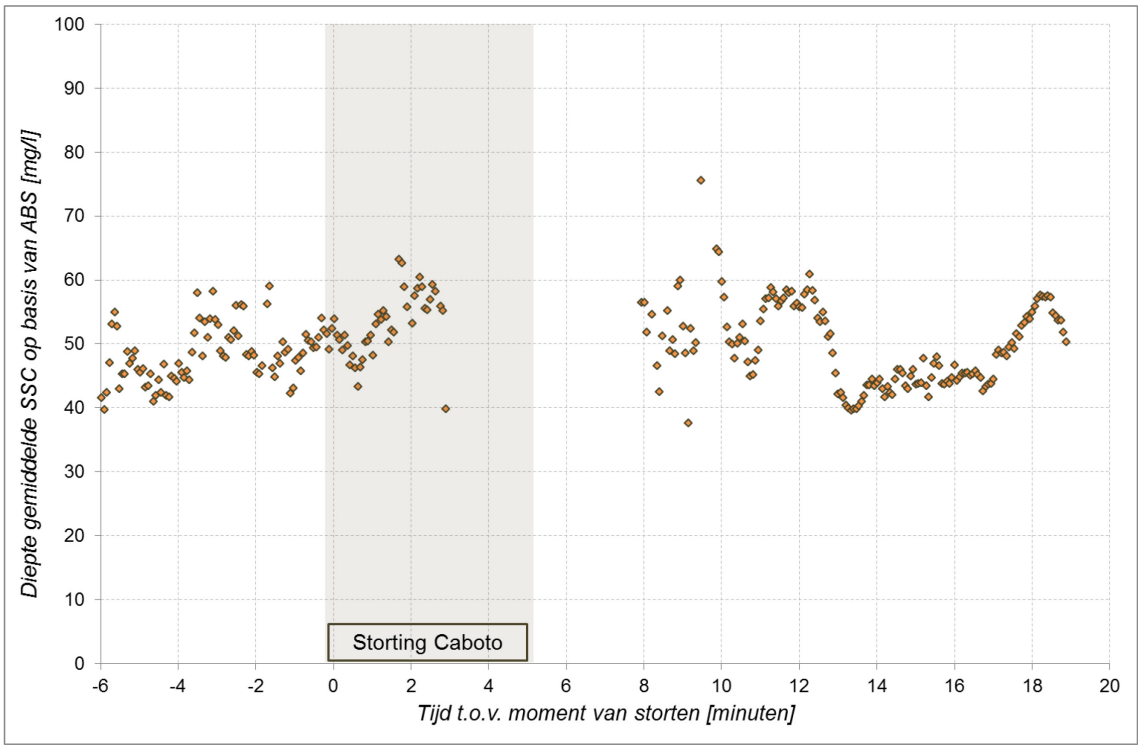
Figuur 7 – Verloop van de sedimentconcentratie (op basis van ABS) bij eerste storting voor meetraai 8 (links) en 9 (rechts)
De storting vond plaats om ca. 450 s na aanvang van meetraai 8 en 8 minuten voor aanvang van meetraai 9.



Figuur 8 – Illustratie van sedimentverplaatsing bij storten



Figuur 9 –Verloop diepte-gemiddelde sedimentconcentratie (op basis van ABS) bij eerste storting

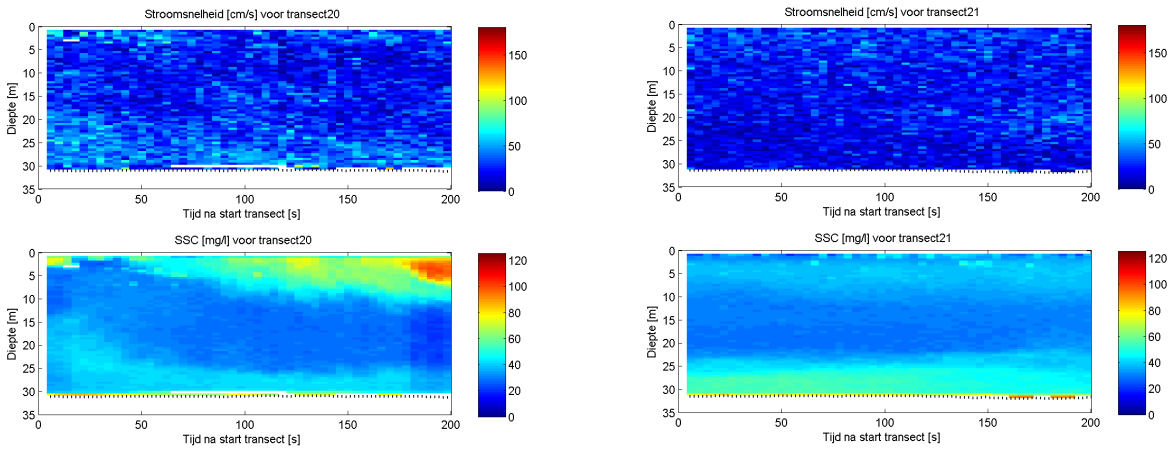


3.3.2 Storting 2

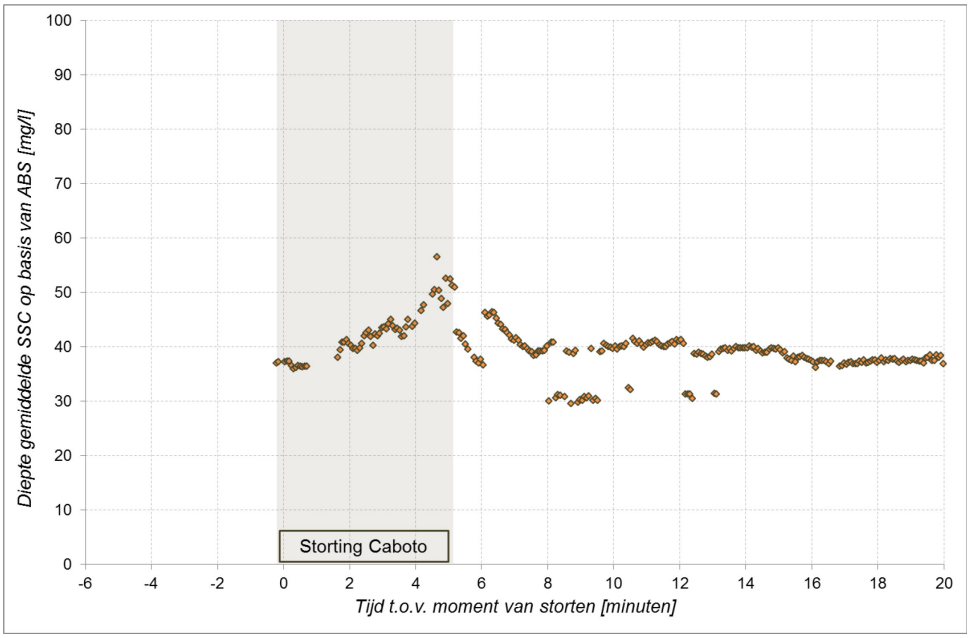
De tweede storting vond plaats ongeveer 30' na hoogwater, en dus omstreeks de kentering met zeer lage stroomsnelheden (ca. 25 cm/s). Figuur 10 en Figuur 11 (diepte-gemiddelde) geeft het verloop weer in de tijd van de sedimentconcentratie, afgeleid uit de ABS, voor, tijdens en na de eerste storting.

Bij zowel raai 20 als 21 werd de meting uitgevoerd stroomafwaarts van het stortende baggerschip (zie Figuur 20 en Figuur 21), waarbij het meetschip ter plaatse bleef. In raai 20 is er een verhoging van de sedimentconcentratie nabij het wateroppervlak te zien tijdens het storten, terwijl raai 21 een lichte toename toont nabij de bodem (in vergelijking met de periode voor de storting). De diepte-gemiddelde sedimentconcentratie is quasi constant (40 mg/l), met een licht toename tot 50 mg/l net na de storting.

Figuur 10 –Verloop van de sedimentconcentratie (op basis van ABS) bij eerste storting voor meetraai 20 (links) en 21 (rechts)
De storting vond plaats bij aanvang meetraai 20.



Figuur 11 –Verloop diepte-gemiddelde sedimentconcentratie (op basis van ABS) bij tweede storting

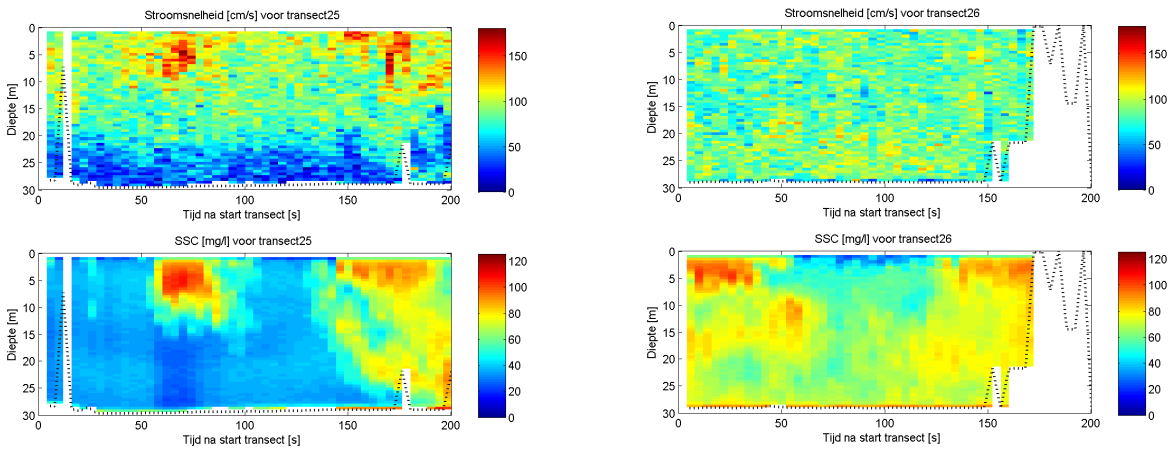


3.3.3 Storting 3

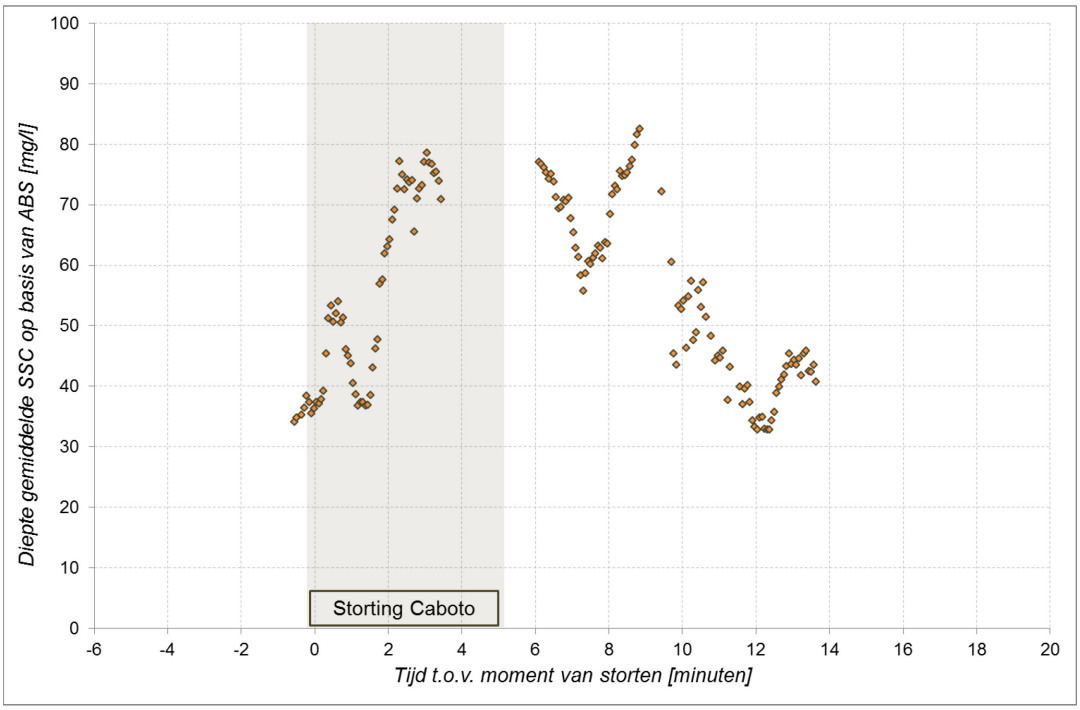
De derde storting tijdens de meetcampagne vond plaats ongeveer 120’ na hoogwater, wanneer de ebstroming redelijk sterk was (ca. 85 cm/s). Figuur 12 en Figuur 13 (diepte-gemiddelde) geeft het verloop weer in de tijd van de sedimentconcentratie, afgeleid uit de ABS, voor, tijdens en na de eerste storting.

Bij zowel raai 25 als 26 werd de meting uitgevoerd stroomafwaarts (in casu bij eb dus “zeewaarts”) van het stortende baggerschip (zie Figuur 21 en Figuur 22), waarbij het meetschip ter plaatse bleef. Voor raai 25 is er 2 minuten na aanvang de storting (150 s na aanvang van de meting) een verhoogde sedimentconcentratie waar te nemen over de volledige diepte. Dit zet zich ook door in raai 26. Vermoedelijk is deze verhoging gerelateerd aan het transport van het gestorte sediment. Ook in de diepte-gemiddelde sedimentconcentratie komt de verhoging duidelijk tot uiting: vlak voor de storting ligt de concentratie rond 30-40 mg/l terwijl deze tijdens tot een 5-tal minuten na de storting toeneemt tot 60-80 mg/l om vervolgens terug af te nemen tot 30-40 mg/l (raai 27).

Figuur 12 –Verloop van de sedimentconcentratie (op basis van ABS) bij de derde storting voor meetraai 25 (links) en 26 (rechts)
De storting vond plaats tijdens meetraai 20.



Figuur 13 –Verloop diepte-gemiddelde sedimentconcentratie (op basis van ABS) bij derde storting



3.4 Conclusie

Op basis van de uitgevoerde metingen van de sedimentconcentratie tijdens en het storten van sediment ter hoogte van de diepe put van Hansweert, kan er een tijdelijke verhoging van de sedimentconcentratie worden vastgesteld. Dit impliceert dat een deel van het gestorte sediment niet onmiddellijk op de bodem terecht komt, maar over een bepaalde afstand wordt getransporteerd.

Op basis van de uitgevoerde metingen, kan een eerste inschatting worden gemaakt van de hoeveelheid sediment die tijdens en onmiddellijk na de storting wordt getransporteerd. Hiervoor worden volgende aannames gedaan, gebaseerd op de meting tijdens de derde storting:

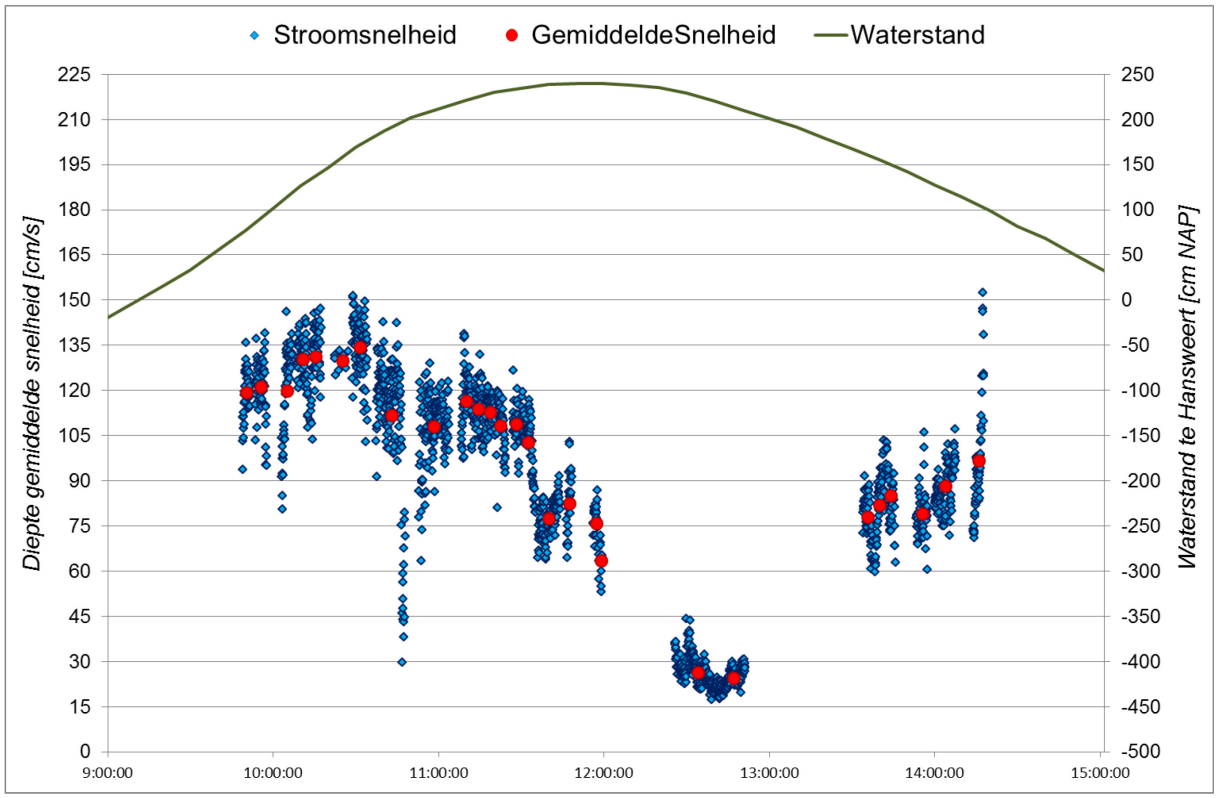
- Gemiddelde diepte: 30 m
- Diepte-gemiddelde snelheid: 80 cm/s
- Diepte-gemiddelde sedimentconcentratie:
    - Voor storting: 30 mg/l
    - Tijdens en na storting: 80 mg/l
- Duur van verhoging in sedimentconcentratie: 10 minuten
- Breedte van getransporteerde sediment pluim: 100 m (~ 5 x breedte van het baggerschip)
- Porositeit in beun van het schip: 0,7

Op basis van deze aannames, wordt over de periode waarin verstoring optreedt, ca. 72 ton sediment getransporteerd, wat overeenkomt met ca. 3,5% van het gestorte volume. Hierbij moet de kanttekening gemaakt worden dat het gaat om een ruwe inschatting, waarbij de sedimenttransporten in de daaropvolgende periode niet wordt beschouwd, alsook dat de inschatting gebaseerd is op een verhoging in sedimentconcentratie in de waterkolom en dus de processen nabij de bodem (zone van minstens 150 cm werd niet bemeten (side-lobe effect). Hier wordt een toename verwacht in het sedimenttransport) niet worden meegenomen. Indien dit in beeld dient te worden gebracht zijn aanvullende metingen noodzakelijk.

4 Resultaten stroming

Figuur 14 geeft het verloop weer van de diepte-gemiddelde stroomsnelheid en waterstand te Hansweert gedurende de meetcampagne. Daarnaast wordt ook de gemiddelde stroomsnelheid per raai weergegeven (in rood). Hoewel de stroomsnelheden variëren over de gevaren raaien, geeft de gemiddelde stroomsnelheid een goed beeld van de variatie die optreedt gedurende een dele van de getijcyclus: de hoogste waarden treden op ca. 90' voor hoogwater; 30' na hoogwater vallen de stroomsnelheden terug ("kentering") om vervolgens terug toe te nemen bij het begin van de ebfase.

Figuur 14 –Verloop diepte-gemiddelde stroomsnelheid en waterstand gedurende de meetcampagne



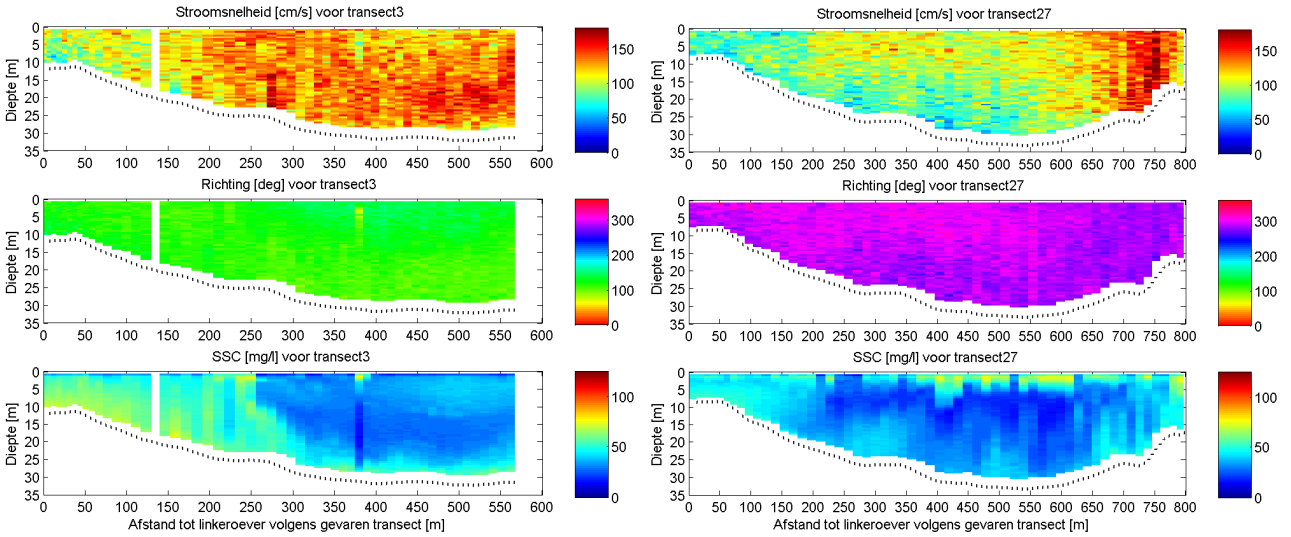
Bijlage B – stroming en sedimentconcentraties op de gevaren raaien toont de variatie van de stroomsnelheidsgrootte, -richting en sedimentconcentratie voor de verschillende gevaren dwarsraaien. Hierbij moet opgemerkt wordt dat enkel een eerste snelle validatie is uitgevoerd (zie § 2.4.1). Verstoring te wijten aan de aanwezigheid van luchtbellen en/of verhoogde turbulentie, o.a. door passerende schepen, werden niet verwijderd. Bij de interpretatie van de metingen dient hier rekening mee gehouden te worden. Daarnaast traden er tijdens de uitvoering van de meetcampagne technische problemen op waardoor de PC regelmatig blokkeerde. Dit zorgde ervoor dat een groot aantal raaien niet volledig kom gemeten worden en dat slechts informatie voor een deel van de volledige raai (totale lengte ca. 800 m) kon worden ingewonnen.

Figuur 15 geeft ter illustratie het beeld weer van de stroomsnelheidsgrootte, -richting en sedimentconcentratie voor een gevaren meetraai bij vloed (transect 3) en eb (transect 27). Hieruit kan afgeleid worden dat bij vloed de stroomsnelheid redelijk uniform is over de breedte van raai. Over de

verticale treden de hoogste stroomsnelheden op in het midden van de waterkolom. Dit komt overeen met de eerdere vaststelling uit metingen ter hoogte van de diepe put van Borssele (Svasek Hydraulics, 2013). De hoogste sedimentconcentraties treden op langs de noordrand van de Plaat van Ossenisse.

Bij eb zit de maximale stroming geconcentreerd langs de rechteroever, ter hoogte van de harde oeverbegrenzing nabij Hansweert. De hoogste sedimentconcentraties treden, net zoals in de vloedfase, op langs de noordrand van de Plaat van Ossenisse.

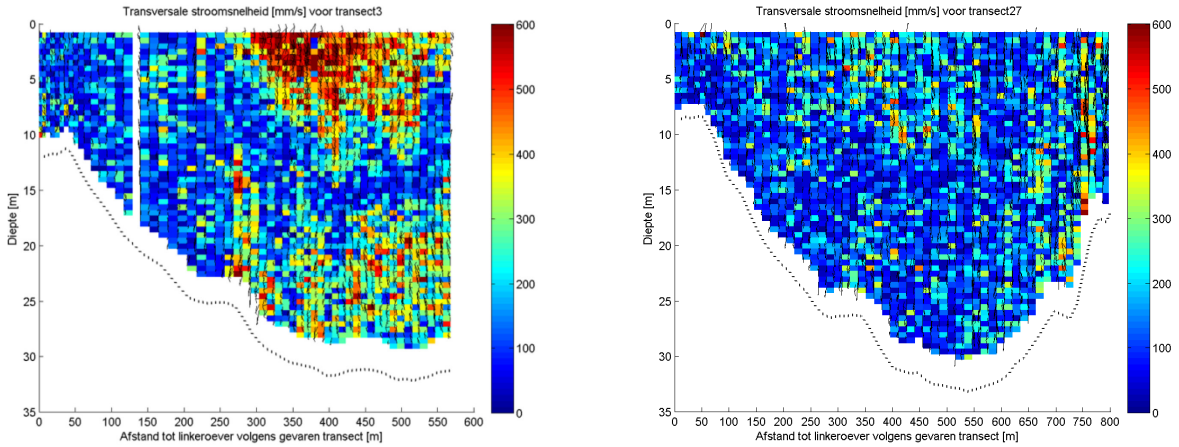
Figuur 15 – Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 3 (vloedfase - links) en raai 27 (ebfase - rechts)



Bijlage C – transversale component van de stroming op de gevaren dwarsraaien presenteert ten slotte de transversale component van de stroming voor de verschillende gevaren dwarsraaien.

Figuur 16 geeft ter illustratie het beeld weer van deze component voor een gevaren meetraai bij vloed (transect 3) en eb (transect 27). Hieruit kan afgeleid worden dat bij vloed de transversale component sterker is dan bij eb, wat sowieso te wijten is aan een verschil in de magnitude (van de langscomponent) van de stroomsnelheid (120 cm/s ⇔ 90 cm/s). Bij raai 3 is duidelijk de helicoïdale stroming waar te nemen typisch voor bochten: nabij de bodem een component naar de binnenkant van de bocht (kant Plaat van Ossenisse), nabij het wateroppervlak een component naar de buitenkant van de bocht (kant Hansweert).

Figuur 16 – Gemeten transversale component van de stroming voor raai 3 (vloedfase - links) en raai 27 (ebfase - rechts)



5 Referenties

Arcadis. (2015). PASSENDE BEOORDELING EN NATUURTOETS GEBRUIK PROEFSTORTLO CATIES VAARGEULONDERHOUD WESTERSCHELDE

IMDC. (2017). Maandrapport Flexibel Storten april-mei 2017

Landers, M.N.; Straub, T.D.; Wood, M.S.; Domanski, M.M. (2016). Sediment Acoustic Index Method for Computing Continuous Suspended-Sediment Concentrations. *U.S. Geol. Surv. Tech. Methods, B. 3, Chap. C5*. ISBN 9781411340619. Available at: http://pubs.usgs.gov/tm/03/c05/tm3c5.pdf

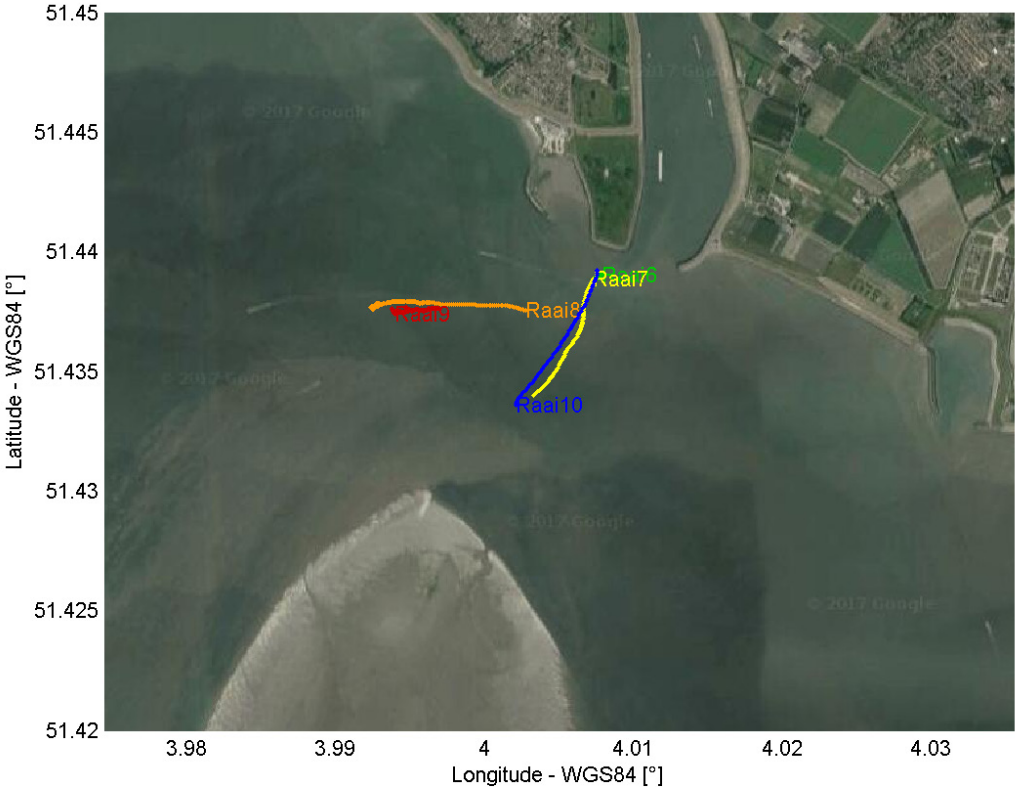
Svasek Hydraulics. (2013). Actualisatie van het FINEL2d model van de Westerschelde ten behoeve van Lange Termijn Visie Schelde-estuarium, Veiligheid en Toegankelijkheid (Achtergrondrapport A-26)

Bijlage A – ligging gevaren raaien

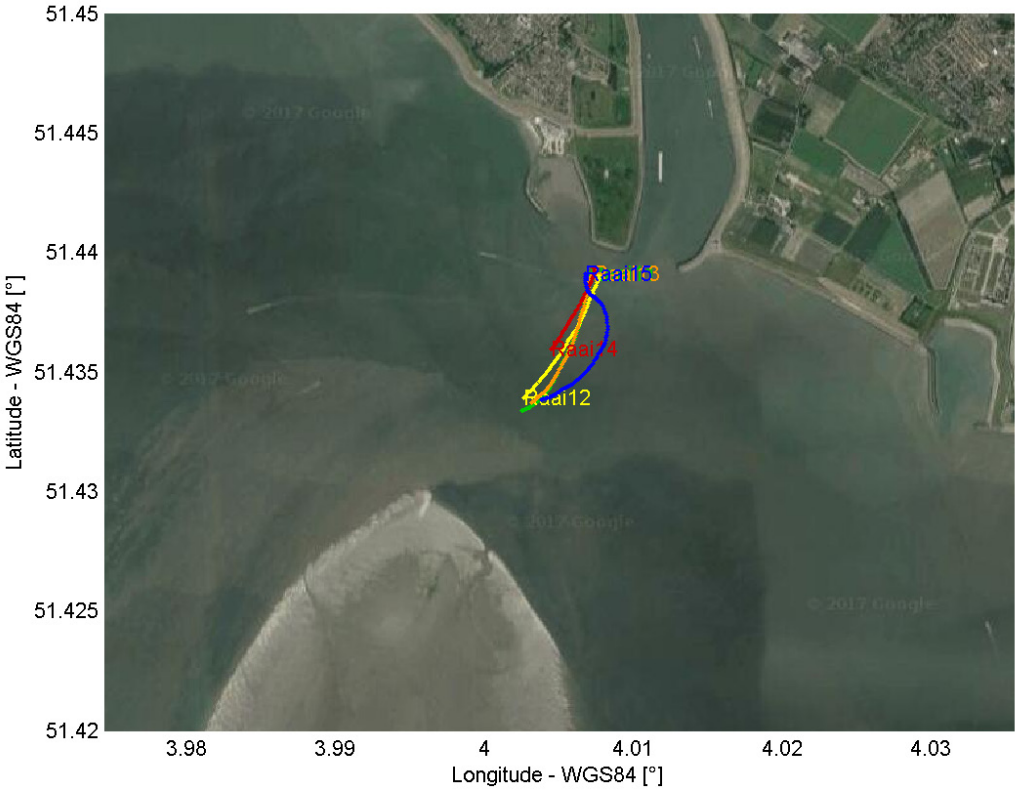
Figuur 17 –Ligging gevaren raaien (raai 1 tot en met 5)



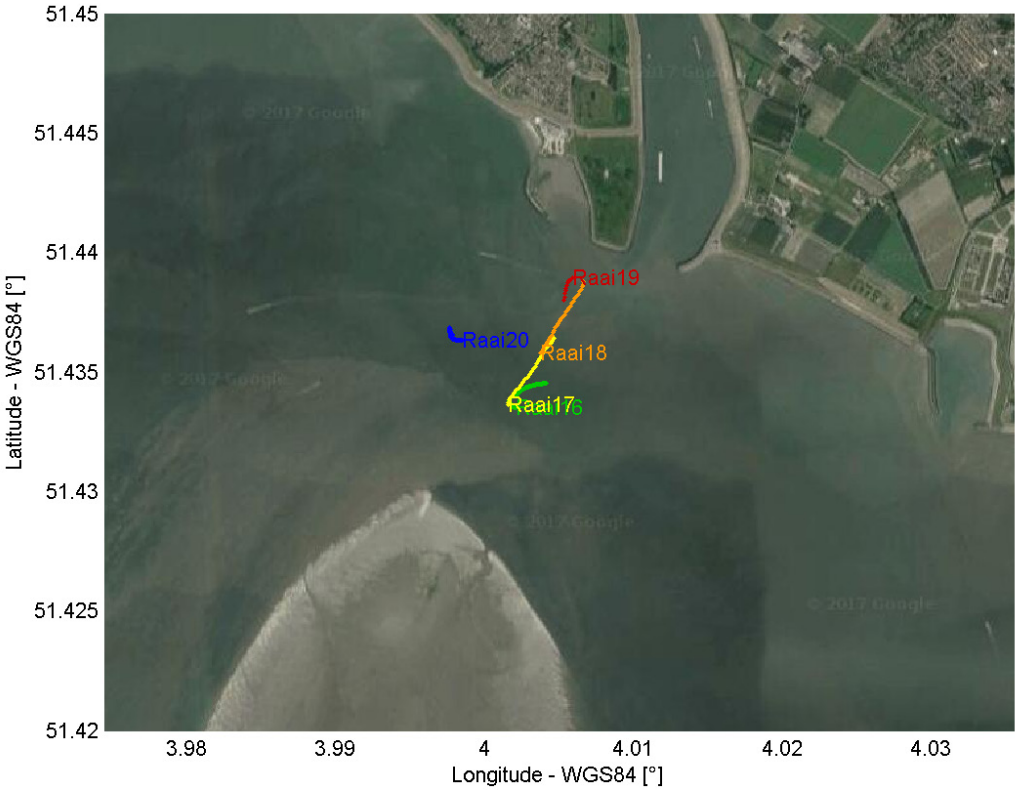
Figuur 18 –Ligging gevaren raaien (raai 6 tot en met 10)



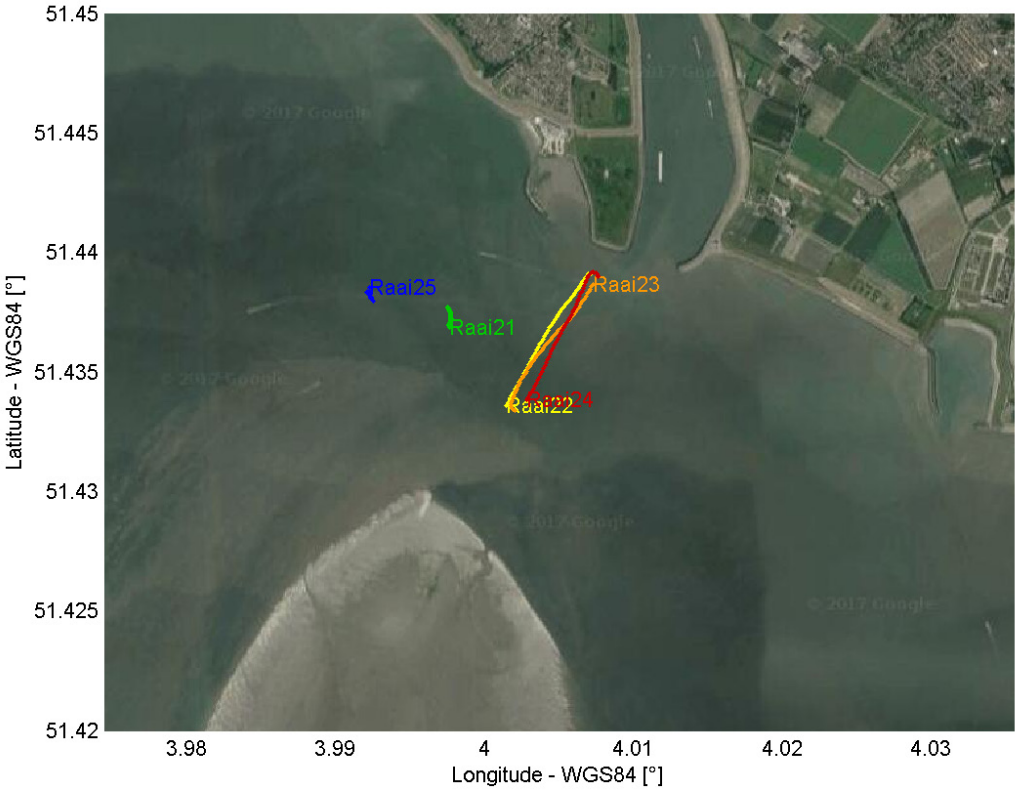
Figuur 19 –Ligging gevaren raaien (raai 11 tot en met 15)



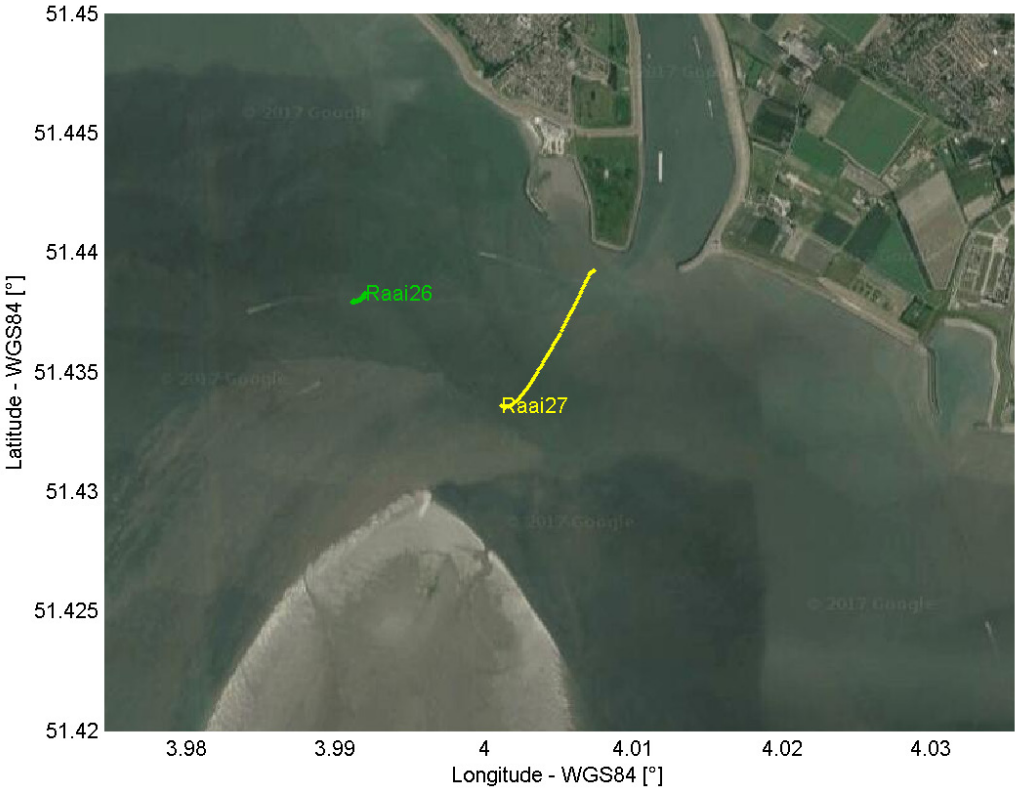
Figuur 20 –Ligging gevaren raaien (raai 16 tot en met 20)



Figuur 21 –Ligging gevaren raaien (raai 21 tot en met 25)

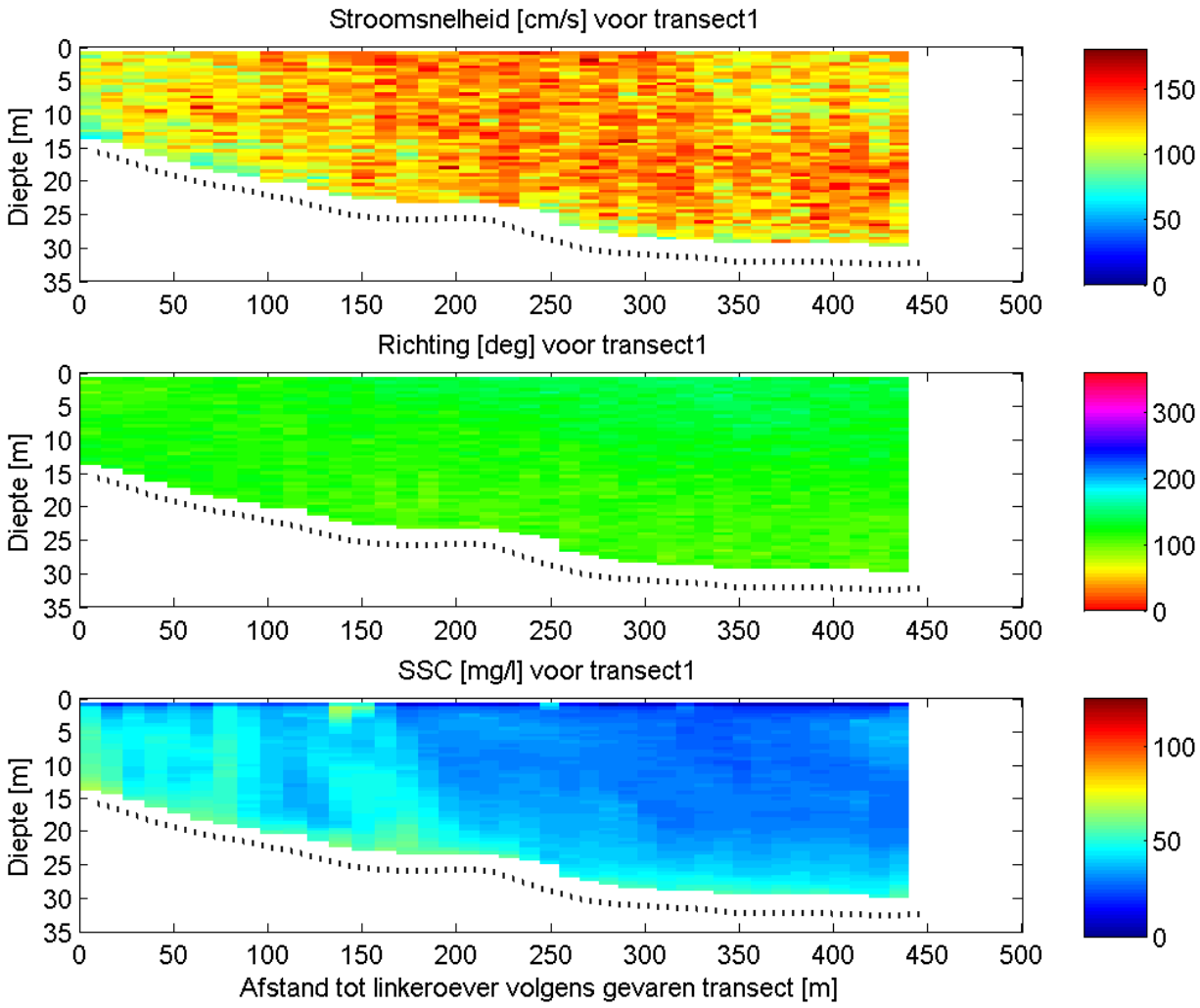


Figuur 22 –Ligging gevaren raaien (raai 26 tot en met 27)

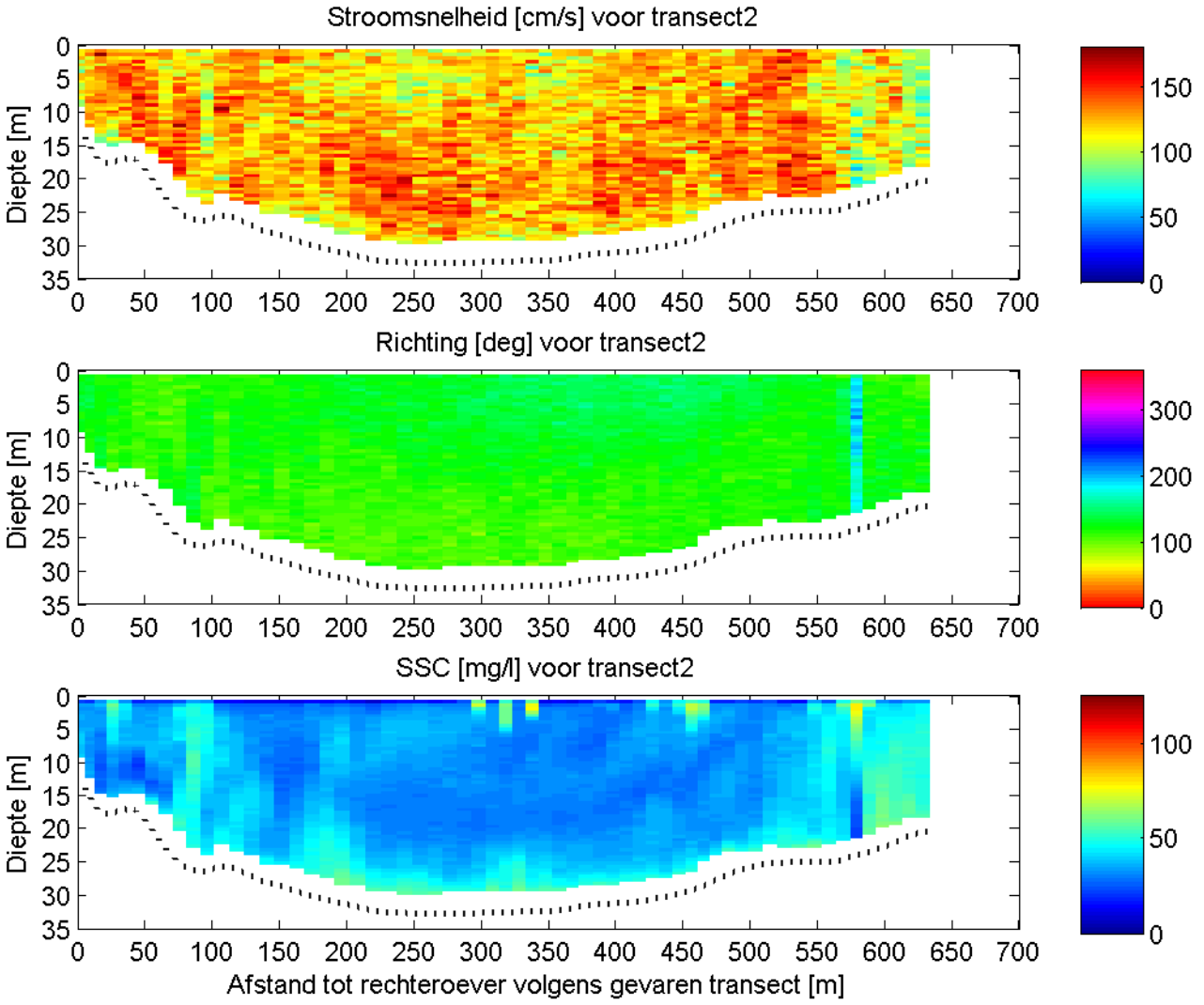


Bijlage B – stroming en sedimentconcentraties op de gevaren raaien

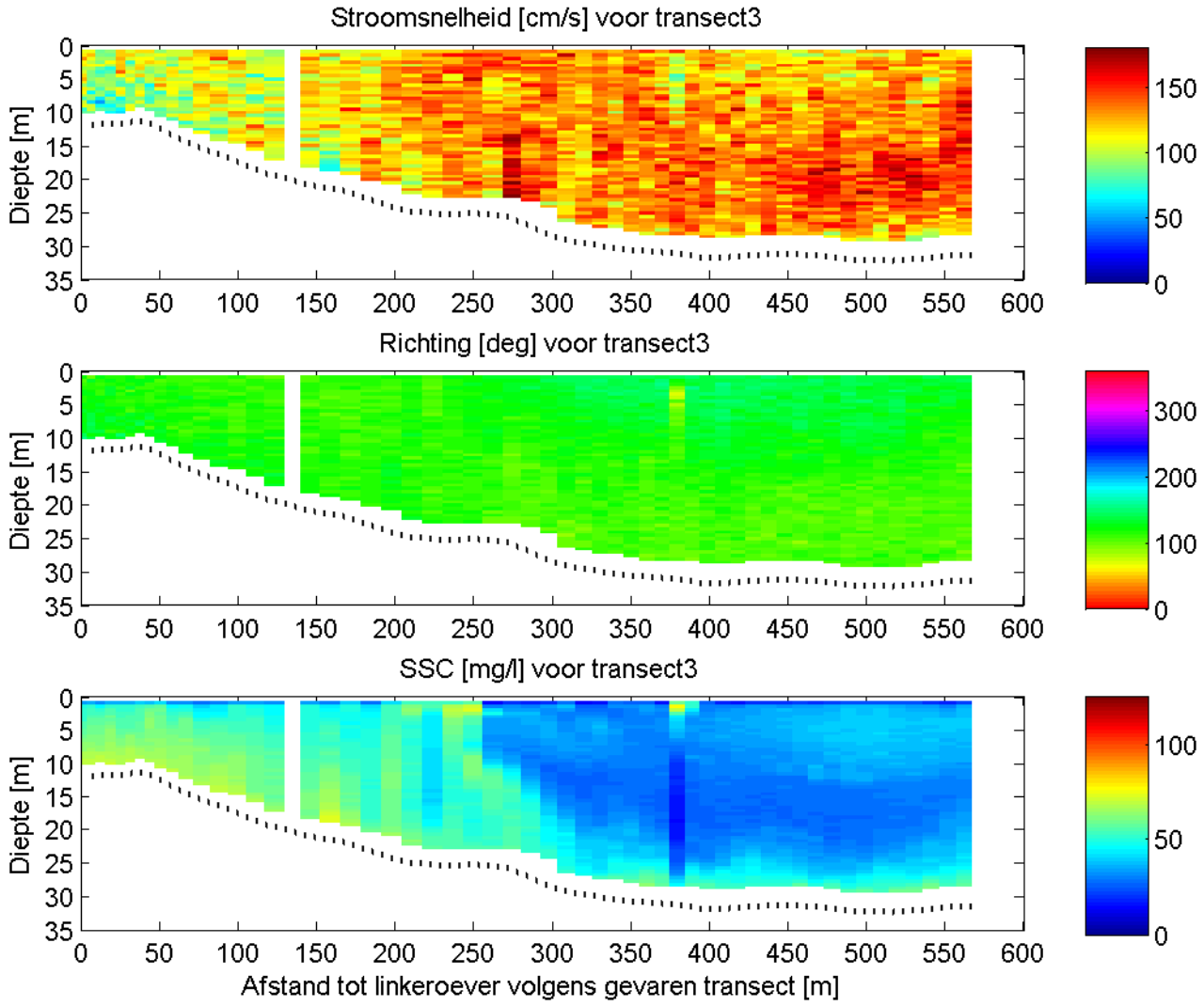
Figuur 23 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 1



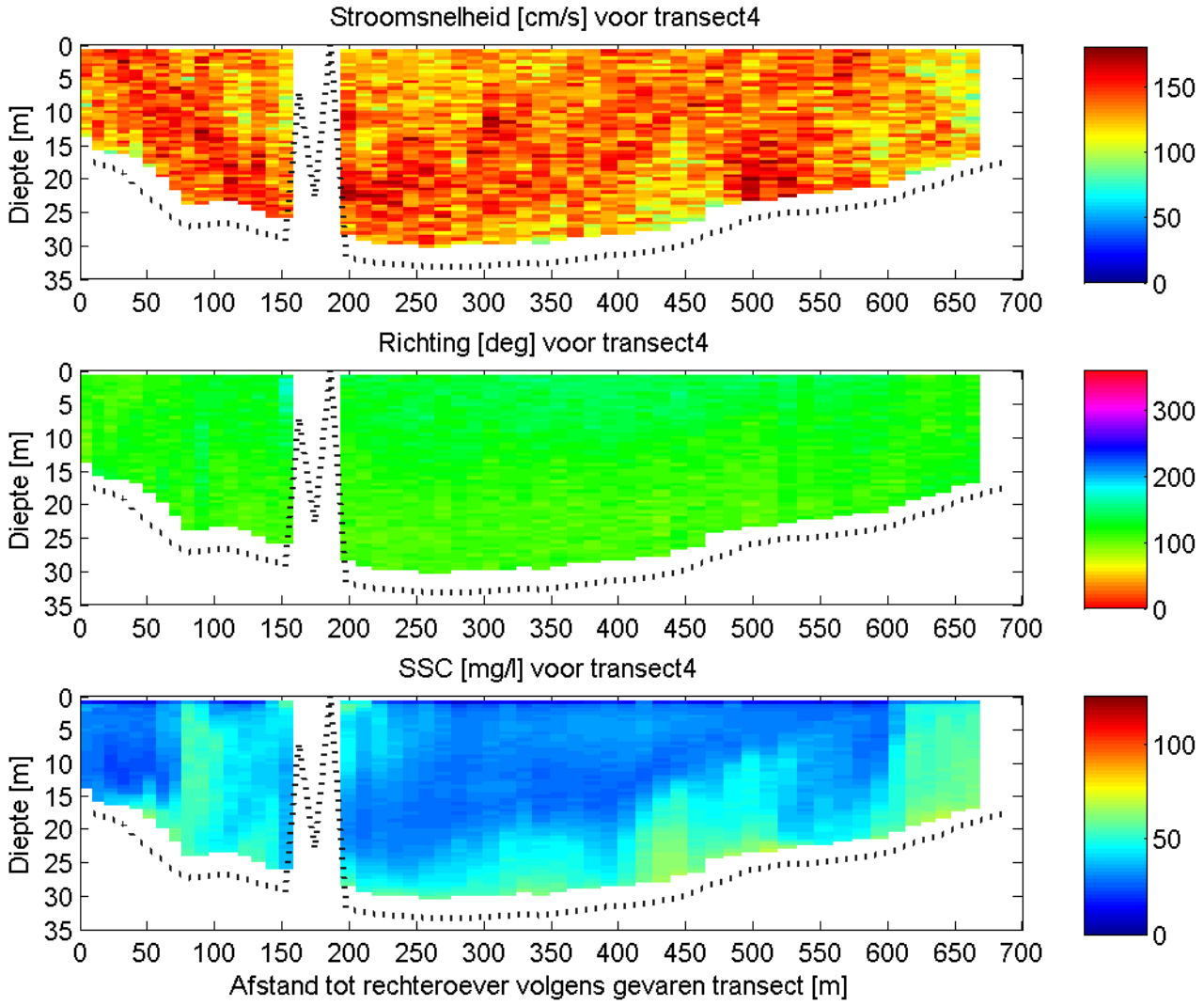
Figuur 24 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 2



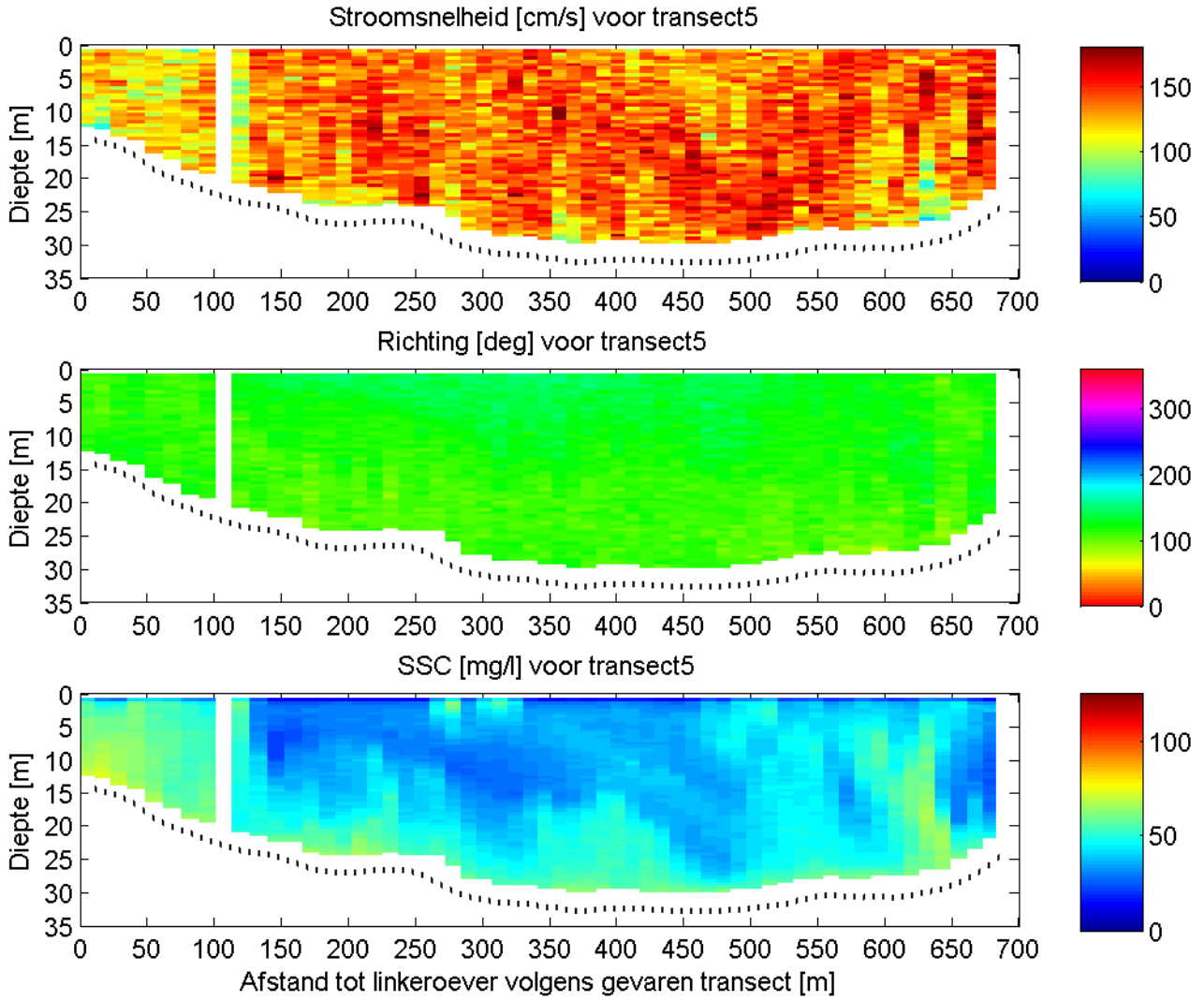
Figuur 25 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 3



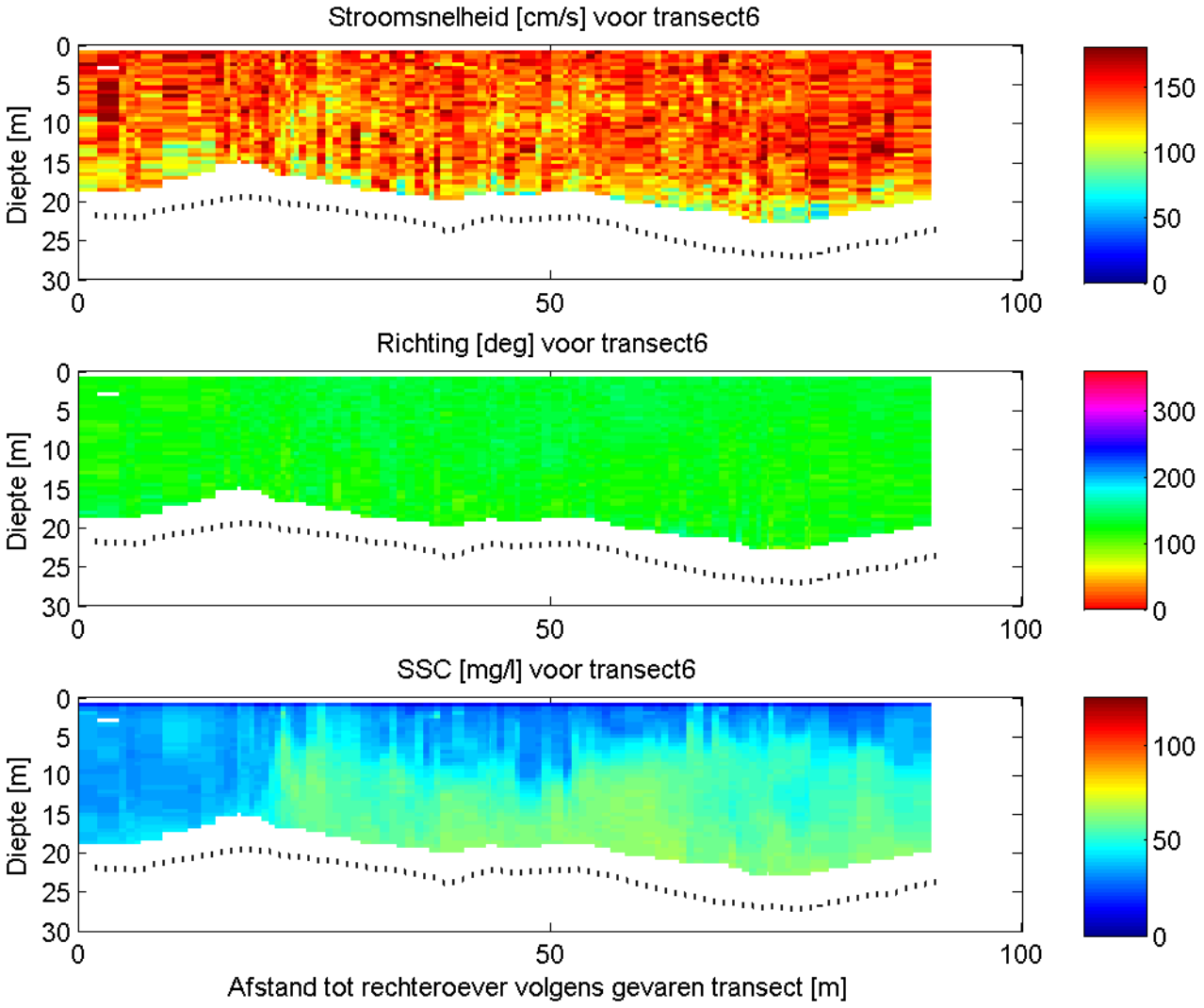
Figuur 26 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 4



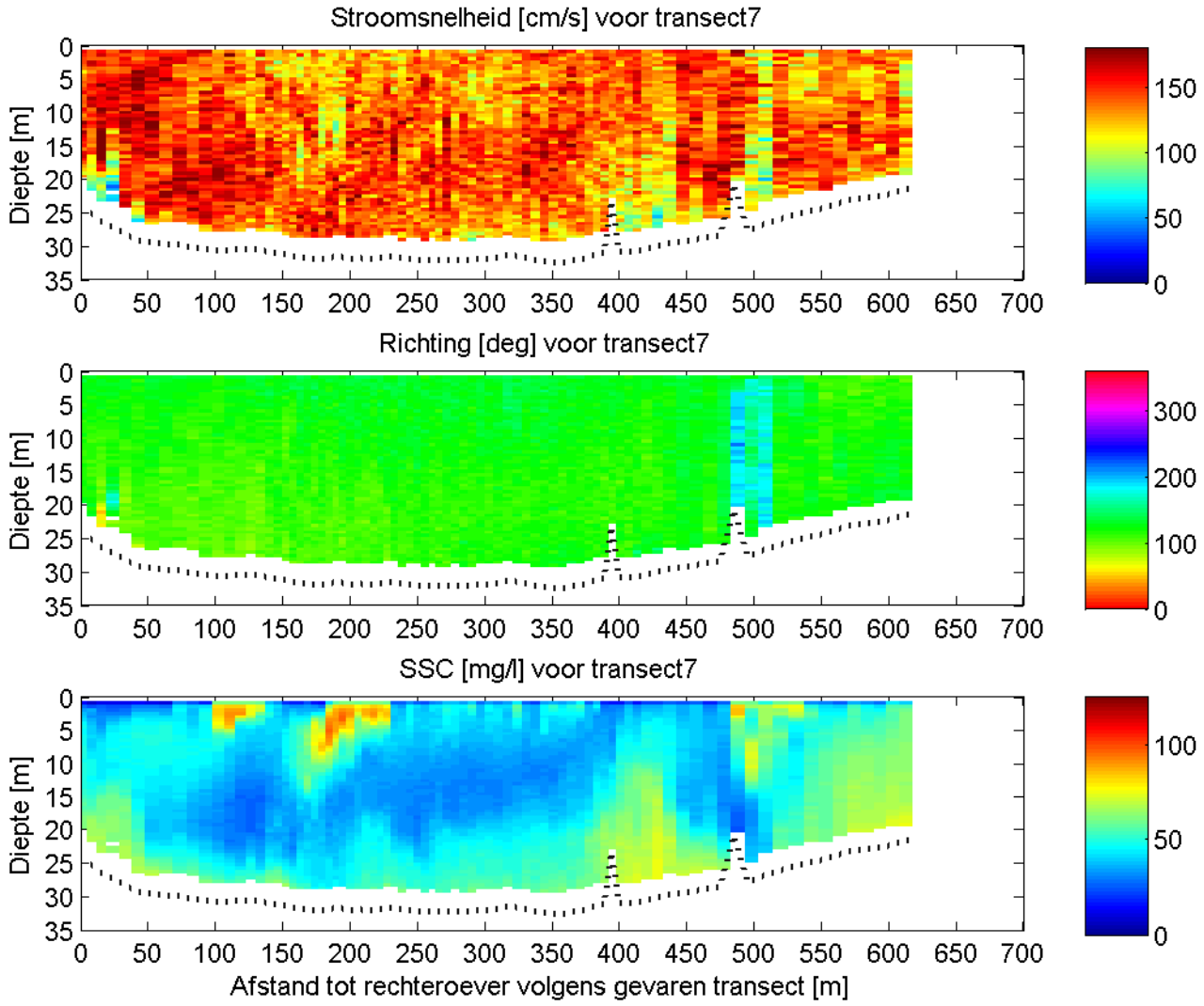
Figuur 27 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 5



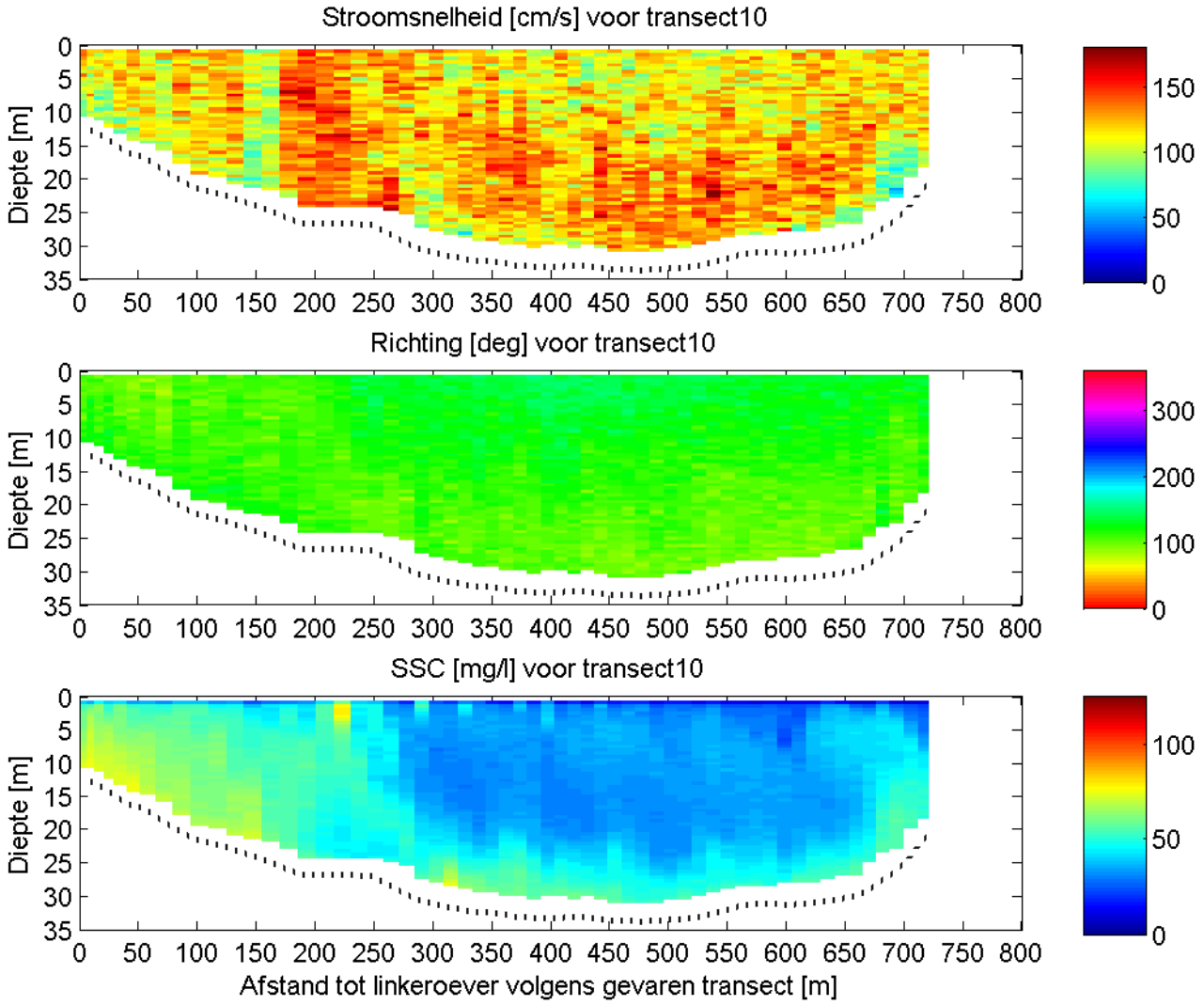
Figuur 28 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 6



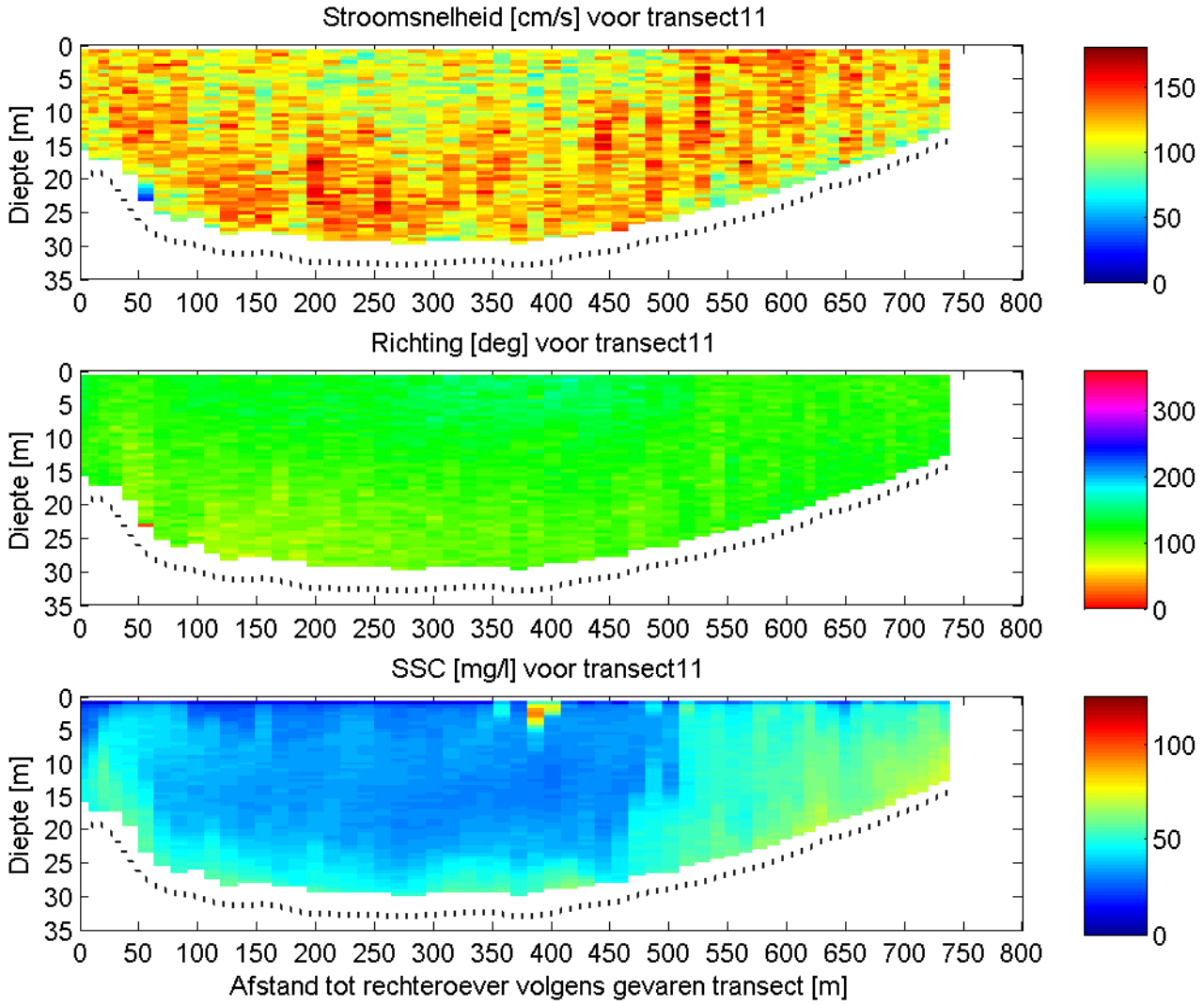
Figuur 29 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 7



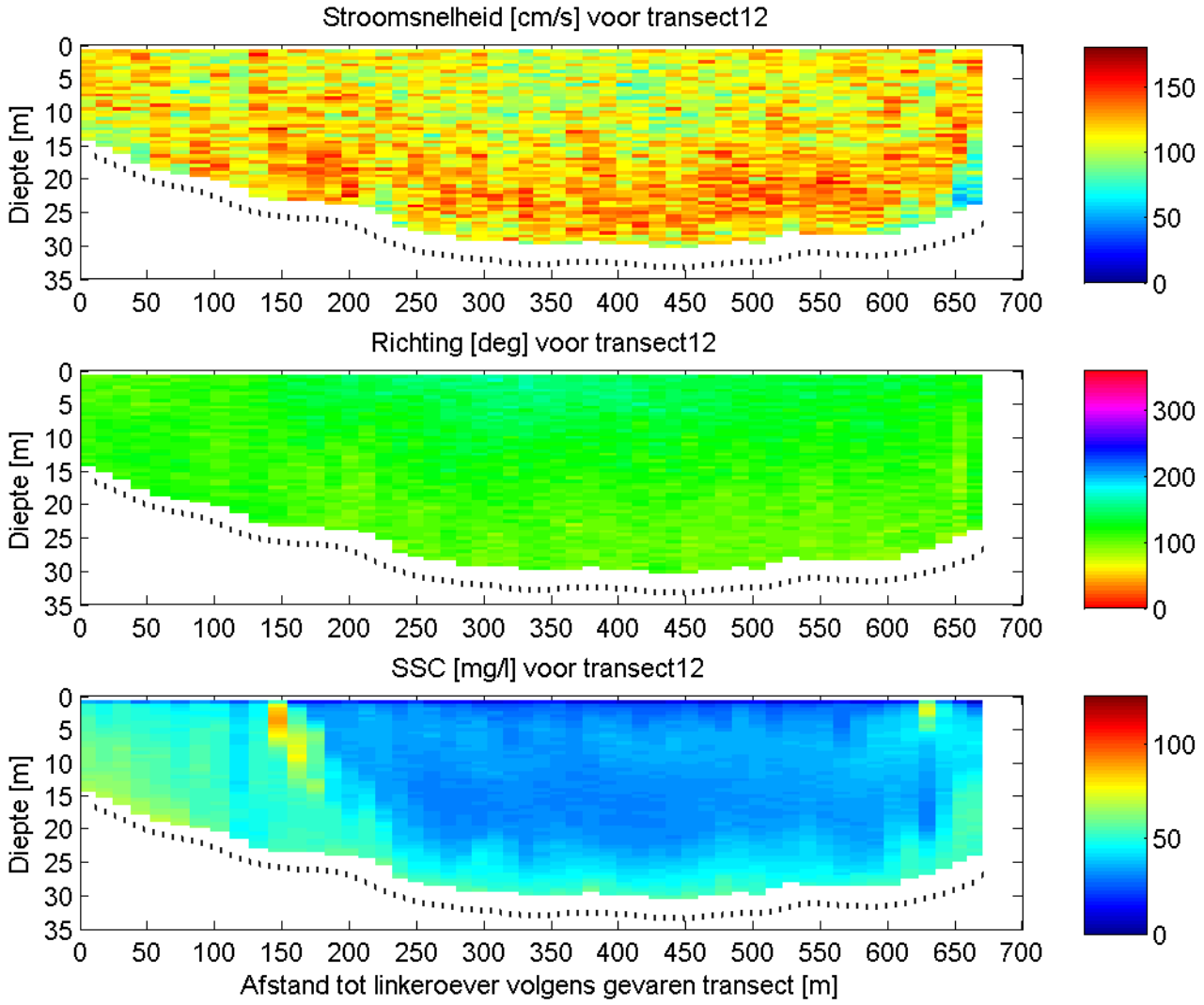
Figuur 30 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 10



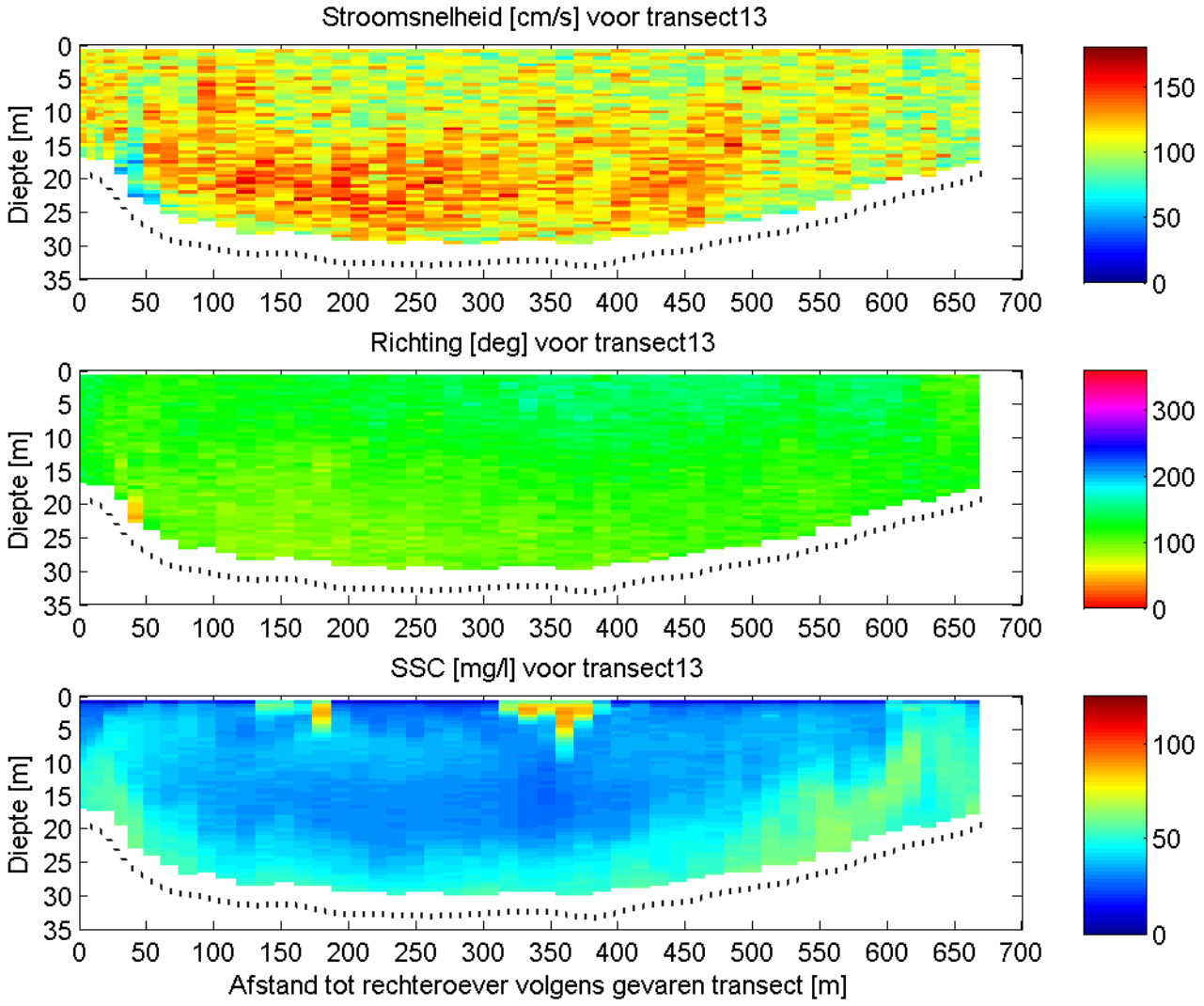
Figuur 31 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 11



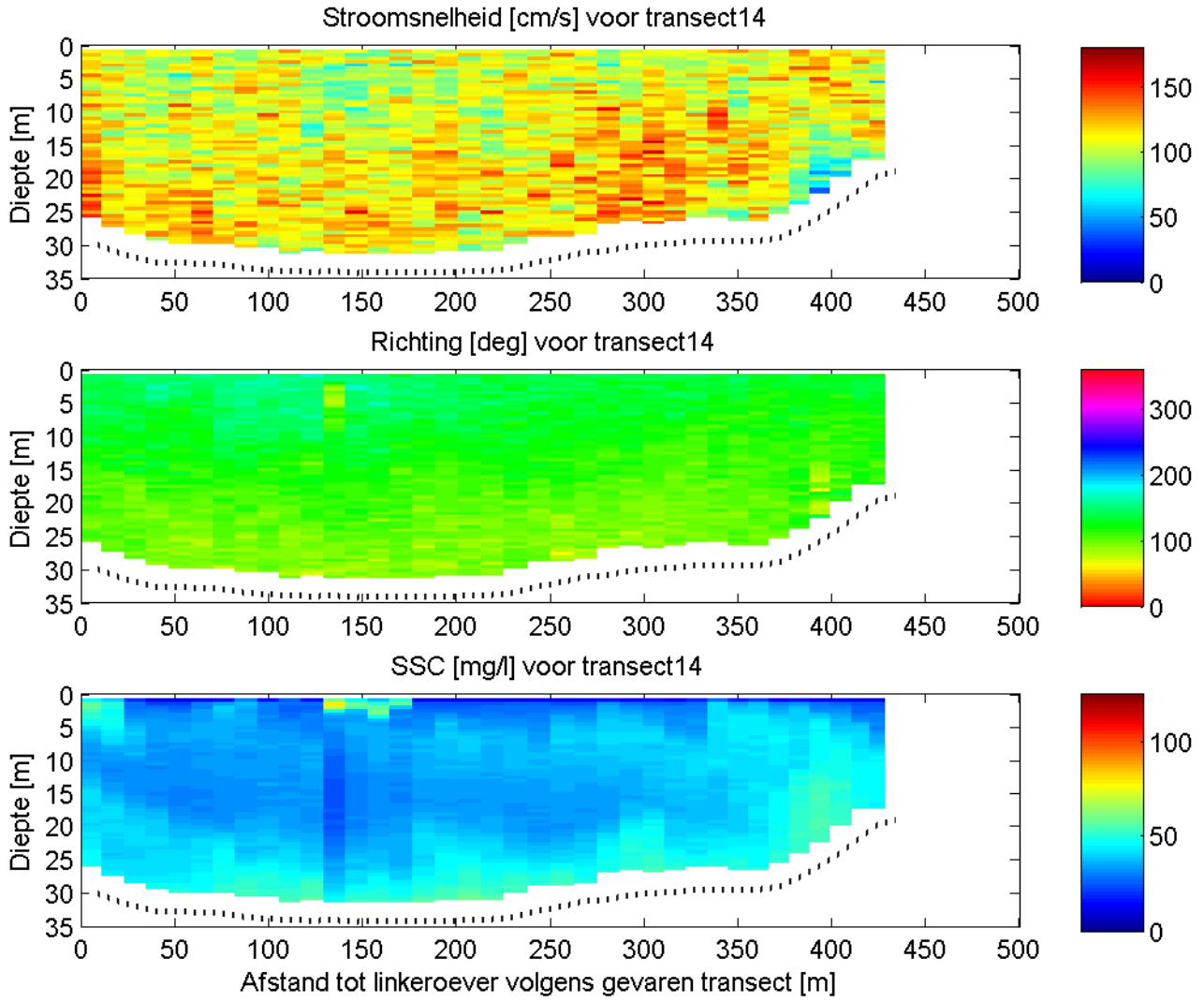
Figuur 32 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 12



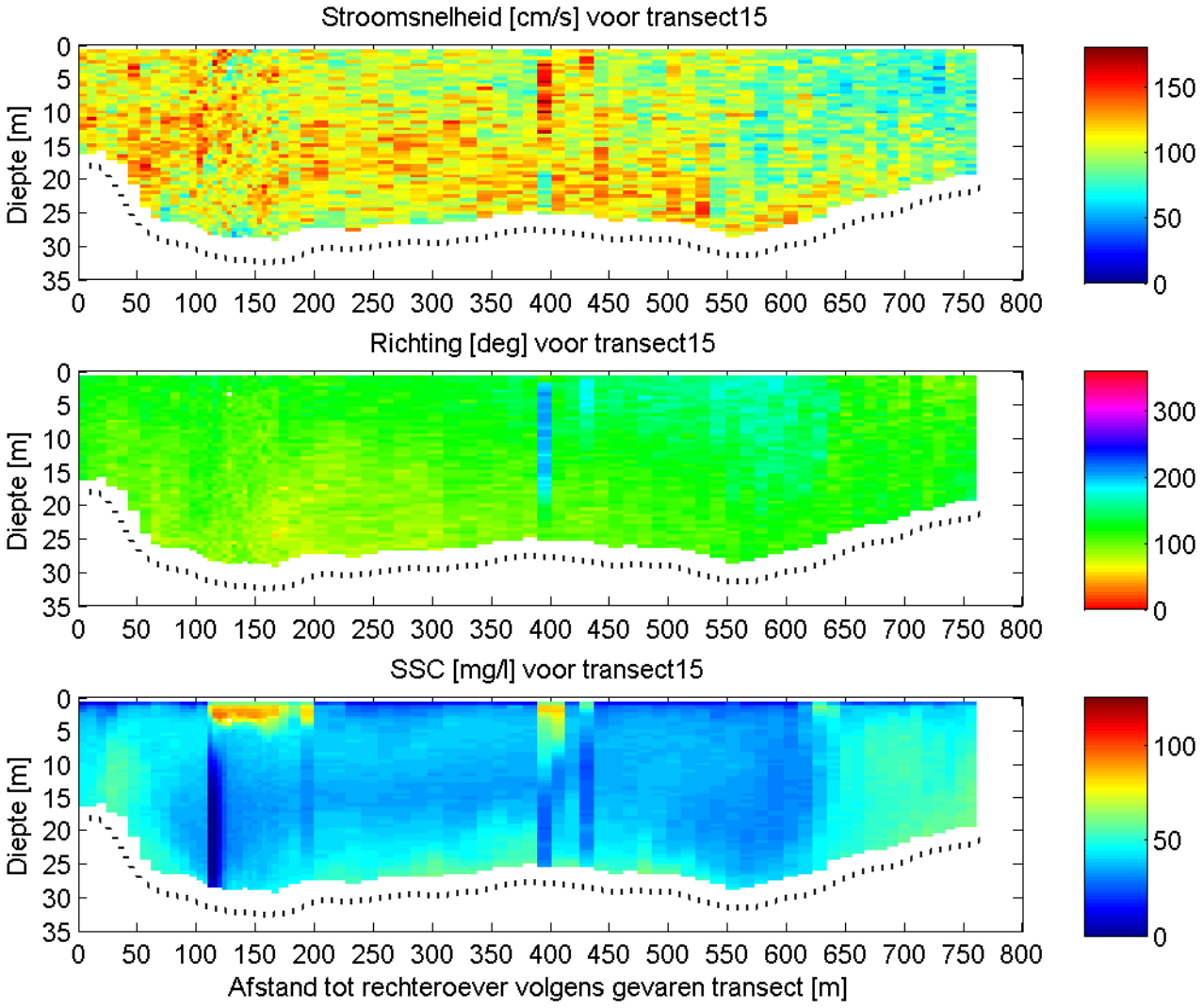
Figuur 33 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 13



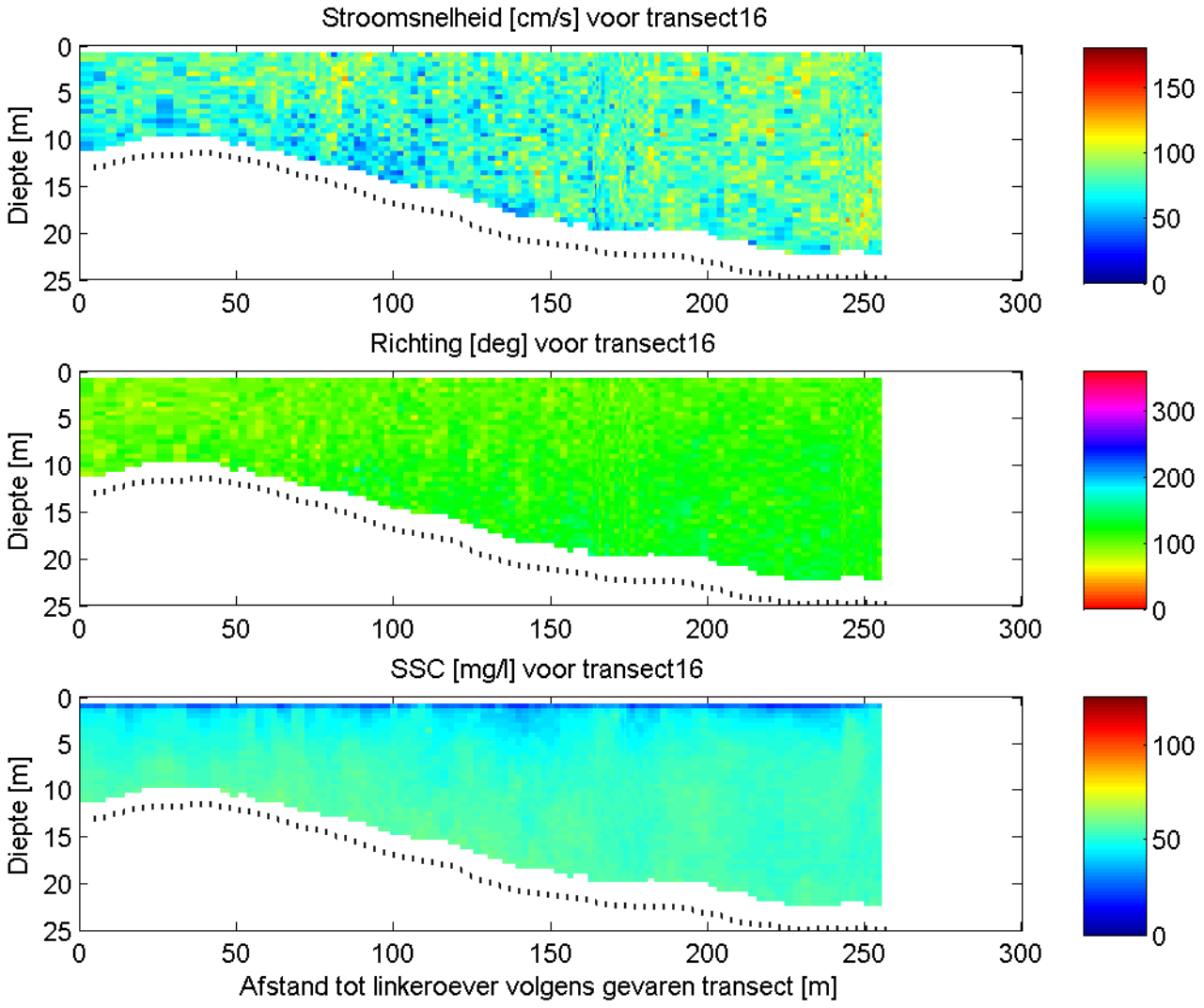
Figuur 34 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 14



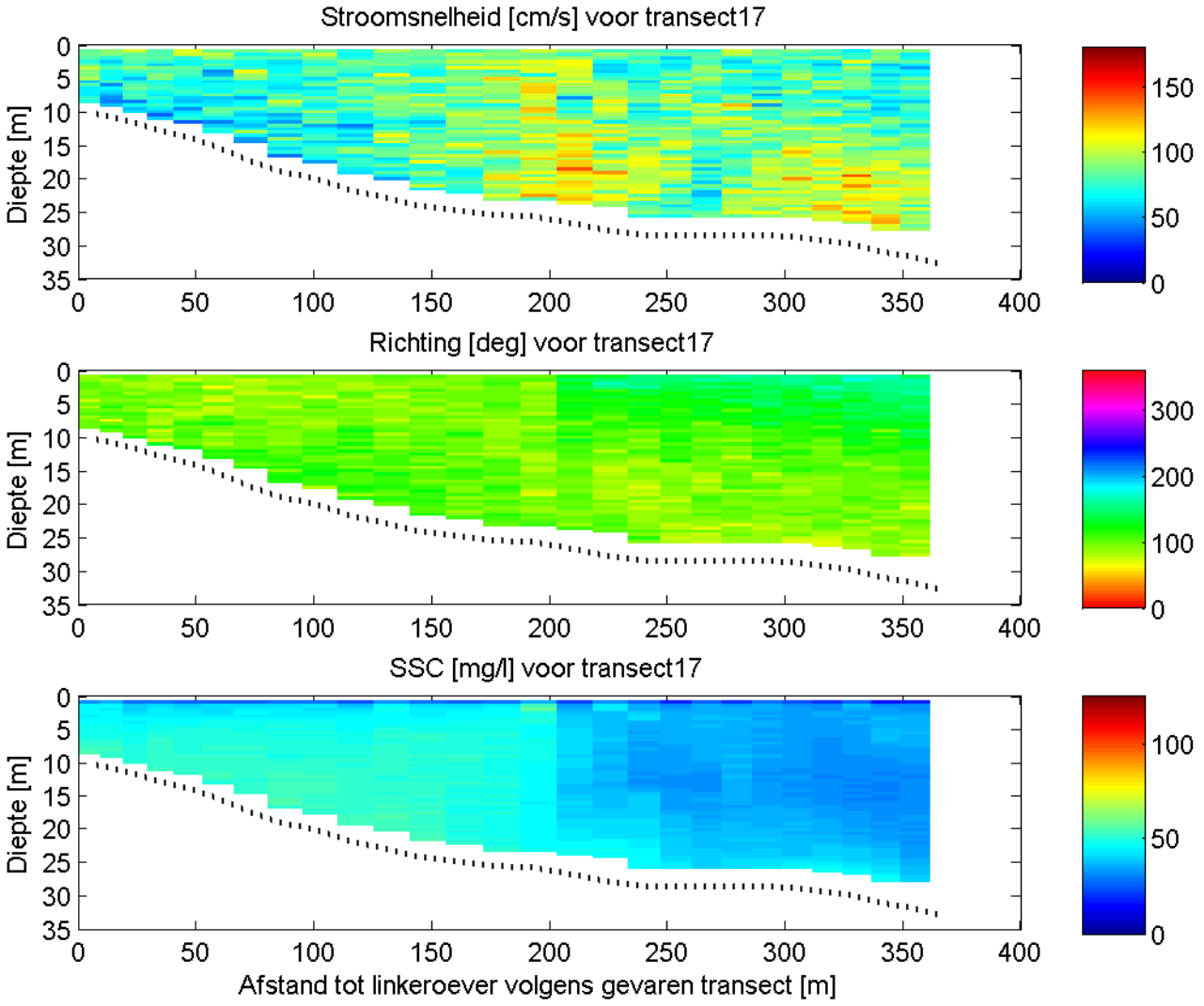
Figuur 35 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 15



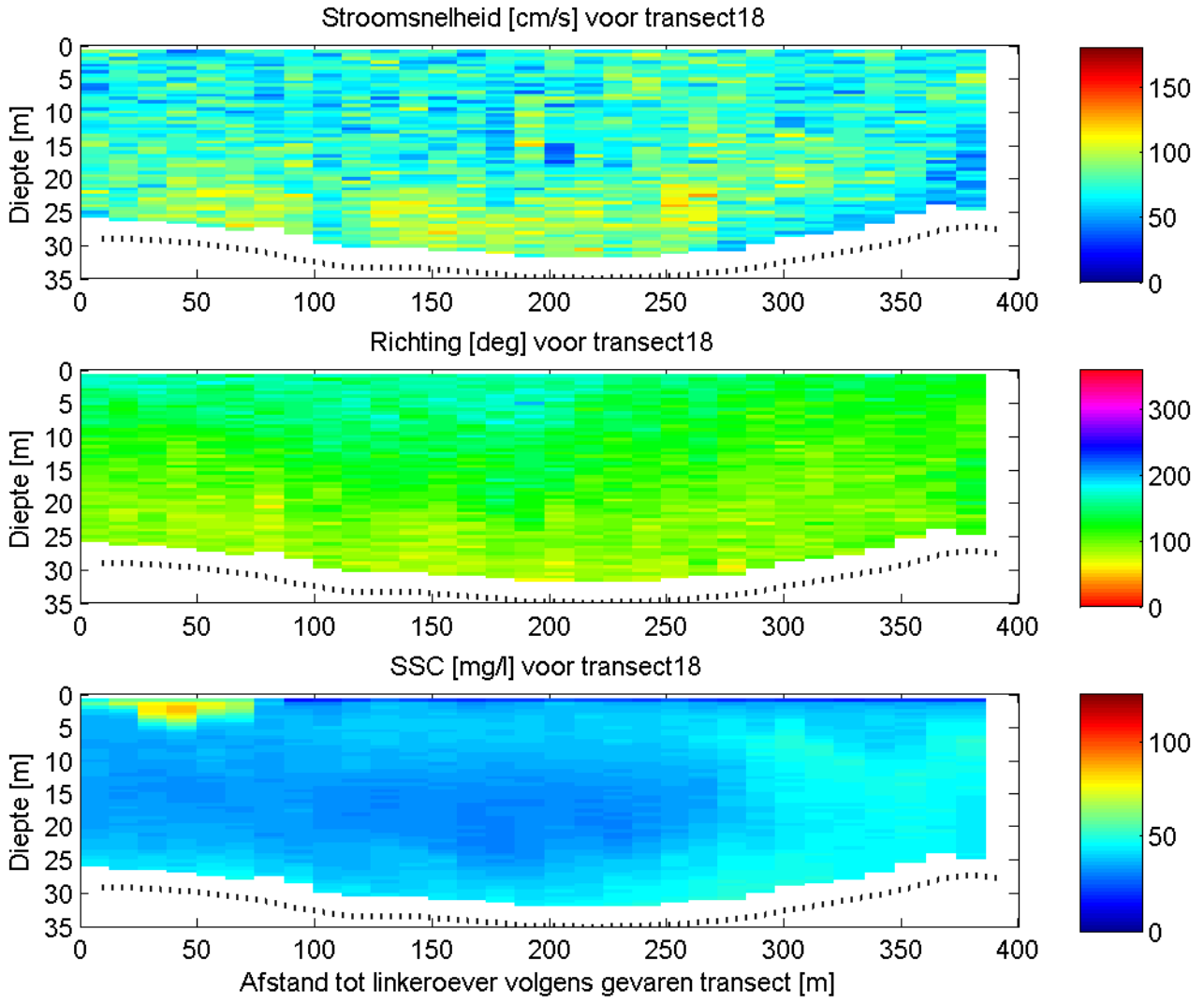
Figuur 36 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 16



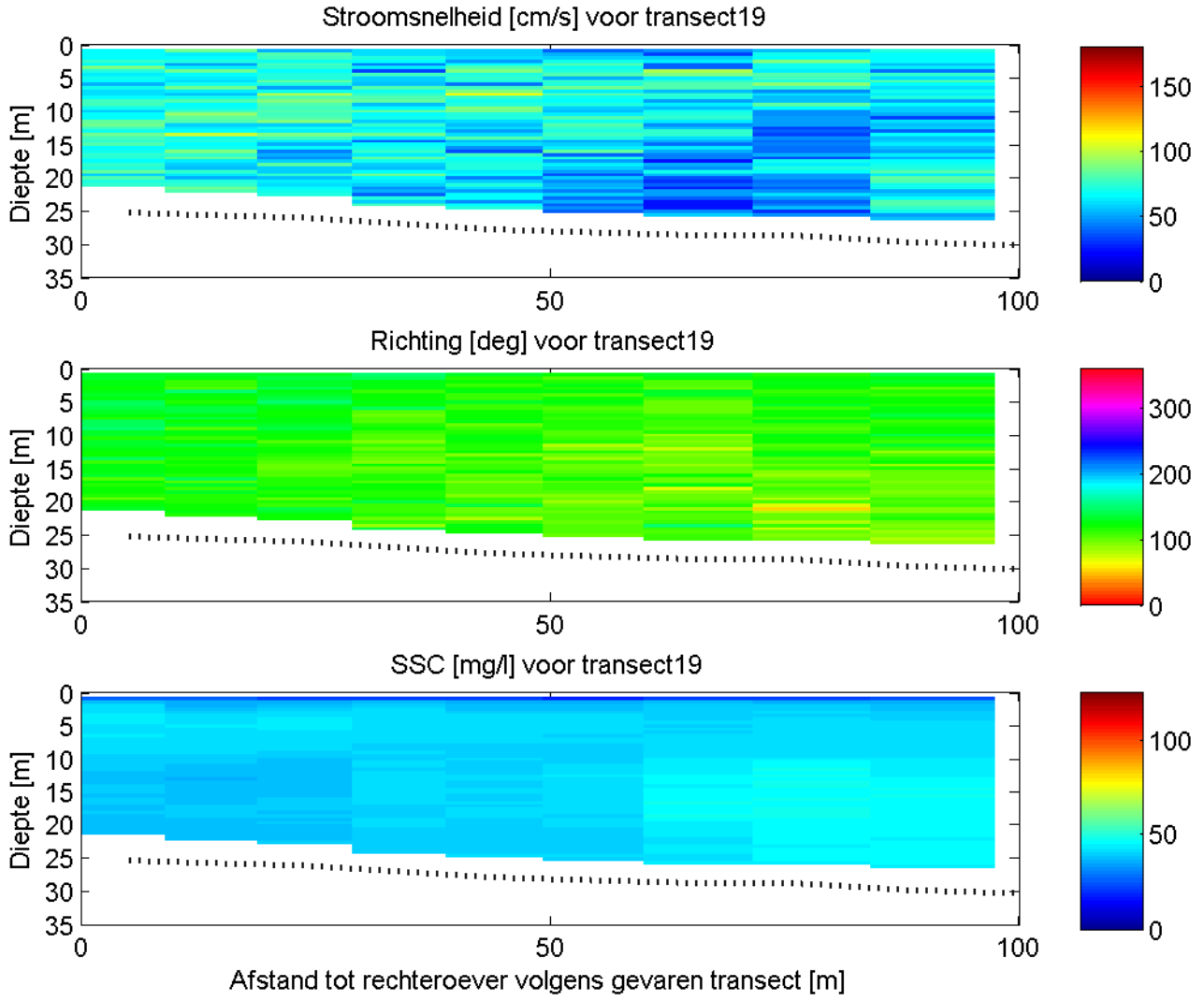
Figuur 37 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 17



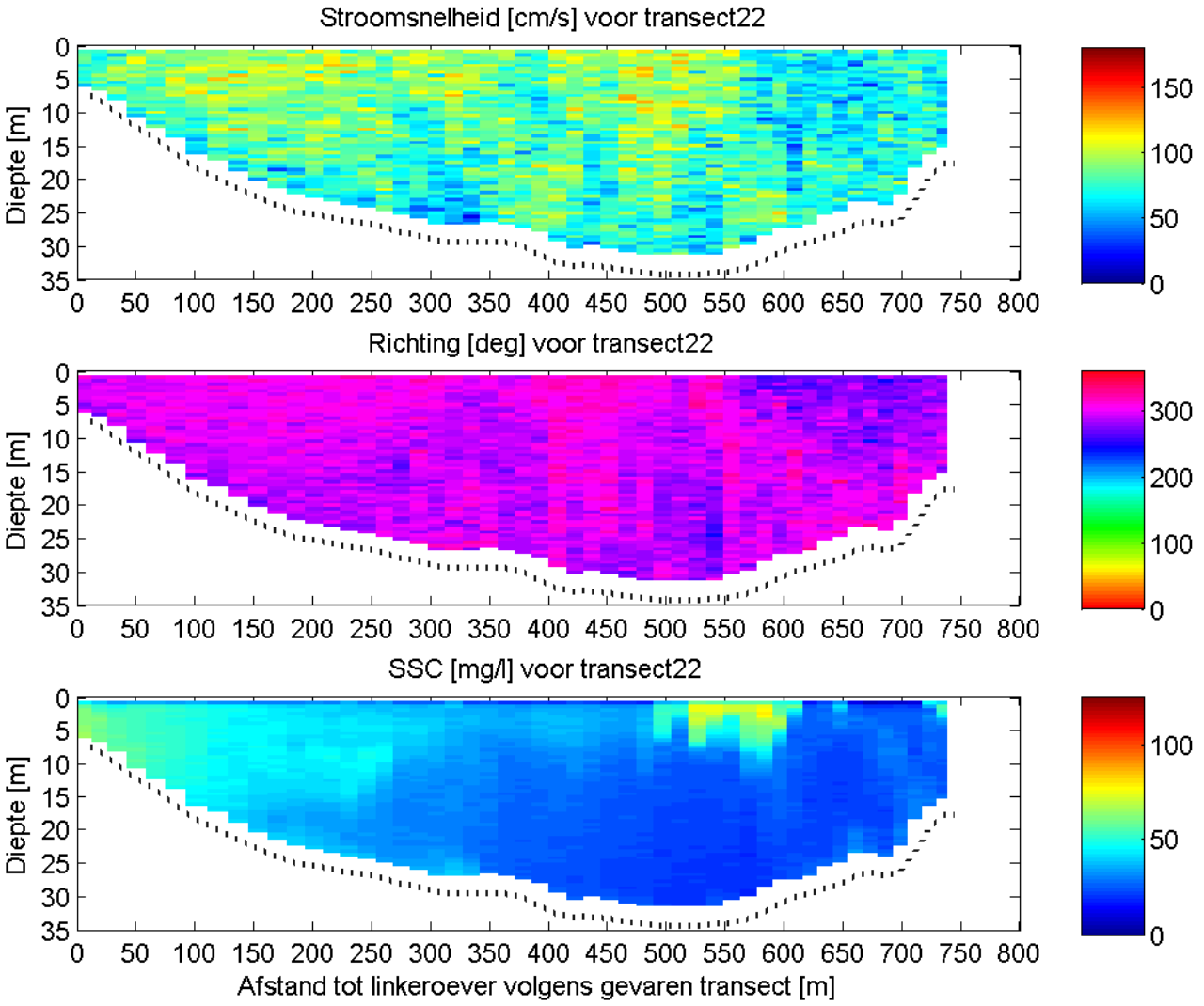
Figuur 38 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 18



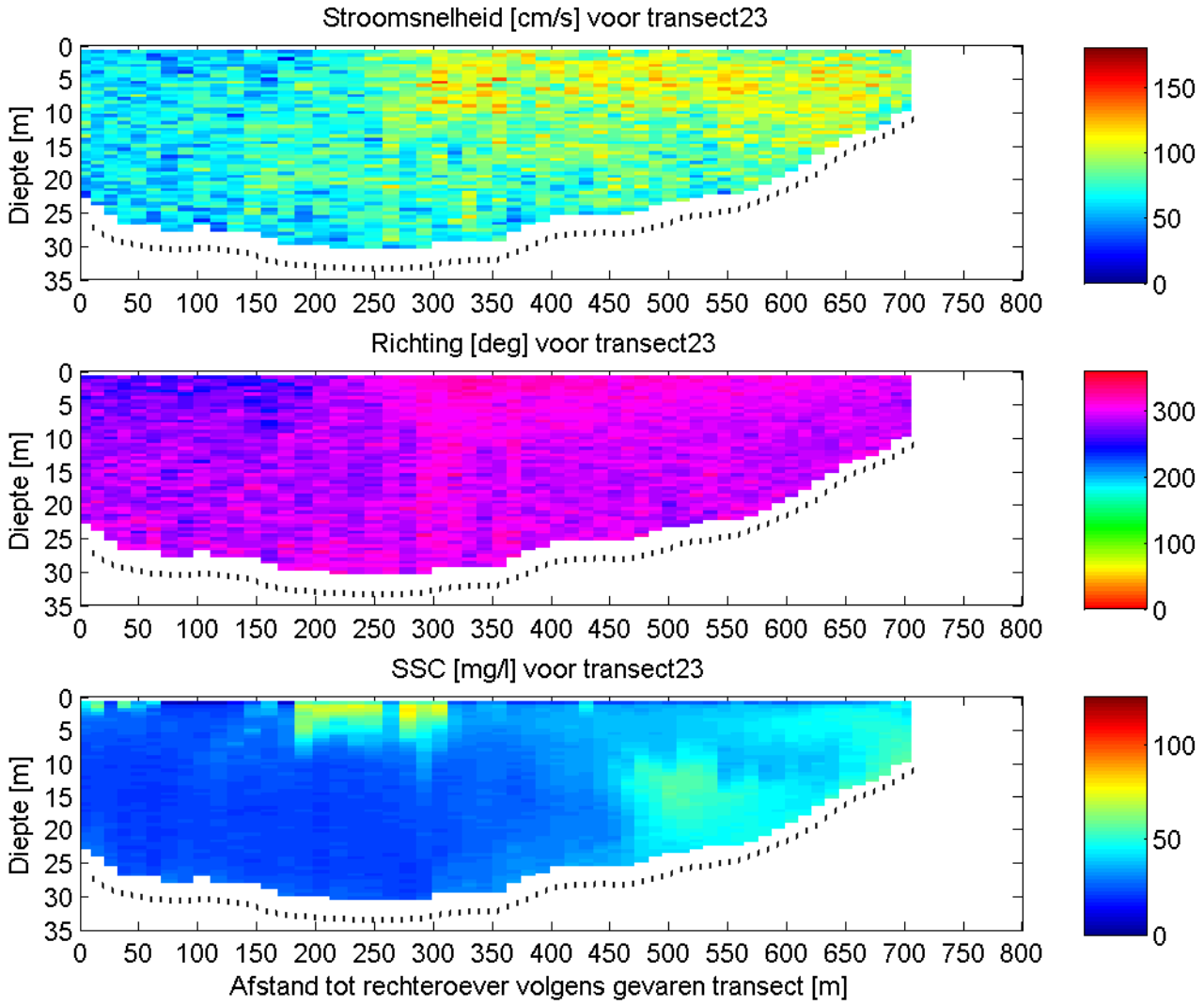
Figuur 39 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 19



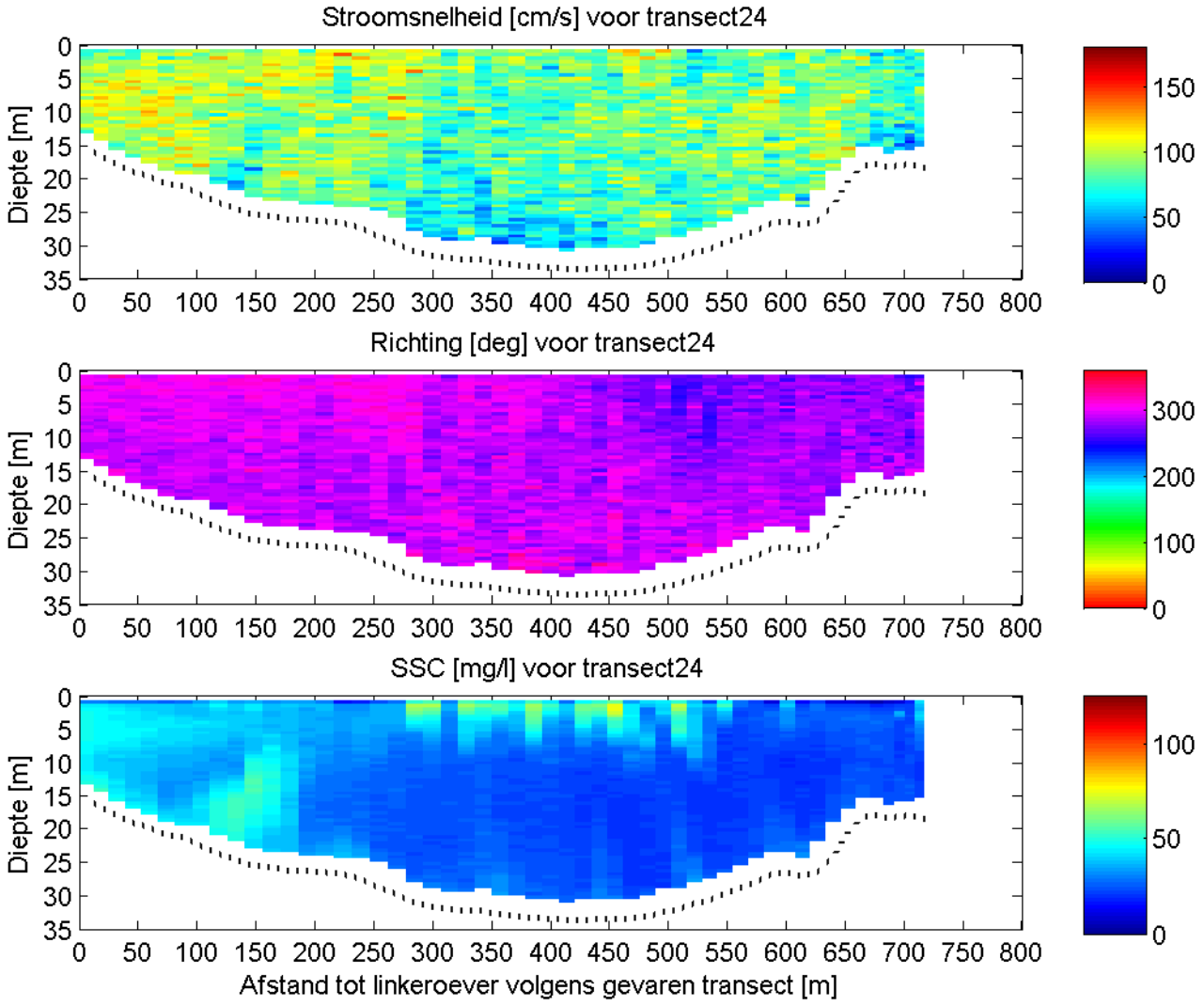
Figuur 40 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 22



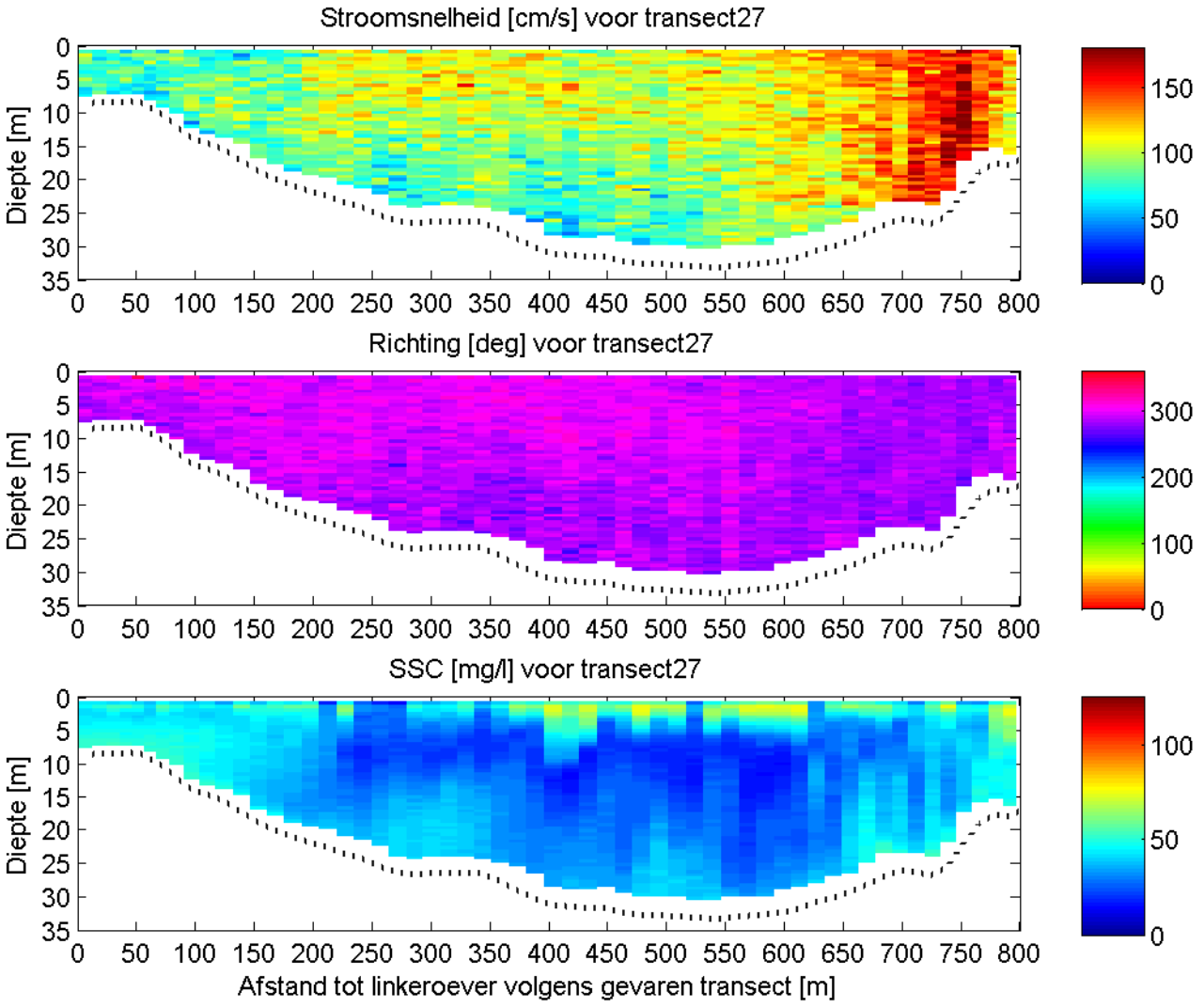
Figuur 41 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 23



Figuur 42 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 24



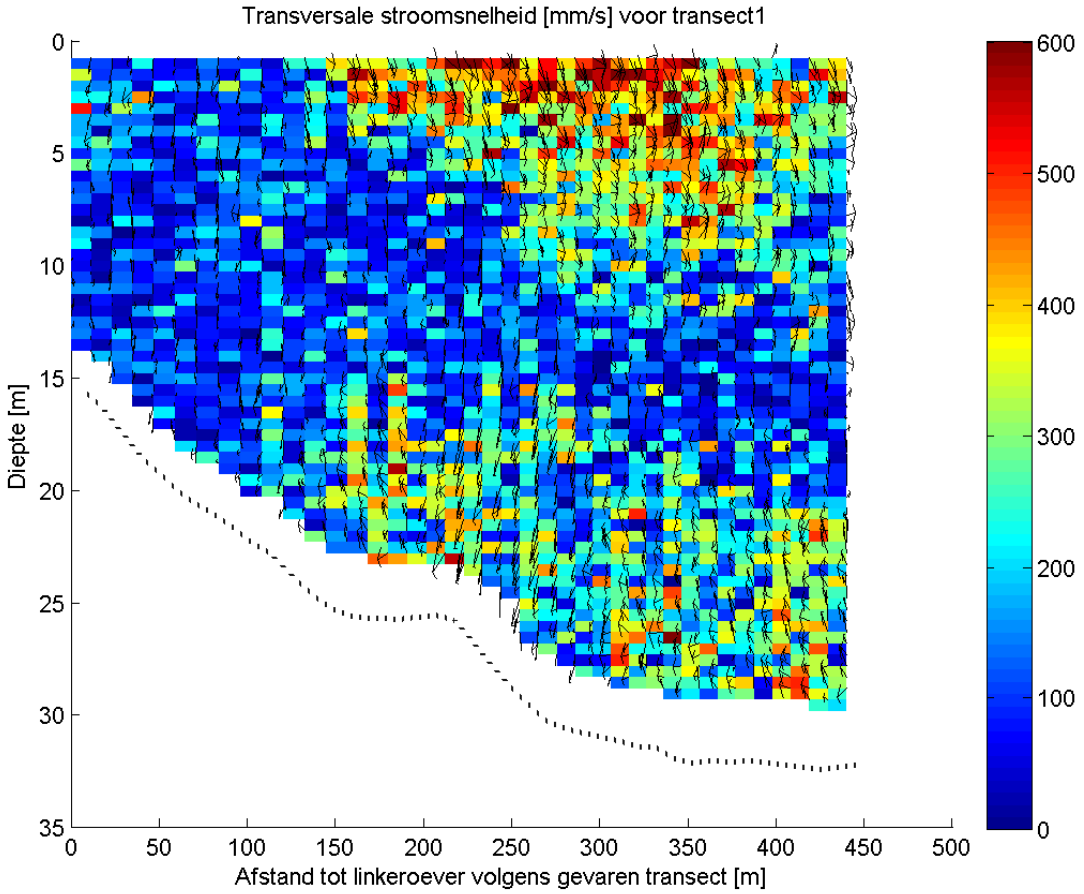
Figuur 43 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 27



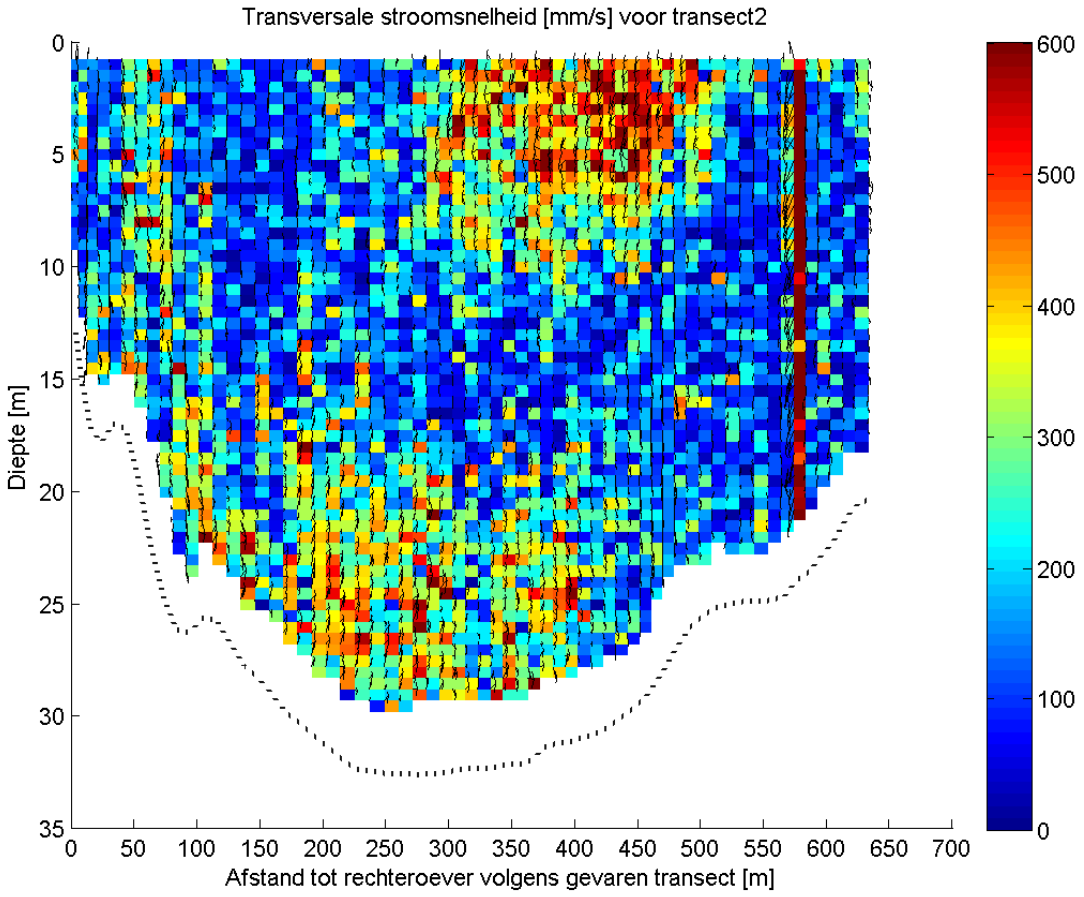
Bijlage C – transversale component van de stroming op de gevaren dwarsraaien

Bijlage C – transversale component van de stroming op de gevaren dwarsraaien

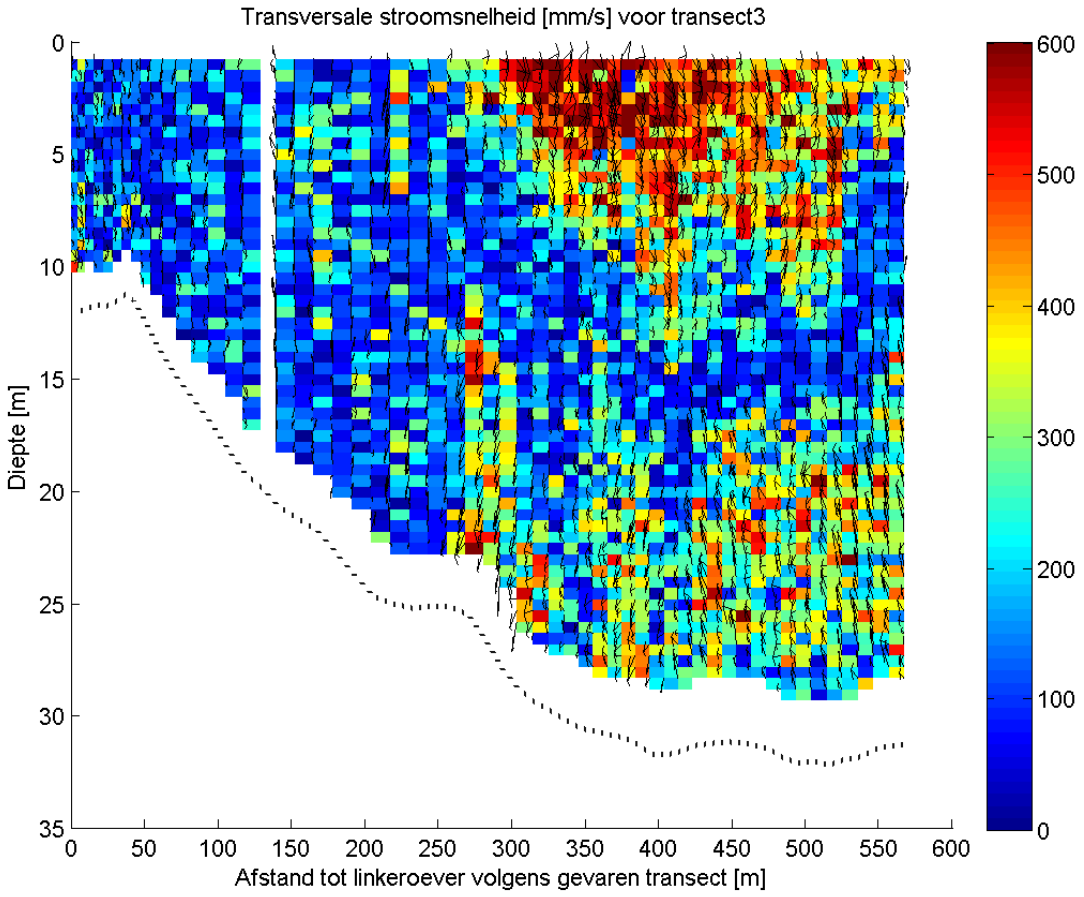
Figuur 44 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 1



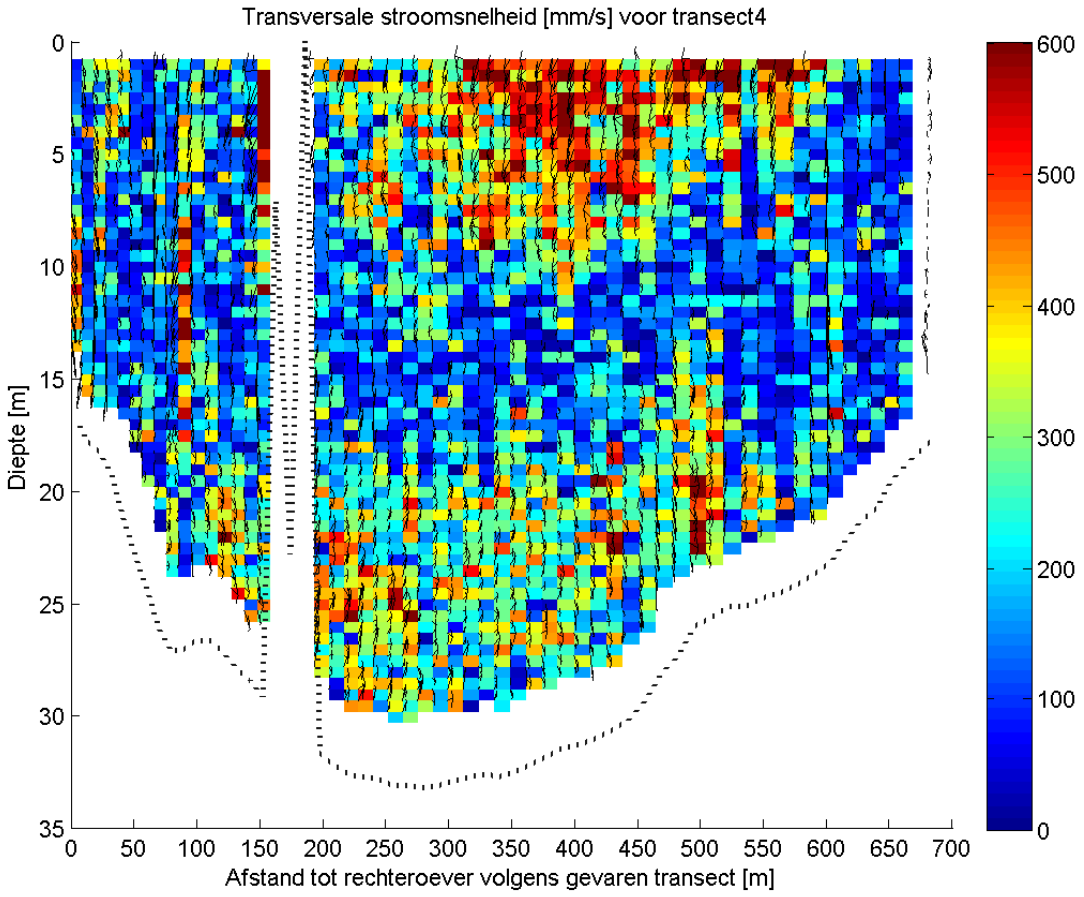
Figuur 45 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 2



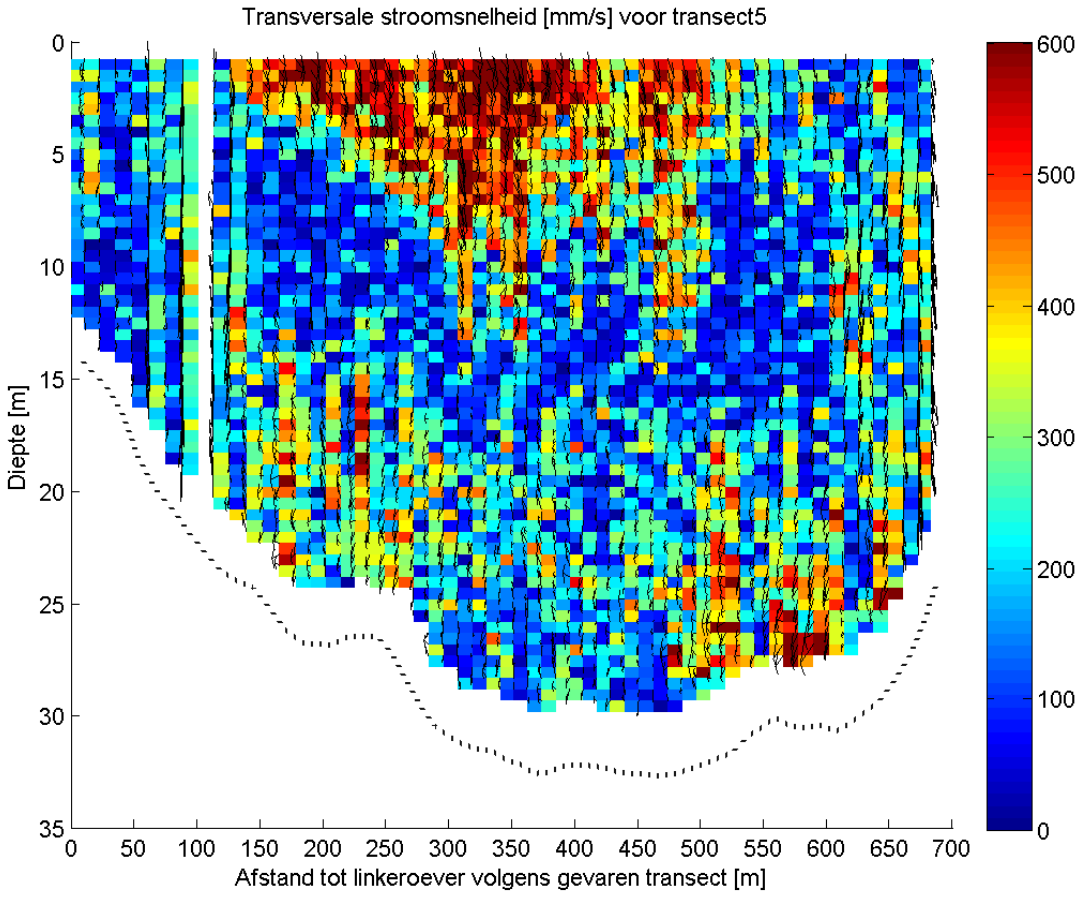
Figuur 46 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 3



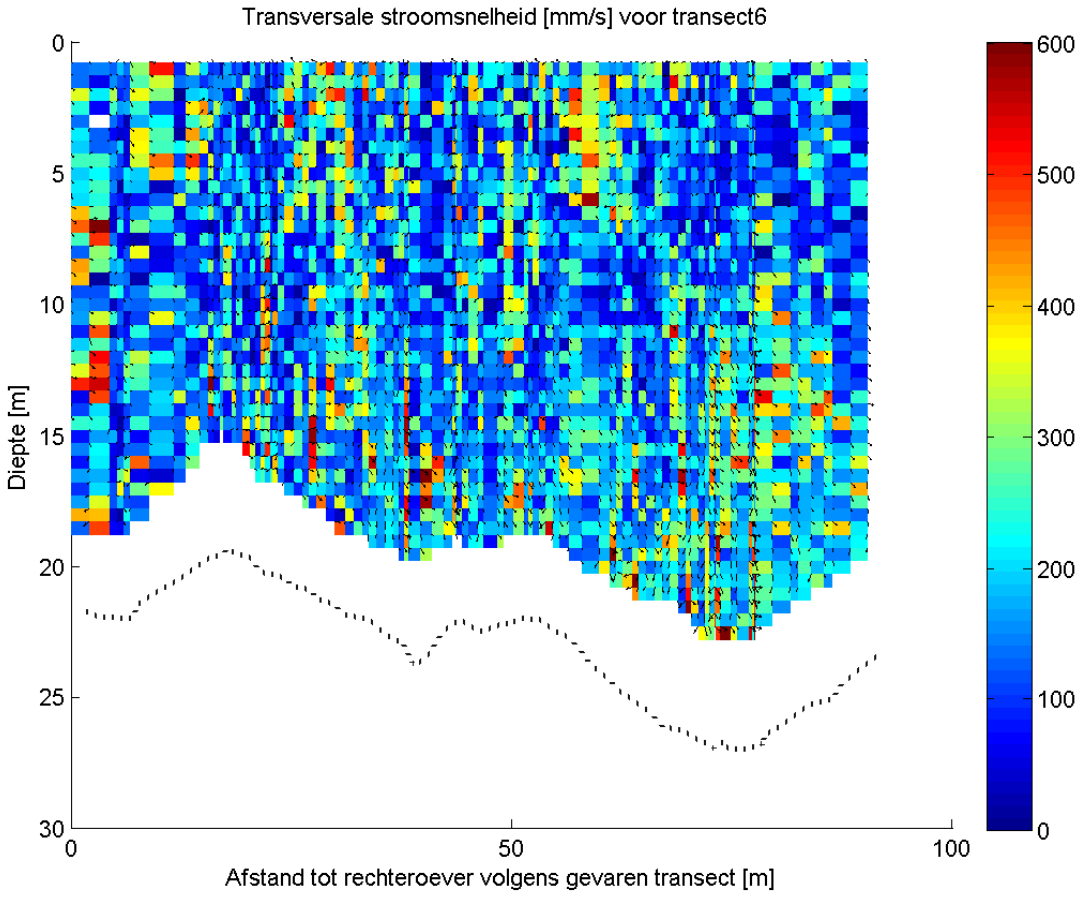
Figuur 47 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 4



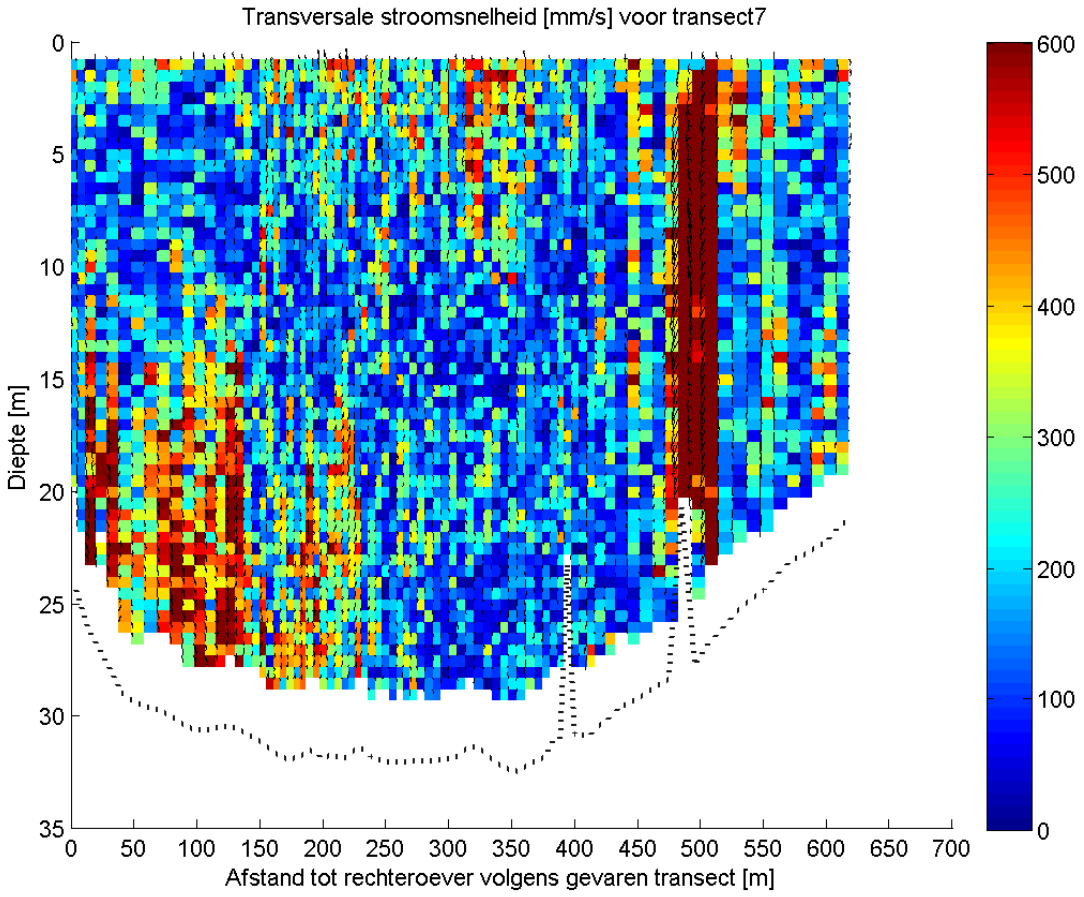
Figuur 48 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 5



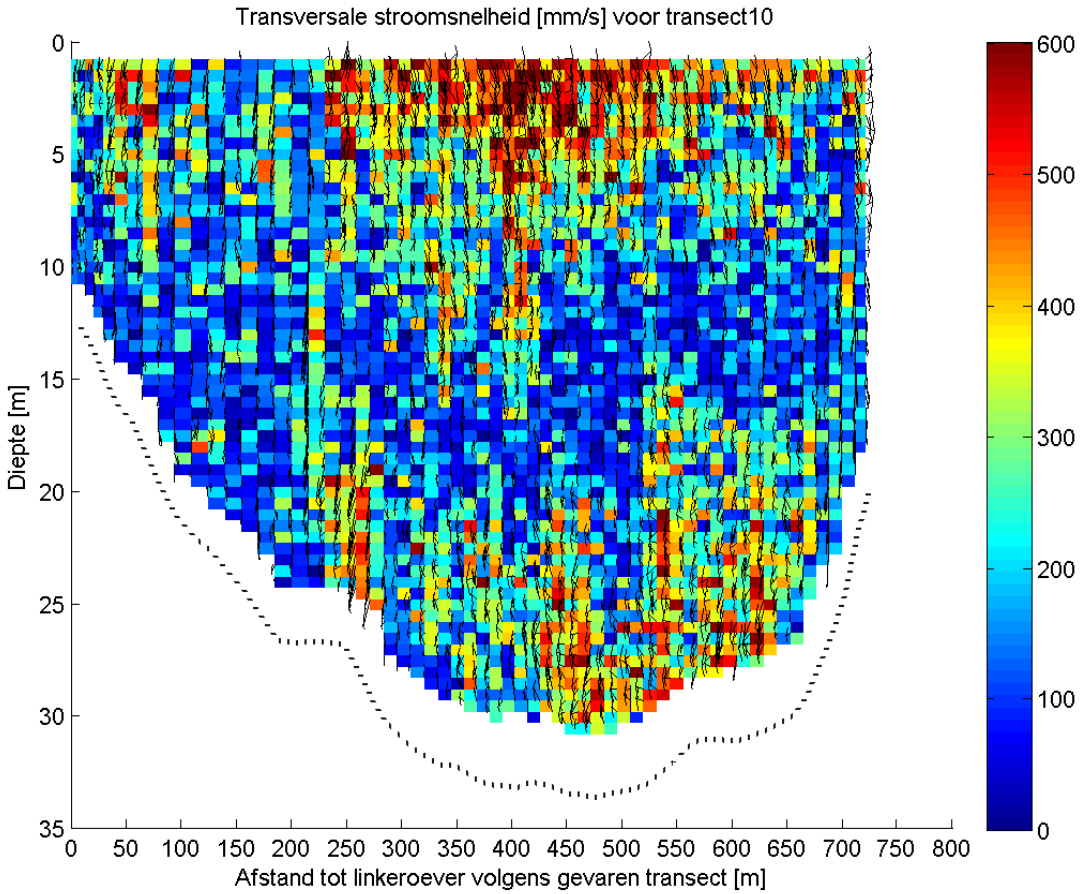
Figuur 49 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 6



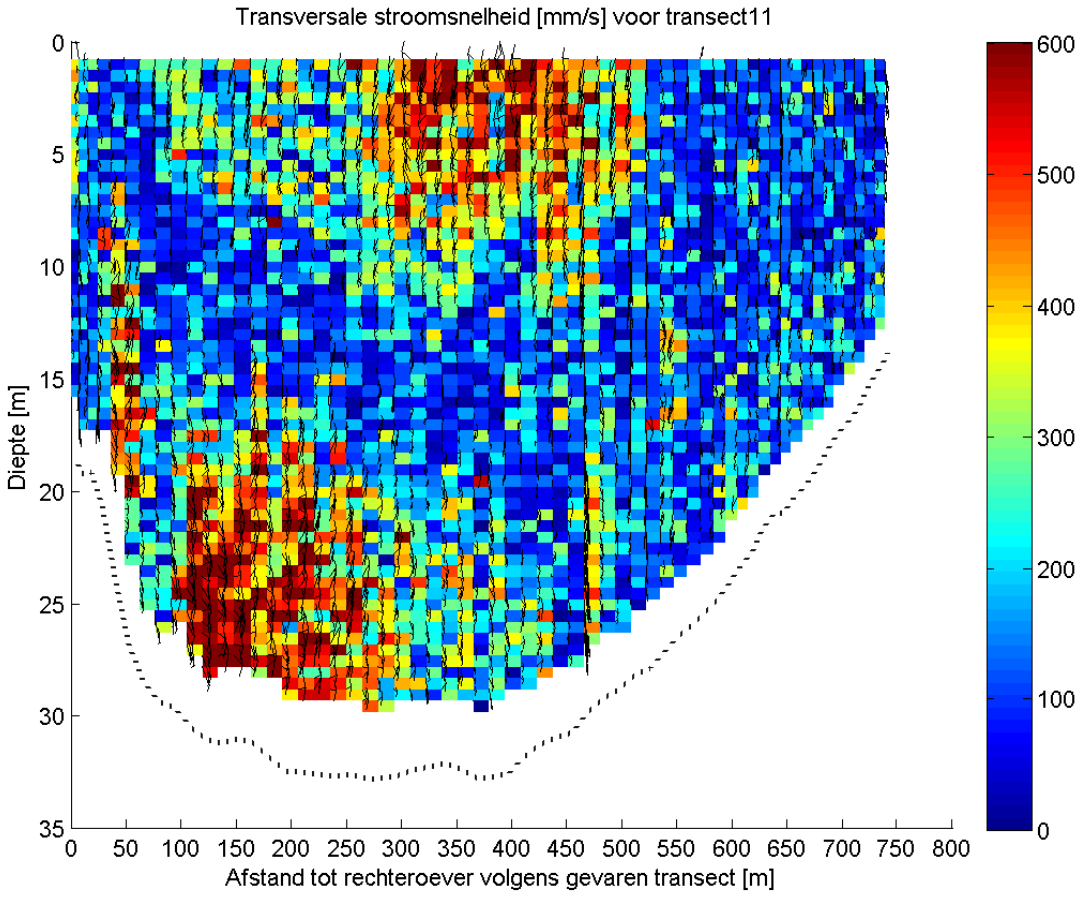
Figuur 50 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 7



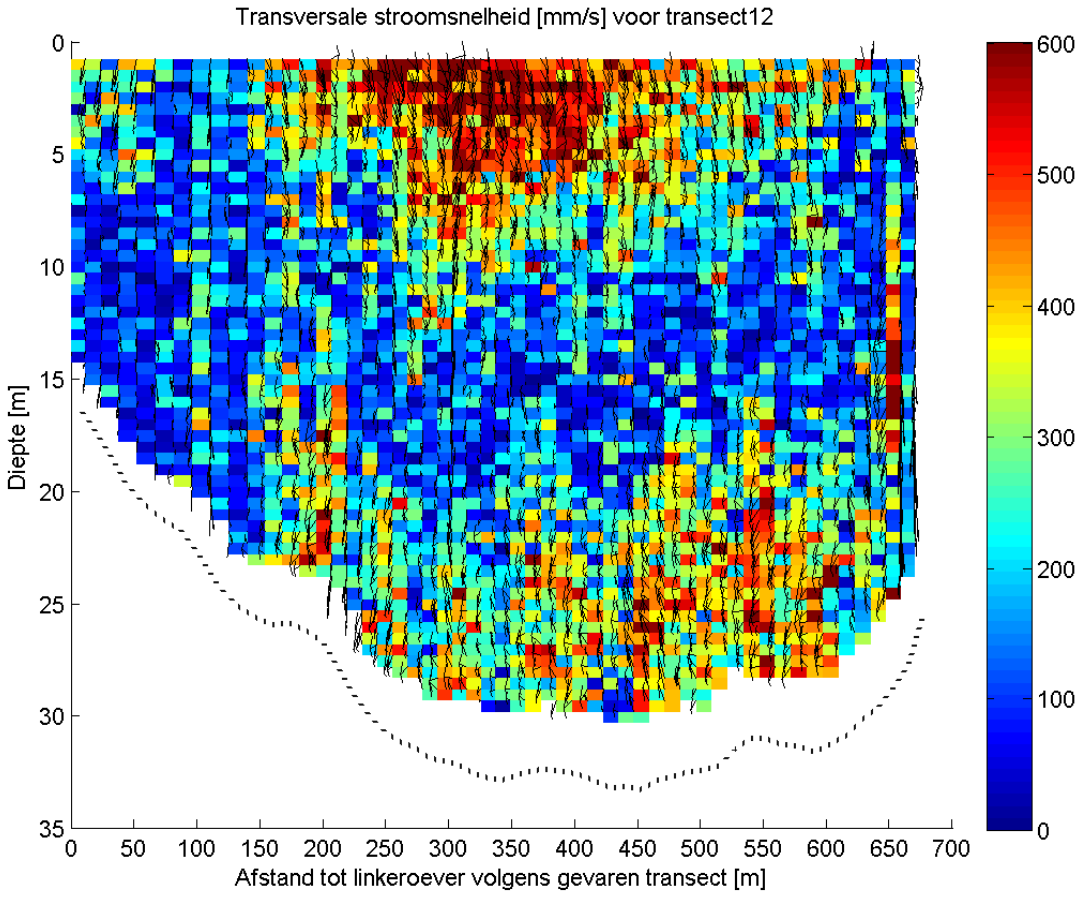
Figuur 51 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 10



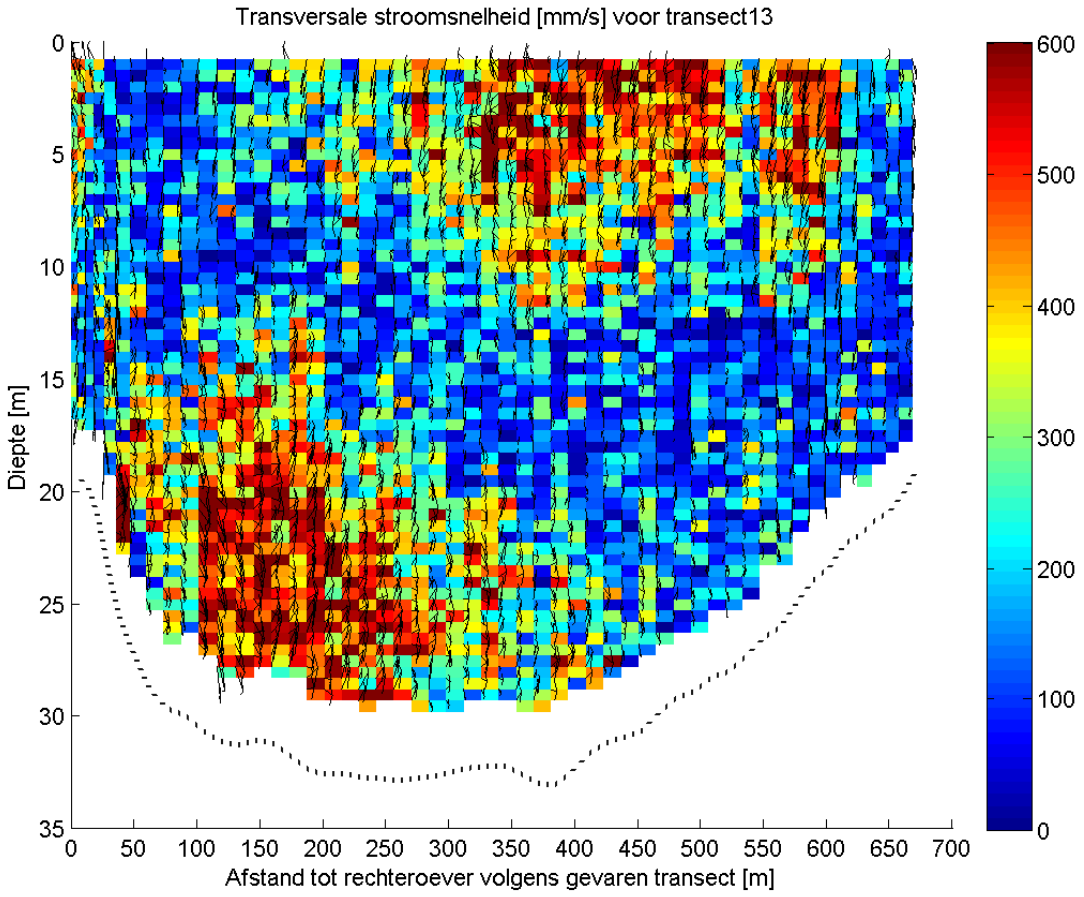
Figuur 52 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 11



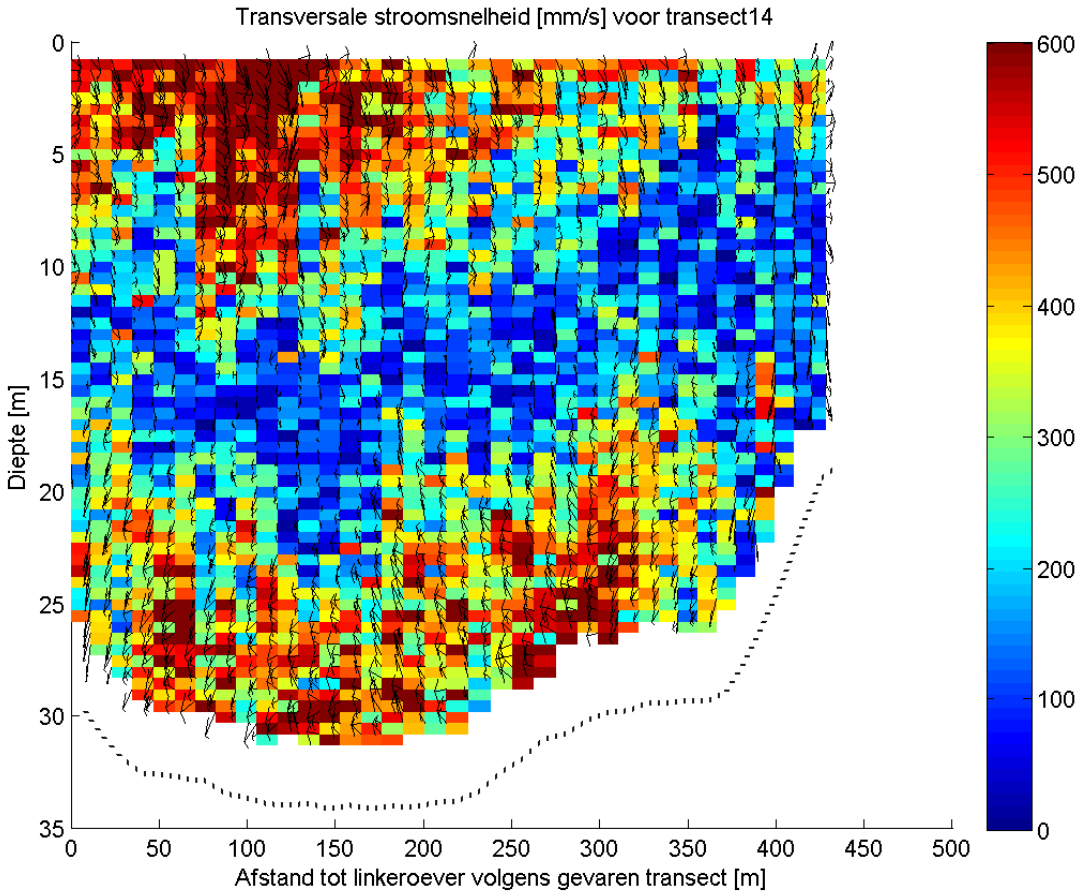
Figuur 53 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 12



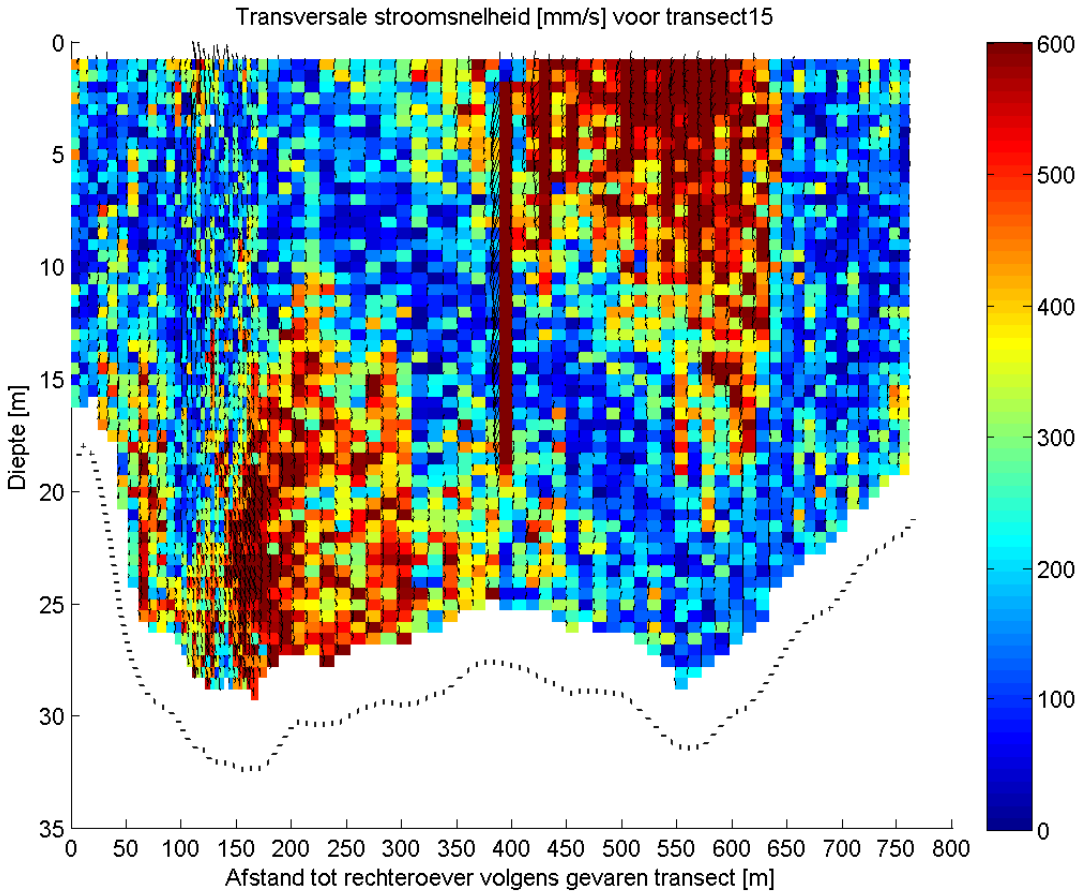
Figuur 54 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 13



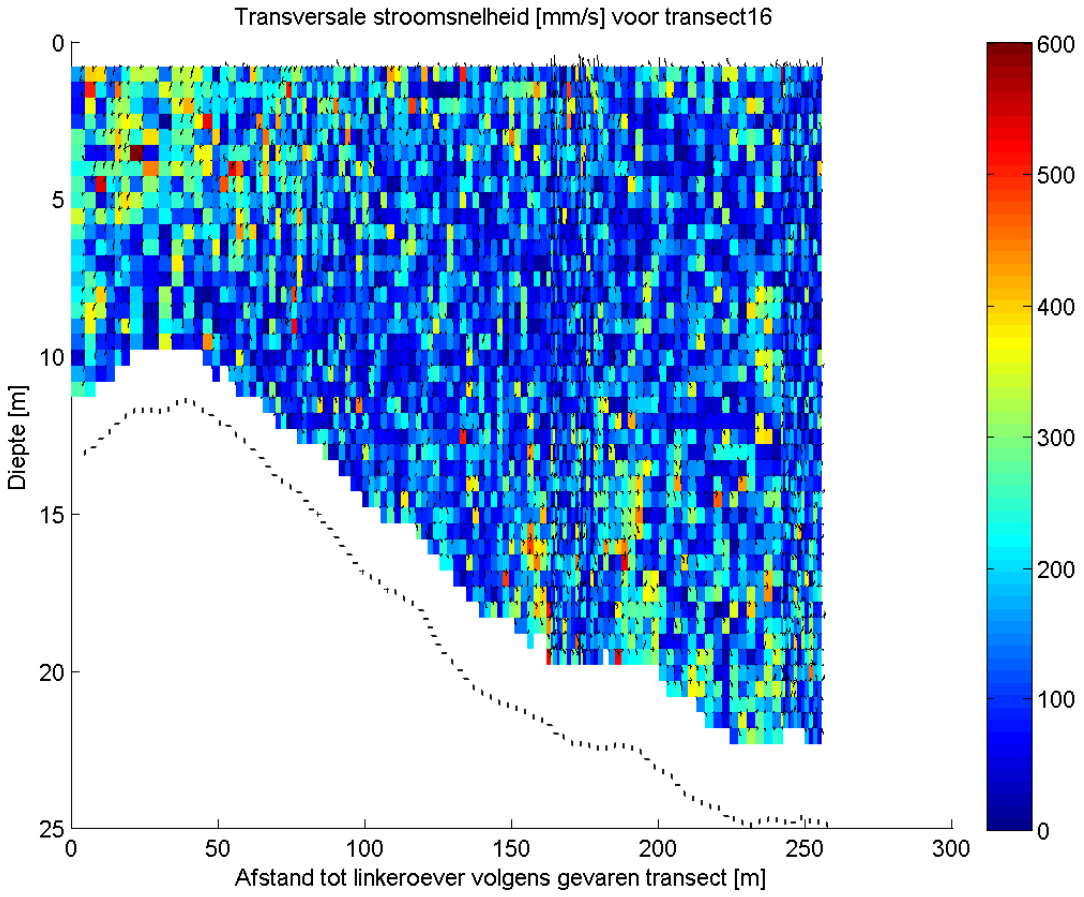
Figuur 55 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 14



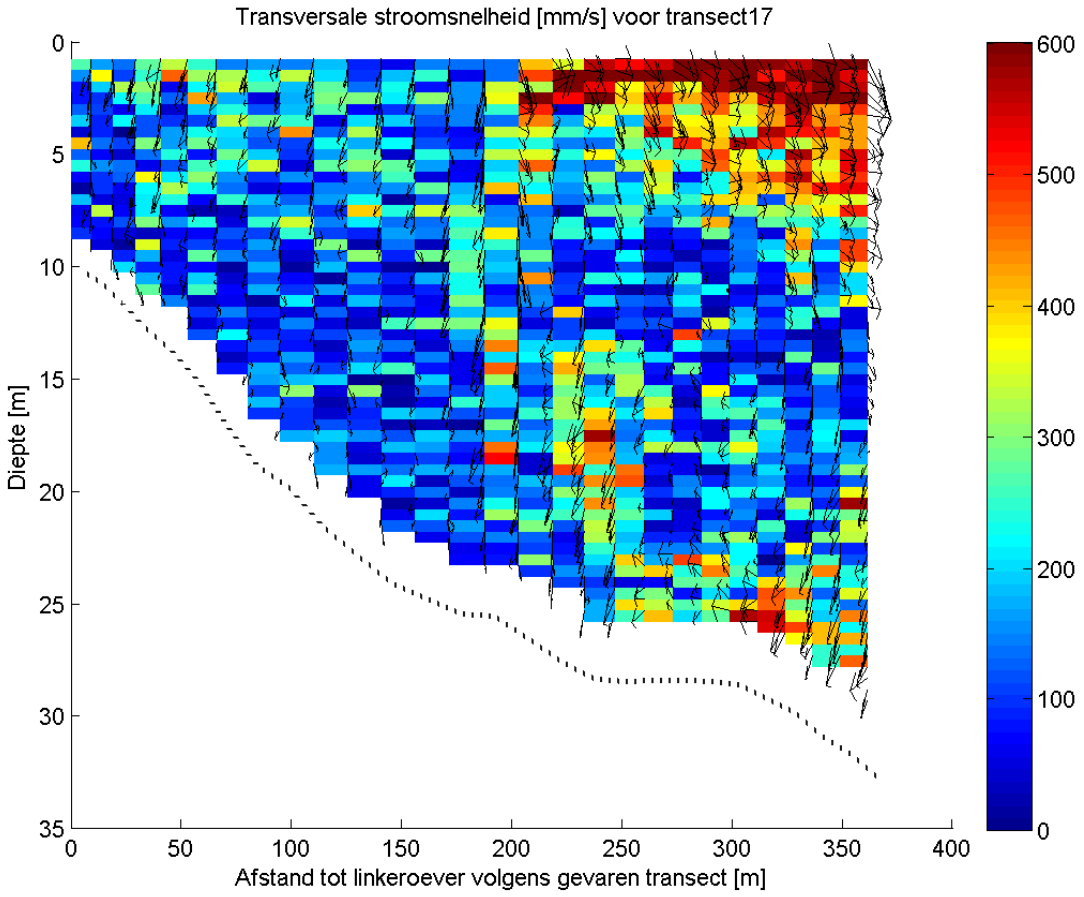
Figuur 56 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 15



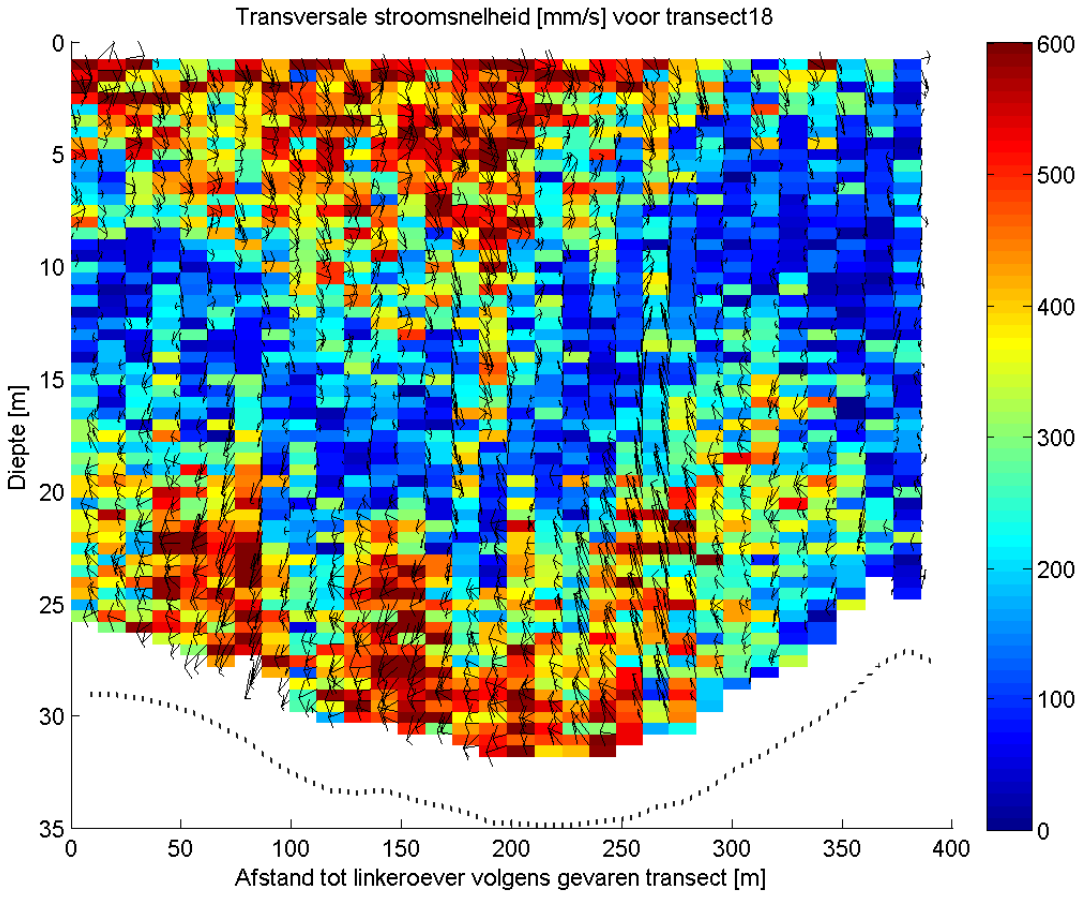
Figuur 57 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 16



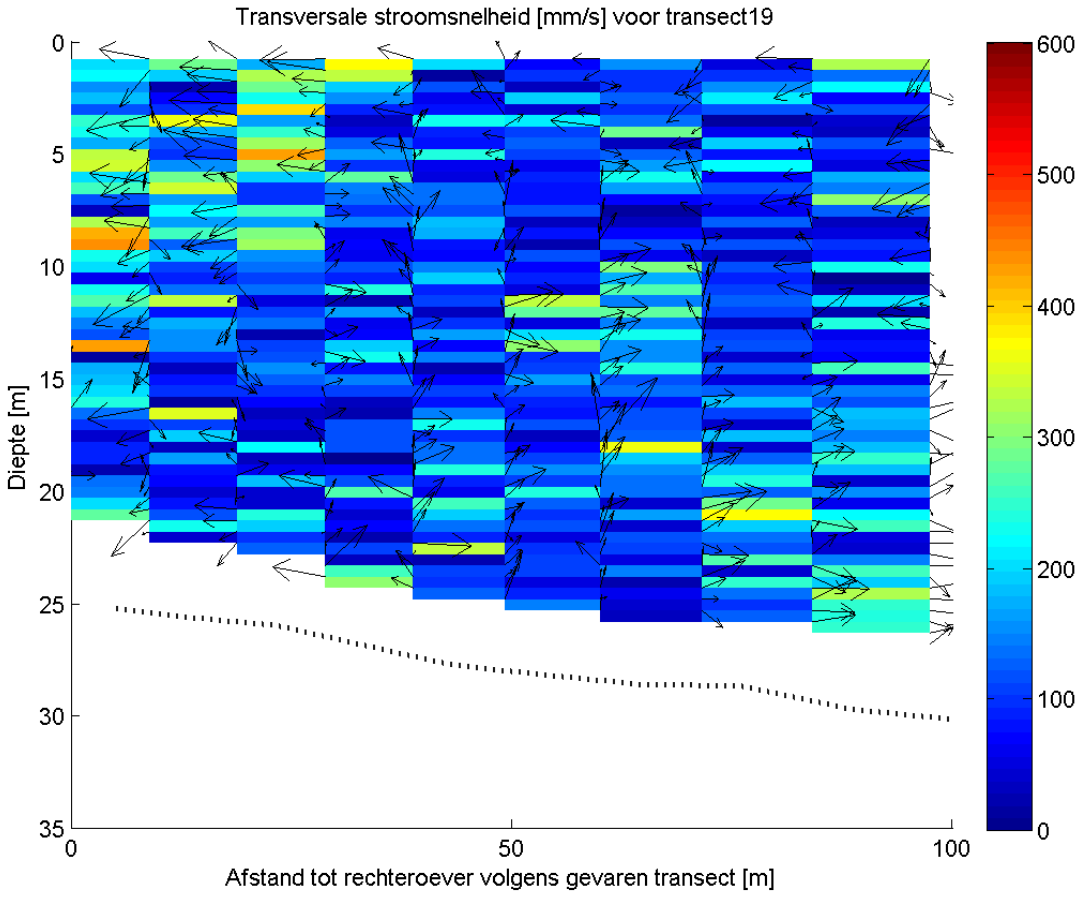
Figuur 58 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 17



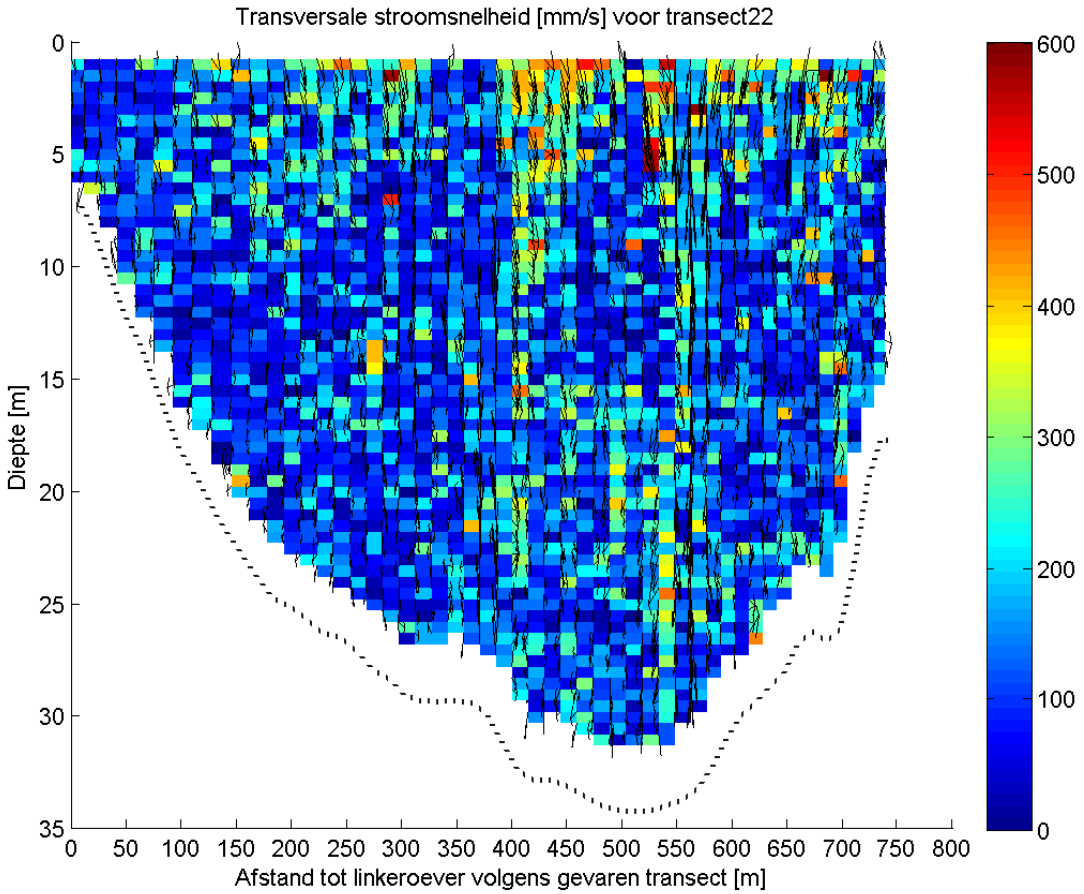
Figuur 59 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 18



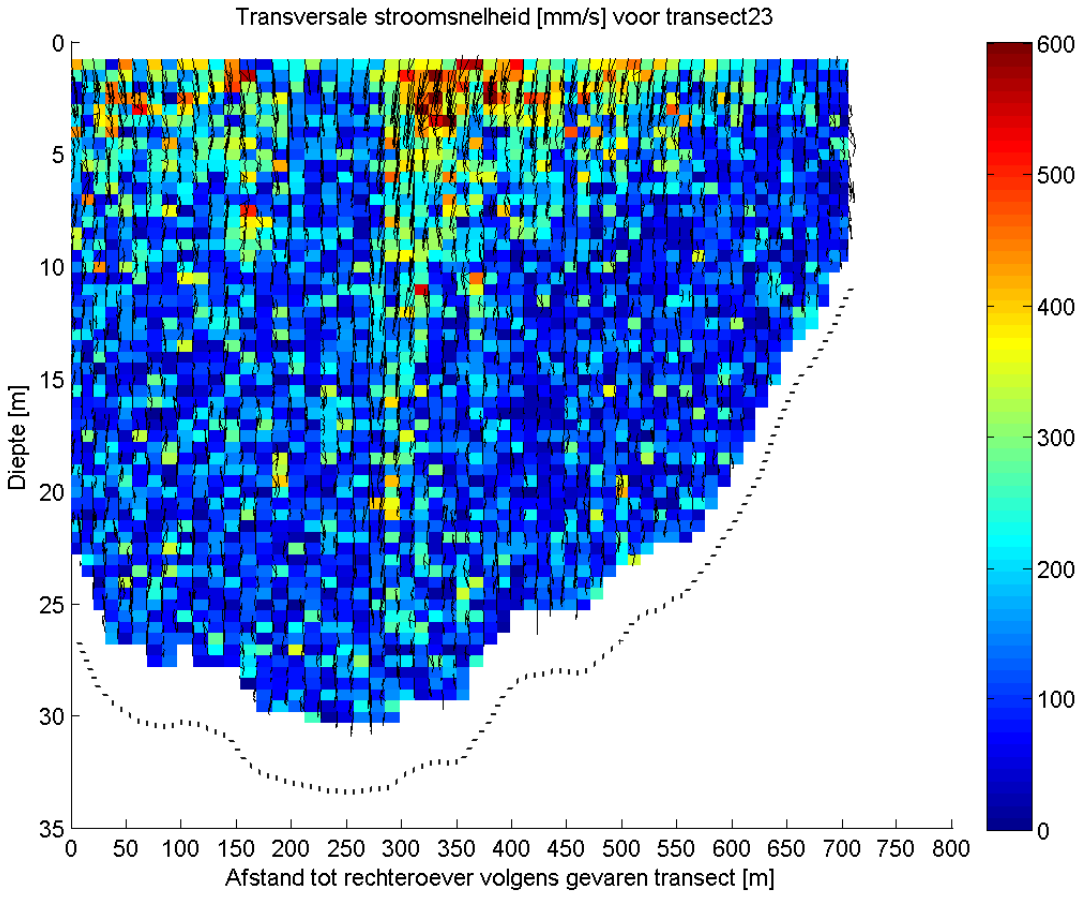
Figuur 60 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 19



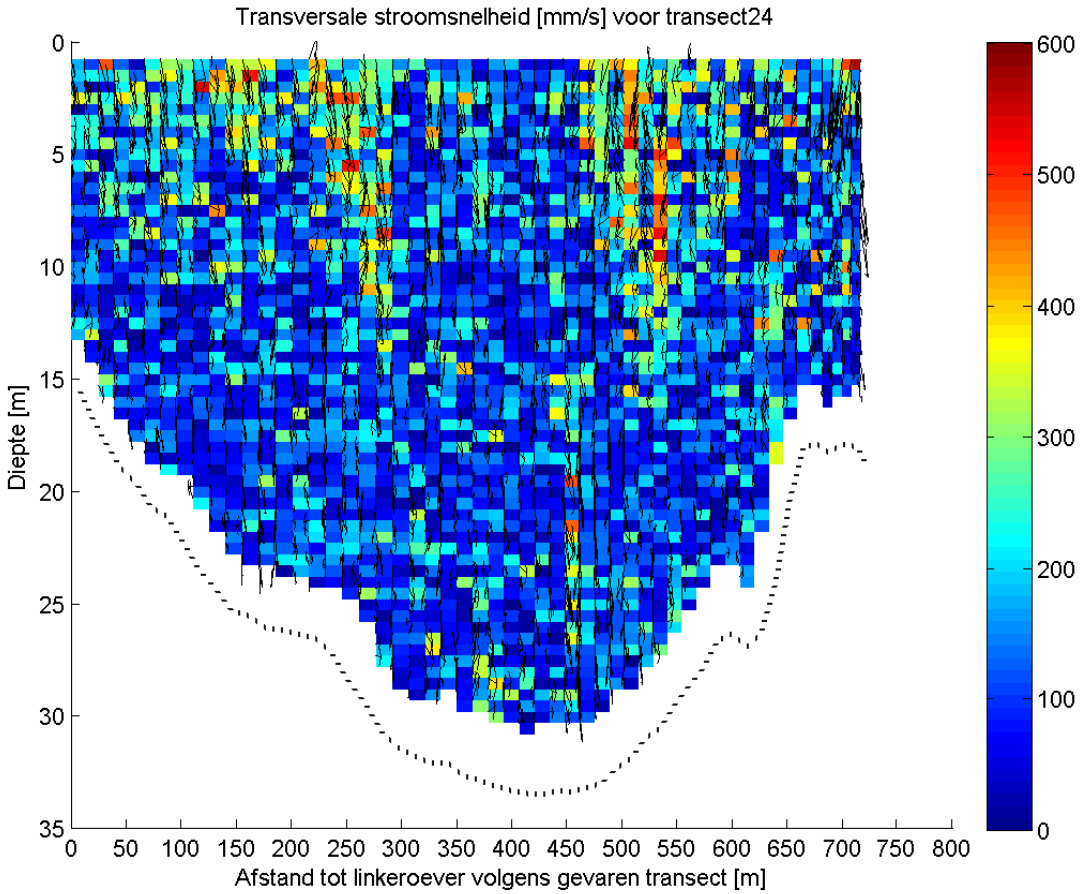
Figuur 61 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 22



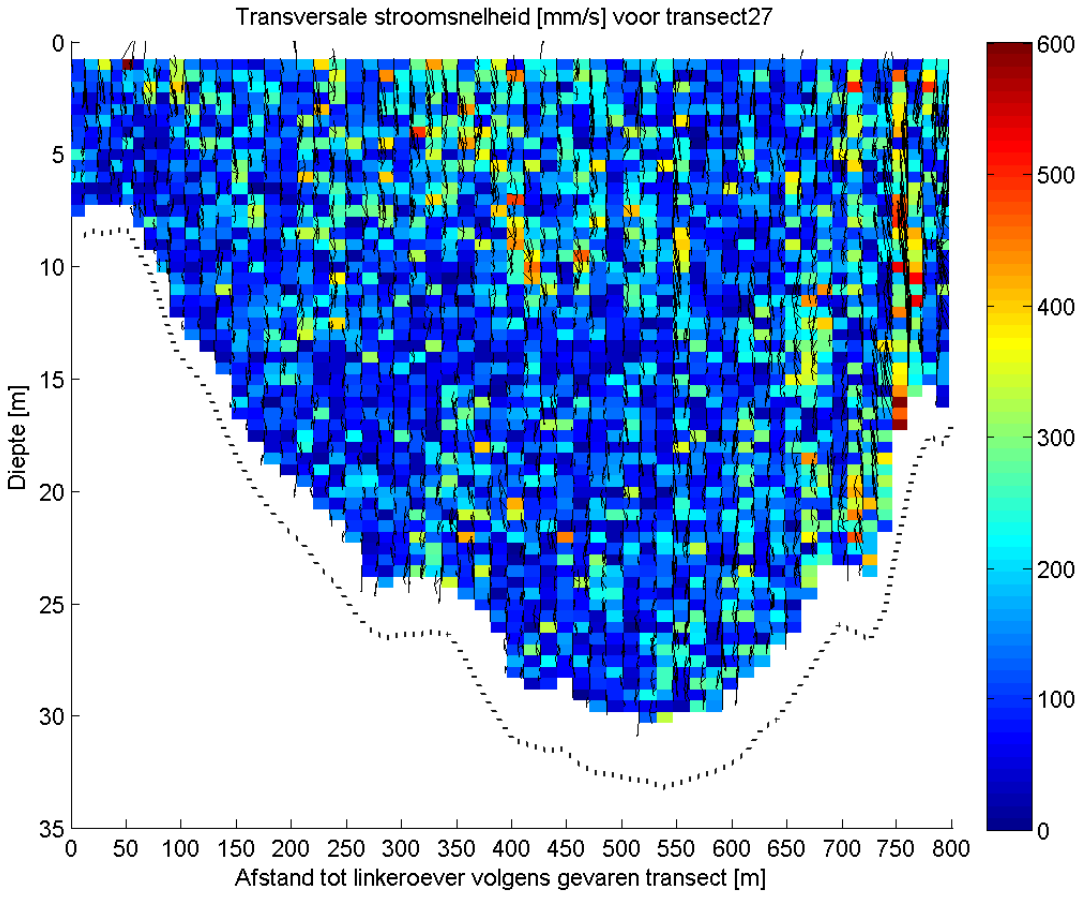
Figuur 62 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 23



Figuur 63 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 24



Figuur 64 –Gemeten stroomsnelheden [grootte (boven) en richting (midden)] en sedimentconcentratie (onder) voor raai 27



DEPARTEMENT **MOBILITEIT & OPENBARE WERKEN**
Waterbouwkundig Laboratorium

Berchemlei 115, 2140 Antwerpen
T +32 (0)3 224 60 35
F +32 (0)3 224 60 36
waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be
www.waterbouwkundiglaboratorium.be