

SO3 Planuitwerking KRW Sliedrechtse Biesbosch

Referentieontwerp - Deelrapport rivierkunde

Rijkswaterstaat

28 april 2023

Project SO3 Planuitwerking KRW Sliedrechtse Biesbosch
Opdrachtgever Rijkswaterstaat

Document Referentieontwerp - Deelrapport rivierkunde
Status Definitief
Datum 28 april 2023
Referentie 121627/23-007.416

Projectcode 121627
Projectleider Herman Mondeel
Projectdirecteur Lennart Turlings

Auteur(s) Liza de Wit, Zilla van Aartrijk
Gecontroleerd door Leon de Jongste
Goedgekeurd door Herman Mondeel

Paraaf



Adres Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V.
Leeuwenbrug 8
Postbus 233
7400 AE Deventer
+31 (0)570 69 79 11
www.witteveenbos.com
KvK 38020751

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos is gecertificeerd op basis van ISO 9001.

© Witteveen+Bos

Niets uit dit document mag worden veeelvoudigd en/of openbaar gemaakt in enige vorm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Witteveen+Bos noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Witteveen+Bos aanvaardt geen aansprakelijkheid voor enigerlei schade die voortvloeit uit of verband houdt met het wijzigen van de inhoud van het door Witteveen+Bos geleverde document.

INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	5
1.1	Aanleiding voor het project KRW Sliedrechtse Biesbosch	5
1.2	Achtergrond van de knelpunten in het huidige (ecologische) systeem	5
1.3	Doel van dit rapport	6
1.4	Leeswijzer	7
2	HET ONTWERP EN OPTIMALISATIES	8
2.1	Hel- en Zuilespolder	8
2.1.1	Beschrijving ontwerp	8
2.1.2	Optimalisatieproces	10
2.2	Gors en de Aanwas	11
2.2.1	Beschrijving variant	11
2.2.2	Optimalisatieproces	12
2.3	Avelingen	13
2.4	Het Wantij	14
3	BELEID	15
3.1	Wetgeving	15
3.2	Beleid	15
3.3	Richtlijnen	16
4	AANPAK	17
4.1	Uitgangspunten	17
4.2	Randvoorwaarden	18
4.3	Relevante ingreep effect relaties	21
4.4	Toelichting op beoordelingscriteria	22
4.4.1	Waterstandseffect op de as van de rivier	22
4.4.2	Waterstandseffect nabij de primaire kering	23
4.4.3	Afvoerverdeling splitsingspunt Merwedde	23
4.4.4	Dwarsstroming op de bakelijns	24
4.4.5	Erosie en sedimentatie in het zomerbed	25

5	ONDERZOEKSRESULTATEN	26
5.1	Baseline schematisatie Gors en Aanwas	26
5.2	Baseline schematisatie Hel- en Zuilespolder	28
5.3	Rivierkundige effecten	31
5.3.1	Hoogwaterveiligheid - Waterstandseffecten op de as van de rivier	31
5.3.2	Hoogwaterveiligheid - Waterstandseffecten nabij de primaire kering	33
5.3.3	Hoogwaterveiligheid - Afvoerverdeling	39
5.3.4	Hinder en schade - Dwarsstroming	40
5.3.5	Erosie en sedimentatie	48
6	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	54
6.1	Conclusies	54
6.1.1	Gors en Aanwas	54
6.1.2	Hel- en Zuilespolder	55
6.2	Aanbevelingen	56
7	REFERENTIES	58
	Laatste pagina	58
	Bijlage(n)	Aantal pagina's
I	Toelichting op wijzigingen WAQUA-model	2
II	Optimalisaties Gors en aanwas	30
III	Optimalisaties Hel- en Zuilespolder	2
IV	Dwarsstroming Gors en Aanwas	4
V	Dwarsstroming Hel- en Zuilespolder	3
VI	Erosie en sedimentatie Gors en Aanwas	1
VII	Erosie en sedimentatie Hel- en Zuilespolder	2
VIII	Baseline schematisatie	8
IX	Waterstandseffecten op de as van de rivier CIP scenario's hza, hzb en hzc	4
X	Padbreedteanalyse binnenvaartschepen op Merwede	162

1

INLEIDING

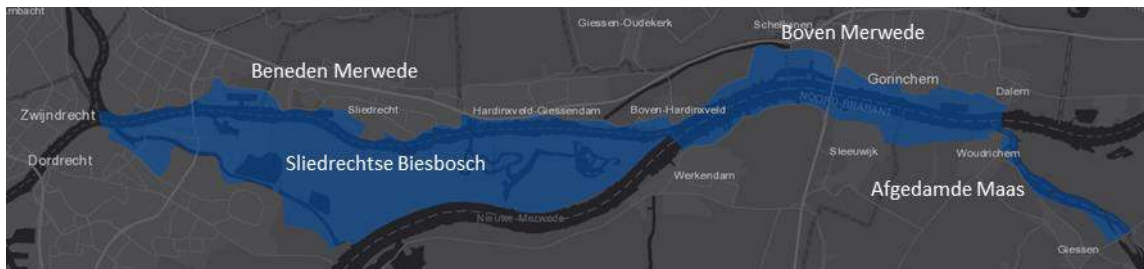
1.1 Aanleiding voor het project KRW Sliedrechtse Biesbosch

Sinds 2000 is de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) van kracht. De algemene doelstelling van de KRW is om aquatische ecosystemen en terrestrische ecosystemen die afhankelijk zijn van water, te beschermen tegen verdere achteruitgang en om deze ecosystemen in kwaliteit te verbeteren. Het gebied Boven en Beneden Merwede (afbeelding 1.1) is aangewezen als KRW-waterlichaam. Zonder aanvullende maatregelen zal het oppervlaktewaterlichaam Boven en Beneden Merwede de KRW-norm niet halen in 2027.

Het Verbeterprogramma Waterkwaliteit Rijkswateren heeft als doel om de inrichting van het hoofdwatersysteem te laten voldoen aan de eisen van de Kaderrichtlijn Water (KRW). Dit verbeterprogramma is verdeeld in drie tranches.

Het streven is om in de Boven en Beneden Merwede een gebied van 60,5 hectare liefst aaneengesloten zoetwatergetijdennatuur te ontwikkelen. Locaties met lage bestaande natuurwaarden of locaties waar grote meerwaarde te bereiken is hebben de voorkeur voor ontwikkeling tot getijdennatuur. Hierbij mogen geen bestaande waarden verloren gaan. Het voorliggend referentieontwerp [ref. 1] is gebaseerd op de voorgenoemde opgave en het is de doelstelling om dit voor 2027 te realiseren.

Afbeelding 1.1 Waterlichaam Boven en Beneden Merwede (blauwe vlak), met de Sliedrechtse Biesbosch, zone rond Boven Merwede en Afgedamde Maas



1.2 Achtergrond van de knelpunten in het huidige (ecologische) systeem

Aan de hand van de KRW-factsheet van Rijkswaterstaat (januari 2021), de KRW-leidraad Oost-Nederland uit 2020 en het Stowa rapport Referenties en maatlaten voor natuurlijke watertypen voor de kaderrichtlijn water 2021-2027 uit 2018 zijn de doelen en scores voor de kwaliteitselementen macrofauna, overige waterflora en vis bepaald. De toestand van het waterlichaam voor het onderdeel 'Biologie totaal' scoort matig. Alle drie de kwaliteitselementen scoren matig. De bepalende deelmaatlaten hiervoor zijn:

- macrofauna : diversiteit en zoetwater;
- overige waterflora : abundantie en soortensamenstelling;
- vis : abundantie en soortensamenstelling voor alle gildes.

Specifieke milieuknelpunten zijn verstoring door scheepvaart, verstening en waterhuishouding (dijken, kribben) en ontbrekend habitat, naast de versturende factoren als gevolg van de beperkte getijdeslag. In hoeverre waterkwaliteit een rol speelt in de afwezigheid van soorten is niet bekend (er is geen waterkwaliteitsanalyse beschikbaar).

Om te komen tot inrichtingsmaatregelen moeten keuzes gemaakt worden welk type milieu (stromend, stilstaand, met of zonder vegetatie) gecreëerd zal worden. Wanneer hierin niet voldoende diversiteit bereikt wordt, zullen niet alle deelmaatlatten voldoende kunnen scoren. Naast deze abiotische factoren is de externe druk van belang. Vanwege gevoeligheid voor verstoring door scheepvaart zal gezocht moeten worden naar locaties waar beperkte druk door scheepvaart optreedt. Voor getij-minnende soorten is minimaal 0,3 meter getijdeslag nodig, en liever meer. Mogelijk dat maatregelen op verschillende locaties in het gebied nodig zijn om aan alle randvoorwaarden tegemoet te komen. Dit schuurt met het uitgangspunt zoveel mogelijk aaneengesloten getijdennatuur te creëren.

De gidssoorten die gefaciliteerd moeten worden met de KRW-maatregelen zijn alle gidssoorten voor KRW-type R8. Er is geen specifieke selectie gemaakt voor het waterlichaam Boven en Beneden Merwede omdat gebleken is dat diversiteit, abundantie en soortensamenstelling de beperkende deelmaatlatten zijn. Met het faciliteren van slechts enkele soorten zouden de maatlatten nog steeds niet goed scoren. Maatregelen moeten gericht zijn op het ecosysteem en het totale voedselweb. Habitatdiversiteit (variatie in diepte, stroming, substraat en begroeiing) is bepalend voor het verbeteren van de EKR-scores voor biologie. Hierbij wordt wel opgemerkt dat voor Overige waterflora biezten de meest bepalende soort is.

1.3 Doel van dit rapport

Onze hoofdopdracht is om de werkzaamheden ten behoeve van de planuitwerking inclusief de contractvoorbereiding van de aanleg van het KRW-project Sliedrechtse Biesbosch succesvol uit te voeren. Binnen de opdracht worden vier fase onderscheiden:

- 1 startdocument; op basis van de resultaten van de bureaustudies wordt een startdocument opgesteld met bouwstenen;
- 2 variantennota; met de bouwstenen uit het startdocument worden in deze fase varianten uitgewerkt. In deze fase worden effectonderzoeken uitgevoerd en vindt een integrale effectanalyse plaats om te komen tot een haalbare voorkeursvariant;
- 3 notitie voorkeursvariant; de gekozen voorkeursvariant wordt in deze fase nader onderzocht. Eisen worden definitief gemaakt en uitgewerkt in een referentieontwerp;
- 4 contractvoorbereiding realisatie; in deze fase wordt het contractstuk, de vraagspecificatie eisen (VSE) opgesteld ten behoeve van de realisatie.

Dit rapport beschrijft de effecten en/of onderzoeksresultaten van rivierkunde. Voor deze rapportage heeft intensief overleg plaatsgevonden met Rijkswaterstaat. Daarnaast zijn de ontwerpen uitgebreid geoptimaliseerd om de effecten van de ingrepen zoveel mogelijk te beperken. De input uit dit onderzoek wordt gebruikt om aan het eind van Fase 3 het definitieve referentieontwerp vast te stellen als basis voor de contractvoorbereiding en de aan te vragen vergunningen.

1.4 Leeswijzer

Onderstaande tabel toont de opbouw van het deelrapport.

Tabel 1.1 Leeswijzer voor het deelrapport rivierkunde

Hoofdstuk	Geeft antwoord op de vraag
1 Inleiding	wat is het doel van het project?
2 Het ontwerp	hoe ziet het ontwerp van de herinrichting eruit?
3 Beleid	binnen welke kaders en richtlijnen voeren we het onderzoek uit?
4 Aanpak	hoe onderzoeken we de effecten op rivierkunde?
5 Onderzoeksresultaten	wat zijn de onderzoeksresultaten van het referentieontwerp op rivierkunde?
6 Conclusies en aanbevelingen	conclusies en aanbevelingen op rivierkunde?

2

HET ONTWERP EN OPTIMALISATIES

De ontwikkeling van hoogwaardige getijdennatuur is geen eenvoudige of eenzijdige opgave. De aanpassingen aan de waterhuishouding en de herstelmaatregelen voor de gewenste natuurontwikkeling hebben namelijk invloed op bestaande kwaliteiten en functies in het gebied en de directe omgeving. Bovendien hebben partijen in de omgeving hun eigen doelen en belangen, die effect ondervinden van de te nemen maatregelen in dit project. Afstemming tussen deze verschillende belangen is cruciaal bij de ontwikkeling van het project KRW Sliedrechtse Biesbosch. Rijkswaterstaat heeft er daarom voor gekozen om al deze belangen te betrekken in één integraal ontwerpproces.

De probleemanalyse, uitgevoerd in de verkenningsfase, vormt de basis voor het ontwerpproces om de juiste inrichtings- en beheermaatregelen te kunnen vaststellen. Zonder goede kennis over het functioneren van het systeem is het immers niet mogelijk om effectieve maatregelen te ontwerpen. Op basis van de probleemanalyse is een groslijst aan potentiële zoekgebieden en mogelijke maatregelen opgesteld. Vanuit deze groslijst zijn drie, onderscheidende, varianten voor inrichting samengesteld. Deze varianten zijn in de variantennota integraal afgewogen. Op basis van een integrale afweging is het voorkeursalternatief tot stand gekomen (voor een nadere onderbouwing van de afweging en keuze zie [ref. 1]).

Dit vastgestelde en uitgewerkte referentieontwerp is de basis voor het uitvoeren van de conditionerings- en effectenonderzoeken en bestaat uit de volgende locaties:

- de Hel- en Zuilespolder;
- Gors en de Aanwas;
- het Wantij;
- Avelingen.

2.1 Hel- en Zuilespolder

2.1.1 Beschrijving ontwerp

De Hel- en Zuilespolder is een centraal gelegen grote polder waarvan de natuurwaarde op dit moment beperkt is voor grote delen van de polder. De polder is eigendom van de gemeente Dordrecht. De polder is westelijk gelegen, waardoor er veel potentie is om R8 getijdenatuur te creëren. De bestaande maaiveldhoogtes liggen dicht bij de hoogtes die nodig zijn voor getijdenatuur, waardoor de hoeveelheid grondwerk beperkt is.

Het referentieontwerp bestaat uit de herinrichting van de Hel- en Zuilespolder zelf en de herinrichting van de oeverzone tussen de Hel- en Zuilespolder en de Beneden Merwede. Afbeelding 2.1 toont het inrichtingsontwerp. Voor het ontwerp van de openingen in de Hel- en Zuilespolder en de maat van de openingen heeft rivierkundige analyse plaatsgevonden, het advies dat hieruit is gevolgd is overgenomen in het referentieontwerp (zie ook paragraaf 5.3.4). Een gedetailleerde beschrijving van het ontwerp wordt gegeven in [ref. 1].

Afbeelding 2.1 Referentieontwerp Hel- en Zuilespolder - overzichtstekening



Legenda

- Locaties te behouden peilbuizen
- Teen van talud
- Behoud huidige weg
- Huidig fietspad (behouden)
- Drug voor recreanten
- Brug voor voertuigen
- GLW +0,32 m NAP - zoete getijdewateren
- Gemiddelde waterstand +0,6 m NAP - lage intergetijdzone
- Eilanden met wilgenbos +2,0 m NAP
- Ondiepte met hoge gorzen 1,0 - 1,5 m NAP
- Ooibos
- Ruigte langs de kade (op 1:10 talud, +/- 12 m breed)
- Paden over de kade
- Bestaande rietzone
- ➡ Route water aar en afvoer zwemplas
- Hoge intergetijdzone tussen gemiddelde waterstand en GHW, EHW (Huidige sloten dempen)

- 1 Cultuurhistorische polder, geschikt maken voor Platte Schijfhoren
- 2 Nieuwe kade met wandelpad, terugbrengen van knotwilgensingel, beschermd met een voerzevier met wilgentenen tegen erosie
- 3 Watersysteem polder: bestaande inlaat handhaven, gemaal realiseren t.b.v. uitlaat polderwater
- 4 In- en uitlaat in de waterkering t.b.v. watersysteem Helpolder
- 5 Behoud polderdij bij de Helsluis, aanleg aparte uitlaatvoorziening t.b.v. regenwaterafvoer
- 6 Visplekken nabij bruggen
- 7 Nieuwe locatie verplaatsing ooivaarspaal
- 8 Oeverwaluwalwand
- 9 Mogelijke optimalisatie afhankelijk van modellering scheepvaart
- 10 Oeverbescherming met rivierhout ter bescherming van uitstligting bij de reijerkolonie
- 11 Aanleg langsdam
- 12 Rijshoutdampen tegen erosie (beschermen rietgebied aan de oostzijde voor de waterspijtsmuis)
- 13 Behouden bestaande watergang i.v.m. Libellen en geschikt maken voor de Platte Schijfhoren (compensatie) Aanleg duiker met pomp op waterpeil in de watergang te handhaven
- 14 Verharding voor parkeren
- 15 Toepassen rivierhout (bij kruising met zijgeulen)

2.1.2 Optimalisatieproces

Zoals in bovenstaande alinea beschreven bestaat de ingreep in de Hel- en Zuilespolder uit twee onderdelen:

- A de ingreep in de Hel- en Zuilespolder;
- B buitendijkse ingreep ten noorden van de Hel- en Zuilespolder.

Voor de buitendijkse ingreep (B) zijn een aantal varianten opgesteld, waarbij B1 het oorspronkelijke ontwerp is. Naar aanleiding van de waterstandseffecten van ingreep B1 zijn een aantal ontwerpoptimalisaties (B2 en B3) onderzocht. De uitgevoerde optimalisaties hebben ook effect op de andere beschouwde rivierkundige aspecten zoals scheepvaartveiligheid en erosie en sedimentatie. In deze paragraaf wordt een samenvatting gegeven van de optimalisaties. In bijlage III worden de optimalisaties voor de polder getoond.

Tabel 2.1 geeft een overzicht van de optimalisaties en de effecten daarvan op het netto waterstandseffect ten opzichte van de referentie.

Tabel 2.1 Optimalisaties en effect op netto waterstandseffect ten opzichte van de referentie

Naam	Optimalisatie	Effect
A + B2	- verflauwen steile oevers van uitlopende geulen van ingreep B	netto waterstandseffect daalt met 0,4 mm, er is sprake van een waterstandsdeling
A + B3	- verflauwen steile oevers van uitlopende geulen van ingreep B - inkorten overlaat bij uitstroomlocatie ingreep B	netto waterstandseffect blijft hetzelfde

De combinatie van ingreep A en ingreep B2 heeft de meest positieve effecten op de waterstand. Deze optimalisatie is verwerkt in het referentie ontwerp [ref. 1] en is in deze rapportage nader uitgewerkt.

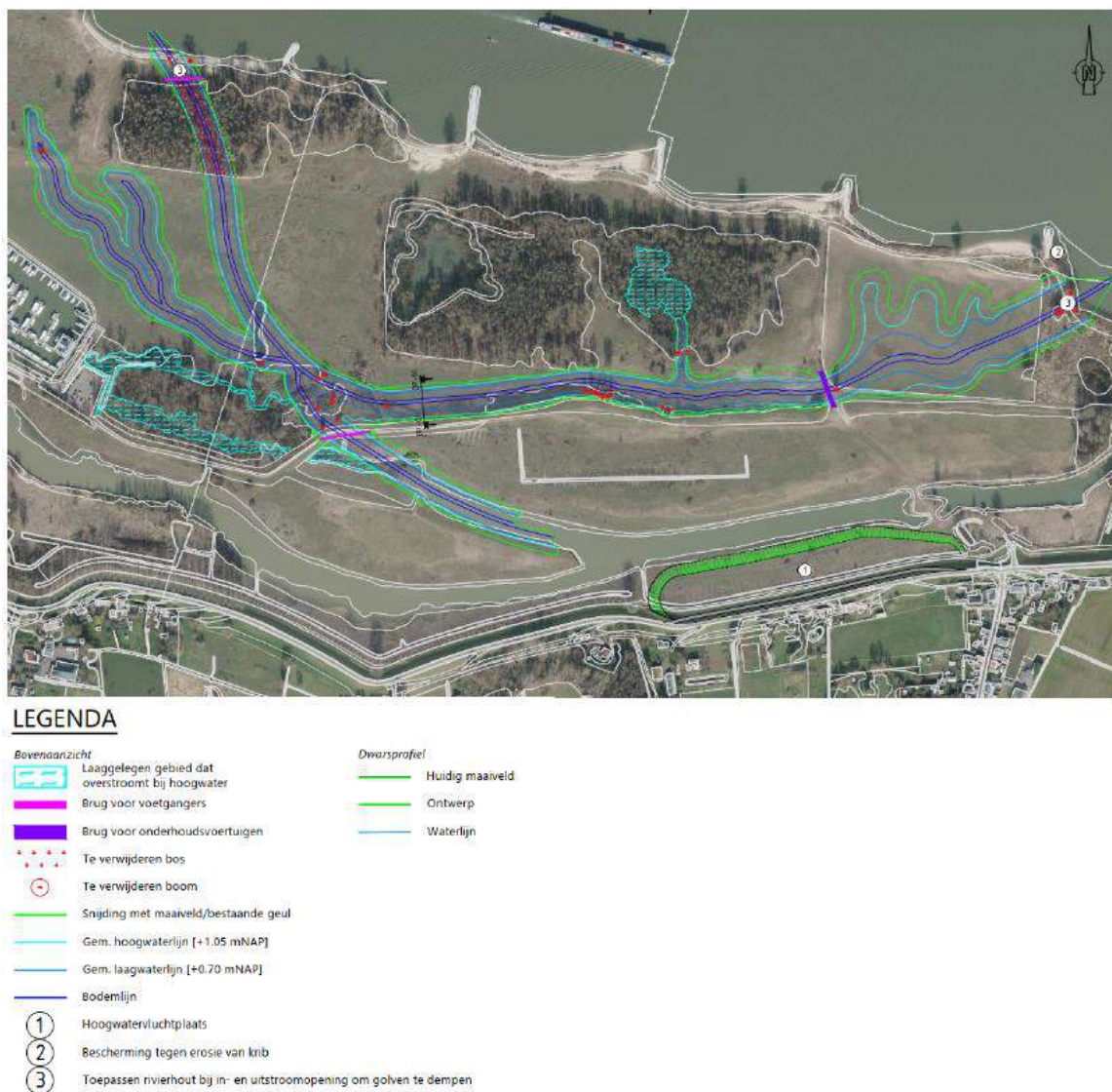
2.2 Gors en de Aanwas

2.2.1 Beschrijving variant

Het Gors en Aanwas is een polder grenzend aan de Boven Merwede en ligt ten oosten van Sleeuwijk. Ten westen van de polder ligt een haven en het noordelijke deel bestaat uit zandstranden die veel voor recreatie worden gebruikt. In de polder ligt een bestaande geul die enkelzijdig aangetakt is op de Boven Merwede. Het maaiveldniveau wisselt veel, waar op ingespeeld kan worden met het ontwerp. De uiterwaard is in eigendom bij de Staat en Brabants Landschap.

Afbeelding 2.2 toont het inrichtingsontwerp. Een gedetailleerde beschrijving van het ontwerp wordt gegeven in [ref. 1].

Afbeelding 2.2 Referentieontwerp het Gors en de Aanwas - overzichtstekening



2.2.2 Optimalisatieproces

Naar aanleiding van de waterstandseffecten van de ingrepen in Gors en Aanwas zijn een aantal ontwerp optimalisaties onderzocht. De uitgevoerde optimalisaties hebben ook effect op de andere beschouwde rivierkundige aspecten zoals scheepvaartveiligheid en erosie en sedimentatie. In deze paragraaf wordt een samenvatting gegeven van de optimalisaties. In bijlage II worden de optimalisaties voor Gors en Aanwas getoond.

Tabel 2.2 geeft een overzicht van de optimalisaties en de effecten daarvan op het maximale waterstandsverschil tussen de referentie en de ingreep. Er wordt onderscheid gemaakt tussen 3 typen optimalisaties:

- 1 lokale optimalisaties binnen het projectgebied (optimalisatie 1-7);
- 2 grootschalige optimalisaties buiten het projectgebied (optimalisatie 9);
- 3 grootschalige optimalisaties binnen het projectgebied (optimalisatie 10-11).

De resultaten laten zien dat optimalisaties 1-7 geen tot zeer kleine effecten hebben op de opstuwingspiek. Optimalisatie type 2 (nr. 9) is vanwege de grootschalige aanvullende vergraving geen kostenefficiënte oplossing. Optimalisatie type 3 (nr. 10-11) voldoet vanwege de negatieve impact op het aantal hectares intergetijde natuur niet aan de KRW-projectdoelstelling. Er heeft daarom geen verdere optimalisatie plaatsgevonden.

Effect van optimalisaties ten opzichte van verouderd ontwerp

De optimalisaties zijn onderzocht aan de hand van een ontwerp dat afwijkt van het referentieontwerp. Het ontwerp op basis waarvan de optimalisaties zijn onderzocht wijkt als volgt af van het uiteindelijke referentie ontwerp:

- geen tweezijdig aangetakte nevengeul;
- geen hoogwatervluchtplaats;
- wel een verdiepte plas ten oosten van de uitstroomlocatie van de nevengeul.

Hoewel de optimalisaties zijn onderzocht op basis van een verouderd ontwerp is de verwachting niet dat de onderzochte optimalisaties in het huidige referentieontwerp een positiever effect zullen hebben.

Tabel 2.2 Optimalisaties en effecten op de opstuwingspiek en de waterstandsvaling

Nr.	Optimalisatie	Effect
1	<ul style="list-style-type: none"> - verflauwen nevengeul - minder haakse aansluiting op zomerbed - aansluiting van bestaande geul op nieuwe nevengeul 	opstuwingspiek: 0 mm waterstandsvaling: 0 mm
2	<ul style="list-style-type: none"> - verflauwen nevengeul - minder haakse aansluiting op zomerbed - aansluiting van bestaande geul op zomerbed 	opstuwingspiek: + 3 mm waterstandsvaling: 0 mm
3	<ul style="list-style-type: none"> - uitloper nevengeul aansluiten op ingang haven met overlaat - volgen van natuurlijke stroombanen 	opstuwingspiek: 0 mm waterstandsvaling: -1 mm
4	<ul style="list-style-type: none"> - instroomlocatie nevengeul dichtzetten - eenzijdig aangetakte nevengeul 	opstuwingspiek: 0 mm waterstandsvaling: 0 mm
5	<ul style="list-style-type: none"> - krib ten westen van uitstroomlocatie verlagen 	opstuwingspiek: 0 mm waterstandsvaling: 0 mm
6	<ul style="list-style-type: none"> - begroeiing toevoegen op oevers van mee stromende nevengeul 	opstuwingspiek: -1 mm waterstandsvaling: 0 mm
7	<ul style="list-style-type: none"> - verwijderen westelijke aftakking nevengeul - plas vergroten 	opstuwingspiek: + 2 mm waterstandsvaling: +1 mm
9	<ul style="list-style-type: none"> - compensatie door aanvullende benedenstroomse nevengeul, in de Sleeuwijkenwaard 	opstuwingspiek: -5 mm waterstandsvaling: -13 mm

Nr.	Optimalisatie	Effect
10	- verwijderen van westelijke deel van meestromende nevengeul (halvering van ingreep)	opstuwingspiek: -13 mm waterstandsval: +4 mm
11	- verwijderen van westelijke aansluiting op het zomerbed (wordt een eenzijdig aangetakte geul).	opstuwingspiek: -4 mm waterstandsval: +1 mm

2.3 Avelingen

Voor Avelingen geldt dat een verbinding gemaakt wordt die voor vissen passeerbaar is zodat de polder weer bereikbaar wordt voor vis en als broedkamer kan gaan fungeren. Aan de noordzijde van het gebied wordt nu water ingelaten vanuit het Kanaal van Steenenhoek. Aan de noordoostzijde bevindt zich een afsluitbare duiker die de uitlaat van het gebied vormt. Ook aan het westen is een verbinding aanwezig. De duiker met klep in het westen van het gebied is niet in gebruik en staat altijd dicht (heeft geen functie). Het huidige waterpeil dat gehanteerd wordt is van belang voor de verpachte percelen in de polder waar landbouw plaatsvindt. Het is niet wenselijk om dit te wijzigen, omdat de percelen al vrij laag liggen.

De vispassage zal worden aangelegd op de locatie van de huidige duiker in het westen (die nu geen functie heeft). Dit vormt al een mooie verbinding tussen de polder en de Merwede en daarnaast is de huidige duiker aan vervanging toe en heeft hij nu geen functie. Ook is de hoeveelheid grondverzet hierdoor kleiner dan bij het afgraven van een nieuwe verbinding door de hoger gelegen kade.

Rivierkundige beoordeling

De ingreep voor de vispassage bij Avelingen is lokaal en zeer klein. Met Rijkswaterstaat WNZ is afgestemd dat deze maatregelen niet worden geschematiseerd in Baseline.

Afbeelding 2.3 Vispassage Avelingen op locatie 2



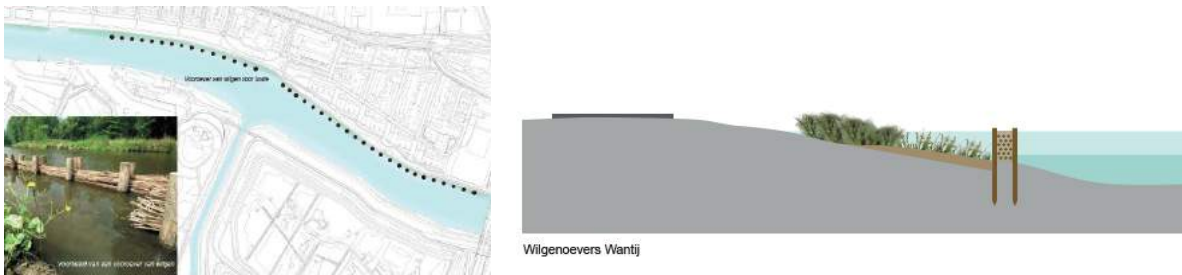
Afbeelding 2.4 Foto duiker westzijde (locatie voor vispassage)



2.4 Het Wantij

Het Wantij is behoorlijk versteend. De oevers zijn beschermd met stortstenen. Om de natuurlijke verbinding te versterken is een vooroever voorzien op een bepaald traject van het Wantij. Deze vooroever vormt een scheiding tussen verschillende stromingen, in dit geval tussen de druk bevaren scheepvaartroute en een luwe zone. Dit is niet alleen aantrekkelijk voor vis, maar zorgt ook voor de ontwikkeling van vegetatie achter de vooroever. Hierdoor ontstaat er een groene oever waar vissen kunnen migreren en vormt daarmee een stapsteen.

Afbeelding 2.5 Vooroever Wantij



Rivierkundige beoordeling

De ingreep voor het Wantij is lokaal en beperkt tot de oevers van het Wantij. De schaal van de ingreep laat het niet toe om deze ingreep te schematiseren in Baseline, er is daarom met Rijkswaterstaat WNZ is afgestemd dat deze maatregelen niet worden geschematiseerd in Baseline.

3

BELEID

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de vigerende wet- en regelgeving en het beleid op het gebied van rivierkunde op verschillende schaalniveaus, voor zover van invloed op het studiegebied en/of de varianten.

Per thema wordt in onderstaande tabellen een overzicht gegeven van de belangrijkste wetgeving, beleid en richtlijnen voor zo ver van toepassing.

3.1 Wetgeving

Tabel 3.1 geeft een overzicht van de relevante vigerende wet- en regelgeving met betrekking tot rivierkunde.

Tabel 3.1 Wettelijk kader

Wet	Vastgestelde datum	Uitleg en relevantie
Waterwet	januari 2009	de Waterwet stelt eisen (veiligheidsnormen) aan waterkeringen en regelt het beheer van oppervlakte- en grondwater. De verwachting is dat de Waterwet op korte termijn opgaat in de Omgevingswet.

3.2 Beleid

(Inter)nationaal, provinciaal en gemeentelijk beleid en het beleid van de waterschappen stellen kaders aan het project. In tabel 3.2 zijn deze kaders voor elk beleidsniveau beschreven.

Tabel 3.2 Beleidskader

Beleidsstuk	Vastgestelde datum	Opgesteld door	Uitleg en relevantie
Beleidslijn Grote Rivieren	juli 2019	Rijkswaterstaat	De beleidslijn schrijft voor welke activiteiten binnen het rivierbed van de grote rivieren zijn toegestaan en onder welke voorwaarden. De rivierkundige voorwaarden zijn nader uitgewerkt in het Rivierkundig Beoordelingskader (RBK), welke gebruikt wordt bij vergunningplichtige activiteiten. De beoogde maatregelen moeten worden uitgevoerd in overeenstemming met de beleidslijn en de criteria uit het Rivierkundig Beoordelingskader 5.0.
Deltaprogramma	september 2022	Rijkswaterstaat	Het nationale programma waarin Rijk, waterschappen, provincies en gemeenten samenwerken, onder andere om de waterveiligheid in Nederland te verbeteren.

Beleidsstuk	Vastgestelde datum	Opgesteld door	Uitleg en relevantie
			Ieder jaar wordt vanuit het Deltaprogramma een voorstel gedaan voor onder andere de geprogrammeerde waterveiligheidsmaatregelen. Dit wordt vastgelegd in het Deltaplan Waterveiligheid. Maatregelen die in het Deltaprogramma zijn opgenomen kunnen mogelijk een effect hebben op de dijkversterkingsalternatieven.
Rivierkundig Beoordelingskader voor ingrepen in de Grote Rivieren 5.0	juni 2019	Rijkswaterstaat	Het kader gaat in op de te toetsen rivierkundige aspecten van een vergunningaanvraag, de hierbij te gebruiken rivierkundige modellen en randvoorwaarden en de te hanteren normering (criteria).
Nationaal Water Programma (NWP) 2022-2027	maart 2022		Dit programma geeft een overzicht van de ontwikkelingen binnen het waterdomein en legt nieuw ontwikkeld beleid vast. We werken aan schoon, veilig en voldoende water dat klimaatadaptief en toekomstbestendig is. Het NWP vervangt het Nationaal Waterplan 2016 – 2021 inclusief alle tussentijdse wijzigingen en het Beheer- en ontwikkelplan voor de Rijkswateren 2016 - 2021.
Natura 2000-beheerplan Biesbosch (112)	oktober 2017	Dienst Landelijk Gebied en Staatsbosbeheer	Het stuk beschrijft het beheer van het Natura 2000-gebied de Biesbosch.

3.3 Richtlijnen

Naast wet- en regelgeving en beleid zijn er ook handreikingen, instructies en richtlijnen relevant voor het onderzoek. Tabel 3.3 beschrijft deze.

Tabel 3.3 Aanvullende richtlijnen

Richtlijn	Vastgestelde datum	Uitleg en relevantie
Kader Richtlijn Water (KRW)	-	De KRW is een Europese richtlijn en stelt eisen aan de kwaliteit van oppervlaktewater en grondwater in Europa.. In het MER worden de effecten van de ingreep op de chemische en ecologische waterkwaliteit onderzocht. In de uiterwaarden zijn enkele KRW-maatregelen gepland die mogelijk als compensatie kunnen dienen.
Natura 2000 Biesbosch	juli 2013	Het Nederlandse Natura 2000-netwerk heeft een totale omvang van circa één miljoen hectare. De Biesbosch is aangewezen onder de Habitatrictlijn én de Vogelrichtlijn. De gebiedsgerichte bepalingen vanuit de Habitatrictlijn en Vogelrichtlijn zijn vanaf 1 oktober 2005 verwerkt in de Natuurbeschermingswet 1998. Sinds 1 januari 2017 is de wettelijke bescherming van de Natura 2000-gebieden geregeld in de Wet natuurbescherming.

4

AANPAK

Dit hoofdstuk licht toe hoe de effectbeoordeling plaatsvindt voor het thema rivierkunde.

4.1 Uitgangspunten

Bij de analyse van de rivierkundige effecten zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

Modellen

Toelichting op toegepaste modellen

Voor de planuitwerking van dit project is gewerkt met verschillende rivierkundige modellen. De rivierkundige effecten in zowel de Hel- en Zuilespolder als Gors en Aanwas zijn gekwantificeerd met het WAQUA Biesbosch model uit 2015 van Rijkswaterstaat. Dit model is eigendom van Rijkswaterstaat en het gebruik hiervan is voorgeschreven bij het aanvragen van vergunningen / projectplan Waterwet. Dit is een 2D (dieptegemiddeld) hydrodynamisch model .

Hydraulische randvoorwaarden voor het WAQUA Biesbosch model zijn afkomstig uit SOBEK-simulaties van de gehele Rijn-Maasmonding. Voor de hoogwaterveiligheid scenario's zijn door Rijkswaterstaat hydraulische randvoorwaarden aangeleverd.

Baseline

Voor het schematiseren van de ingrepen en de projectie op het WAQUA-rekenrooster is gebruik gemaakt van de volgende Baseline gebiedsschematisatie:

- referentiemodel: rmm-beno15_5-v2[ref. 1], welke is geüpdatet met 8 maatregelen zoals aangeleverd door Rijkswaterstaat:
 - rmm_tongpl_a1;
 - rmm_dvpapd_a1;
 - rm_r_zbh18_a1;
 - rmm_bath18_a1;
 - rm_r_eco17_a1;
 - rmm_eco18_a1;
 - rm_r_leg20_a1;
 - rm_leg20_a2;
- Baseline-versie 5.3.3;
- ArcGIS versie 10.3.1.

WAQUA

- referentiemodel: rmm-beno15_5_20m_bbosch-v1 [ref. 2];
- Simona versie 2019;
- in het ontvangen referentiemodel staat de Helsluis open. In afstemming met Rijkswaterstaat WNZ is de Helsluis in het referentiemodel dichtgezet (bijlage I);
- vanwege de hierboven benoemde maatregelen en het gebruik van Simona2019 is het WAQUA-model in overleg met Rijkswaterstaat aangepast. Wijzigingen zijn nader toegelicht in bijlage I.

Toelichting en nauwkeurighedsbeschouwing WAQUA Biesbosch model

Het toegepaste WAQUA-model voor deze planuitwerking is voorgeschreven door Rijkswaterstaat en eigendom van Rijkswaterstaat. Het model kent echter beperkingen.

De geulen in zowel de Gors en Aanwas en in de Hel- en Zuilespolder zijn relatief smal in vergelijking met de gridcelgrootte (10 m x 20 m) van het toegepaste WAQUA Biesbosch model. De resultaten van de WAQUA simulaties moeten daarom met zorg gebruikt en beoordeeld worden. Daarom is in deze rapportage bij opmerkelijke resultaten een tekstkader geplaatst om de modelresultaten te duiden.

Het is belangrijk om een 2D hydrodynamisch model toe te passen voor deze planuitwerking, omdat:

- de stroming in het gebied sterk tweedimensionaal is (o.a. overstroming van vrijwel de gehele Sliedrechtse Biesbosch bij extreem hoogwater en daardoor uitwisseling tussen de Beneden Merwede en Nieuwe Merwede);
- dit aansluit bij vergunningenproces binnen Rijkswaterstaat en een reproduceerbaar is.

De beoordeling van de rivierkundige effecten vindt plaats op basis van inzicht en resultaten van modellen.

Het model wordt geschikt geacht om:

- de waterstanden en stroomsnelheden in het zomerbed (nauwkeurig) te berekenen;
- debieten door geulen in de Biesbosch te berekenen (orde van grootte);
- overstroming van de Biesbosch te berekenen met waterstanden om de waterstandseffecten van een ingreep nauwkeurig in beeld te brengen.

Stroomsnelheden in de geulen zijn ingeschat op basis van deze debieten en doorstroomprofielen.

Geconcludeerd wordt dat het WAQUA Biesbosch model geschikt is om de orde van grootte van rivierkundige effecten in beeld te brengen voor de planuitwerking van de Sliedrechtse Biesbosch.

SOBEK

- referentiemodel: sobek-rmm-j15_5-v1;
- SOBEK versie: 3.7.19.

Rivierkundig beoordelingskader

- de rivierkundige effecten zijn getoetst aan het Rivierkundig Beoordelingskader (RBK) versie 5.0 [ref. 6].

4.2 Randvoorwaarden

Hoogwaterveiligheid

In overleg met Rijkswaterstaat WNZ zijn 5 Conditionele Illustratiepunten (CIP's) bepaald uit WBI2017 [ref. 1]. Tabel 4.1 bevat de twee illustratiepunten voor locatie Gors en Aanwas en tabel 4.2 bevat de drie illustratiepunten voor locatie Hel- en Zuilespolder. De CIP-methode wordt nader toegelicht in paragraaf 4.3.

Tabel 4.1 Conditionele illustratiepunten voor locatie Gors en Aanwas [ref. 3][ref. 1]

Code	rkm	Terugkeer tijd [jaar]	Lokale waterstand [m + NAP]	Kerings toestand	Rijnafvoer Lobith [m ³ /s]	Maasafvoer Lith [m ³ /s]	Zeewater stand [m+NAP]	Windsnelheid [m/s]	Wind-richting	Kans bijdrage
gaa	954	10.000	5,50	open	16.270	3.837	1,63	10	WZW	0,598
gab	954	30.000	5,62	open	16.960	4.009	1,61	10,3	WZW	0,573

Tabel 4.2 Conditionele illustratiepunten voor locatie Hel- en Zuilespolder [ref. 3][ref. 1]

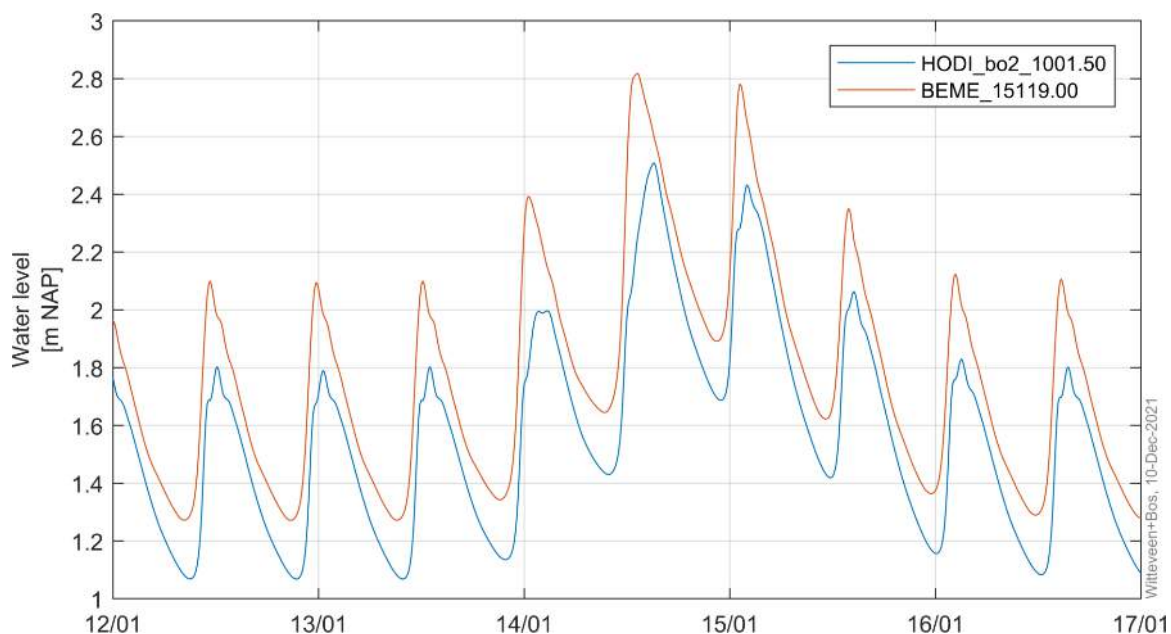
Code	rkm	Terugkeer tijd [jaar]	Lokale waterstand [m + NAP]	Kerings toestand	Rijnafvoer Lobith [m ³ /s]	Maasafvoer Lith [m ³ /s]	Zeewater stand [m+NAP]	Windsnelheid [m/s]	Windrichting	Kans bijdrage
hza	968	10.000	3,43	open	17.353	4.111	1,83	15,1	WZW	0,122
hzb	968	10.000	3,43	gesloten	11.253	2.566	3,23	24,6	W	0,252
hzc	968	10.000	3,43	gesloten	16.713	3.949	2,10	13,3	W	0,252

Rijkswaterstaat WNZ heeft met deze condities als randvoorwaarden SOBEK-berekeningen uitgevoerd, en daarmee tijdseries van debiet en waterstand afgeleid [ref. 3][ref. 1]. Op basis van deze aangeleverde tijdseries, zijn randvoorwaarden afgeleid voor het WAQUA-model. Hiervoor zijn de volgende uitvoerlocaties van het model gebruikt:

- Waal (afvoer): Waal_2_20969;
- Bergsche Maas (afvoer): Getijms3_559;
- Hollands Diep (waterstand): HODI_bo2_1001.5;
- Beneden Merwede (waterstand): BEME_15119.

De aangeleverde tijdseries beslaan vijf dagen, waarin de waterstanden variëren door de getijbeweging en stormopzet in de zee-randvoorwaarde van het model (afbeelding 4.1). In de omzetting naar randvoorwaarden ten behoeve van de WAQUA-berekeningen zijn hier 5 dagen aan toegevoegd, met als constante waarde de waarde van de eerste tijdstap van de tijdserie. Deze extra dagen dienen als inspeelperiode van het model om de initiële condities te laten aansluiten op de randvoorwaarden. Omdat het model niet met zout rekent is het aantal inspeeldagen voldoende.

Afbeelding 4.1 Tijdserie van de waterstand op locatie HODI_bo2_1001.50 en BEME_15119.00 voor CIP hzc



Schade en hinder, Morfologie

Ten behoeve van de analyses voor de aspecten schade en hinder, en morfologie, zijn randvoorwaarden voor het WAQUA-model afgeleid met behulp van SOBEK. De berekeningen zijn uitgevoerd voor 4 Rijn-afvoeren bij Lobith: 2.000 m³/s, 4.000 m³/s, 6.000 m³/s en 8.000 m³/s. Tabel 4.3 bevat de randvoorwaarden die voor deze berekeningen zijn gebruikt.

De Rijnafvoeren bij Lobith zijn bepaald in overleg met Rijkswaterstaat-WNZ. De bijbehorende afvoeren op de Waal, Lek en Maas op de randen van het SOBEEK-model zijn overgenomen uit de WAQUA-productieberekeningen ([ref. 4], tabel 3.13). De zeewaterstand en getijbeweging gelijk aan die in de berekeningen voor hoogwaterveiligheid beschreven in de voorgaande paragraaf. Dit betreft het slotgemiddeld getij 1991.0 met 10,5 cm zeespiegelstijging [ref. 5]. Er is bij deze berekeningen geen stormopzet toegepast, waar dat voor de hoogwaterveiligheidsberekeningen wel gedaan is.

Tabel 4.3 Randvoorwaarden SOBEEK-berekeningen t.b.v. analyses schade en hinder, morfologie

Rijnafvoer Lobith [m ³ /s]	Waalafvoer Tiel [m ³ /s]	Lekafvoer Hagesteijn [m ³ /s]	Maasafvoer Lith [m ³ /s]	Windsnelheid [m/s]	Windrichting
2.000	1.453	235	377	0	-
4.000	2.737	702	884	0	-
6.000	4.062	1.045	1.284	0	-
8.000	5.314	1.413	1.708	0	-

Voor elke Rijnafvoer is een simulatie van 15 dagen uitgevoerd met SOBEEK. Op basis van de resultaten van de laatste 5 dagen zijn randvoorwaarden afgeleid voor het WAQUA-model. De resultaten op de volgende uitvoerlocaties van het model zijn hiervoor gebruikt (afbeelding 4.2):

- Waal (afvoer): ZALTBML;
- Bergsche Maas (afvoer): BM_231.00;
- Hollands Diep (waterstand): Bergse Maas Keizersv¹;
- Beneden Merwede (waterstand): DORDT.

Het SOBEEK-model maakt gebruik van andere uitvoerpunten dan het model wat toegepast is om de randvoorwaarden voor hoogwaterveiligheid te bepalen, daarom verschillen de locaties van die in de voorgaande paragraaf.

¹ Dit uitvoerpunt ligt niet ter hoogte van Keizersveer, maar ter hoogte van de Moerdijkbruggen.

Afbeelding 4.2 Uitvoerlocaties SOBEK-model rmm-j15_5-v1 (geel) en uitvoerlocaties nabij de randen van het WAQUA-model die gebruikt zijn voor het afleiden van randvoorwaarden (rood)



Gelijk aan de randvoorwaarden voor de hoogwaterveiligheid-analyses zijn 5 dagen met constante waterstand en afvoer toegevoegd aan de randvoorwaarden als inspeelperiode van het model om de initiële condities te laten aansluiten op de randvoorwaarden.

4.3 Relevante ingreep effect relaties

In deze paragraaf worden een aantal van de belangrijkste ingreep-effect relaties voor de beoordelingsaspecten uit het RBK toegelicht.

Hoogwaterveiligheid

Voor het aspect Hoogwaterveiligheid worden zowel de waterstandseffecten als de afvoerverdeling bij hoge afvoer beschouwd.

Toelichting CIP's

De Sliedrechtse Biesbosch ligt in een overgangsgedebied dat beïnvloed wordt door zowel rivierafvoer, zeewaterstand (getij en stormen), de bediening van de Haringvlietsluizen en het open of gesloten zijn van de stormvloedkeringen (Maeslantkering, Hartelkering). Dit houdt in dat verschillende combinaties van forceringen (afvoer, zeewaterstand, etc.) kunnen leiden tot hetzelfde gevolg: extreem hoogwater in het studiegebied. Daarom wordt voor dit gebied voor hoogwaterveiligheid gerekend met de methode met Conditionele Illustratiepunten (CIP's). Hierbij worden een beperkt aantal scenario's beschouwd die een significante kansbijdrage hebben aan de extreme hoogwaterstand voor de Hel- en Zuilespolder (3 scenario's, zie tabel 4.1) en Gors en Aanwas (1 dominant scenario per terugkeertijd, tabel 4.2). Voor meer informatie over de methode met CIP's wordt verwezen naar bijlage 5 van het RBK.

Waterstandseffecten

Bij het creëren van extra intergetijdengebied wordt de rivier voor bepaalde afvoeren verruimd wat een effect heeft op de waterstand. Op de as van de rivier leidt dit vaak tot een netto waterstandsval, mogelijk ontstaat benedenstrooms van de verruiming, waar het water weer het zomerbed instroomt, een lokale opstuwingspiek in de rivier en op de rivier as. Door lokale opstuwing benedenstrooms van een verruimde uiterwaard kan het effect van een ingreep buiten de as van de rivier, zoals aan de waterkering, afwijken van het effect in de as.

Afvoerverdeling

Op een splitsingspunt vertakt de rivier, en wordt de afvoer over deze riviertakken verdeeld. Door grote ingrepen stroomafwaarts van de splitsingspunten, met een groot bovenstrooms waterstandseffect, kan de afvoerverdeling veranderen. Dit kan leiden tot afvoeren die uitkomen boven de maatgevende afvoer van een bepaalde riviertak. In het geval van de Beneden Merwede en de Nieuwe Merwede is een toename van de afvoerverdeling richting de Beneden Merwede ongewenst. Dit heeft vooral te maken met de omgeving van Dordrecht, bij de benedenloop van de Beneden Merwede, waar vrijwel geen mogelijkheden zijn voor verdere dijkversterking.

Hinder of schade door hydraulische effecten

Bij bepaalde rivierafvoeren gaan de uiterwaarden meestromen. Bij veel uiterwaarden leidt dat tot een instroom aan het bovenstroomse kant en een uitstroom aan benedenstroomse kant van de uiterwaard. Deze in- en uitstroom kan leiden tot een dwarsstroming op de vaarweg. Een mogelijk effect van het verruimen van de uiterwaard is een toename van de dwarsstroomsnelheden, waardoor een situatie kan ontstaan die onveilig is voor de scheepvaart.

Morfologie

Zodra de nieuw gecreëerde uiterwaard mee stroomt, wordt er water aan het zomerbed onttrokken en kunnen de stroomsnelheden in het zomerbed afnemen. Dit heeft een verhoging van de bodemligging (sedimentatie) tot gevolg. Indien dit leidt tot een afname van de minimale vaargeul dimensies kan dit leiden tot een verhoging van de baggerinspanning.

4.4 Toelichting op beoordelingscriteria

4.4.1 Waterstandseffect op de as van de rivier

Studiegebied

Het studiegebied strekt zich uit van de meest westelijke ingreep tot enkele tientallen kilometers in stroomopwaartse richting (afhankelijk van de totale grootte van het effect).

Onderzoeksmethodiek

Het waterstandseffect op de as van de rivier (aspect hoogwaterveiligheid) wordt bepaald door een combinatie van afvoer, waterstand en al dan niet sluiten van de keringen. Voor elke locatie in het Noordelijk Deltabekken geldt dat een bepaalde combinatie hiervan maatgevend is.

Het RBK stelt dat de opstuwing op de as van de rivier niet groter mag zijn dan 1 mm. Het bevoegd gezag kan instemmen met een opstuwingspiek van meer dan 1 mm indien er sprake is van een ruime netto waterstandsverlaging. Dat wil zeggen dat het oppervlakte van de verlaging veel groter is dan het oppervlakte van de verhoging. Zie hiervoor een illustratieve weergave in afbeelding 4.3. Een sterk negatieve beoordeling betekent niet dat een variant niet vergunbaar is. In het geval van sterk negatieve effecten stelt het RBK dat er mitigatie en compensatie moet plaatsvinden.

Afbeelding 4.3 Een waterstandverhoging (benedenstroomse piek) die vooraf wordt gegaan door een beduidend grotere verlaging. Oppervlakte van de verlaging is hier veel groter dan de oppervlakte van de verhoging [ref. 6]



4.4.2 Waterstandseffect nabij de primaire kering

Studiegebied

Het studiegebied strekt zich uit van de meest westelijke ingreep tot enkele tientallen kilometers in stroomopwaartse richting (afhankelijk van de totale grootte van het effect).

Onderzoeksmethodiek

Het waterstandseffect nabij de primaire kering (aspect hoogwaterveiligheid) is voor de varianten in beeld gebracht voor het scenario met de maatgevende waterstand (zie paragraaf 4.4.1 voor een toelichting over de maatgevende waterstand).

Beoordelingsschaal

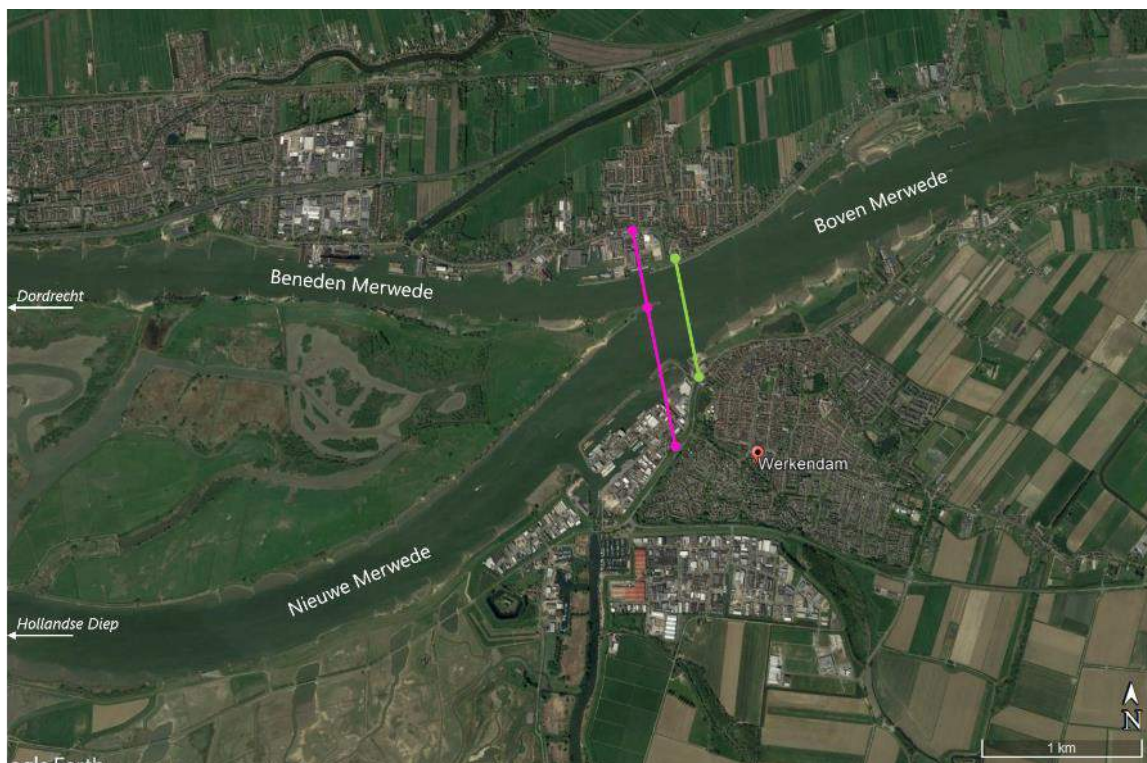
Wanneer de waterstand nabij de primaire kering toeneemt wordt niet voldaan aan de eisen uit het RBK. Voorwaarde is in ieder geval dat het ontwerp van de ingreep zodanig geoptimaliseerd wordt, dat ook de benedenstroomse waterstandstijging geminimaliseerd wordt. Een relatieve verhoging van de waterstand bij een waterkering is slechts toegestaan na acceptatie door de betreffende waterkering beheerder.

4.4.3 Afvoerdeling splitsingspunt Merwedes

Studiegebied

Het belangrijkste splitsingspunt gelegen in de Rijn-Maasmonding is de Kop van Merwede, nabij Werkendam. Hier splitst de Boven Merwede zich in de Beneden Merwede (richting Dordrecht) en de Nieuwe Merwede (Richting het Hollandse Diep). Afbeelding 4.4 toont het splitsingspunt en de riviertakken. Naast het standaard splitsingspunt is ook het effect op de afvoerdeling bij de profielen in afbeelding 4.5.

Afbeelding 4.4 Locatie van de Kop van Merwede, de Boven Merwede, Beneden Merwede en de Nieuwe Merwede ten opzichte van Werkendam. De gekleurde lijnen geven aan waar de afvoer wordt berekend voor de Boven Merwede (groen) en de Beneden en de Nieuwe Merwede (roze)



Afbeelding 4.5 Aanvullende locaties voor afvoerverdeling analyse. Oranje: Beneden Merwede. Blauw: Nieuwe Merwede



Onderzoeksmethodiek

De afvoer door de Boven Merwede, de Beneden Merwede en de Nieuwe Merwede in de referentiesituatie worden vergeleken met de afvoer voor de variant bij het scenario met de maatgevende waterstand (zie paragraaf 4.4.1 voor een toelichting over de maatgevende waterstand).

Beoordelingsschaal

Ingrepen in de buurt van dit splitsingspunt mogen er niet toe leiden dat tijdens extreme scenario's de afvoerverdeling verandert. In het geval van een toename van de afvoerverdeling richting de Nieuwe Merwede krijgt de variant voor dit criterium een negatieve (-) beoordeling. Neemt de afvoerverdeling toe richting de Beneden Merwede dan krijgt de variant voor dit criterium een sterk negatieve (--) beoordeling.

4.4.4 Dwarstroming op de bakenlijn

Studiegebied

Het studiegebied komt ongeveer overeen met het traject waarover per variant ingrepen worden voorzien.

Onderzoeksmethodiek

Dwarsstroming kan hinderlijk zijn voor de scheepvaart. Op de bakelijns wordt de dwarsstroming berekend. Wanneer de dwarsstroming niet voldoet aan de eisen uit het RBK wordt een aanvullende model analyse uitgevoerd om vast te stellen of de ingreep leidt tot onveilige situaties voor de scheepvaart.

Beoordelingsschaal

Er gelden twee criteria voor de dwarsstroming (conform RBK) afhankelijk van het dwarsdebiet:

- criterium bij dwarsdebiet groter dan 50 m³/s: dwarsstroming <0,15 m/s;
- criterium bij dwarsdebiet kleiner dan 50 m³/s: dwarsstroming <0,30 m/s.

4.4.5 Erosie en sedimentatie in het zomerbed

Studiegebied

Het studiegebied strekt zich uit ter plaatse van de ingrepen tot mogelijk enkele kilometers in benedenstroomse richting (afhankelijk van de totale grootte van het effect). De voornaamste morfologische effecten planten zich in benedenstroomse richting voort en dempen langzaam uit.

Onderzoeksmethodiek

De morfologische effecten van de ingrepen zijn kwalitatief ingeschat op basis van stroomsnelheidsverschillen bij de beschouwde scenario's in combinatie met de minimale waterdiepte in de vaarweg t.o.v. OLW¹ en de huidige bodemligging. Tabel 4.4 toont de informatie die is gebruikt om de minimale bodemligging vast te stellen.

Tabel 4.4 OLW ten opzichte van NAP op locaties in het projectgebied

	Vuren	Buiten Werkendam	Dordrecht
OLW (in cm t.o.v. NAP)	31	21	-7
ingrijpdiepte (in m t.o.v. OLW)	-4,95		
minimale bodemligging (in m t.o.v. NAP)	-4,7	-4,8	-5,1

Beoordelingsschaal

In principe is sedimentatie in het zomerbed niet toegestaan, met de rivierbeheerder dient afgestemd te worden of aanzanding in het zomerbed acceptabel is.

¹ 'Overeengekomen Lage Waterstand. Het reductievlak der Nederlandse kaarten voor het benedenrivierengebied, waarvan de onderschrijdingfrequentie een geleidelijke overgang vormt van die van de overeengekomen lage rivierstand der bovenrivieren en het laagwaterspring aan de riviermond'.

5

ONDERZOEKSRISULTATEN

In dit hoofdstuk zijn de effecten van het referentieontwerp voor het thema rivierkunde.

5.1 Baseline schematisatie Gors en Aanwas

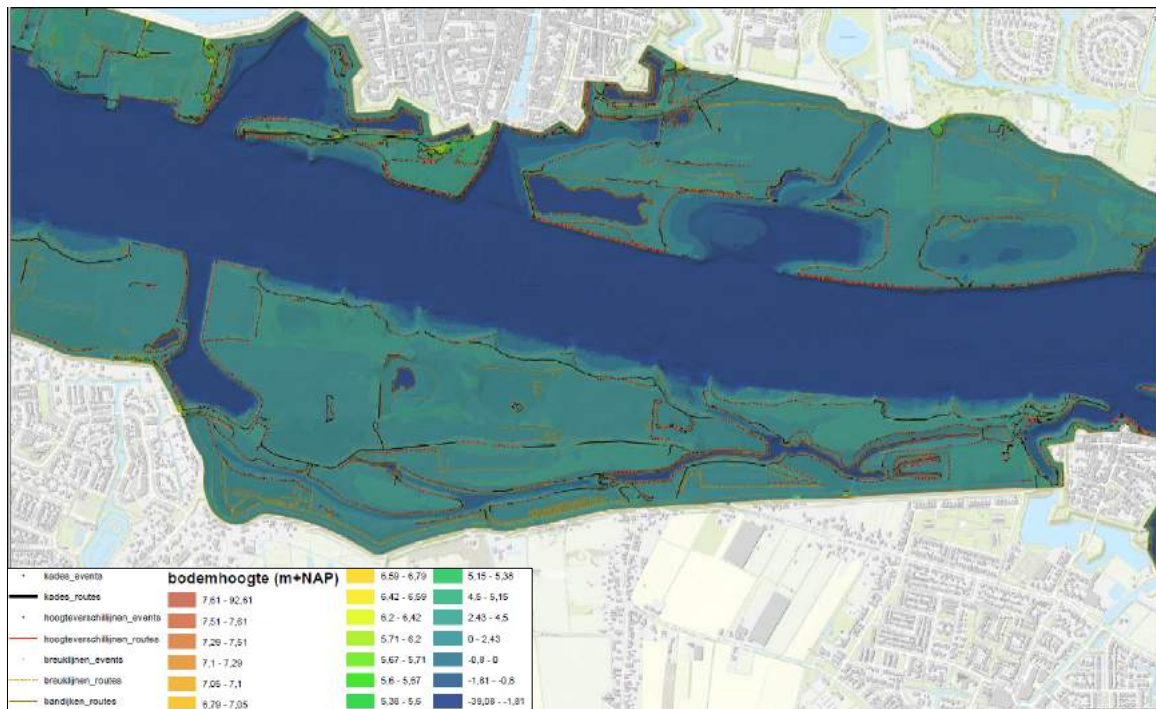
Onderstaande figuren tonen voor Gors en Aanwas en voor de Hel- en Zuilespolder de Baseline schematisatie van de referentiesituatie. In bijlage VIII zijn deze figuren in groot formaat weergegeven.

Afbeelding 5.1 en 5.2 tonen respectievelijk de schematisatie van de bodemligging in baseline in de huidige situatie en voor de variant voor Gors en Aanwas. Afbeelding 5.3 en 5.4 tonen respectievelijk de schematisatie van de ruwheden in baseline in de huidige situatie en voor de variant voor Gors en Aanwas. Een uitgebreide beschrijving van de maatregelen in dit gebied worden beschreven in [ref. 1]. Enkele relevante kenmerken voor deze uiterwaard zijn:

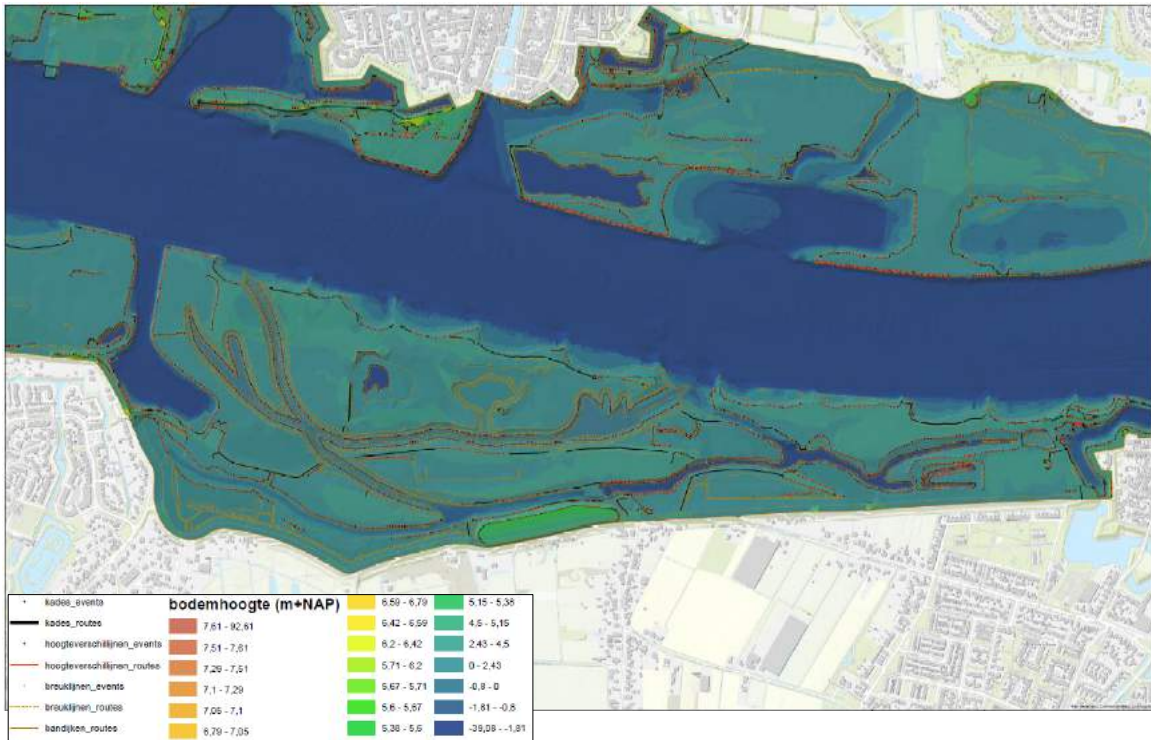
- eenzijdig aangetakte nevengeul aanwezig;
- hoofdzakelijk natuurlijk en verruigd grasland met max. 10 % opgaande vegetatie;
- enkele gebieden met hogere vegetatie (bos en bomen);
- enkele natuurlijke dieper gelegen delen.

Bodemligging

Afbeelding 5.1 Referentiesituatie: baseline schematisatie bodemligging Gors en Aanwas

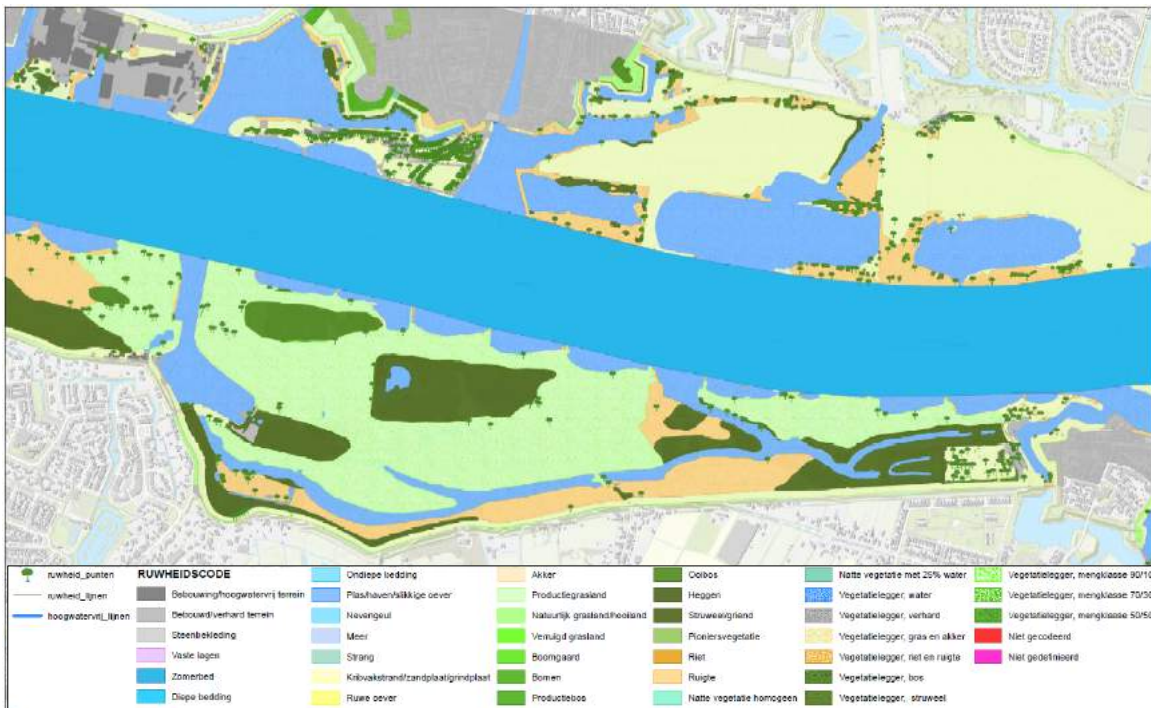


Afbeelding 5.2 Variant: baseline schematisatie bodemligging Gors en Aanwas

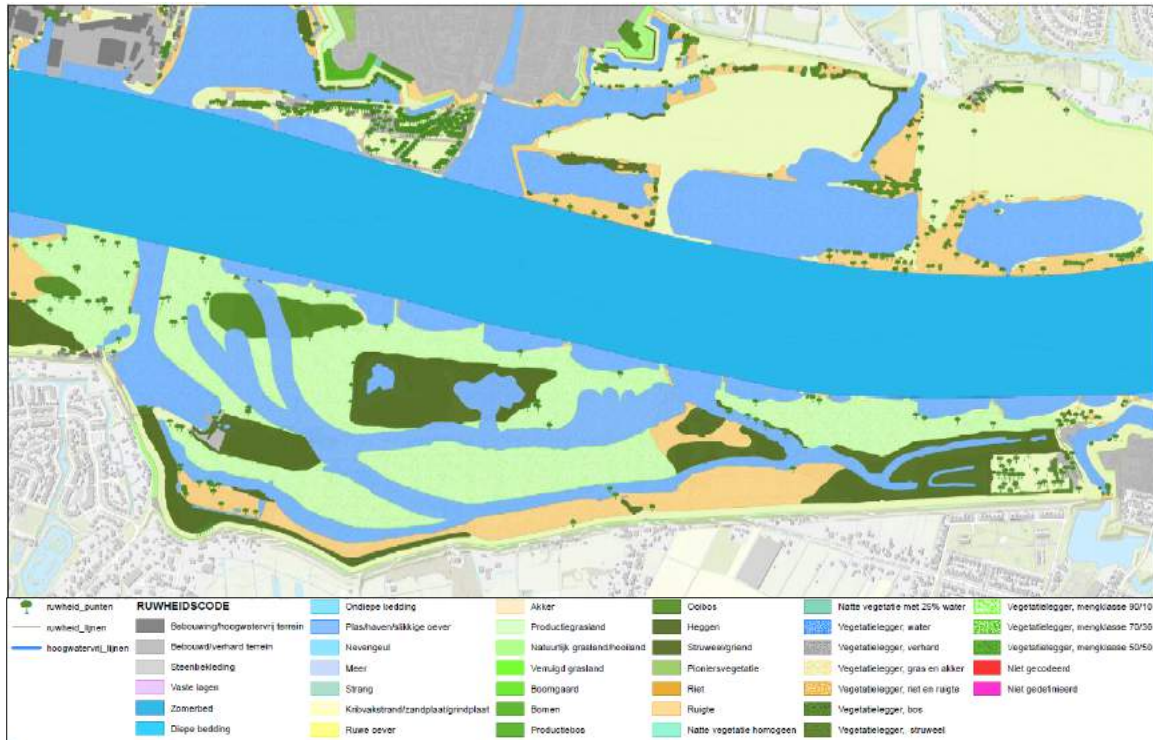


Ruwheden

Afbeelding 5.3 Referentiesituatie: baseline schematisatie ruwheden Gors en Aanwas



Afbeelding 5.4 Variant: baseline schematisatie ruwheden Gors en Aanwas



5.2 Baseline schematisatie Hel- en Zuilespolder

Afbeelding 5.5 en 5.6 tonen respectievelijk de schematisatie van de bodemligging in baseline in de huidige situatie en voor de variant voor de Hel- en Zuilespolder. Afbeelding 5.7 en 5.8 tonen respectievelijk de schematisatie van de ruwheden in baseline in de huidige situatie en voor de variant voor de Hel- en Zuilespolder. In bijlage VIII zijn deze figuren in groot formaat weergegeven. Een uitgebreide beschrijving van de maatregelen in dit gebied worden beschreven in [ref. 1]. Enkele relevante kenmerken voor deze uiterwaard zijn:

- polder:
 - bedijkte polder die alleen bij extreme hoogwaters overstroomt;
 - gekenmerkt door vegetatietype 'akker';
- noordelijke uiterwaard:
 - bestaande eenzijdig aangetakte geul aanwezig;
 - hoofdzakelijk 'natte vegetatie' met op enkele plekken bomen.

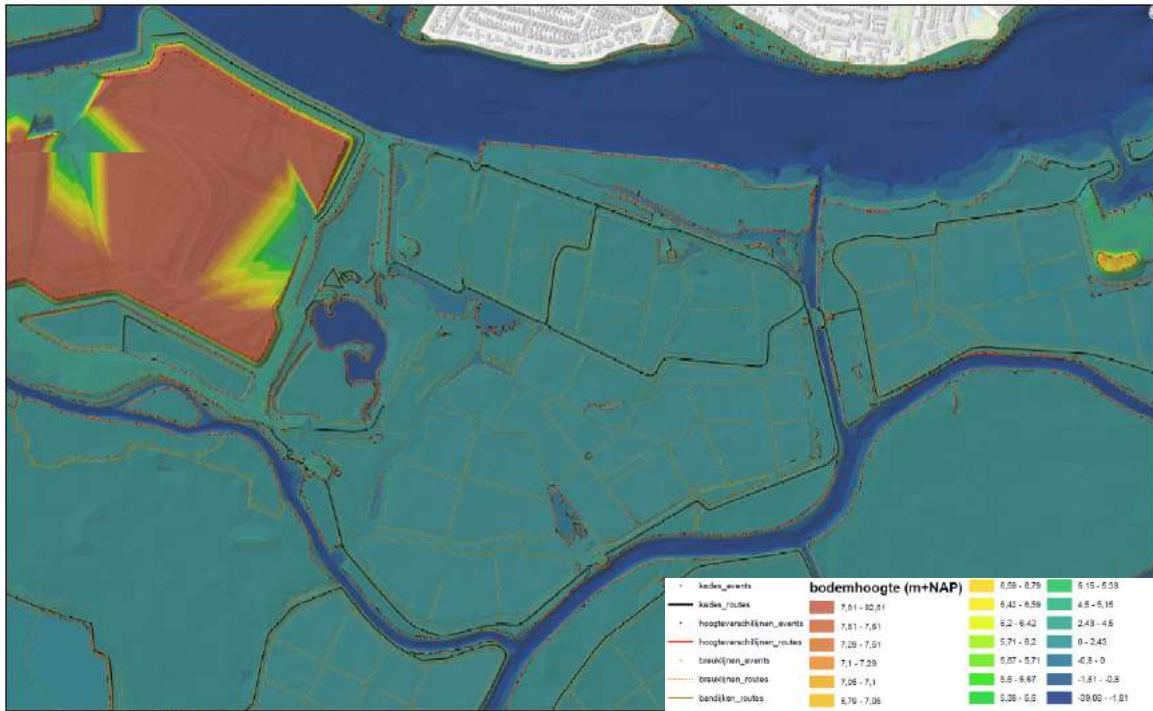
De in- en uitstroomopeningen in de Hel- en Zuilespolder zijn te klein om op een goede manier in Baseline te schematiseren. De openingen zijn daarom met behulp van 'barriers' in het WAQUA-model geschematiseerd.

Aanpassingen referentiemodel

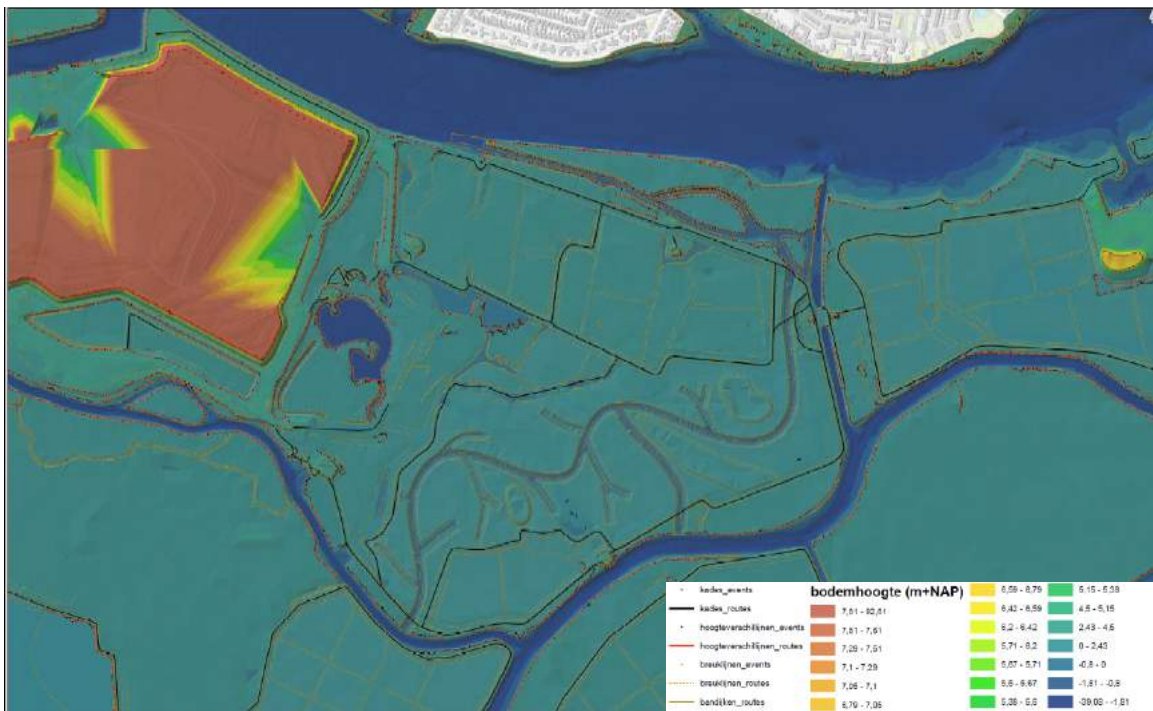
In het WAQUA-referentiemodel dat is gebruikt voor dit project zijn in overleg met Rijkswaterstaat WNZ een aantal wijzigingen aangebracht. Deze wijzigingen waren nodig om de effecten van de maatregelen in de Hel- en Zuilespolder goed in beeld te kunnen brengen. Deze wijzigingen staan uitgebreid beschreven in bijlage I.

Bodemligging

Afbeelding 5.5 Referentiesituatie: baseline schematisatie bodemligging Hel- en Zuilespolder

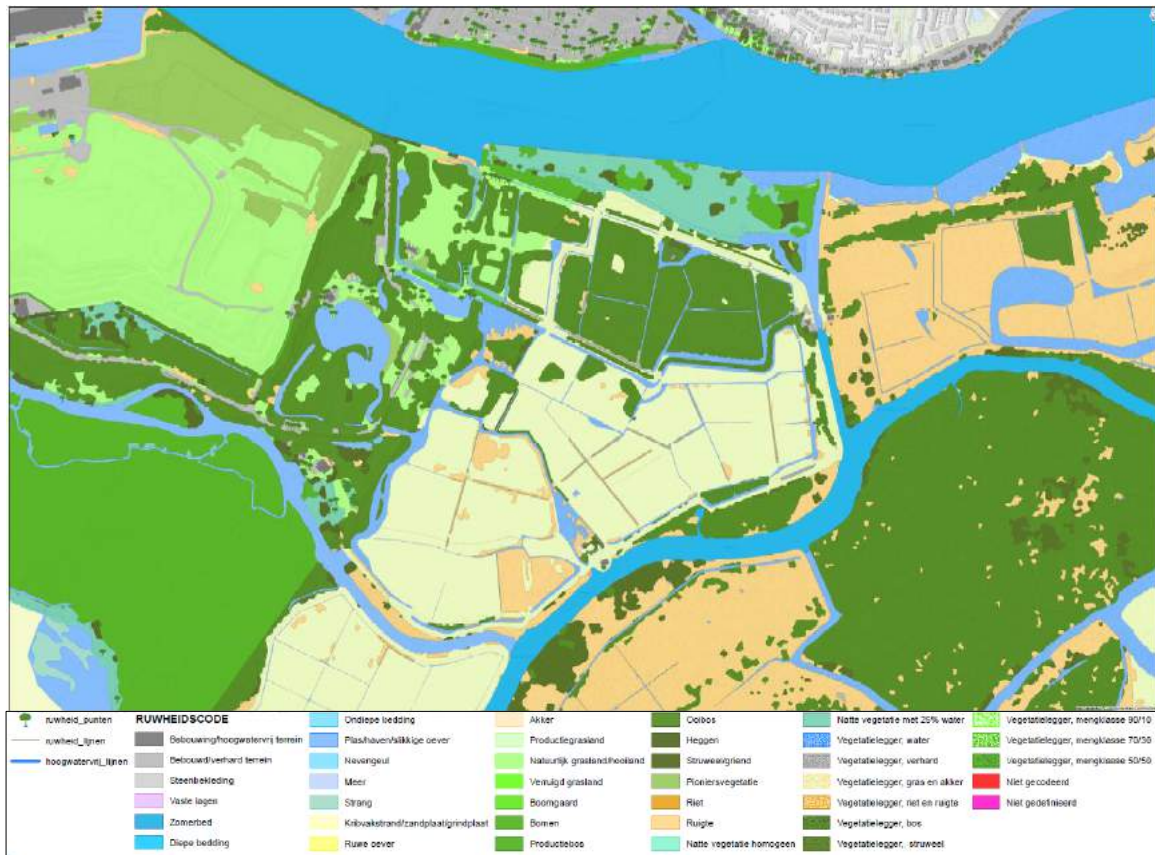


Afbeelding 5.6 Variant: baseline schematisatie bodemligging Hel- en Zuilespolder

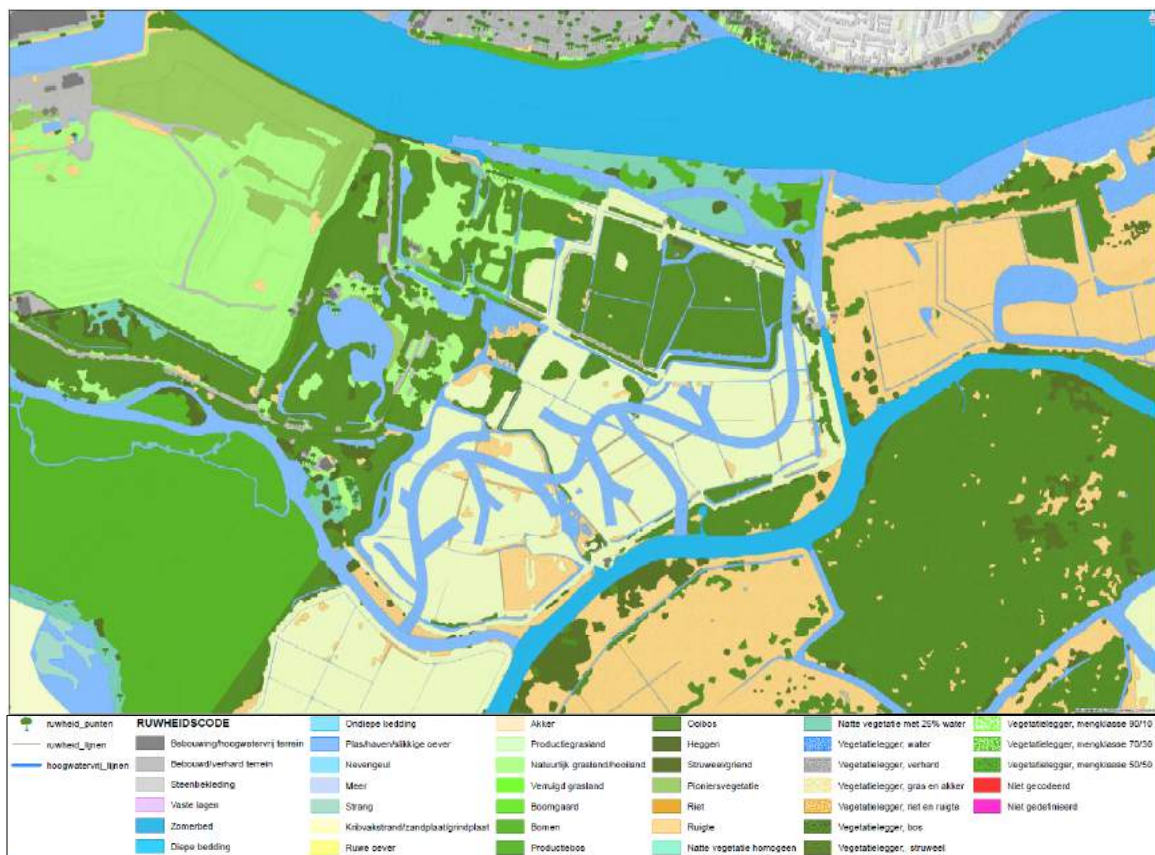


Ruwheden

Afbeelding 5.7 Referentiesituatie: baseline schematisatie ruwheden Hel- en Zuilespolder



Afbeelding 5.8 Variant: baseline schematisatie ruwheden Hel- en Zuilespolder



5.3 Rivierkundige effecten

De rivierkundige effecten op de aspecten hoogwaterveiligheid, hinder en schade en erosie en sedimentatie worden in onderstaande paragrafen nader toegelicht. De paragraaf sluit af met een samenvatting van de effecten per beoordelingsaspect.

5.3.1 Hoogwaterveiligheid - Waterstandseffecten op de as van de rivier

De ingrepen in het projectgebied leiden mogelijk tot (lokale) opstuwing. Voor het aspect Hoogwaterveiligheid is onder andere het waterstandsverschil op de as van de rivier voor de maatgevende waterstand ten opzichte van de referentiesituatie in beeld gebracht.

Gors en Aanwas

Voor de effecten van de herinrichting van Gors en Aanwas op de hoogwaterveiligheid zijn twee conditionele illustratiepunten (CIP's) beschouwd (zie tabel 4.1). Belangrijkste verschil is het verschil in terugkeertijd en in Boven-Rijnafvoer.

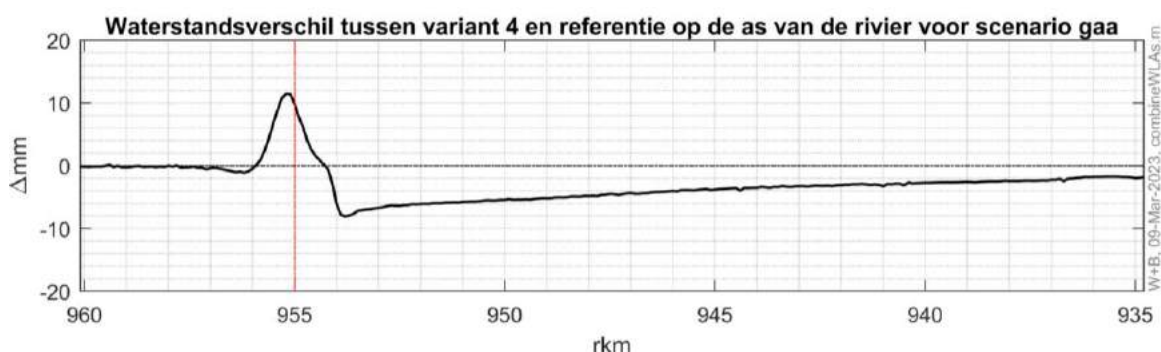
De effecten op de waterstand op de rivieras zijn voor CIP gaa (terugkeertijd 10.000 jaar, Boven-Rijnafvoer 16.270 m³/s) gepresenteerd in afbeelding 5.9 en voor CIP gab (terugkeertijd 30.000 jaar, Boven-Rijnafvoer 16.960 m³/s) in afbeelding 5.10. De afbeelding toont het waterstandsverschil ten opzichte van de referentiesituatie in [mm] voor de Waal en Boven Merwede.

Hieruit blijkt dat de maatregelen leiden tot een **lokale opstuwingspiek** van 12 mm in beide scenario's. Diverse (kleine en grote) ontwerpoptimalisaties zijn uitgevoerd om deze opstuwingspiek te reduceren. Ontwerpoptimalisaties binnen de Gors en Aanwas hebben niet geleid tot reductie van de lokale opstuwingspiek (zie Bijlage III). De enige optie tot reductie van de lokale waterstandspiek is een grootschalige vergraving van de benedenstrooms gelegen Sleeuwijkerwaard (met alle consequenties van dien). Dit betekent een significante uitbreiding van het projectgebied en is geen kostenefficiënte oplossing voor het behalen van de KRW-doestelling. Het beperkte effect van de lokale ontwerpoptimalisaties wordt verklaard door de geometrie van de rivier. Direct benedenstrooms van Gors en Aanwas wordt het rivierbed ingesnoerd. Iedere aanvullende afvoer die via het winterbed loopt wordt vervolgens door deze insnoering heen geduwd, wat opstuwing veroorzaakt. De resultaten van de ontwerpoptimalisaties zijn opgenomen in bijlage III.

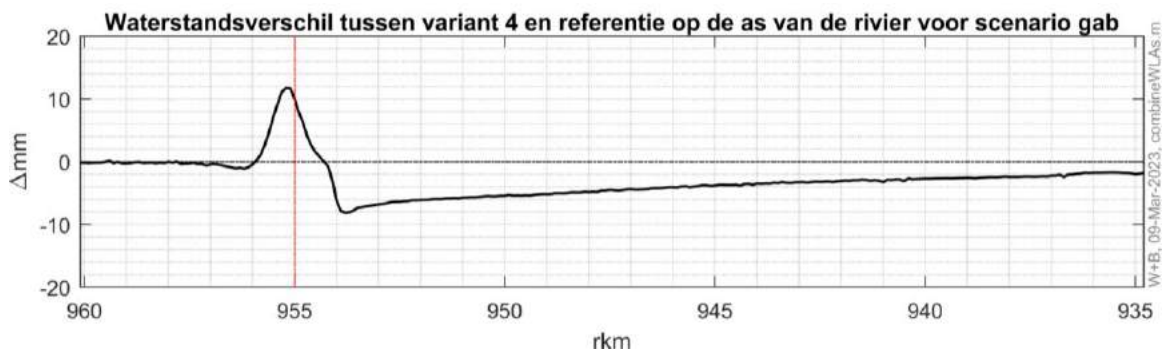
Verder blijkt uit afbeelding 5.9 en afbeelding 5.10 dat het referentieontwerp leidt tot een **ruime netto waterstandsvaling bovenstrooms**. De maximale waterstandsvaling is 8 mm (rkm 953,8) en bij Zaltbommel (rkm 934,8) is de waterstandsvaling nog 1,8 mm.

Conclusie: het referentieontwerp van Gors en Aanwas zorgt voor een netto waterstandsverlaging van meer dan 5 mm, hiermee voldoet het ontwerp aan het RBK.

Afbeelding 5.9 Effecten van Gors en Aanwas op de waterstand op de rivieras bij CIP gaa (terugkeertijd 10.000 jaar, Boven-Rijnafvoer 16.270 m³/s)



Afbeelding 5.10 Effecten van Gors en Aanwas op de waterstand op de rivieras bij CIP gab (terugkeertijd 30.000 jaar, Boven-Rijnafvoer 16.960 m³/s)



Hel- en Zuilespolder

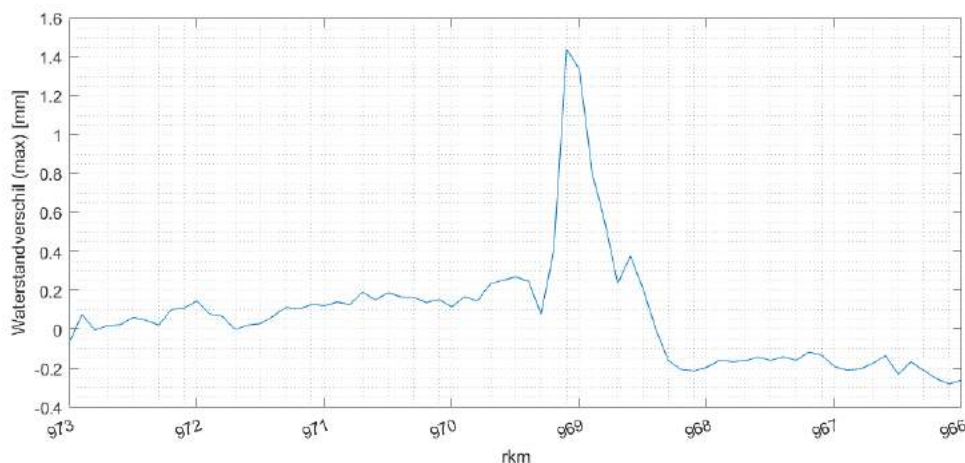
Voor de effecten van ingreep in de Hel- en Zuilespolder op de hoogwaterveiligheid zijn drie conditionele illustratiepunten (CIP's) beschouwd (zie tabel 4.2). Ieder illustratiepunt is een andere combinatie van rivierafvoer, storm en open of gesloten stormvloedkeringen in de Rijn-Maasmondung.

Het gewogen gemiddelde² waterstandseffect op de rivieras wordt gepresenteerd in afbeelding 5.11 en afbeelding 5.12. De afbeeldingen tonen het waterstandsverschil ten opzichte van de referentiesituatie in [mm] voor de Beneden Merwede en Nieuwe Merwede. De maximale waterstandseffecten per scenario (hza, hzb en hzc) worden gepresenteerd in bijlage IX.

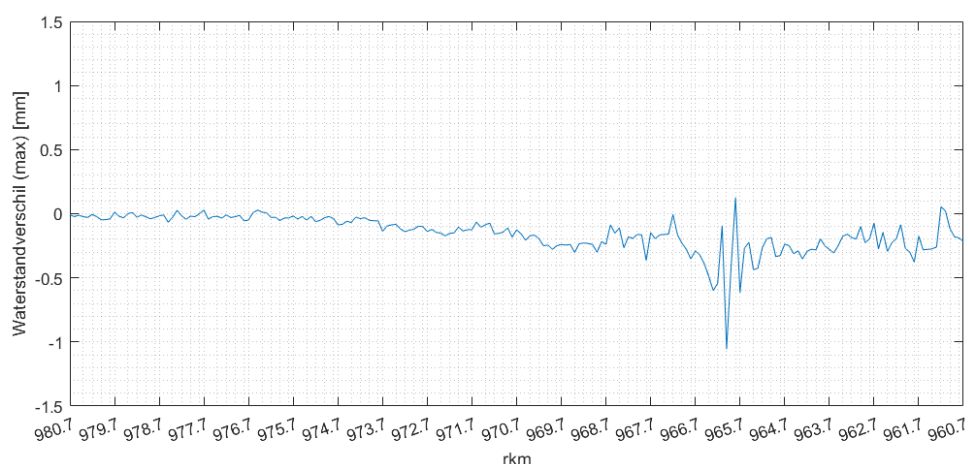
Uit de resultaten blijkt dat het referentieontwerp van Hel- en Zuilespolder leidt tot een **lokale opstuwingspiek** in de Beneden Merwede van +1,4 mm. Ook voor de Hel- en Zuilespolder zijn diverse ontwerpoptimalisaties uitgevoerd om deze opstuwingspiek te reduceren. De resultaten van de ontwerpoptimalisaties zijn opgenomen in bijlage II. Bovenstrooms van de ingreep is ook sprake van een geringe waterstandsval.

Conclusie: bij een hoogwatersituatie is de verwachting dat het effect van de ingreep zeer beperkt is, het doorstroomprofiel van de uiterwaard is namelijk ook beperkt aangepast. Dit sluit aan bij de resultaten van het model, waarbij een zeer lokaal effect op de waterstand op de as van de rivier te zien is. De modelresultaten vertonen een grillig verloop, dit heeft enerzijds te maken met de modelonzekerheden (zie kader onder aan paragraaf) en anderzijds doordat de maximale waterstanden over een tijdsreeks worden gepresenteerd.

Afbeelding 5.11 Effecten van Hel- en Zuilespolder op de maximale waterstand (gewogen gemiddelde op basis van hza, hzb en hzc) op de rivieras van de Beneden Merwede.



Afbeelding 5.12 Effecten van Hel- en Zuilespolder op de maximale waterstand (gewogen gemiddelde op basis van hza, hzb en hzc) op de rivieras van de Nieuwe Merwede



Instabiliteit berekende waterstanden Beneden Merwede en Nieuwe Merwede

Het toegepaste WAQUA Biesbosch model bevat instabiliteiten op de volgende locaties:

- Beneden Merwede tussen rkm 970 en 976 (zie o.a. afbeelding 5.11). Hiervoor zijn diverse oorzaken mogelijk. Zo zijn de Courant getallen voor de extreme scenario's hoog in het benedenstroomse traject van de Beneden Merwede (rkm 970-976). Dit is reeds het geval in het model van de referentiesituatie;
- overlaten bij de instroom van de Noordwaard (Nieuwe Merwede rkm 964-966). Hier fluctueren de waterstanden enigszins (zie afbeelding 5.12).

De berekende waterstandsverschillen op deze trajecten worden daarom niet betrouwbaar geacht.

Op basis van expert judgement wordt verwacht dat:

- het waterstandsverschil op de Beneden Merwede bij CIP hza tussen rkm 970 en 976 (afbeelding 5.11) afgerond 0,0 mm is, dit is ook waarom er bij het vaststellen van het gewogen gemiddelde voor scenario hza geen waterstandseffect is meegenomen;
- de waterstandsvaling op de Nieuwe Merwede tussen rkm 964 en 966 0,2 tot 0,5 mm is, net als in het bovenstrooms gelegen deel van de Nieuwe Merwede.

5.3.2 Hoogwaterveiligheid - Waterstandseffecten nabij de primaire kering

De ingrepen in het projectgebied leiden mogelijk tot (lokale) opstuwing. Voor het aspect Hoogwaterveiligheid is onder andere het waterstandsverschil nabij de primaire kering voor de maatgevende waterstand ten opzichte van de referentiesituatie in beeld gebracht.

Gors en Aanwas

Voor de effecten van Gors en Aanwas op de hoogwaterveiligheid zijn ook de waterstandseffecten nabij de primaire waterkering gekwantificeerd voor de twee conditionele illustratiepunten (CIP's) uit tabel 4.1. Afbeelding 5.13 en afbeelding 5.14 tonen de effecten van het referentieontwerp van Gors en Aanwas op de waterstand. Hierbij is de tweede CIP maatgevend (scenario gab). Voor het maatgevende scenario is het waterstandseffect langs de primaire kering in een grafiek in beeld gebracht (Afbeelding 5.15 en afbeelding 5.16).

Uit de resultaten blijkt dat de herinrichting van de het Gors en de Aanwas bovenstrooms van rkm 954,5 een waterstandsverlagend effect heeft. De grootste waterstandsverlaging is in het Gors en de Aanwas zelf, maar de waterstandsverlaging strekt zich uit over de gehele breedte van het winterbed.

Haven van Sleeuwijk

De herinrichting veroorzaakt lokale opstuwing die zich concentreert rond de haven van Sleeuwijk en zich voortplant richting zowel het noorden als het zuiden. Deze opstuwing is te verklaren doordat de afvoer direct benedenstrooms van het Gors en de Aanwas door een smaller deel van het winterbed heen moet. Het winterbed is hier smaller vanwege de ingeklemde ligging van de Boven Merwede tussen Avelingen (noordoever) en Sleeuwijk (zuidoever). De extra afvoer die door de uiterwaard van het Gors en de Aanwas gaat, stroomt op deze locatie terug in het zomerbed en dit veroorzaakt een lokale opstuwingspiek. De maximale hoogte van de opstuwingspiek langs de kering ter hoogte van de haven is 2 cm (punt 48 in afbeelding 5.16). In paragraaf 5.3.1 is beschreven dat ontwerpoptimalisaties zijn verkend om deze opstuwingspiek te reduceren. Deze hebben niet geleid tot reductie van de lokale opstuwingspiek (zie bijlage I.4).

Hoogwatervluchtplaats

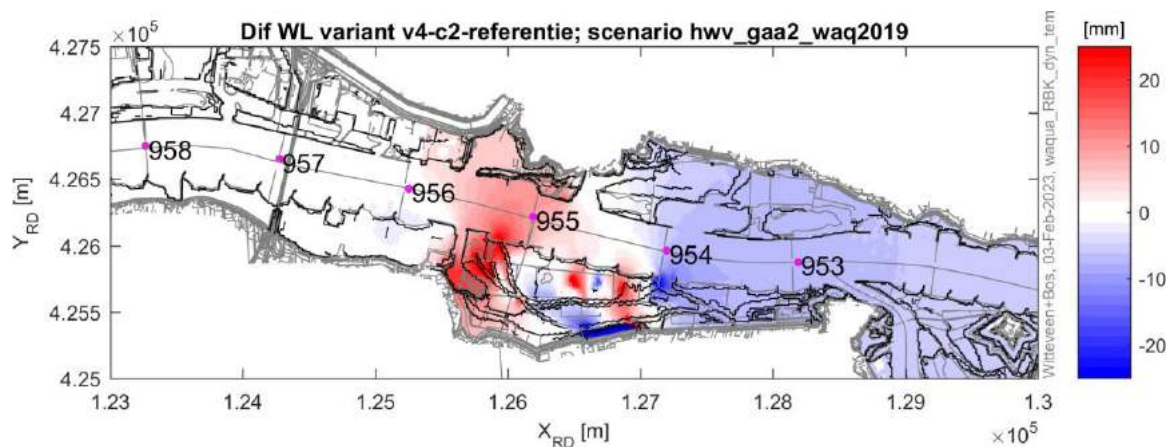
Een tweede lokale opstuwing concentreert zich rondom de hoogwatervluchtplaats. Langs de primaire kering is de maximale opstuwing bovenstrooms van de hoogwatervluchtplaats 3 cm (punt 14 in afbeelding 5.16). De toename ter hoogte van de hoogwatervluchtplaats is groter dan de maximale waterstandstoename in het westelijke deel van het projectgebied, namelijk 2 cm (punt 48-49 in afbeelding 5.15). Op basis van de voorliggende resultaten kan worden vastgesteld dat de hoogwatervluchtplaats een lokaal opstuwend effect heeft, over een lengte van ongeveer 150 meter langs de kering direct bovenstrooms van de hoogwatervluchtplaats van orde grootte 3 cm.

Hoogwatervluchtvluchtplaats in model

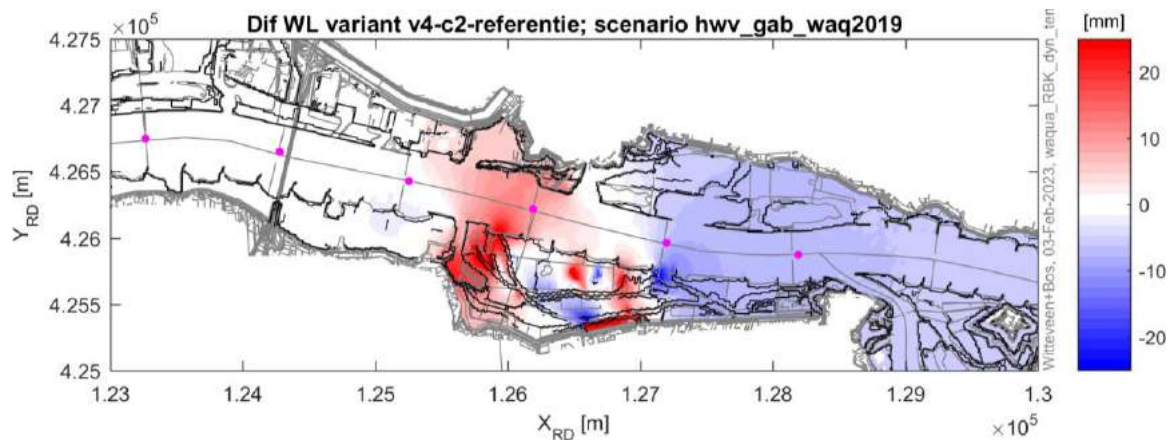
De abrupte verschillen in waterstanden en waterstandverschillen langs de primaire waterkering tussen X_{RD} 126,5 en 127,0 km (rode en blauwe strepen op kruin hoogwatervluchtplaats) zijn niet realistische resultaten van het model, en moeten daarom buiten beschouwing gelaten worden.

Conclusie: Deze opstuwing langs de primaire waterkering (afbeelding 5.16) is ter acceptatie voorgelegd aan de waterkeringbeheerder waterschap Rivierenland.

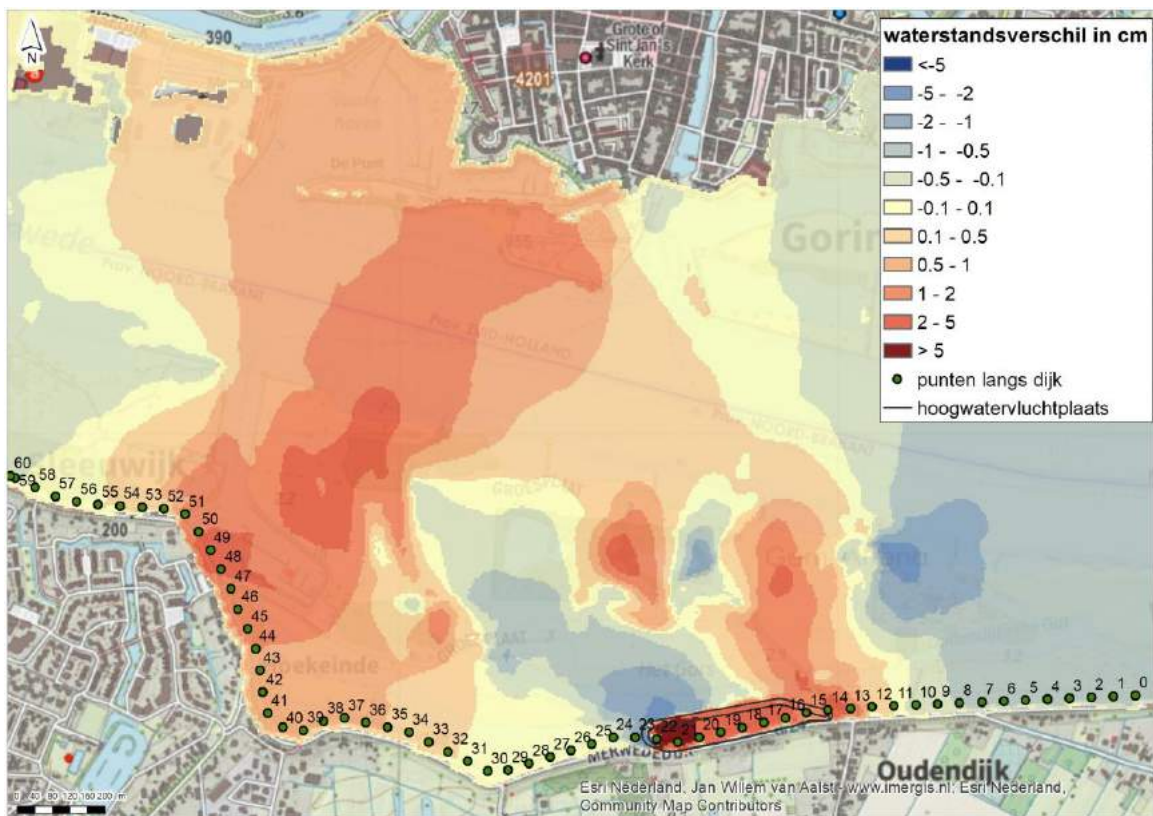
Afbeelding 5.13 Effecten van Gors en Aanwas op de waterstand bij CIP gaa (terugkeertijd 10.000 jaar, Boven-Rijnafvoer 16.270 m³/s)



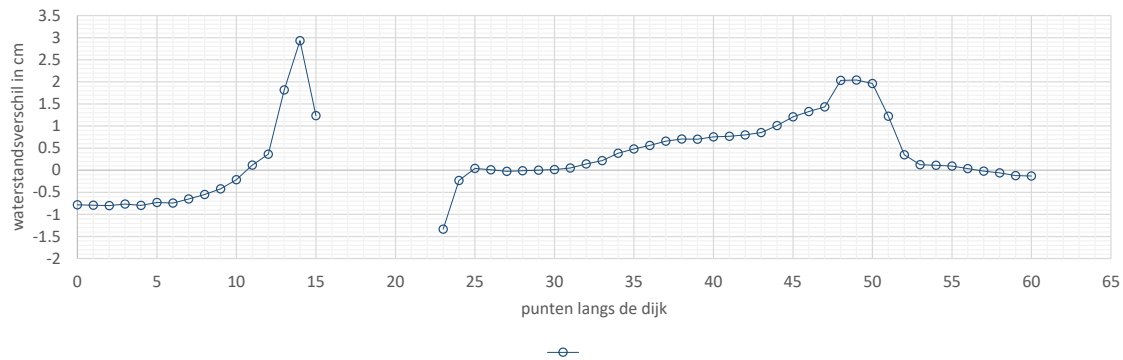
Afbeelding 5.14 Effecten van Gors en Aanwas op de waterstand bij CIP gab (terugkeertijd 30.000 jaar, Boven-Rijnafvoer 16.960 m³/s)



Afbeelding 5.15 Waterstandsverschil [mm] langs de waterkering van Sleuijk bij CIP gab (terugkeertijd 30.000 jaar, Boven-Rijnafvoer 16.960 m³/s)



Afbeelding 5.16 Waterstandsverschil [mm] langs de waterkering van Sleeuwijk bij CIP gab (terugkeertijd 30.000 jaar, Boven-Rijnafvoer 16.960 m³/s). Voor de locatie van de punten van de dijk wordt verwezen naar afbeelding 5.15



Hel- en Zuilespolder

Voor de effecten van het referentieontwerp van Hel en Zuilespolder op de hoogwaterveiligheid zijn de waterstandseffecten nabij de primaire waterkering gekwantificeerd voor de drie conditionele illustratiepunten (CIP's) uit tabel 4.2.

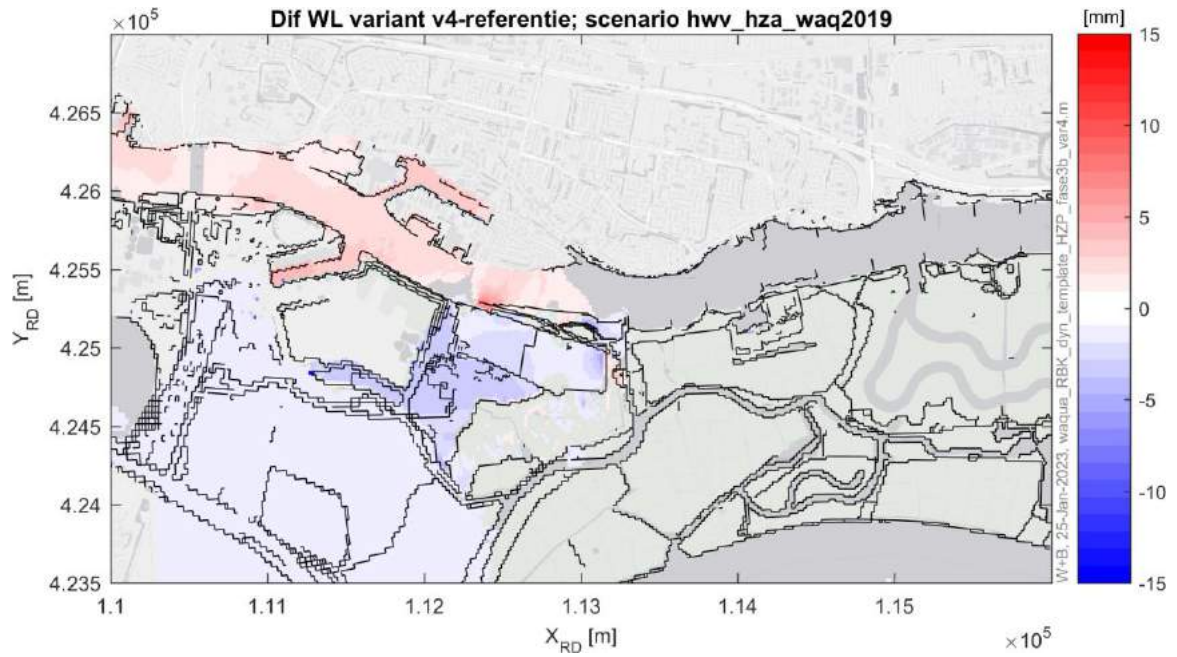
De effecten op de waterstand nabij de primaire waterkeringen zijn voor de drie CIP's gepresenteerd in afbeelding 5.17, afbeelding 5.18 en afbeelding 5.19. De afbeeldingen tonen het waterstandsverschil ten opzichte van de referentiesituatie. Hierbij gaat het om het effect op de maximum waterstand in het betreffende scenario.

Opgemerkt wordt dat CIP hza (afbeelding 5.17) en hzc (afbeelding 5.19) situaties betreft met een extreme rivierafvoer, en CIP hzb (afbeelding 5.18) een extreme storm in combinatie met een hoge rivierafvoer. Dit is ook terug te zien in de ruimtelijke verdeling van de waterstandsverschillen.

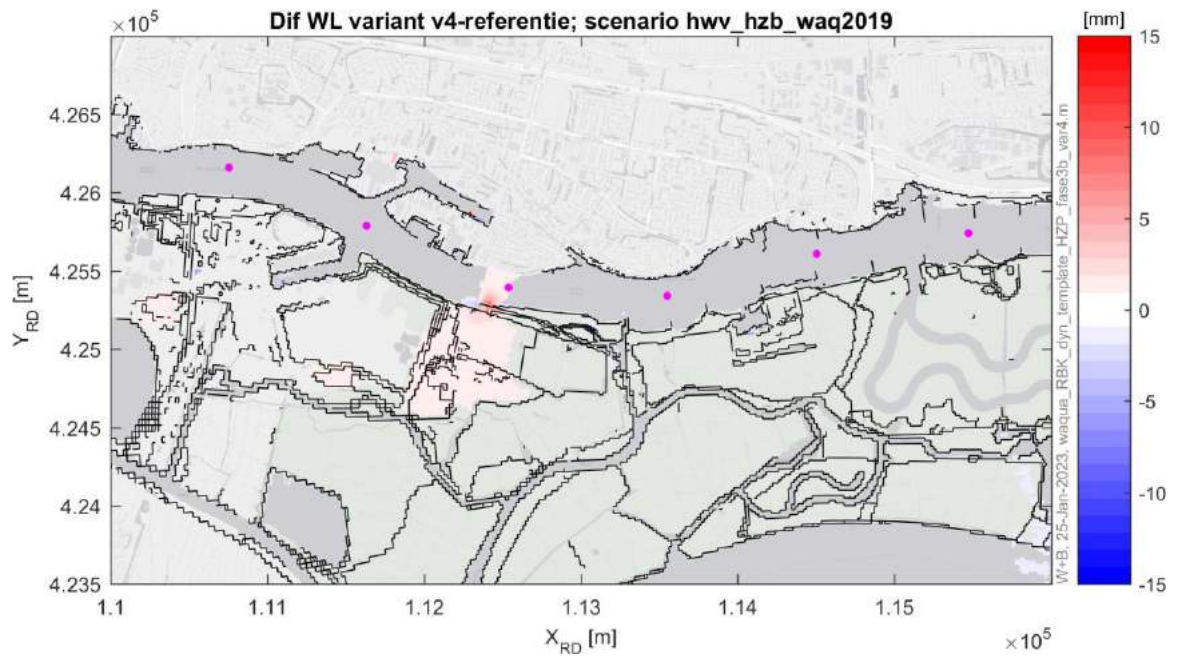
In alle drie de scenario's is er een toename van de waterstand langs de primaire waterkering (deel van de Adriaan Volkersingel, zie afbeelding 5.20) in Sliedrecht. Dit is gekwantificeerd door het gewogen gemiddelde¹ te berekenen van de waterstandstoenames van de CIP's. Dit is weergegeven in afbeelding 5.21. Hieruit blijkt dat de maximale waterstand over een lengte van 950 m tot 0,24 mm toeneemt. Volgens de 'Kennis en Advieskaart - Watertoets waterkering belang ruimtelijke ingrepen buitendijks [ref. 7]' wordt voor buitendijkse ingrepen maximale toename van de waterstand van 1 cm geaccepteerd. De toename is kleiner dan 1 cm en behoeft daarom geen compensatie.

¹ Gewogen gemiddelde waterstandseffect op basis van de kansbijdrage van de drie beschouwde CIP's.

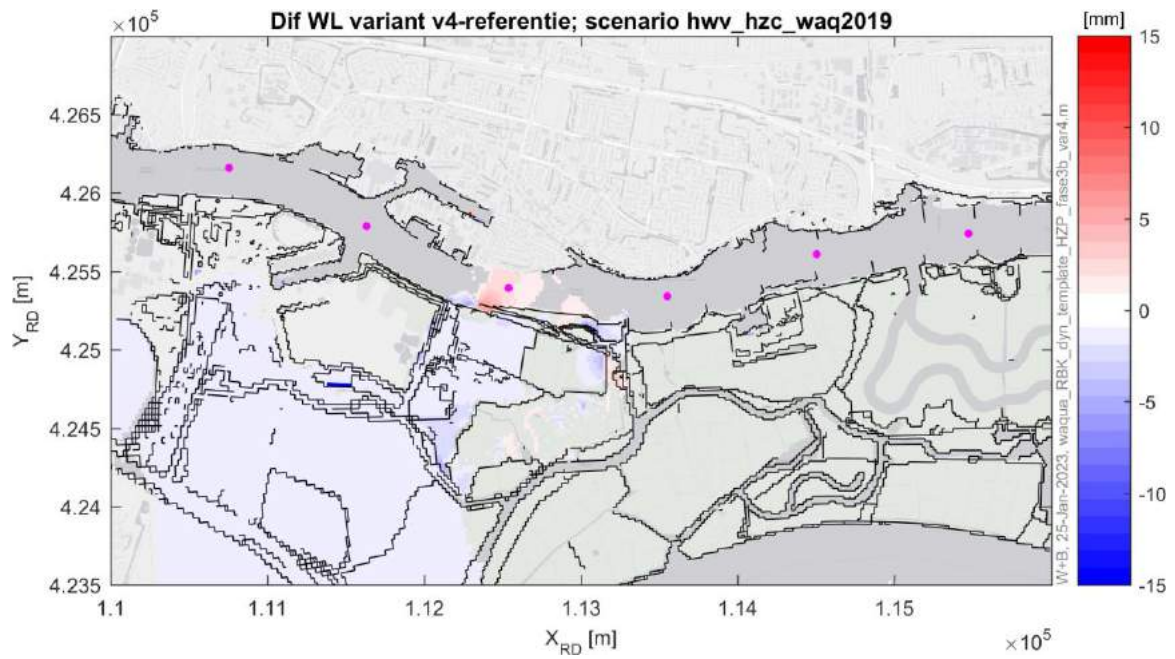
Afbeelding 5.17 Effecten van Hel- en Zuilespolder op de waterstanden bij CIP hza (Boven-Rijnafvoer 17.353 m³/s, open kering)



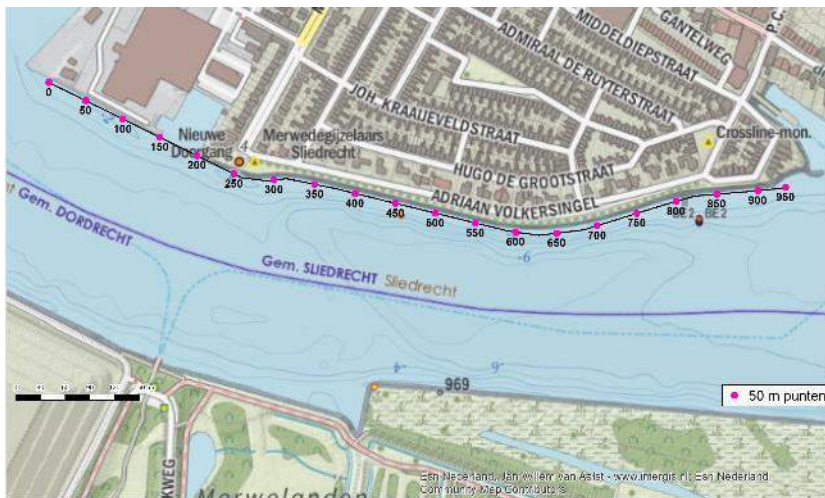
Afbeelding 5.18 Effecten van Hel- en Zuilespolder op de waterstand bij CIP hzb (Boven-Rijnafvoer 11.253 m³/s, zware storm, gesloten kering)



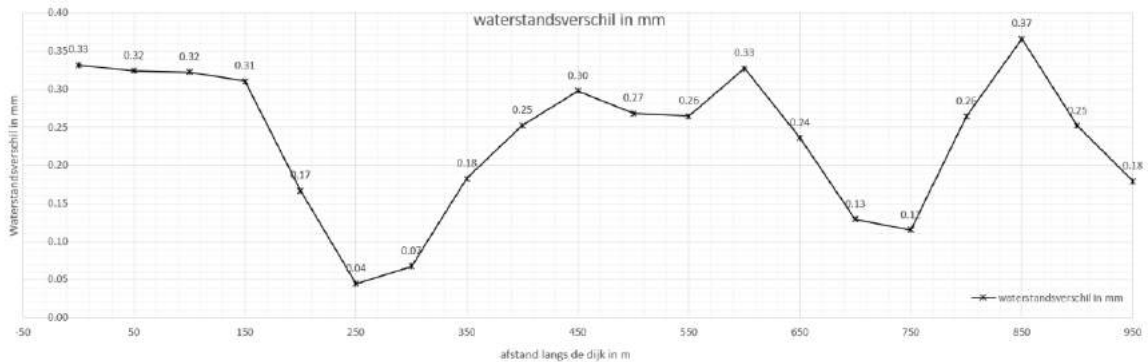
Afbeelding 5.19 Effecten van Hel- en Zuiespolder op de waterstand bij CIP hzc (Boven-Rijnafvoer 16.713 m³/s, matige storm, gesloten kering)



Afbeelding 5.20 Overzicht dijktraject Sliedrecht



Afbeelding 5.21 Waterstandsverschil [mm] langs de primaire waterkering van Sliedrecht. Dit betreft een gewogen gemiddelde van de beschouwde CIP's. Voor de locatie van de punten van de dijk wordt verwezen naar afbeelding 5.20



5.3.3 Hoogwaterveiligheid - Afvoerdeling

De ingrepen in het projectgebied kunnen mogelijk leiden tot een verandering van de afvoerdeling tussen de Beneden Merwede en de Nieuwe Merwede. Voor het aspect Hoogwaterveiligheid is onder andere de verandering van de afvoerdeling ten opzichte van de referentiesituatie in beeld gebracht. De afvoerdeling is in beeld gebracht voor de maatgevende waterstand.

Gors en Aanwas

De ingrepen bij Gors en Aanwas hebben geen invloed op de afvoerdeling van het benedenstrooms gelegen splitsingspunt de Merwedekop. Hieruit wordt geconcludeerd dat het ontwerp van Gors en Aanwas voldoet aan de eisen uit het RBK.

Hel- en Zuilespolder

De ingrepen in de Hel- en Zuilespolder liggen benedenstrooms van splitsingspunt de Merwedekop. Daarom is het effect op de afvoerdeling berekend voor twee hoogwaterveiligheidsscenario's, namelijk voor de scenario's met extreem hoge rivierafvoer (hza en hzc). Bij het scenario met extreme storm (hzb) is de afvoerdeling niet zo relevant volgens Rijkswaterstaat¹.

De afvoer is berekend door te middelen over een getijperiode tussen hoogwaters.

De ingrepen in de Hel- en Zuilespolder hebben een zeer klein effect op de afvoerdeling ter plaatse van de Merwedekop over de Beneden Merwede (0,00 %) en de Nieuwe Merwede (0,06%) (zie tabel 5.1).

Tabel 5.1 Effect Hel- en Zuilespolder op getijgemiddelde afvoerdeling² bij de Merwedekop

Scenario	Afvoer Beneden Merwede referentiesituatie	Effect HZP op afvoer Beneden Merwede	Afvoer Nieuwe Merwede referentiesituatie	Effect HZP op afvoer Nieuwe Merwede
hza, Boven-Rijnafvoer 17.353 m ³ /s, open kering	3.913,9 m ³ /s	0,2 m ³ /s (0,00 %)	6.840,5 m ³ /s	-4 m ³ /s (-0,06 %)
hzc, Boven-Rijnafvoer 16.713 m ³ /s, matige storm, gesloten kering	3.776,9 m ³ /s	-0,1 m ³ /s (0,00 %)	6.599,6 m ³ /s	-4 m ³ /s (-0,06 %)

Benedenstrooms van de Merwedekop is er bij extreem hoogwater uitwisseling tussen de Nieuwe Merwede en de Beneden Merwede doordat een groot deel van de Sliedrechtse Biesbosch dan onder water staat. Daarom zijn de effecten op de afvoerdeling door de Beneden Merwede en Nieuwe Merwede ook berekend benedenstrooms van de Sliedrechtse Biesbosch. De resultaten hiervan zijn opgenomen in tabel 5.2.

Hieruit blijkt dat bij een extreme afvoer en een open kering (CIP hza) de afvoer in de Beneden en Nieuwe Merwede licht afneemt: respectievelijk -0,08 % en -0,06 %. Bij een extreme rivierafvoer in combinatie met gesloten stormvloedkeringen (CIP hzc) neemt de afvoer van de Beneden Merwede toe met 6,2 m³/s (overeenkomend met +0,18 %) en neemt de afvoer van de Nieuwe Merwede af met 4,1 m³/s (overeenkomend met -0,06 %).

¹ Mondelinge toelichting van Theo van der Linden: bij Ruimte voor de Rivier werd gekeken naar de afvoerdeling bij extreme rivierafvoeren en niet naar de afvoerdeling bij stormen.

² Opgemerkt wordt dat de effecten op de getijgemiddelde afvoerdeling voor de Beneden Merwede en Nieuwe Merwede niet even groot zijn, doordat het een niet-stationaire situatie betreft.

Tabel 5.2 Effect Hel- en Zuilespolder op getijgemiddelde afvoerverdeling¹ Beneden Merwede (inclusief Wantij) bij Dordrecht en Nieuwe Merwede bij Kop van het Land

Scenario	Afvoer Beneden Merwede bij Dordrecht (rkm 976) referentiesituatie	Effect HZP op afvoer Beneden Merwede (rkm 976)	Afvoer Nieuwe Merwede bij Kop van het Land (rkm 971) referentiesituatie	Effect HZP op afvoer Nieuwe Merwede (rkm 971)
hza, Boven-Rijnafvoer 17.353 m ³ /s, open kering	3.655,0 m ³ /s	3,1 m ³ /s (0,08 %)	6.973,7 m ³ /s	-4,1 m ³ /s (-0,06 %)
hzc, Boven-Rijnafvoer 16.713 m ³ /s, matige storm, gesloten kering	3.341,9 m ³ /s	-6,2 m ³ /s (-0,18%)	6.855,8 m ³ /s	-4,1 m ³ /s (-0,06 %)

Conclusie: De toename van de afvoer van de Beneden Merwede benedenstrooms van de Sliedrechtse Biesbosch is zeer beperkt en kan als verwaarloosbaar worden beschouwd. Over de definitieve beoordeling hiervan dient afstemming plaats te vinden met de rivierbeheerder, omdat er aan de ene kant sprake is van een lichte toename van de afvoer op de Beneden Merwede, maar dit aan de andere kant niet leidt tot een waterstandstoename op het traject benedenstrooms van de ingreep.

5.3.4 Hinder en schade - Dwarsstroming

De ingrepen in het projectgebied kunnen mogelijk leiden tot een verandering van de dwarsstroming. Voor het aspect Schade en Hinder is de verandering van de dwarsstroming ten opzichte van de referentiesituatie in beeld gebracht.

Dwarsstroming hoofdvaarweg Gors en Aanwas

De dwarsstroming en het dwarsstroomdebiet is berekend voor de noordoever en de zuidoever bij een Boven-Rijnafvoer van 4.000, 6.000 en 8.000 m³/s. In deze paragraaf zijn afbeeldingen opgenomen van de dwarsstroming aan de zuidoever ter plaatse van Gors en Aanwas. Voor de afvoer van 4.000 m³/s en voor de noordoever wordt verwezen naar bijlage IV.

Uit de resultaten blijkt dat de dwarsstroming op een aantal plaatsen toeneemt aan de zuidoever, namelijk bij de instroomopening van de meestromende nevengeul (rkm 954,0), bij de krib direct benedenstrooms van de instroom van de nevengeul (rkm 954,3) en aan de benedenstroomse zijde van Gors en Aanwas (rkm 955,6) bij de haven van Sleeuwijk. Tabel 5.3 toont een overzicht van de locaties waar de dwarsstroming toeneemt, en op welke locaties niet (rood) en wel (groen) wordt voldaan aan de eisen uit het RBK. In onderstaande paragrafen worden de effecten op dwarsstroming op de drie hierboven benoemde plaatsen nader toegelicht.

Tabel 5.3 Overzicht van locaties waar de dwarsstroming toeneemt. Groene getallen geven aan dat aan de eisen uit het RBK wordt voldaan, rode getallen geven aan dat niet aan de eisen uit het RBK wordt voldaan.

RKM	Afvoer (m ³ /s)	Referentie Dwarsstroming (m/s)	Referentie Dwarsdebiet (>/< 50 m ³ /s)	Nieuwe situatie Dwarsstroming (m/s)	Nieuwe situatie Dwarsdebiet (>/< 50 m ³ /s)
953,95	6.000	0,13	>50	0,16	<50
953,95	8.000	0,13	>50	0,16	<50

¹ Opgemerkt wordt dat de effecten op de getijgemiddelde afvoerverdeling voor de Beneden Merwede en Nieuwe Merwede niet even groot zijn, doordat het een niet-stationaire situatie betreft en deze locaties ook op enige afstand van elkaar liggen (met tussenliggende bergingsgebieden).

RKM	Afvoer (m ³ /s)	Referentie Dwarsstroming (m/s)	Referentie Dwarsdebiet (>/< 50 m ³ /s)	Nieuwe situatie Dwarsstroming (m/s)	Nieuwe situatie Dwarsdebiet (>/< 50 m ³ /s)
954,3	6.000	0,38	>50	0,40	>50
954,3	8.000	0,28	<50	0,32	>50
955,6	6.000	0,11	<50	0,18	>50
955,6	8.000	0,17	>50	0,22	>50

Instroomopening meestromende nevengeul

Bij de instroomopening van de meestromende nevengeul neemt de dwarsstroming zowel bij een afvoer van 6.000 als 8.000 m³/s toe tot > 0,15 m/s (respectievelijk afbeelding 5.23 en afbeelding 5.26). Echter omdat het dwarsdebiet op deze locatie, bij beide afvoeren, afneemt naar < 50 m³/s (respectievelijk afbeelding 5.24 en afbeelding 5.27) voldoet de dwarsstroming zowel in de referentie situatie als de nieuwe situatie aan de eisen in het RBK.

Krib benedenstreams van instroom nevengeul

Bij de krib direct benedenstreams van de instroom van de nevengeul (rkm 954,3) neemt de dwarsstroming toe van 0,38 naar 0,40 m/s bij een afvoer van 6.000 m³/s en van 0,28 naar 0,32 m/s bij een afvoer van 8.000 m³/s (afbeelding 5.23). Het dwarsstroomdebiet is op deze locatie groter dan 50 m³/s (afbeelding 5.24 en afbeelding 5.27). Er trekt meer afvoer door deze kribvakken als gevolg van de aanwezigheid van de instroomopening. Bij een afvoer van 6.000 m³/s voldeed de situatie niet in de referentiesituatie en verslechtert door de ingrepen. Bij een afvoer van 8.000 m³/s voldeed de situatie in de referentiesituatie wel, door de ingrepen voldoet de situatie niet.

Benedenstroomse zijde Gors en Aanwas

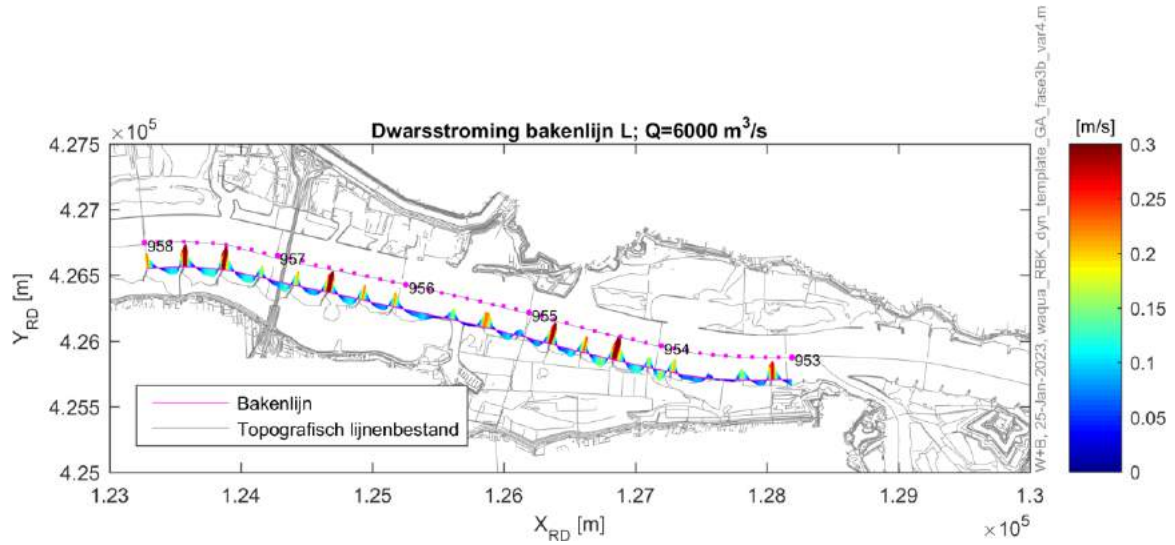
Aan de benedenstroomse zijde van Gors en Aanwas (rkm 955,6) neemt de dwarsstroming toe van 0,11 tot 0,18 m/s bij een afvoer van 6.000 m³/s (afbeelding 5.23), het dwarsstroomdebiet neemt toe tot 50 m³/s (afbeelding 5.24) en hiermee voldoet deze situatie niet. Bij een afvoer van 8.000 m³/s neemt de dwarsstroming toe van 0,16 tot 0,22 m/s (afbeelding 5.26). Bij deze afvoer is het dwarsstroomdebiet groter dan 50 m³/s in de huidige situatie en bij het referentieontwerp (afbeelding 5.27). Deze toename van de dwarsstroming is niet oplosbaar binnen het projectgebied. Aan de noordoever is een lichte verbetering van de dwarsstroming ten opzichte van de referentiesituatie bij rkm 954,8 bij een afvoer van 8.000 m³/s (zie bijlage IV).

Vervolgonderzoek MARIN

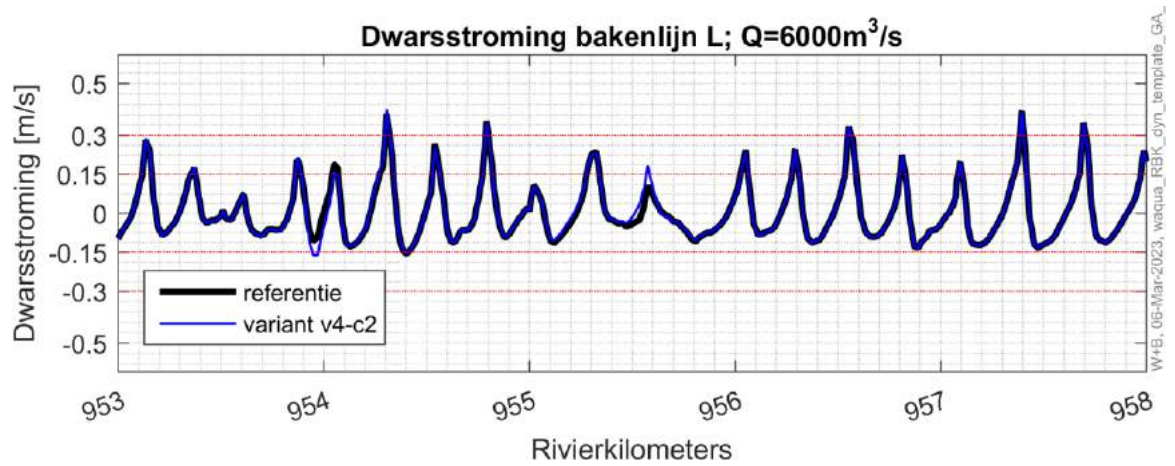
Op twee locaties wordt bij een afvoer van 6.000 en 8.000 m³/s en niet voldaan aan de eisen wat betreft dwarsstroming in het RBK. Conform het RBK wordt voor deze locaties de impact van de herinrichting van Gors en Aanwas op de manoeuvreerbaarheid van scheepvaart onderzocht door Marin (bijlage X). Uit deze studie komt naar voren dat het veranderde stroombeeld door de ingreep niet leidt tot onveilige situaties voor de scheepvaart.

Dwarsstroming zuidoever bij Boven-Rijnafvoer van 6.000 m³/s

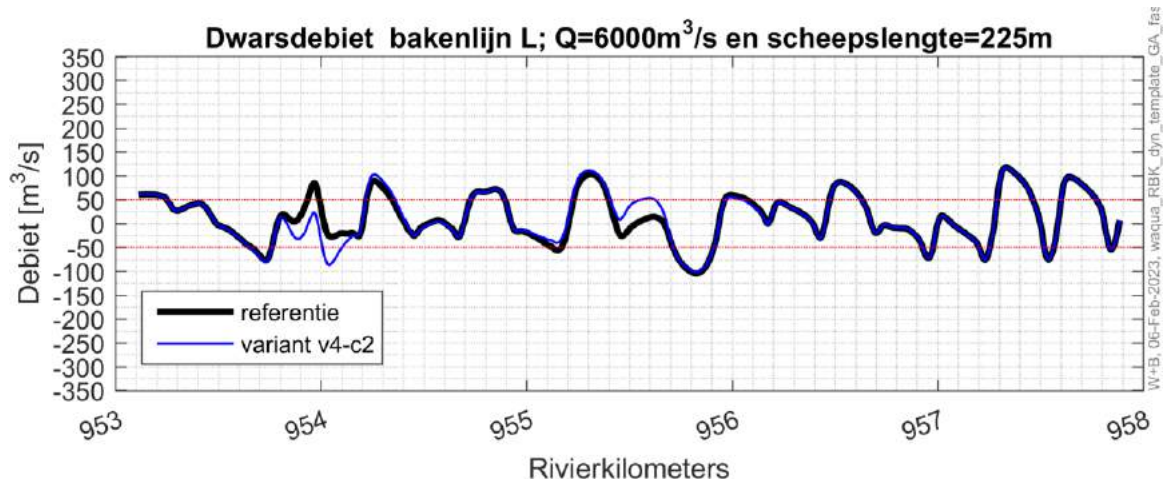
Afbeelding 5.22 Dwarsstroming op de bakenlijn van de zuidoever bij een Boven-Rijnafvoer van 6.000 m³/s



Afbeelding 5.23 Dwarsstroming op de bakenlijn van de zuidoever bij een Boven-Rijnafvoer van 6.000 m³/s. Een positieve waarde is in de richting van de rivieras

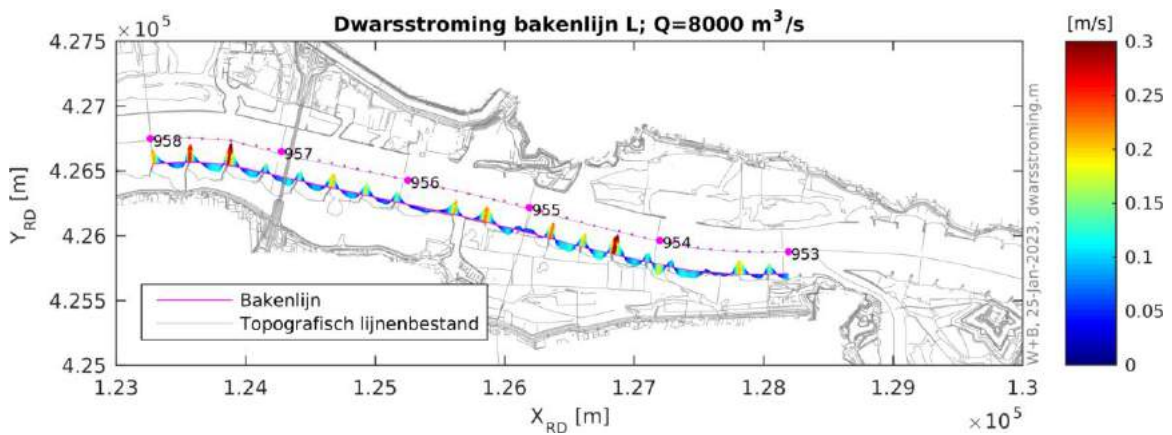


Afbeelding 5.24 Dwarsstroomdebiet op de bakenlijn van de zuidoever bij een Boven-Rijnafvoer van $6.000 \text{ m}^3/\text{s}$, over een scheepslengte van 225 m. Een positieve waarde is in de richting van de rivieras

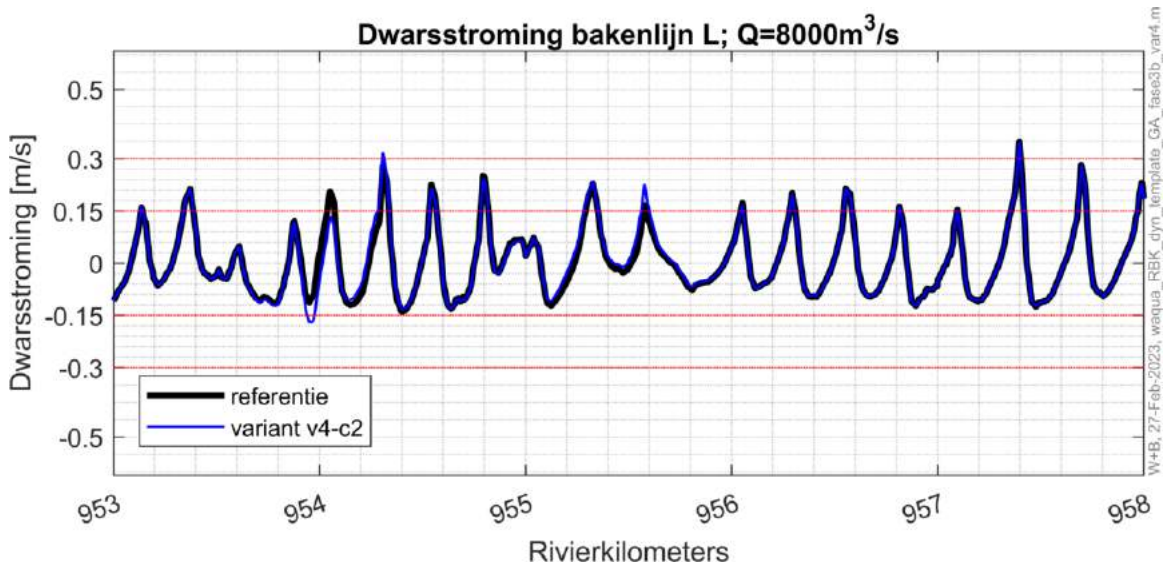


Dwarsstroming zuidoever bij Boven-Rijnafvoer van $8.000 \text{ m}^3/\text{s}$

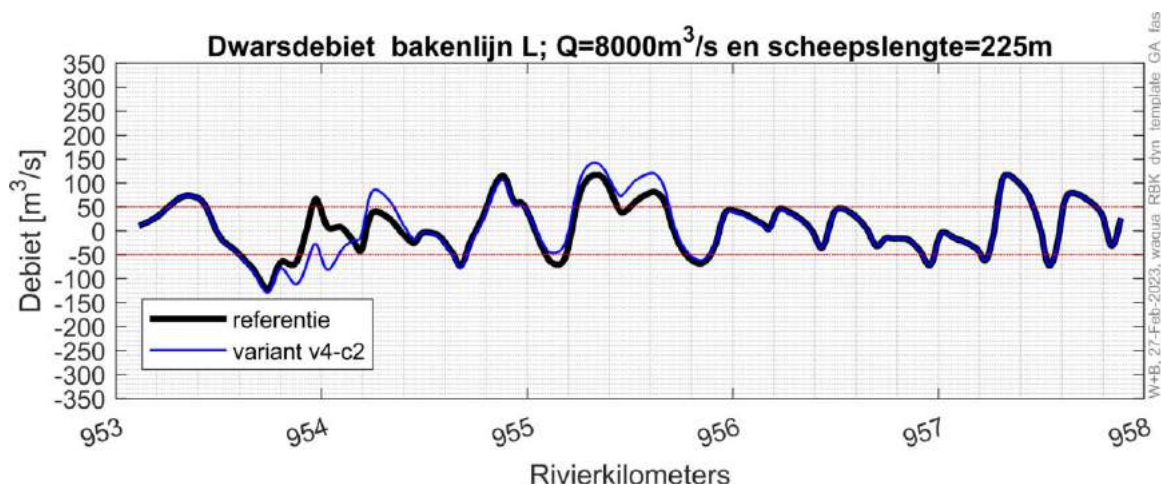
Afbeelding 5.25 Dwarsstroming op de bakenlijn van de zuidoever bij een Boven-Rijnafvoer van $8.000 \text{ m}^3/\text{s}$



Afbeelding 5.26 Dwarsstroming op de bakenlijn van de zuidoever bij een Boven-Rijnafvoer van $8.000 \text{ m}^3/\text{s}$. Een positieve waarde is in de richting van de rivieras



Abbeelding 5.27 Dwarsstroomdebiet op de bakelijen van de zuidoever bij een Boven-Rijnafvoer van 8.000 m³/s, over een scheepslengte van 225 m. Een positieve waarde is in de richting van de rivieras



Dwarsstroming hoofdvaarweg Hel- en Zuilespolder

Langs de Beneden Merwede bij de Hel- en Zuilespolder zijn gestrekte oevers (zonder kribben). Langs gestrekte oevers is de waterdiepte (en de in de bakelijen berekende dwarsstroomsnelheid) niet representatief voor de vaarweg. Daarom rekenen we langs de Beneden Merwede conform bijlage 7 van het RBK met een zogenaamde representatieve dwarsstroomsnelheid. Vanwege de getij-invloed is er geen stationaire stroming bij de verschillende afvoerniveaus. Daarom is bij de verschillende afvoerniveaus de dwarsstroming berekend voor het moment waarop de stroomsnelheid in het zomerbed bij rkm 968 maximaal is.

De verandering in dwarsstroomsnelheden is minimaal bij de afvoeren van 2.000, 4.000 en 6.000 m³/s. Bij de afvoeren 2.000, 4.000 en 6.000 m³/s neemt het dwarsstroomdebiet toe ter plaatse van de monding van de Helsloot. Echter, voor de situaties waar het maximum dwarsstroomdebiet in de referentiesituatie onder de grens van 50 m³/s was, blijft dit ook zo bij het referentieontwerp. In deze paragraaf zijn daarom afbeeldingen opgenomen van de dwarsstroming aan de zuidoever ter plaatse van Hel- en Zuilespolder voor een afvoer van 8.000 m³/s. Voor de afvoeren van 2.000, 4.000 en 6.000 m³/s wordt verwezen naar bijlage V.

Bij een afvoer van 8.000 m³/s neemt de maximale dwarsstroming toe van 0,33 m/s naar 0,34 m/s bij de monding van de Helsloot (rkm 968,2 -968,3, zie afbeelding 5.29). Waar de dwarsstroming toeneemt wordt ook het dwarsdebiet op deze locatie groter, echter komt deze niet boven de grens van 50 m³/s uit.

Dwarsstroomssnelheid rkm 969,0-969,1

Opgemerkt wordt dat de dwarsstroomssnelheid berekend is ter plaatse van de gestrekte oevers. Ter plaatse van rkm 969,0-969,1 verspringt de oever en is de oever over een lengte van 55 m dwars op de rivieras. Hierdoor zijn de berekende negatieve en positieve pieken in dwarsstroming ter plaatse van rkm 969,0-969,1 (zie groene cirkel in afbeelding 5.29) niet representatief voor hinder scheepvaart.

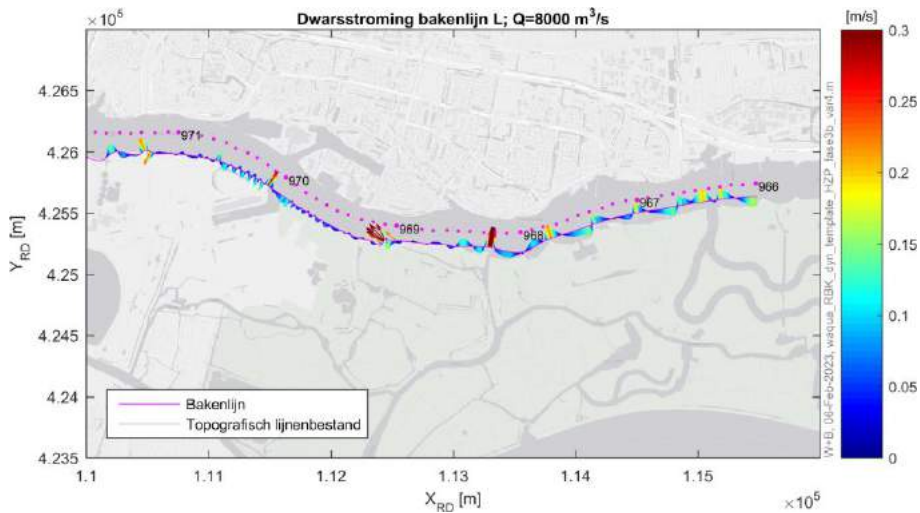


Vervolgonderzoek MARIN

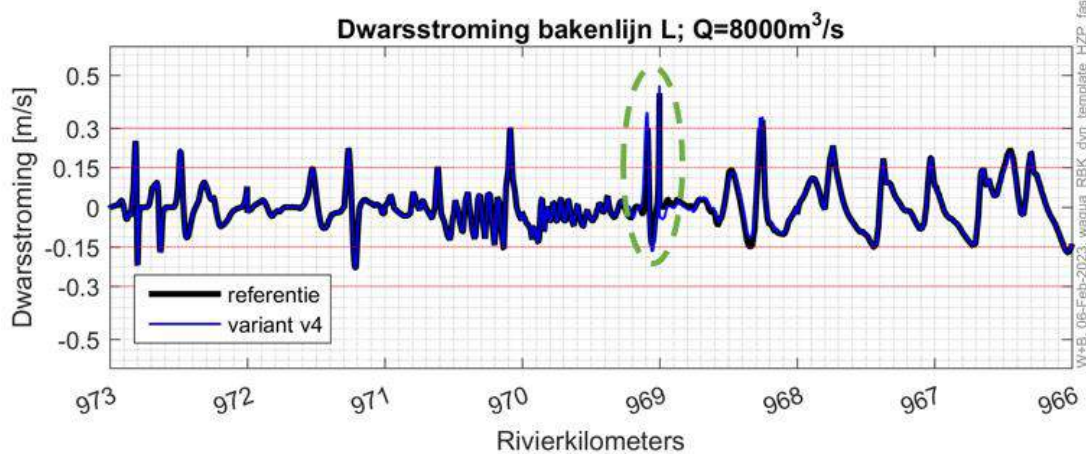
Op twee locaties wordt bij een afvoer van 6.000 en 8.000 m³/s en niet voldaan aan de eisen wat betreft dwarsstroming in het RBK. Conform het RBK wordt voor deze locaties de impact van de herinrichting van Gors en Aanwas op de manoeuvreerbaarheid van scheepvaart onderzocht door Marin **Error! Reference source not found**.bijlage X). Uit deze studie komt naar voren dat het veranderde stroombeeld door de ingreep niet leidt tot onveilige situaties voor de scheepvaart.

Dwarsstroming zuidoever bij Boven-Rijnafvoer van 8.000 m³/s

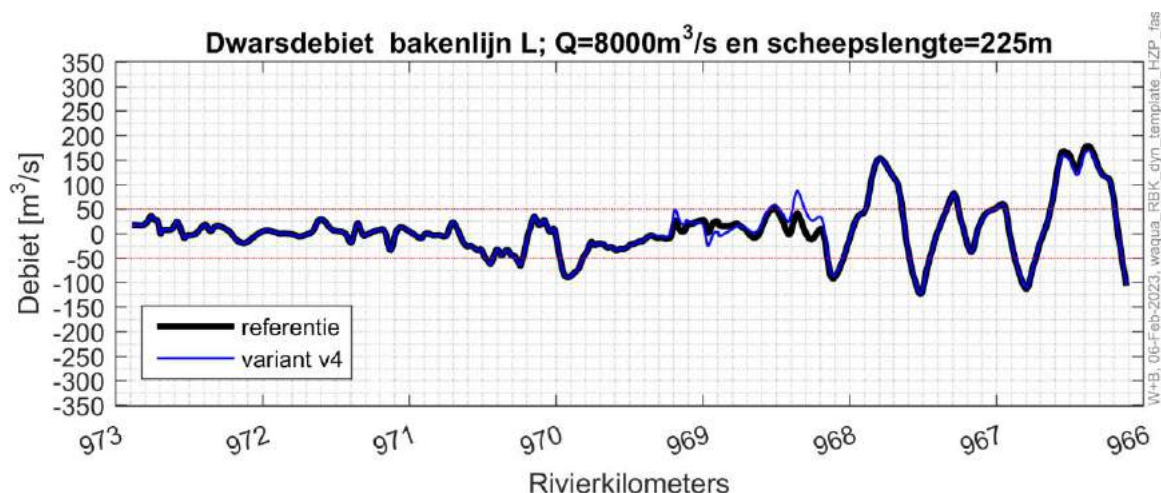
Afbeelding 5.28 Representatieve dwarsstroomsnelheid aan de zuidoever bij een Boven-Rijnafvoer van 8.000 m³/s



Afbeelding 5.29 Representatieve dwarsstroomsnelheid op de bakenlijn van de zuidoever bij een Boven-Rijnafvoer van 8.000 m³/s.
Een positieve waarde is in de richting van de rivieras



Afbeelding 5.30 Dwarsstroomdebiet op de bakenlijn van de zuidoever bij een Boven-Rijnafvoer van $8.000 \text{ m}^3/\text{s}$, over een scheepslengte van 225 m. Een positieve waarde is in de richting van de rivieras



Recreatieve vaarwegen Hel- en Zuilespolder

De recreatievaarwegen rondom de Hel- en Zuilespolder behoren bij scheepvaartklasse 0 (overige motorvrachtschepen M0 en recreatievaart). Richtlijn Vaarwegen 2020 (RWS, verder: RVW 2020, [ref. 8]) is formeel niet van toepassing op deze vaarwegen rondom de Hel- en Zuilespolder, omdat deze vaarwegen geen verbindings- en ontsluitingswater zijn voor recreatievaart (dus geen ZM-A tot en met MD) en scheepvaartklasse kleiner is dan klasse I.

Echter, ontwerp volgens deze richtlijn leidt tot technisch en nautisch verantwoorde oplossingen voor een betrouwbare, veilige en vlotte vaart. Daarom is het ontwerp gecontroleerd op deze richtlijn.

In aanvulling op de dwarsstroming in de hoofdvaarwegen, is daarom ook de dwarsstroming van recreatieve vaarwegen beschouwd.

Voor de recreatieve vaarwegen rond de Hel- en Zuilespolder is de dwarsstroming onderzocht voor het scenario waarbij de getijslag in de Hel- en Zuilespolder maximaal is, omdat de in- en uitstroomsnelheden dan maximaal zijn. Dit is het scenario met $2.000 \text{ m}^3/\text{s}$ Boven-Rijn afvoer in combinatie met getij. Hierbij is gefocust op de momenten van maximale vloedsnelheid en maximale ebsnelheid. Opgemerkt wordt dat dit een conservatief uitgangspunt is, omdat dit slechts korte moment zijn gedurende de dag. Het grootste deel van de tijd zijn de snelheden lager.

De beschouwde openingen en de nabijgelegen recreatieve vaarwegen zijn weergegeven in afbeelding 5.31.

Onderstaande tabel toont voor verschillende openingen van de Hel- en Zuilespolder de maximale eb- en vloeddebieten en de maximale eb- en vloedsnelheden. Vervolgens is de maximale dwarssnelheid ingeschat aan de hand van de oriëntatie van de opening ten opzichte van de vaarweg.

Afbeelding 5.31 Overzicht recreatieve vaarwegen rond de Hel- en Zuilespolder. Blauwe pijl: locatie (en oriëntatie) eb- en vloedstroming door openingen Hel- en Zuilespolder onder dagelijkse omstandigheden. Rode pijlen: vaarrichting van recreatieve scheepvaart



Tabel 5.4 Maximum dwarsstroming recreatieve vaarwegen bij maximale getijslag in de Hel- en Zuilespolder

	Opening noord	Opening zuid	Opening west
breedte opening	25 m	15 m	15 m
drempelhoogte opening	-1,20 m+NAP	-1,20 m+NAP	-1,20 m+NAP
plafond opening	+1,50 m+NAP	+1,60 m+NAP	+1,40 m+NAP
max. vloeddebiet (vullen)	7,4 m ³ /s	1,7 m ³ /s (ledigen)	1,4 m ³ /s
max. ebdebiet (ledigen)	6,8 m ³ /s	2,8 m ³ /s (vullen)	0,9 m ³ /s
doorstroomoppervlak van opening ¹	25 m x 1,8 m	15 m x 1,8 m	15 m x 1,8 m
max vloedsnelheid	0,15 m/s	0,06 m/s	0,05 m/s
max ebsnelheid	0,17 m/s	0,10 m/s	0,03 m/s
max dwarsnelheid recreatievaart	0,17 m/s (90 graden)	0,07 m/s (90 graden)	0,05 m/s (90 graden)

¹ Bij een gemiddelde waterstand van +0,6 m+NAP.

Hieruit blijkt dat onder dagelijkse omstandigheden recreatievaart beperkte dwarsstromingen kan ondervinden, uitgaande van de openingen uit tabel 5.4.

De langsstroming in de vaarwegen ten zuiden van de Hel- en Zuilespolder neemt onder dagelijkse omstandigheden niet toe. Dit blijkt uit het verschil in maximale stroomsnelheid bij afvoeren van 2.000 en 4.000 m³/s (zie bijlage VII) en 6.000 m³/s (zie afbeelding 5.35). De toename van de langsstroming ten zuiden van de Hel- en Zuilespolder bij een hoge afvoer van 8.000 m³/s blijft beperkt tot 0,1 m/s.

5.3.5 Erosie en sedimentatie

Algemeen

Een mogelijk effect van het verruimen van de uiterwaard is een verandering van de stroomsnelheden in het zomerbed waardoor de evenwichtsbodemligging kan veranderen. Voor het aspect Morfologie is op basis van stroombeelden, vuistregels en expert judgement een inschatting gemaakt van erosie en/of sedimentatie in het zomerbed.

Deze paragraaf beschrijft per variant welke effecten er optreden op erosie en sedimentatie, daarnaast wordt aangegeven hoe de varianten beoordeeld wordt.

Gors en Aanwas

Zomerbed bij Gors en Aanwas

De effecten van de ingrepen bij Gors en Aanwas op erosie en sedimentatie in het zomerbed zijn ingeschat aan de hand van de effecten op de stroomsnelheden, de drijvende kracht achter sedimenttransport. De effecten op stroomsnelheden zijn in beeld gebracht bij Boven-Rijnafvoeren van 2.000, 4.000 6.000 en 8.000 m³/s. Bij afvoeren van 2.000 en 4.000 m³/s wijzigen de stroomsnelheden in het zomerbed niet door de ingrepen (zie bijlage VI). Daarom wordt geen erosie en sedimentatie in het zomerbed verwacht.

Bij een Boven-Rijnafvoer van 6.000 en 8.000 m³/s zijn er lokale verschillen in de maximum stroomsnelheid ten opzichte van de referentiesituatie (zie afbeelding 5.33 en afbeelding 5.34).

Bij een Boven-Rijnafvoeren van 6.000 m³/s nemen de stroomsnelheden op twee locaties in het zomerbed af. Tussen rkm 954-954.6 neemt de stroomsnelheid lokaal af met 0,02 m/s, deze afname van de stroomsnelheden is verwaarloosbaar. Langs zuidoever, ter hoogte van de ingang van de haven van Sleeuwijk, nemen de stroomsnelheden af met maximaal 0.1 m/s. Dit is een lokale reductie van de stroomsnelheid van circa 1 %. Op basis van een evenwichtsbeschouwing is een bovengrens afgeschat van de sedimentatie. Dit is lokaal 0,05 tot 0,1 meter¹, uitgaande dat de Boven-Rijnafvoer van 6.000 m³/s zo lang duurt dat zich een nieuw evenwicht instelt.

Bij een Boven-Rijnafvoeren van 8.000 m³/s in het traject rkm 954 - 956,1 in het zomerbed een afname van de stroomsnelheden van 0,01 tot een maximum van 0,1 m/s langs de zuidoever. Dit is een lokale reductie van de stroomsnelheid met 0,6 % tot 6 %. Op basis van een evenwichtsbeschouwing is een bovengrens afgeschat van de sedimentatie. Dit is lokaal 0,05 tot 0,5 meter², uitgaande dat de Boven-Rijnafvoer van 8.000 m³/s zo lang duurt dat zich een nieuw evenwicht instelt. Een hoogwaterperiode heeft echter een typische duur van enkele weken. Daarom wordt op basis van expert judgement tijdens een hoogwater hier een aanzanding verwacht van 0,02 m tot 0,2 meter. Gezien het grote gebied waarbij de stroomsnelheid afneemt met 0,01 m/s, is het totaal te verwachte sedimentatievolume ongeveer 11.300 m³ sediment³. Vanwege het grote gebied waarbij de stroomsnelheid afneemt met 0,01 m/s, zal een groot gedeelte van deze aanzanding weer verdwijnen onder invloed van rivier- en getijstroming. Verder is er een toename van

¹ Uitgaande van waterdiepte 7,5 m bij een waterstand van 2,5 m en een lokale bodemhoogte van -5,0 m+NAP.

² Uitgaande van waterdiepte 8,4 m bij een waterstand van 3,36 m en een lokale bodemhoogte van -5,0 m+NAP.

³ Ruwe schatting van volume: lengte 1.000 m x breedte 50 m x gemiddelde aanzanding (van 0,02 tot 0,2 = 0,06 m) geeft ongeveer 6.000 m³.

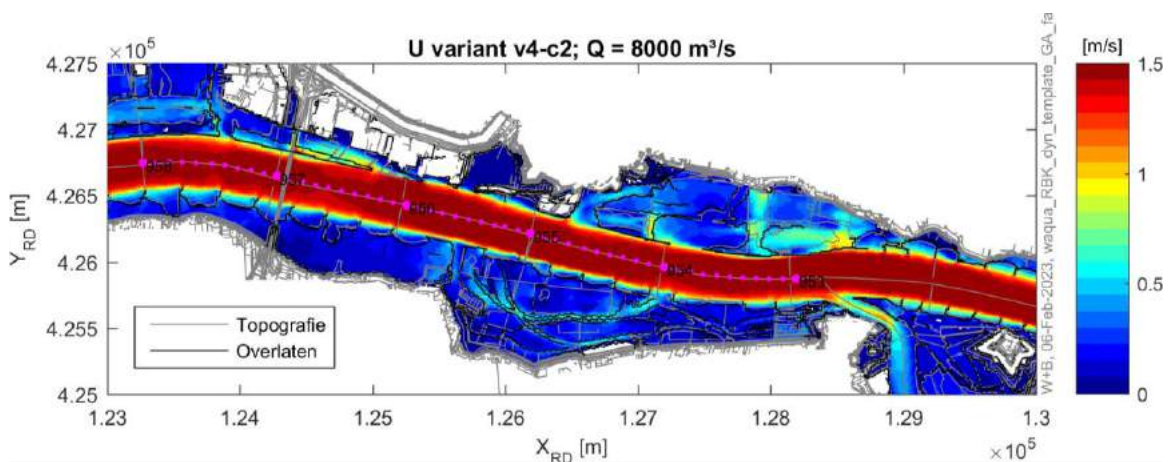
de stroomsnelheden te zien in de kribvakken ter hoogte van rkm 954,1 - 954,5. Het verschil in stroomsnelheid is tot +0,05 m/s bij een afvoer van 8.000 m³/s. Op basis van expert judgement wordt verwacht dat deze kleine toename in stroomsnelheid de stabiliteit van de oever en kribben niet negatief beïnvloed.

Uiterwaard Gors en Aanwas

De uiterwaard Gors en Aanwas bevat in de nieuwe situatie meestromende nevengeul. De snelheden in de uiterwaard zijn tot 0,7 m/s (bij een afvoer van 8.000 m³/s. Bij lagere afvoeren zijn de stroomsnelheden in de nevengeul lager. De oevers van deze nevengeul dienen zo ontworpen te zijn dat deze bestand zijn tegen deze stroomsnelheden.

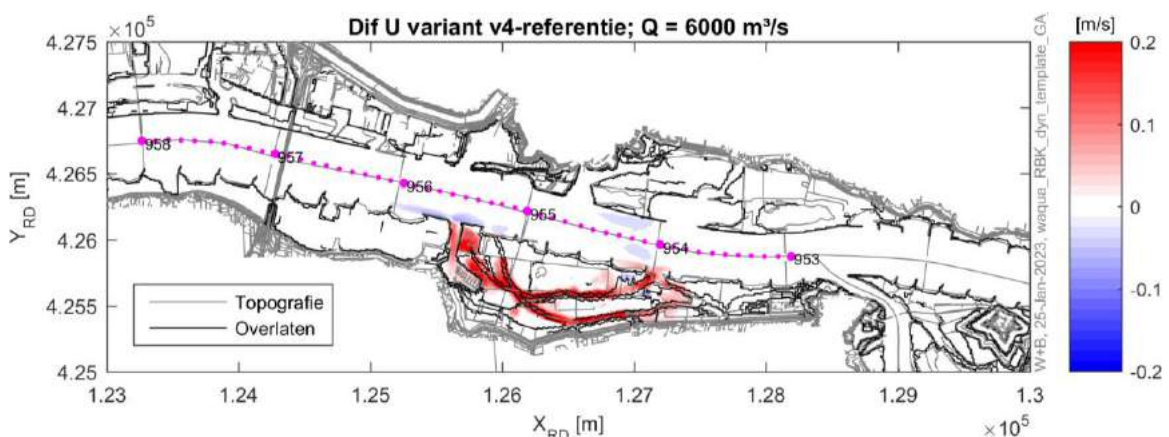
Op basis van expert judgement mag verwacht worden dat de delen die niet permanent meestromen zullen aanzanden. Daarom wordt aanbevolen om eventuele aanzanding van de nevengeul te monitoren (door monitoren van de bodemligging), zodat zicht is op de instandhouding van deze KRW-geul.

Afbeelding 5.32 Maximale stroomsnelheid van het referentieontwerp bij een Boven-Rijnafvoer van 8.000 m³/s

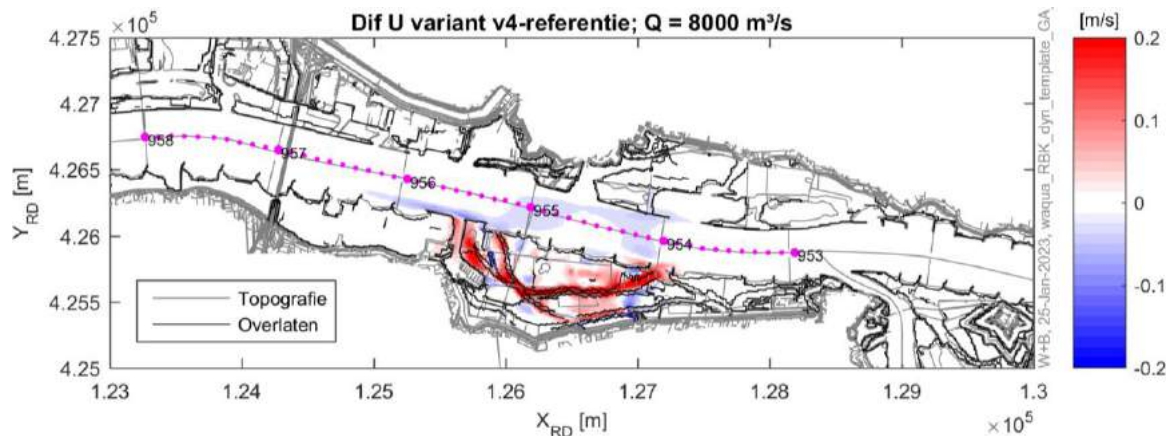


De herinrichting van Gors en Aanwas leidt mogelijk tot sedimentatie in het zomerbed in de monding van de haven van Sleeuwijk. De extra baggerinspanning is relatief gering, omdat sedimentatie alleen verwacht wordt bij hogere afvoeren (6.000 en 8.000 m³/s) en niet bij de vaker voorkomende beschouwde afvoeren van 2.000, 4.000 m³/s. Of de mogelijke toename van baggerinspanning akkoord wordt bevonden is dient te worden afgestemd met de vaarwegbeheerder (Rijkswaterstaat).

Afbeelding 5.33 Effect op maximale stroomsnelheid van het referentieontwerp ten opzichte van referentiesituatie bij een Boven-Rijnafvoer van 6.000 m³/s



Afbeelding 5.34 Effect op maximale stroomsnelheid van het referentieontwerp ten opzichte van referentiesituatie bij een Boven-Rijnafvoer van 8.000 m³/s



Hel- en Zuilespolder

In deze paragraaf worden de morfologische effecten in het zomerbed getoetst aan de eisen uit het RBK. Daarnaast wordt ook aandacht besteed aan de effecten op de bodemverontreiniging op het Wantij en de uiterwaarden en geulen in en nabij de Hel- en Zuilespolder.

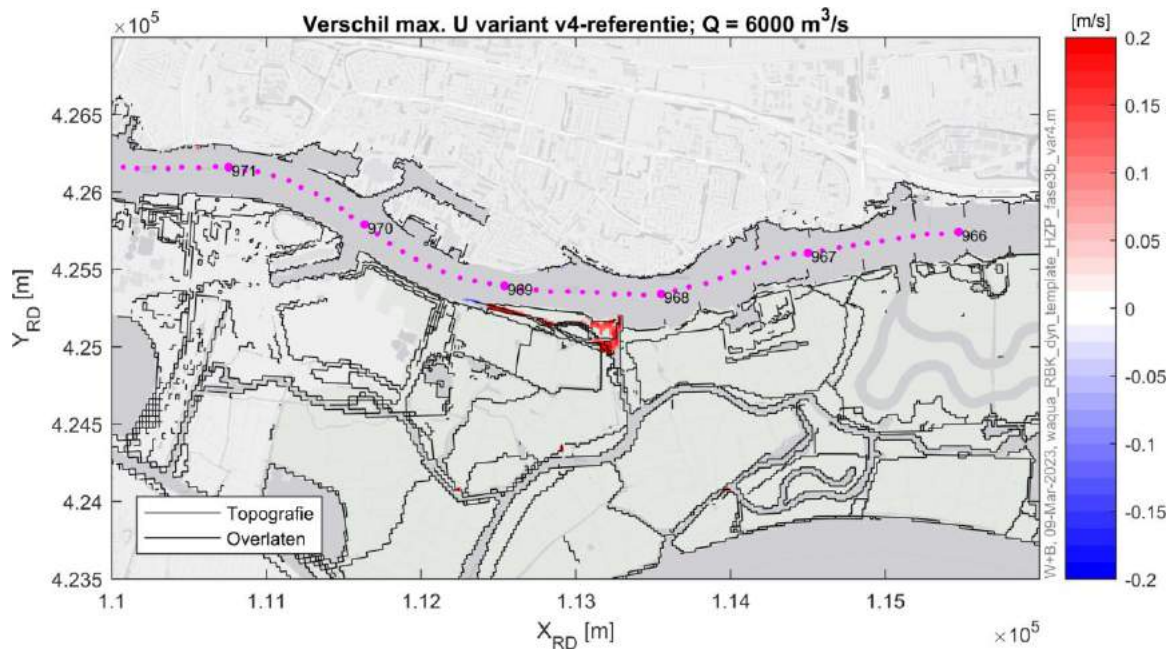
Zomerbed

De effecten van de ingrepen bij Hel- en Zuilespolder op erosie en sedimentatie in het zomerbed zijn ingeschat aan de hand van de effecten op de stroomsnelheden, de drijvende kracht achter sedimenttransport. Bij Boven-Rijnafvoeren van 2.000 en 4.000 m³/s wijzigen de stroomsnelheden in het zomerbed niet door de ingrepen (zie bijlage VII). Daarom wordt geen erosie en sedimentatie in het zomerbed verwacht bij deze afvoeren.

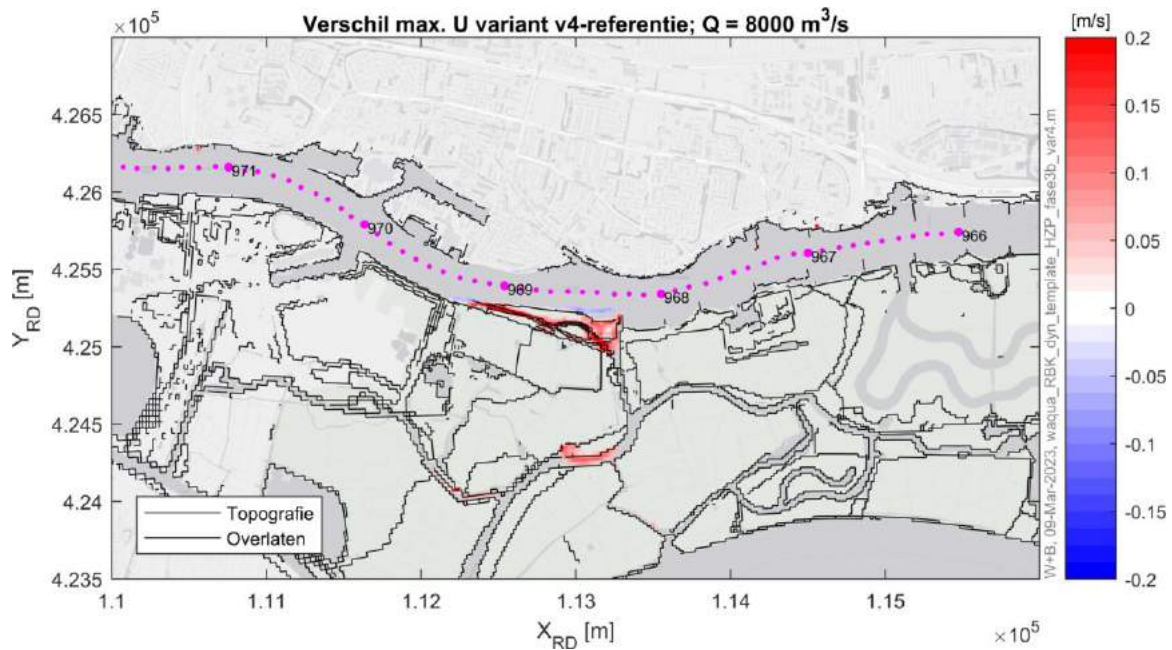
Bij de afvoeren van 6.000 en 8.000 m³/s is er een kleine afname van de stroomsnelheid bij rkm 968,1-968,3 aan de oever. Hier zou mogelijk sedimentatie kunnen optreden. De afname bij 6.000 m³/s is lokaal ongeveer 0,05 m/s (zie afbeelding 5.35). De afname bij 8.000 m³/s is lokaal ongeveer 0,1 m/s (zie afbeelding 5.36). Deze afname is vrijwel geheel in het kribvak. De stroomsnelheid afname bij rkm 696,1 - 696,4 deze afname bevindt buiten de vaargeul, waardoor de mogelijke sedimentatie beperkt blijft tot in het kribvak.

De herinrichting van Hel- en Zuilespolder leidt naar verwachting niet tot extra sedimentatie of erosie van het zomerbed. Hiermee wordt voldaan aan de eisen uit het RBK.

Afbeelding 5.35 Effect op maximale stroomsnelheid van het referentieontwerp ¹ ten opzichte van referentiesituatie bij een Boven-Rijnafvoer van 6.000 m³/s



Afbeelding 5.36 Effect op maximale stroomsnelheid van het referentieontwerp ten opzichte van referentiesituatie bij een Boven-Rijnafvoer van 8.000 m³/s



¹ Opgemerkt wordt dat de stroomsnelheid in de Hel- en Zuilespolder wel wijzigt als gevolg van de nieuwe inrichting, hoewel dit niet zichtbaar is in de afbeeldingen. Dit komt doordat in de referentiesituatie de Hel- en Zuilespolder niet meestroomt bij de afvoeren tot in ieder geval 8.000 m³/s. Bij het referentieontwerp stroomt de Hel- en Zuilespolder wel mee bij alle afvoeren. Dit is zichtbaar in de afbeeldingen met de maximale stroomsnelheid.

Bodemverontreiniging Wantij

De bodem van het Wantij bevat bodemverontreinigingen. Die zouden potentieel in het watersysteem kunnen komen door erosie. Daarom is onderzocht of de maximale stroomsnelheid en daarmee de bodemschuifspanning in het Wantij toeneemt als gevolg van de ingrepen in de Hel- en Zuilespolder. Uit simulaties bij Boven-Rijn afvoeren van 2.000, 4.000, 6.000 en 8.000 m³/s blijkt dat de stroomsnelheid in het Wantij niet wijzigt als gevolg van de ingrepen in de Hel- en Zuilespolder.

Er zal daarom in het Wantij geen extra erosie plaatsvinden ten opzichte van de referentiesituatie.

Uiterwaarden en overige geulen Sliedrechtse Biesbosch

In de Hel- en Zuilespolder zelf zal met name in de geulen stroming zijn als gevolg van eb en vloed onder dagelijkse omstandigheden. Bij vloed kan sedimentrijk water vanuit de Beneden Merwede de Hel- en Zuilespolder instromen. Verwachting is dat het grovere sediment in de geulen bezinkt. Gedurende vloed zullen ook de oevers overstromen. Hierbij wordt het fijnere suspensieve sediment meegevoerd. Mogelijk kan dit hier bezinken. Een deel van het sediment stroomt bij eb weer terug.

Het gedrag van de Hel- en Zuilespolder zal niet anders zijn dan andere gebieden in de Sliedrechtse Biesbosch. Daarom zal het benodigde beheer van de Hel- en Zuilespolder naar verwachting vergelijkbaar zijn met andere gebieden in de Sliedrechtse Biesbosch.

Opgemerkt wordt dat het ontwerp van de Hel- en Zuilespolder bestand moet zijn tegen erosie rond de in- en uitstroomopeningen. Bodembescherming is aan weerszijden¹ van deze openingen benodigd om de stabiliteit van de constructies te borgen.

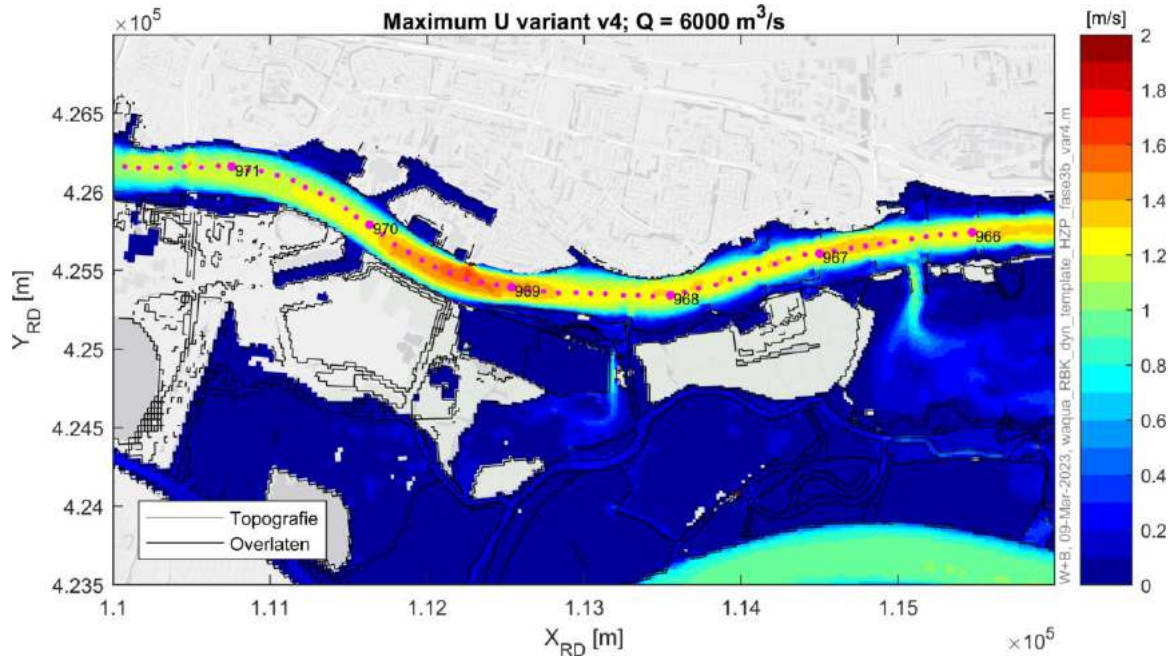
Als gevolg van de ingrepen in en rond de Hel- en Zuilespolder wordt het dynamischer in dit gebied:

- in de Helsloot is er een toename van de snelheden bij alle condities doordat de Hel- en Zuilespolder deels via deze watergang iedere getijcyclus vult en leegt (afbeelding 5.35, afbeelding 5.36 en bijlage VII);
- in de uiterwaard langs de Beneden Merwede nemen de snelheden toe, door de nieuwe nevengeul die permanent meestroomt (afbeelding 5.35, afbeelding 5.36 en bijlage VII);
- ten zuiden van de Hel- en Zuilespolder is er in het Moldiep en de Kikvorschil een toename van de stroomsnelheden. De Hel- en Zuilespolder is met openingen namelijk niet alleen verbonden aan de noordzijde, maar ook aan de zuidzijde met deze watergangen. De toename is vooral bij afvoeren van 6.000 en 8.000 m³/s (afbeelding 5.35 en afbeelding 5.36);
- in de watergang tussen de Hel- en Zuilespolder en het Wantij (nabij de Ottersluis) nemen de maximumstroomsnelheden in sommige situaties af (zoals bij een afvoer van 6.000 m³/s, afbeelding 5.35) of is er geen verandering van de maximum stroomsnelheid (afvoeren van 2.000, 4.000 en 8.000 m³/s).

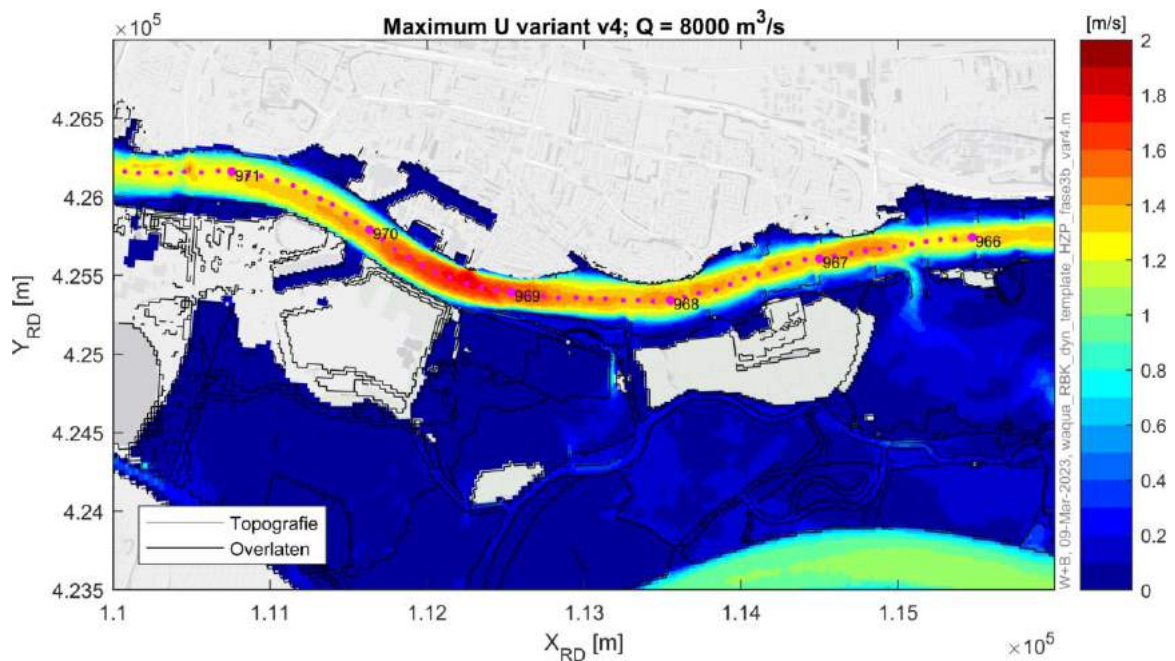
Aanbevolen wordt om de geulen rond de Hel- en Zuilespolder te monitoren om te beoordelen of de toename in de stroomsnelheden tot erosie en sedimentatie leidt. Waarschijnlijk bestaat de bodem van de geulen rond de Hel- en Zuilespolder uit cohesief sediment. Dat maakt het inschatten van eventuele erosie zeer onzeker.

¹ Vanwege wisselende stroomrichting bij eb- en vloedstroming.

Afbeelding 5.37 Maximale stroomsnelheid van het referentieontwerp Hel- en Zuilespolder bij een Boven-Rijnafvoer van 6.000 m³/s



Afbeelding 5.38 Maximale stroomsnelheid van het referentieontwerp Hel- en Zuilespolder bij een Boven-Rijnafvoer van 8.000 m³/s



Geulen in WAQUA Biesbosch model

Opgemerkt wordt dat het rekengrid van het WAQUA Biesbosch model relatief grof is ten opzichte van de geulen in de Sliedrechtse Biesbosch. De getoonde stroomsnelheden en verschillen in stroomsnelheden in de geulen hebben daarom een beperkte betrouwbaarheid (zie ook paragraaf 4.1).

6

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

6.1 Conclusies

Voor de conclusies is onderscheid gemaakt tussen de ingrepen bij Gors en Aanwas (langs de Boven Merwede) en de Hel- en Zuilespolder (langs de Beneden Merwede).

6.1.1 Gors en Aanwas

Tabel 6.1 presenteert een samenvatting van de beoordeling van de rivierkundige effecten voor Gors en Aanwas.

Tabel 6.1 Samenvatting beoordeling rivierkundige effecten het referentieontwerp Gors en Aanwas

Thema	Aspect	Beoordeling	Reden beoordeling
hoogwaterveiligheid	waterstandseffect op de as van de rivier	voldoet	netto waterstandsdeling
	waterstandseffect nabij de primaire kering	ter review bij waterschap	waterstandstoename nabij de primaire waterkering van 3 cm
	afvoerverdeling Merwedekop	voldoet	geen effect
hinder en schade	dwaarsstroming op de bakenlijn	voldoet	op twee locaties overschrijding van norm uit RBK. Aanvullende analyse Marin heeft aangetoond dat er geen onveilige situaties voor de scheepvaart optreden
erosie en sedimentatie	erosie en sedimentatie in het zomerbed	ter bespreking Rijkswaterstaat	sedimentatie ter hoogte van haveningang in het zomerbed

Over de rivierkundige effecten van het referentieontwerp van Gors en Aanwas wordt het volgende geconcludeerd:

- hoogwaterveiligheid:
 - er is een ruime netto waterstandsdeling door de ingrepen. De lokale opstuwingspiek is 12 mm. Ontwerptimalisaties binnen de Gors en Aanwas hebben niet geleid tot reductie van de lokale opstuwingspiek. Daarom wordt compensatie overwogen (zie aanbevelingen);
 - de opstuwung langs de primaire waterkering van Sleeuwijk is maximaal 3 cm. Dit is voorgelegd aan de waterkeringbeheerder waterschap Rivierenland;
 - de afvoerverdeling bij splitsingspunt de Merwedekop wordt niet beïnvloed door ingrepen bij Gors en Aanwas;

- hinder en schade:
 - op 2 locaties op de bakelijns voldoet de dwarsstroming niet aan de eisen uit het RBK (bij een afvoer van 6000 en 8.000 m³/s). Een aanvullende Padbreedte analyse heeft aangetoond dat de ingreep geen effect heeft op de scheepvaartveiligheid;
- erosie en sedimentatie:
 - de sedimentatie in het zomerbed zal toenemen langs de zuidoever over het traject rkm 955,1 - 956,1, onder andere ter plaatse van de toegang tot de haven van Sleeuwijk. De extra baggerinspanning is relatief gering (eens per 5 jaar orde 11.300 m³), omdat sedimentatie alleen verwacht wordt bij hogere afvoeren (6000 en 8.000 m³/s) en niet bij de vaker voorkomende beschouwde afvoeren van 2.000 en 4.000 m³/s.

6.1.2 Hel- en Zuilespolder

Tabel 6.2 presenteert een samenvatting van de beoordeling van de rivierkundige effecten voor Gors en Aanwas.

Tabel 6.2 Samenvatting beoordeling rivierkundige effecten het referentieontwerp Hel- en Zuilespolder

Thema	Aspect	Beoordeling	Reden beoordeling
hoogwaterveiligheid	waterstandseffect op de as van de rivier	voldoet	zeer lokaal beperkt effect op waterstand.
	waterstandseffect nabij de primaire kering	voldoet	lokale waterstandstoename nabij de primaire waterkering is kleiner dan geaccepteerde 1 cm. Afstemming met waterschap heeft plaatsgevonden
	afvoerverdeling Merwedekop	ter beoordeling Rijkswaterstaat	het effect van de van de afvoerverdeling, verwaarloosbaar
hinder en schade	dwarsstroming op de bakelijns	voldoet	op twee locaties overschrijding van norm uit RBK. Aanvullende analyse Marin heeft aangetoond dat er geen onveilige situaties voor de scheepvaart optreden
erosie en sedimentatie	erosie en sedimentatie in het zomerbed	voldoet	geen extra sedimentatie of erosie van het zomerbed verwacht ten opzichte van de huidige situatie

* Definitieve beoordeling nader af te stemmen met rivierbeheerder.

Geconcludeerd wordt over de rivierkundige effecten van het referentieontwerp van Hel- en Zuilespolder:

- hoogwaterveiligheid:
 - er is een kleine netto waterstandsval door de ingrepen. De lokale opstuwingspiek is enkele millimeters. Ontwerptimalisaties zijn uitgevoerd ter reductie van de lokale opstuwingspiek;
 - de opstuwings langs de primaire waterkering van Sliedrecht is maximaal 0,04 mm. Dit is lager dan 1 cm die waterschap Rivierenland hanteert als maximum vanuit toetskader 'Kenniskaart watertoets' [ref. 7];
 - de effecten van de ingrepen bij Hel- Zuilespolder hebben een verwaarloosbaar effect op de afvoerverdeling ter plaatse van het splitsingspunt de Merwedekop. Benedenstrooms van de Sliedrechtse Biesbosch is een lichte toename van de afvoer op de Beneden Merwede. Over de definitieve beoordeling van de afvoerverdeling dient afstemming plaats te vinden met de rivierbeheerder, omdat er aan de ene kant sprake is van een lichte toename van de afvoer op de Beneden Merwede, maar dit aan de andere kant niet leidt tot een waterstandstoename op het traject benedenstrooms van de ingreep;

- hinder en schade:
 - de dwarsstroming bij de beschouwde afvoerniveaus van 2.000, 4.000 en 6.000 m³/s blijft binnen de criteria;
 - de maximale dwarsstroming bij de monding van de Helsloot in de Beneden Merwede neemt toe van 0,33 naar 0,34 m/s bij een afvoer van 8.000 m³/s, en voldoet niet aan de eisen uit het RBK. Een aanvullende Padbreedte analyse heeft aangetoond dat de ingreep geen effect heeft op de scheepvaartveiligheid;
 - onder dagelijkse omstandigheden kan recreatievaart in de Helsloot en Moldiep beperkte dwarsstromingen ondervinden nabij de in- en uitstroomopeningen van de Hel- en Zuilespolder;
- erosie en sedimentatie:
 - in de Beneden Merwede wordt geen extra sedimentatie of erosie van het zomerbed verwacht als gevolg van de ingrepen in de Hel- en Zuilespolder ten opzichte van de referentiesituatie. Bij de afvoeren van 6.000 en 8.000 m³/s is een kleine afname van de stroomsnelheid bij rkm 968,1-968,3. Dit is grotendeels in het kribvak;
 - er wordt geen extra erosie verwacht in het Wantij als gevolg van de ingrepen in de Hel- en Zuilespolder. Er is dus ook geen effect te verwachten op de aanwezige bodemverontreiniging.

6.2 Aanbevelingen

Ontwerptimalisatie

Bodembescherming aan weerszijden openingen Hel- en Zuilespolder

Opgemerkt wordt dat het ontwerp van de Hel- en Zuilespolder bestand moet zijn tegen erosie rond de in- en uitstroomopeningen. Bodembescherming is aan weerszijden van deze openingen benodigd om de stabiliteit van de constructies te borgen.

Mitigatie

Monitoring Gors en Aanwas en Hel- en Zuilespolder

Voor erosie en sedimentatie rond Gors en Aanwas en rond de Hel- en Zuilespolder zijn aanbevelingen opgenomen.

Aanbevolen wordt om eventuele aanzanding van de nevengeul bij Gors en Aanwas te monitoren (door monitoren van de bodemligging), zodat zicht is op de instandhouding van deze KRW-geul. Op basis van de monitoring kan beoordeeld worden of periodiek ingrijpen (door baggeren) noodzakelijk is.

Aanbevolen wordt om de geulen rond de Hel- en Zuilespolder te monitoren om te beoordelen of de toename in de stroomsnelheden tot erosie en sedimentatie leidt. Waarschijnlijk bestaat de bodem van de geulen rond de Hel- en Zuilespolder uit cohesief sediment. Dat maakt het inschatten van eventuele erosie zeer onzeker.

Beheer Hel- en Zuilespolder

Het gedrag van de Hel- en Zuilespolder zal niet anders zijn dan andere gebieden in de Sliedrechtse Biesbosch. Daarom zal het benodigde beheer van de Hel- en Zuilespolder naar verwachting vergelijkbaar zijn met andere gebieden in de Sliedrechtse Biesbosch.

Recreatieve vaarwegen Hel- en Zuilespolder

We adviseren de volgende aanvullende maatregelen ten behoeve van de nautische veiligheid:

- bebording in de Helsloot, Moldiep en Kikvorschil om recreatievaart te waarschuwen voor dwarsstroming, omdat het dwarsstroomveld relatief lang is;
- bij eventueel varen met kano's dient rekening gehouden te worden met de variërende waterstand als gevolg van het getij en doorvaarthoogte. Dit betekent dat de onderkant van de brug voldoende hoog moet zijn of dat er een voorziening is waarmee de kano uit het water gehaald kan worden. Dit dient in

het referentie ontwerp verder uitgewerkt te worden. Aanbevolen wordt om uit te gaan van hoogwaterspringtij (NAP+0,90 m) en een doorvaarthoogte van 0,9 m [ref. 9].

Compensatie

Lokale opstuwing

De lokale opstuwing langs het dijktraject bij Sleeuwijk is niet oplosbaar binnen beschikbare ruimte en binnen de projectdoelstellingen. Daarom worden compenserende maatregelen aangeraden:

De lokale opstuwing langs het dijktraject bij Sleeuwijk kan gecompenseerd worden door het overlagen van de aanwezige verharding (met 3 cm bij Sleeuwijk) door Rijkswaterstaat. Voor de waterkeringbeheerder waterschap Rivierenland is dit een werkbare oplossing als de mogelijkheden voor mitigeren uitgeput zijn. Voorwaarde is dat de wegbeheerder gemeente Altena hieraan mee wil meewerken.

7

REFERENTIES

- [ref. 1] Witteveen+Bos (2023) SO3 Planuitwerking KRW Sliedrechtse Biesbosch Referentieontwerp. 121627-TM-VV1/23-003.230.
- [ref. 2] Rijkswaterstaat WVL & Deltares (2015). Modelschematisatie Rijnmaasmonding. Baseline en WAQUA schematisatie j15_5-v1 en beno15_5-v1.
- [ref. 3] Rijkswaterstaat, CIP's + RVW rivierkundige berekeningen maatregelen Sliedrechtse Biesbosch. Kenmerk RWS/WNZ/NOV/2021.08, 29 oktober 2021.
- [ref. 4] Deltares, 'WAQUA Productieberekeningen Rijn-Maasmonding, Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium 2017'. Kenmerk 1220082-001-HYE-0015, versie 4, 22 november 2016.
- [ref. 5] Rijksinstituut voor Kust en Zee, Gemiddelde getijkromme 1991.0. ISBN 90-369-0453-6, 1994.
- [ref. 6] Rijkswaterstaat (2019) Rivierkundig Beoordelingskader voor ingrepen in de Grote Rivieren 5.0.
- [ref. 7] Waterschap Rivierenland (onbekend) Kennis en Advieskaart - Watertoets waterkering belang ruimtelijke ingrepen buitendijks.
- [ref. 8] Rijkswaterstaat (2020). Richtlijnen Vaarwegen 2020. ISBN 978-90-9033423-3.
- [ref. 9] Watersport Verbond en Toeristische Kano Bond Nederland (2014). Rapport kanovaarwegen in Nederland; van planning tot praktijk, een handleiding.

Bijlagen

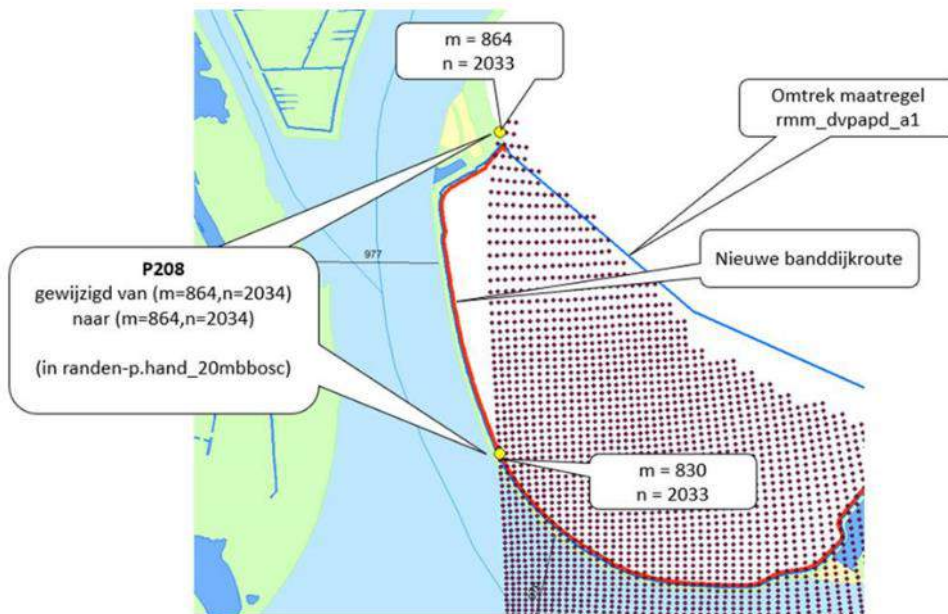


BIJLAGE: TOELICHTING OP WIJZIGINGEN WAQUA-MODEL

I.1 Randvoorwaarde

Voor de update van het Baseline model zijn er 8 maatregelen 'ingemixt' in het rmm-beno15_5-v2 model. Een van de aangeleverde maatregelen ligt precies op de rekenrand van het model (zie Afbeelding I.1). Om het model werkend te krijgen is de locatie voor de input van de randvoorwaarden aangepast. De aanpassing is gedaan in het bestand 'randen-p.hand_20mbbosch'. In de aangepaste versie ligt punt p208 op locatie (m=830,n=2034) i.p.v. (m=864,n=2034) in het origineel. Rijkswaterstaat is op de hoogte gebracht van de vereiste wijziging en heeft hier akkoord op gegeven.

Afbeelding I.1 Aanpassing van waarden in randen-p.hand_20mbbosch



I.2 Ruwheden

Bij het gebruiken van de Simona2019 voor het rmm-beno15_5-v1 model is vastgesteld dat ruwheidscode 618 niet meer wordt geaccepteerd. Echter blijkt dat de ruwheidscodes 618 en 617 dezelfde eigenschappen hebben (zie Afbeelding I.2). In de area-u.001 bestanden zijn daarom alle ruwheidscodes 618 vervangen door 617. Deze waarde wordt door Simona2019 wel geaccepteerd. Tot slot hebben we het ruwheidstraject waarop ruwheidscode 617 geldt, tussen Sint Andries en Zaltbommel) opnieuw gedefinieerd en toegevoegd.

Afbeelding I.2 Ruwheden codes 617 en 618 en de daarbij behoren parameters

```
-----  
r_code = 617 PARAM = 1850 a = 0.0950 b = 2.5 # tiel - sint andries  
r_code = 617 PARAM = 3000 a = 0.1102 b = 2.5  
r_code = 617 PARAM = 7450 a = 0.0905 b = 2.5  
#  
r_code = 618 PARAM = 1850 a = 0.0950 b = 2.5 # sint andries - zaltbommel  
r_code = 618 PARAM = 3000 a = 0.1102 b = 2.5  
r_code = 618 PARAM = 7450 a = 0.0905 b = 2.5  
#  
-----
```

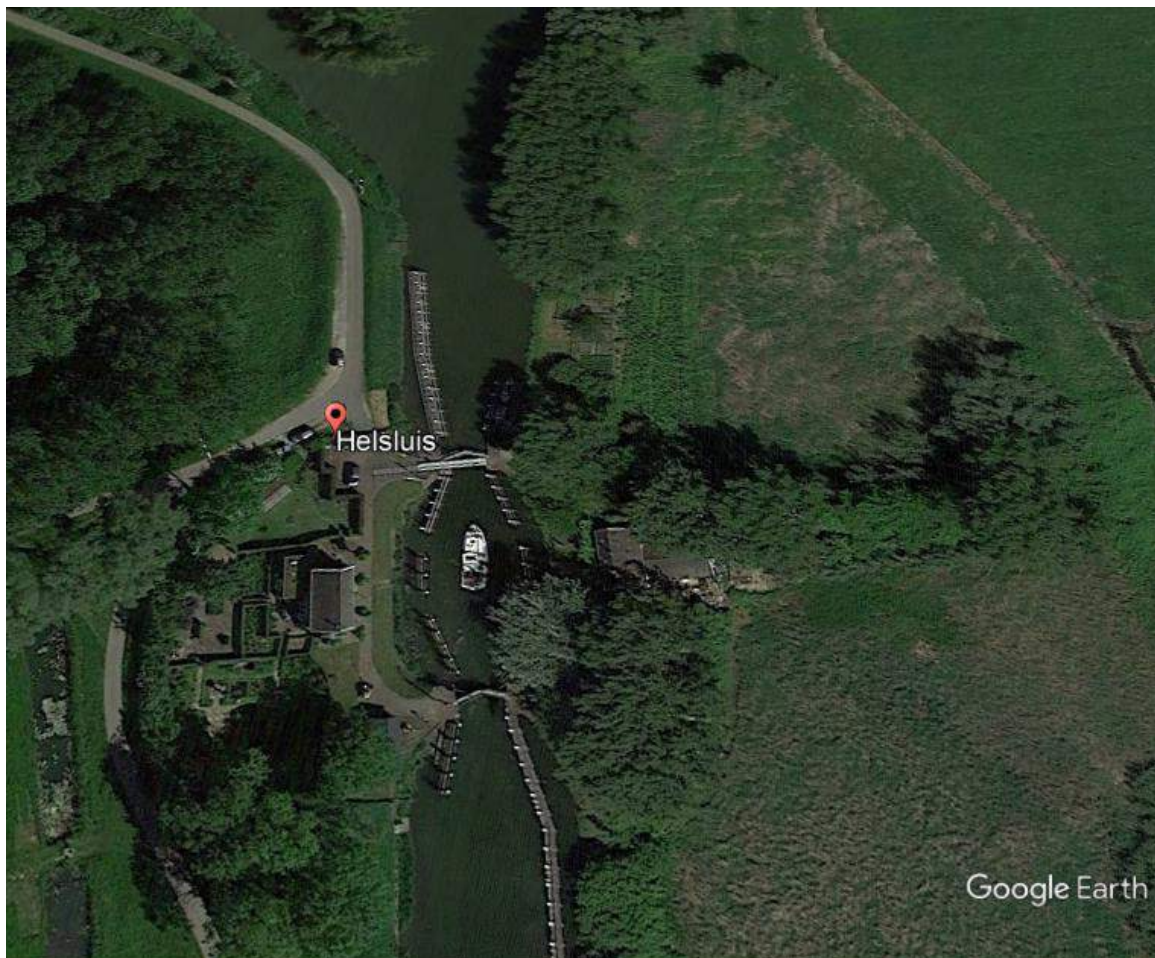
I.3 Helsluis

In het van Rijkswaterstaat ontvangen WAQUA-model van de Biesbosch staat de Helssluis (ter hoogte van Beneden Merwede rkm 968) continue open. In werkelijkheid zijn de sluisdeuren van de Helsluis gesloten en wordt deze sluis gebruikt voor het schutten van recreatievaart (zie Afbeelding I.3).

Dit is gemeld bij Helpdesk Water en in overleg met Rijkswaterstaat is voor de effecten van planuitwerking Sliedrechtse Biesbosch uitgegaan van een gesloten Helsluis (in zowel de referentiesituatie als de te beschouwen variant). Dit omdat de effecten onderzocht worden van het creëren van intergetijdenatuur in de naastgelegen Hel- en Zuilespolder en het uitgangspunt voor een open of gesloten Helsluis invloed heeft op de stroming door dit gebied.

Bij extreem hoogwater stroomt er water over de sluishoofden heen. Daarom is de Helsluis geschematiseerd in WAQUA als een overlaat met de kruin op 2,70 m+NAP.

Afbeelding I.3 Luchtfoto van de Helsluis



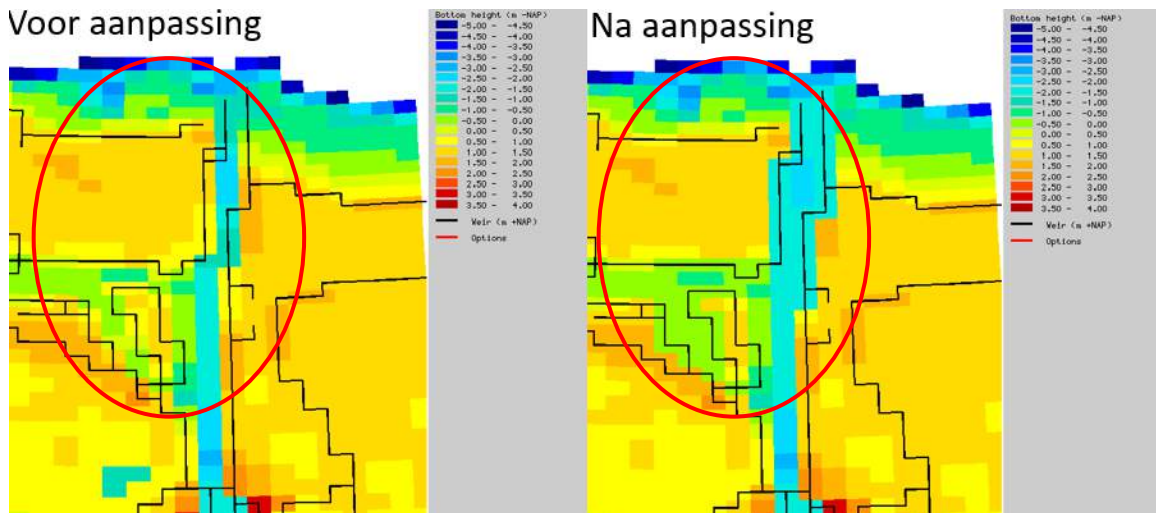
1.4 Bodemligging nabij instroomopeningen Hel- en Zuilespolder

In het referentiemodel is op drie locaties in de Hel- en Zuilespolder de bodemligging lokaal aangepast om de werking van het model te verbeteren. De bodemligging tussen de overlaten in het WAQUA-model veroorzaakt op een aantal locaties een onrealistische stromingsbeperking. De bodemligging is daarom op een aantal plekken naar beneden zodat deze aansluit bij de locatie van de overlaten en de diepte van de geulen. Onderstaande paragrafen lichten eerst de wijzigingen en vervolgens heft effecten van de wijzigingen op de hoogwaterberekeningen toe.

Locatie 1 - Opening Noord

Tussen de Beneden Merwede en de meest noordelijk gelegen instroomopening is het referentiemodel gewijzigd. Onderstaande afbeelding toont de bodemligging vóór de aanpassing (links) en ná de aanpassing (rechts). Te zien is dat de bodemligging na de aanpassingen aansluit bij de locaties van de overlaten.

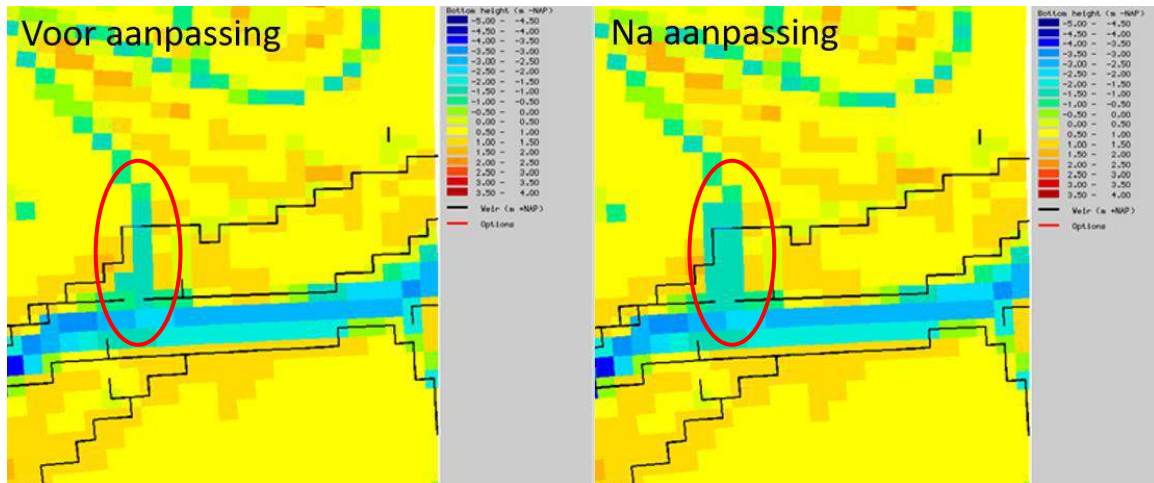
Afbeelding I.1 Bodemligging ter hoogte van de Noordelijke instroomopening van de Hel- en Zuilespolder voor en na de aanpassingen van het referentiemodel



Locatie 2 - Opening Zuid

Tussen de Helsloot en de zuidelijk gelegen instroomopening is het referentiemodel gewijzigd. Onderstaande afbeelding toont de bodemligging vóór de aanpassing (links) en ná de aanpassing (rechts). Te zien is dat de bodemligging na de aanpassingen aansluit bij de locaties van de overlaten.

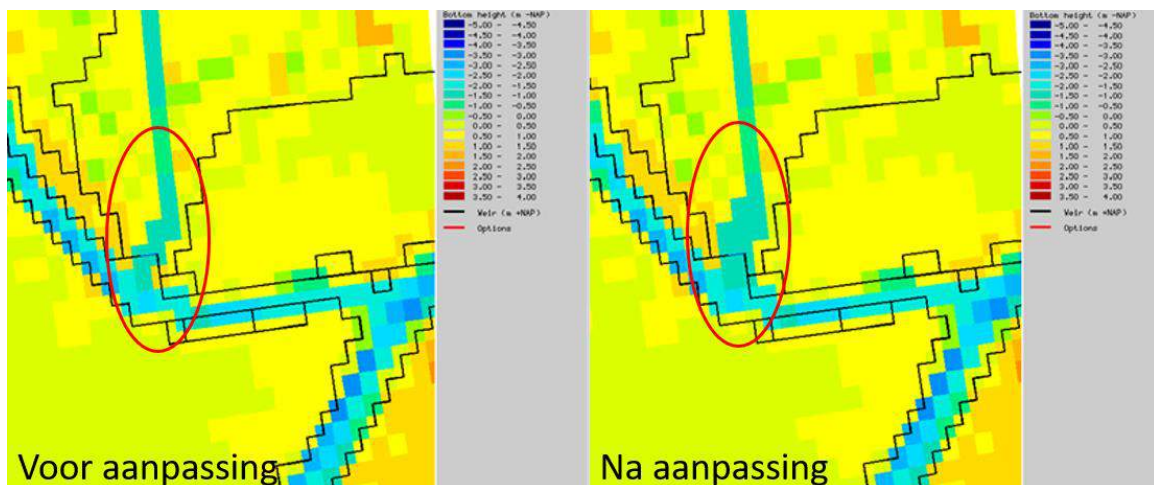
Afbeelding I.1 Bodemligging ter hoogte van de zuidelijke instroomopening van de Hel- en Zuilespolder voor en na de aanpassingen van het referentiemodel



Locatie 3 - Opening West

Tussen het Moldiep en de westelijk gelegen instroomopening is het referentiemodel gewijzigd. Onderstaande afbeelding toont de bodemligging vóór de aanpassing (links) en ná de aanpassing (rechts). Te zien is dat de bodemligging na de aanpassingen aansluit bij de locaties van de overlaten.

Afbeelding I.1 Bodemligging ter hoogte van de westelijke instroomopening van de Hel- en Zuilespolder voor en na de aanpassingen van het referentiemodel



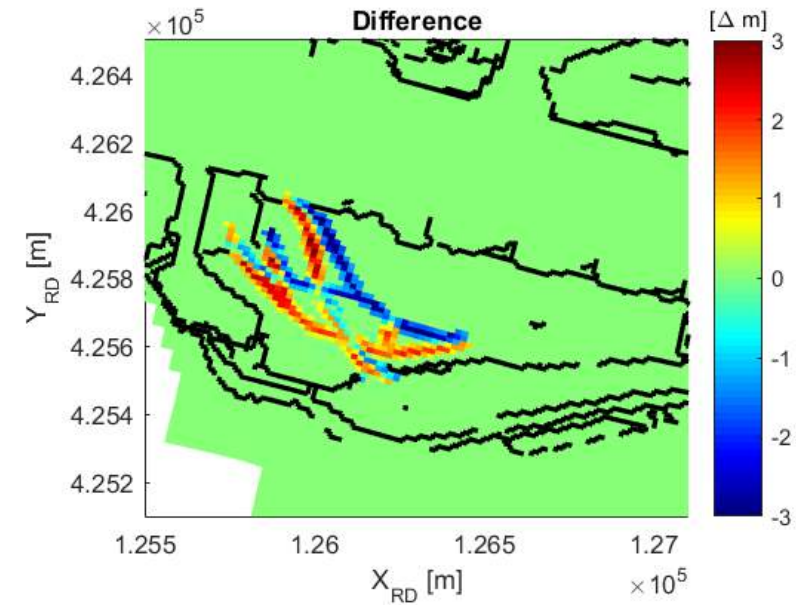
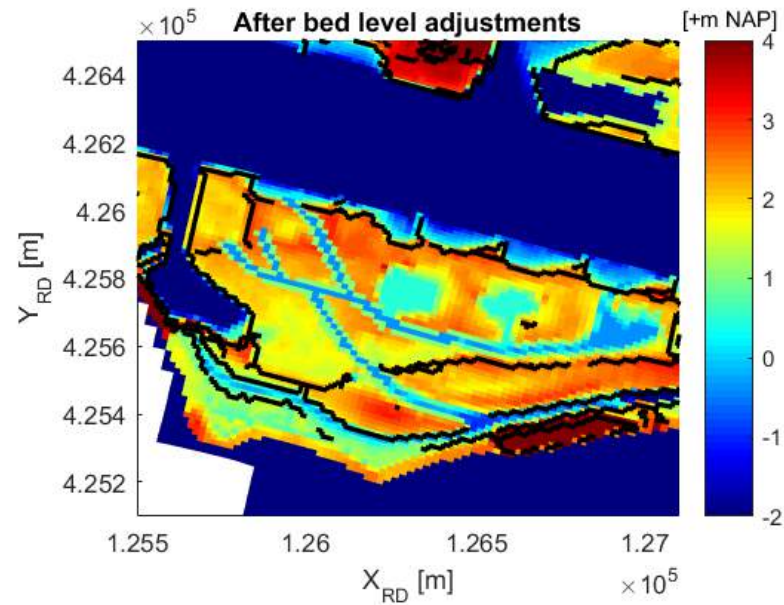
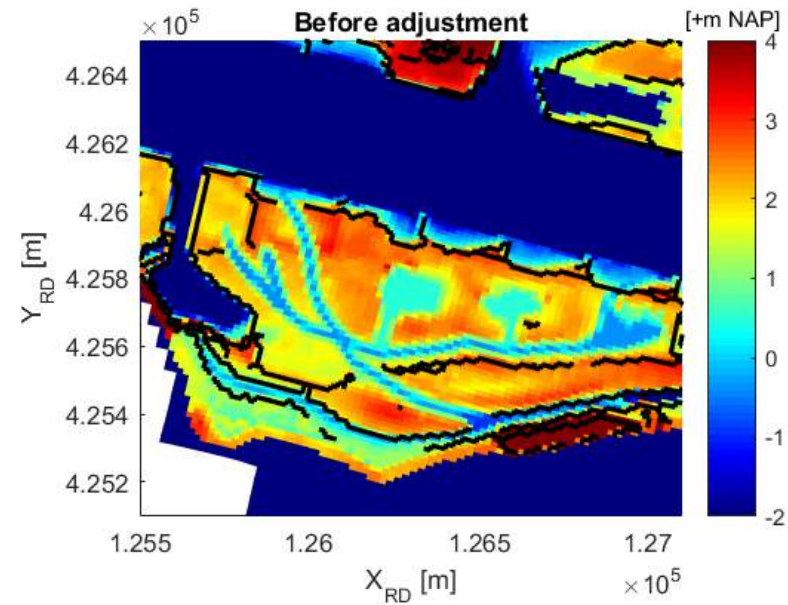


BIJLAGE: OPTIMALISATIES GORS EN AANWAS

Optimalisatie 1

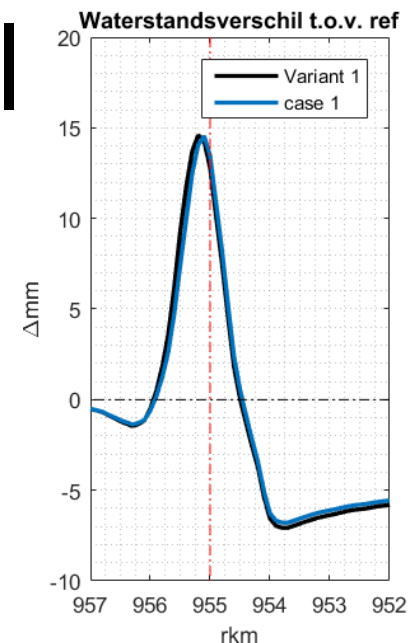
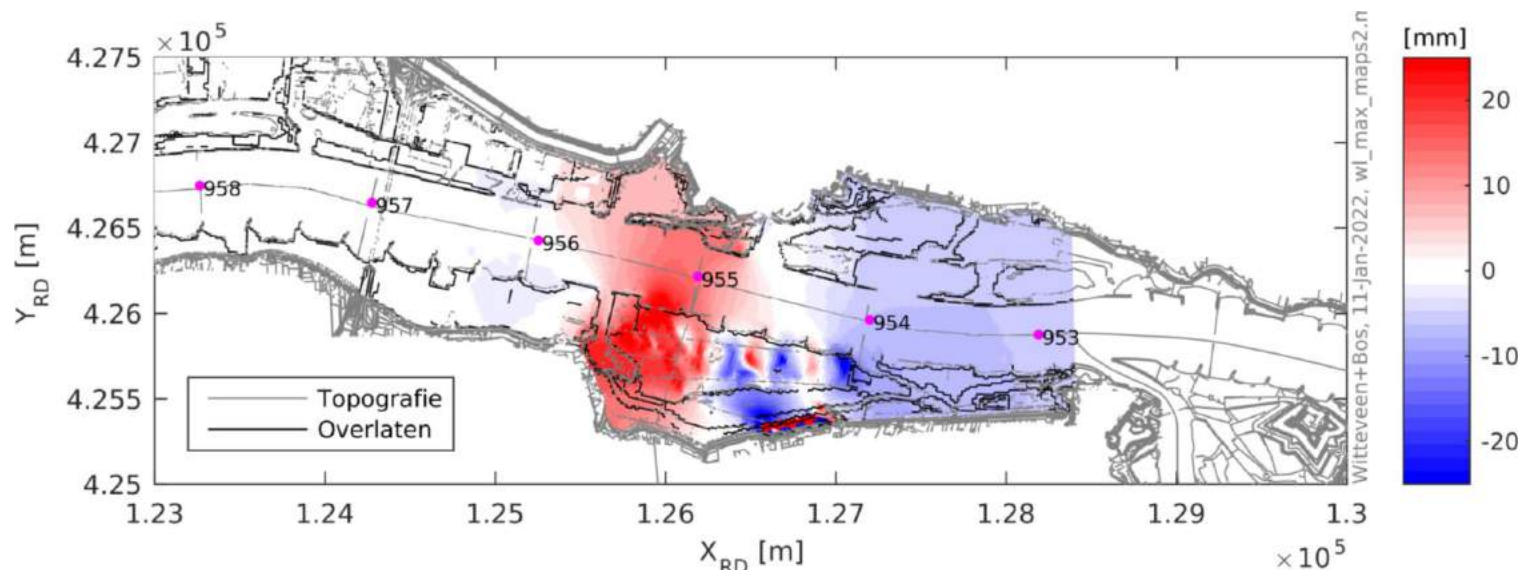
- Verflauwen nevengeul
- Minder haakse aansluiting op zomerbed
- Aansluiting van bestaande geul op nieuwe nevengeul

Optimalisatie 1

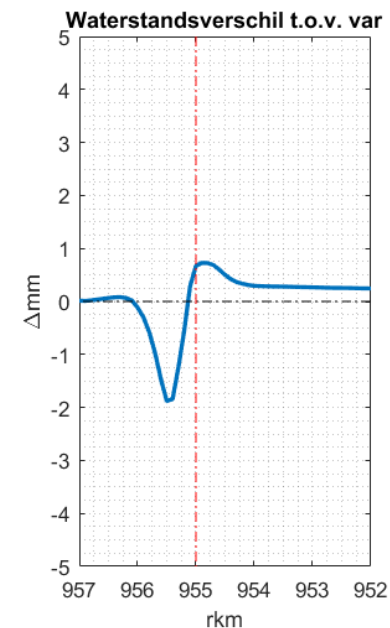
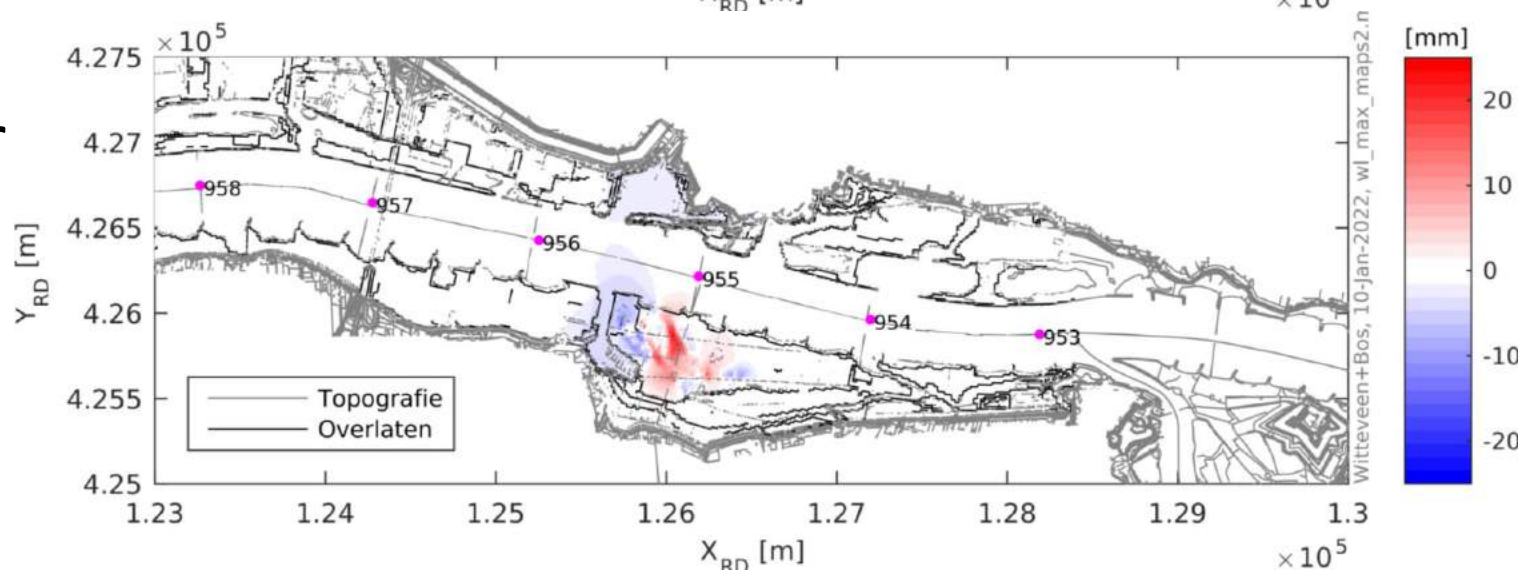


Optimalisatie 1 - waterstandsverschil

- Case 1 - ref



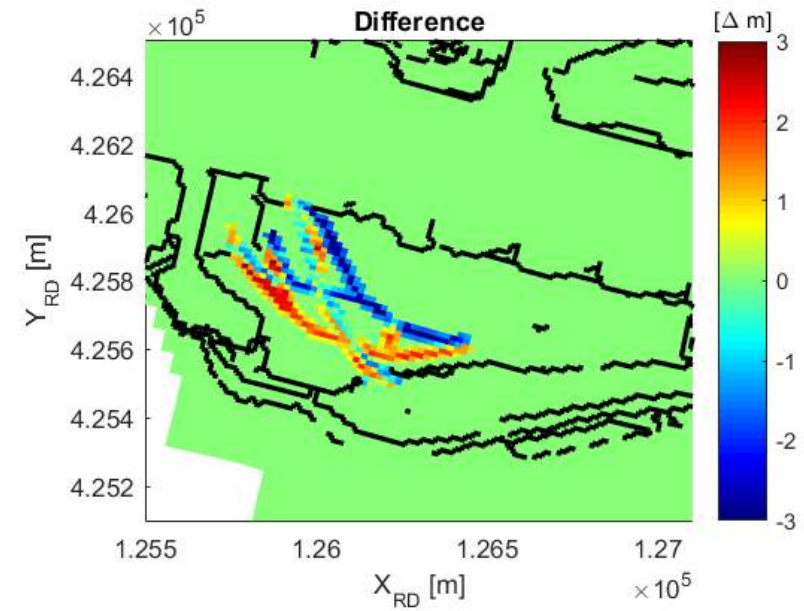
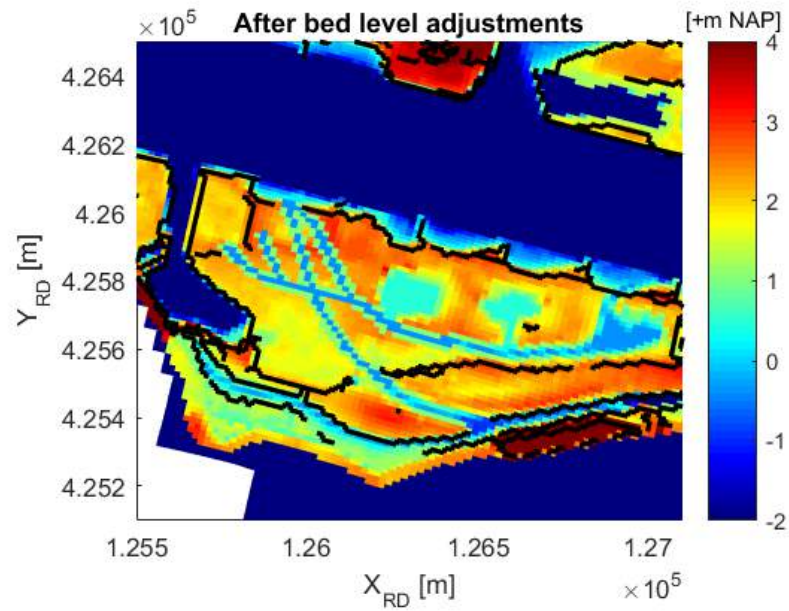
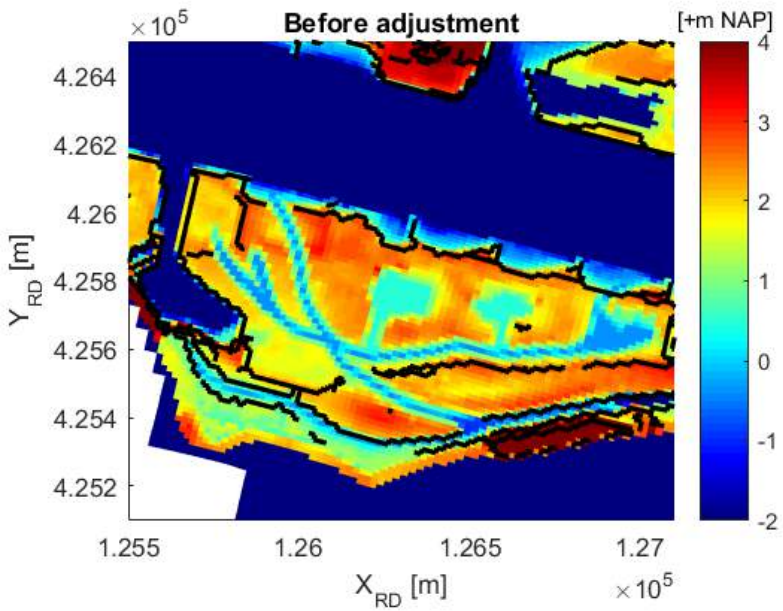
- Case 1 - var



Optimalisatie 2

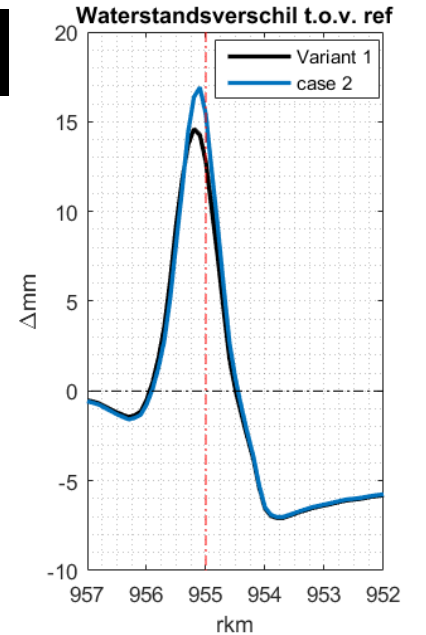
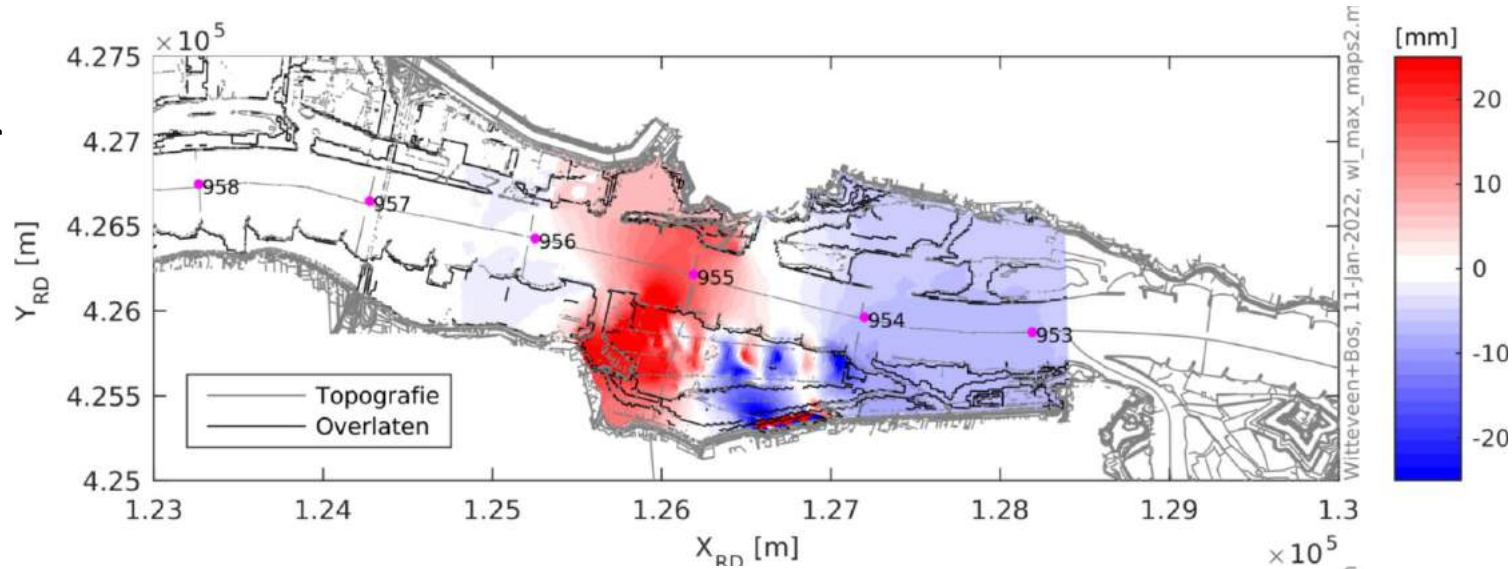
- Verflauwen nevengeul
- Minder haakse aansluiting op zomerbed
- Aansluiting van bestaande geul op zomerbed

Optimalisatie 2

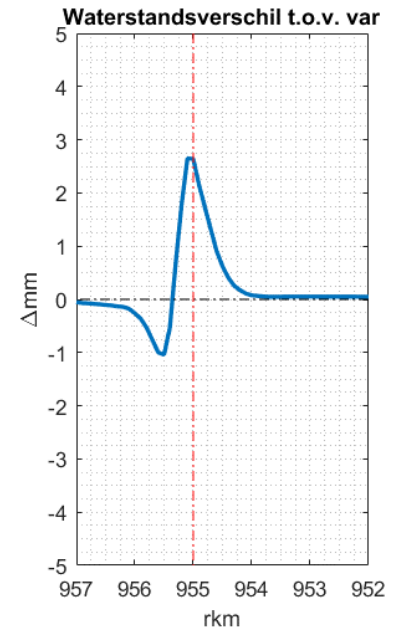
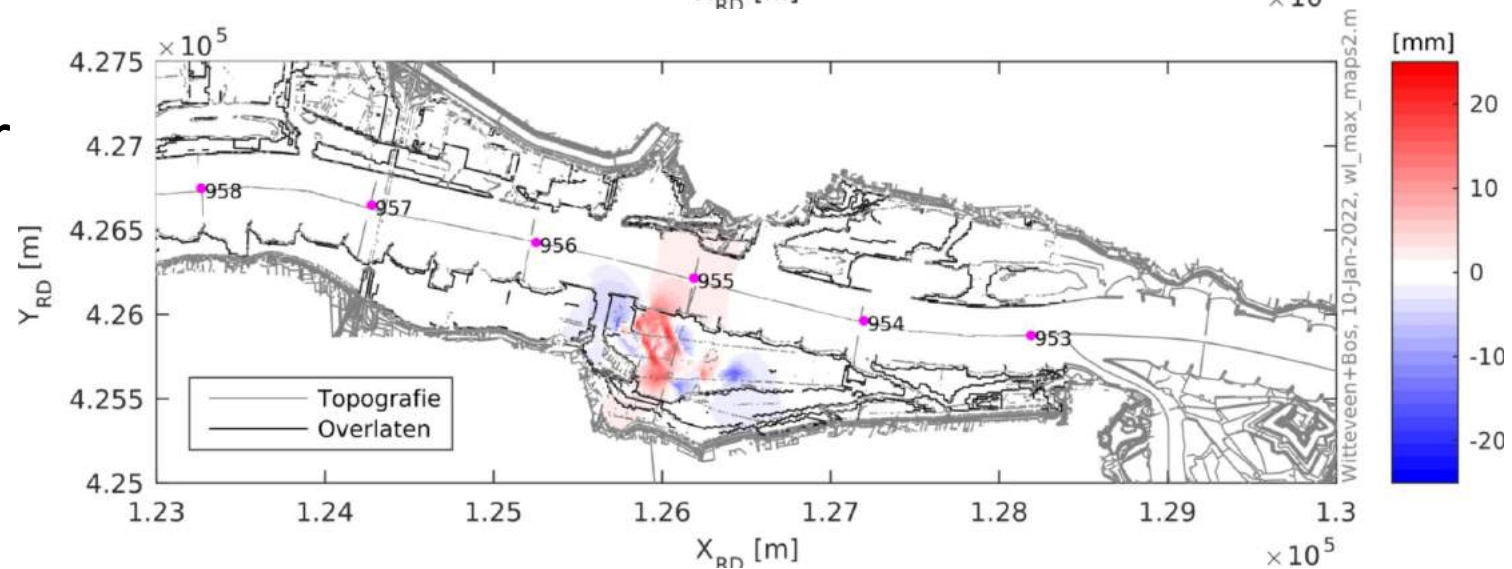


Optimalisatie 2- waterstandsverschil

- Case 2 - ref

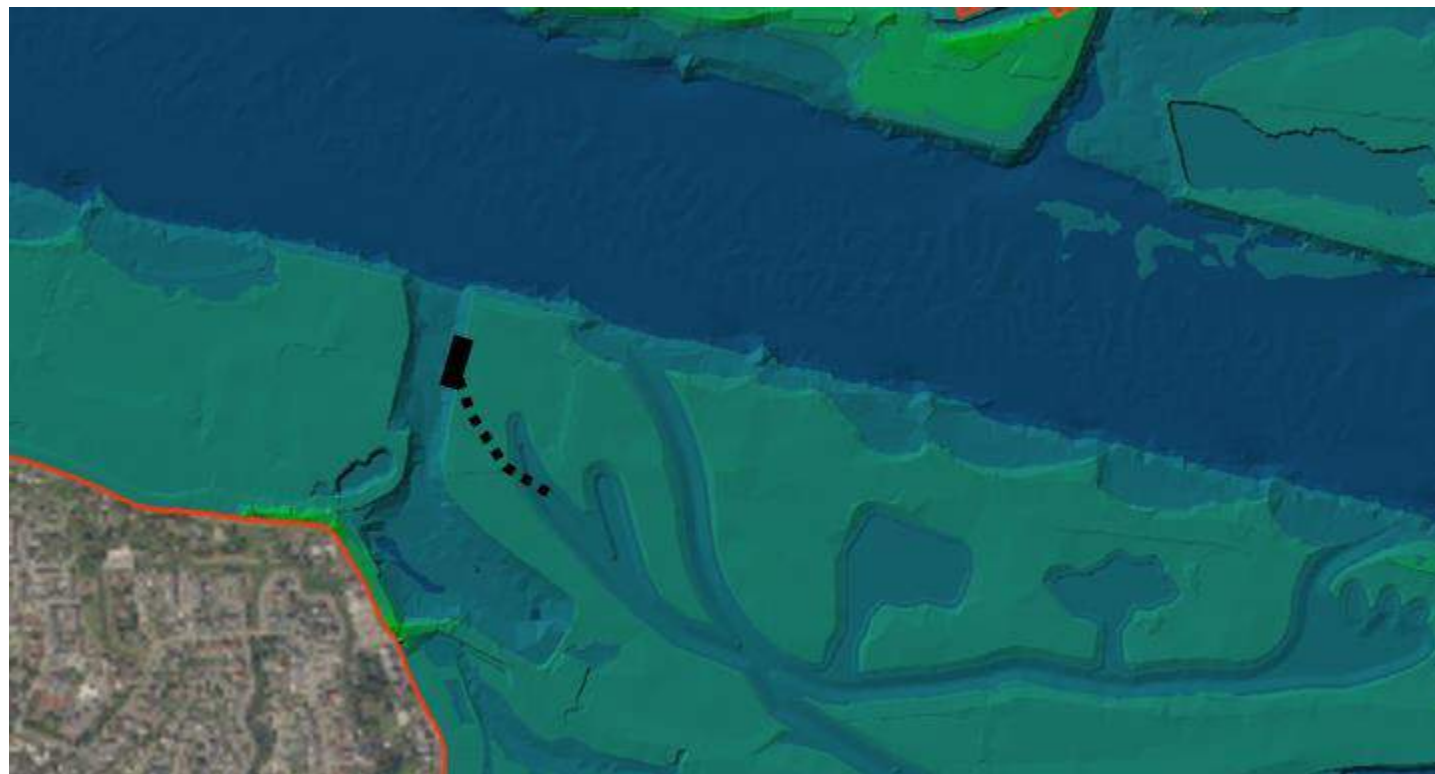


- Case 2 - var

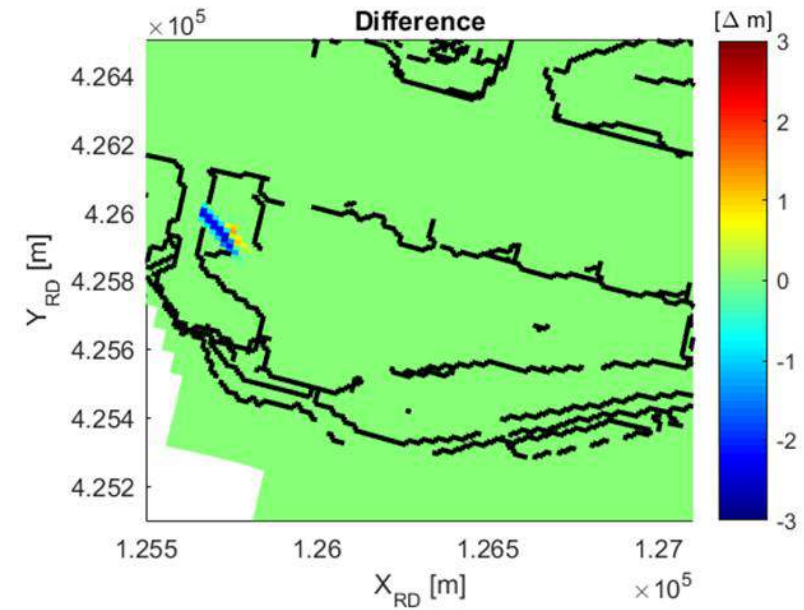
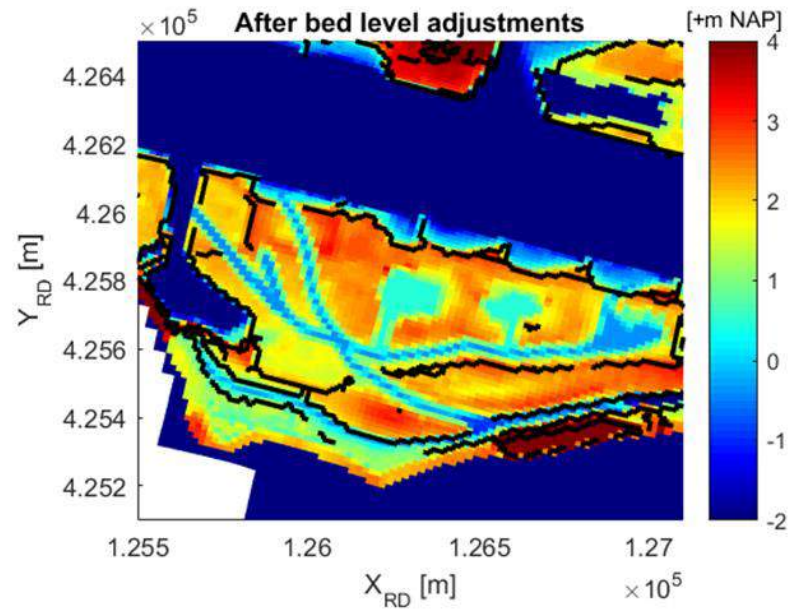
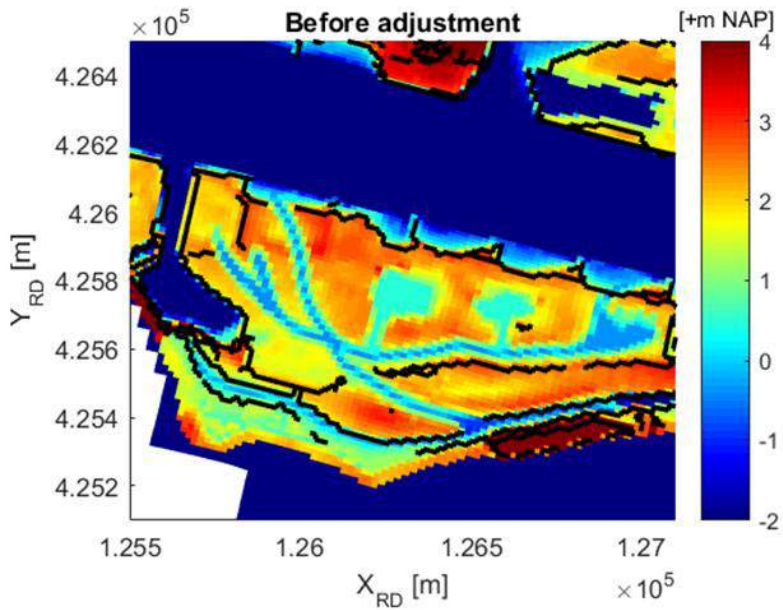


Optimalisatie 3

- Uitloper nevengeul aansluiten op ingang haven met overlaat
 - Volgen van natuurlijke stroombanen

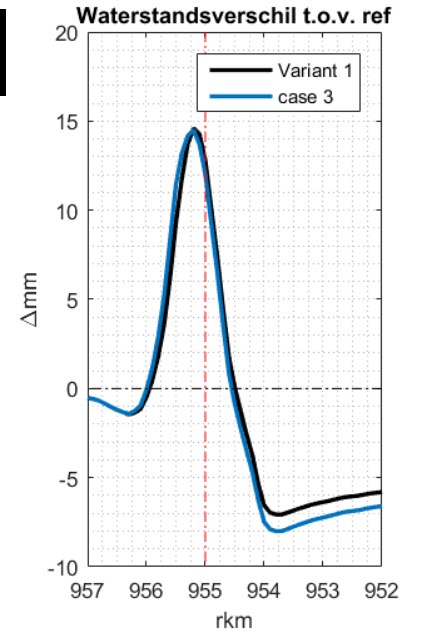
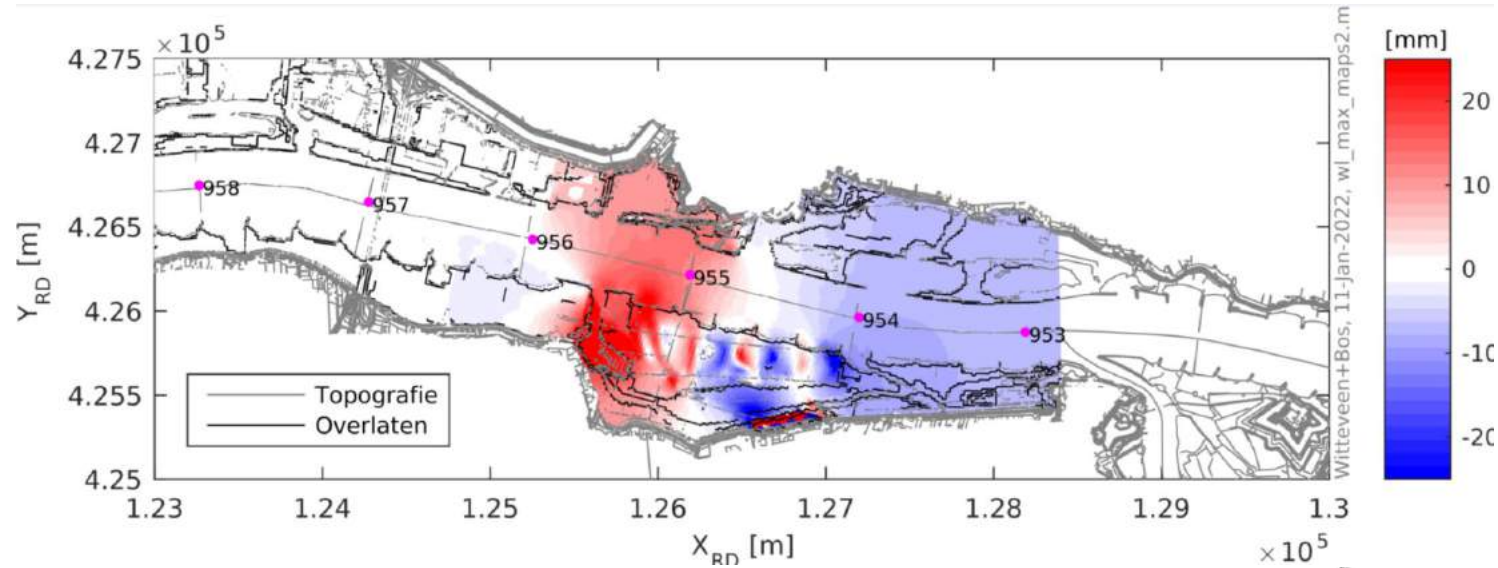


Optimalisatie 3

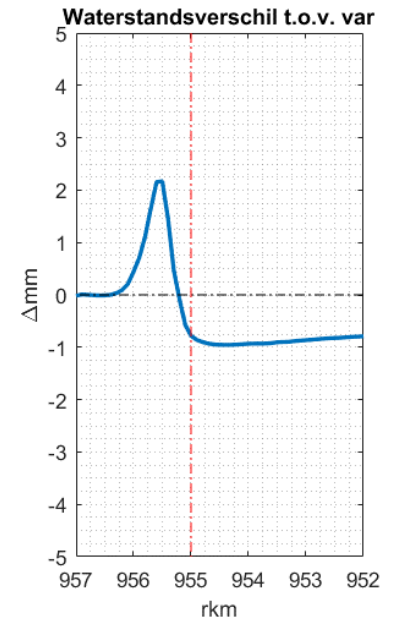
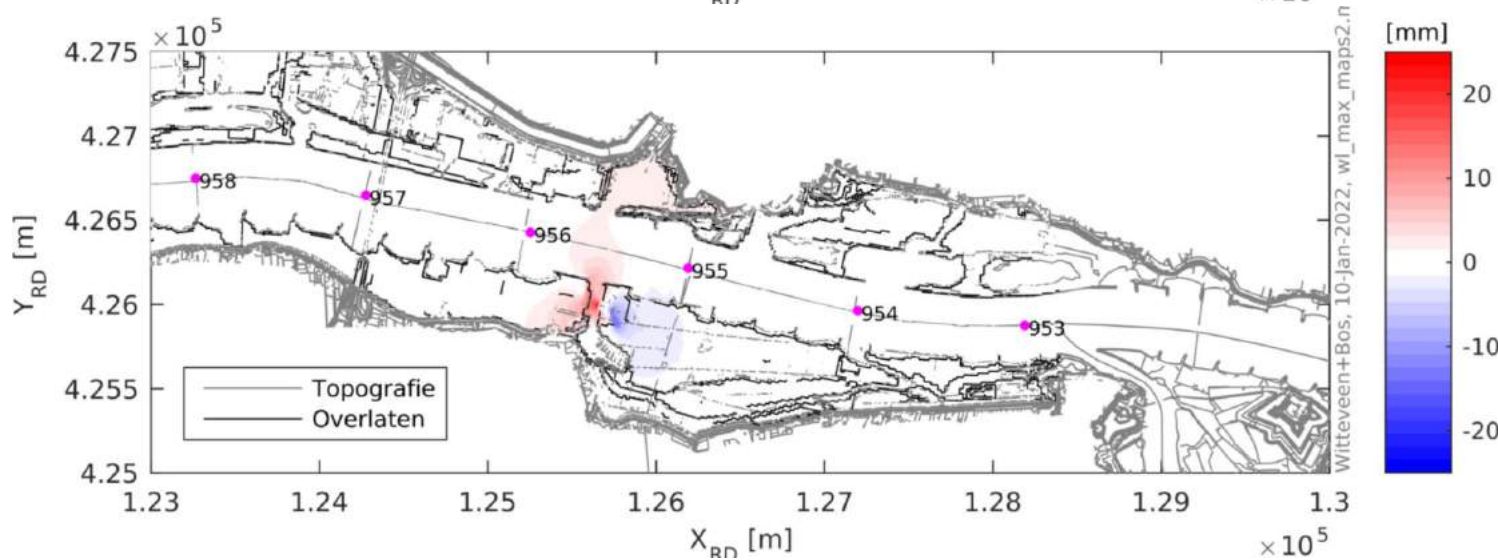


Optimalisatie 3- waterstandsverschil

- Case 3 - ref



- Case 3 - var

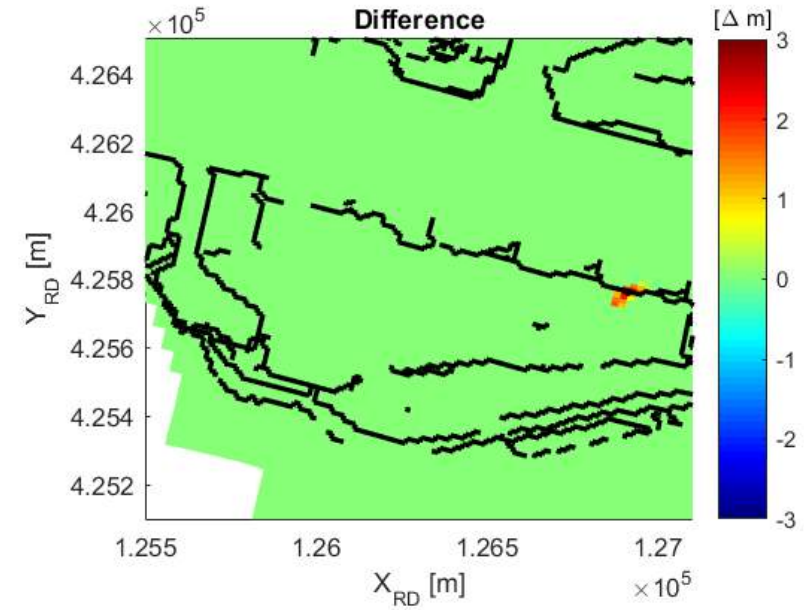
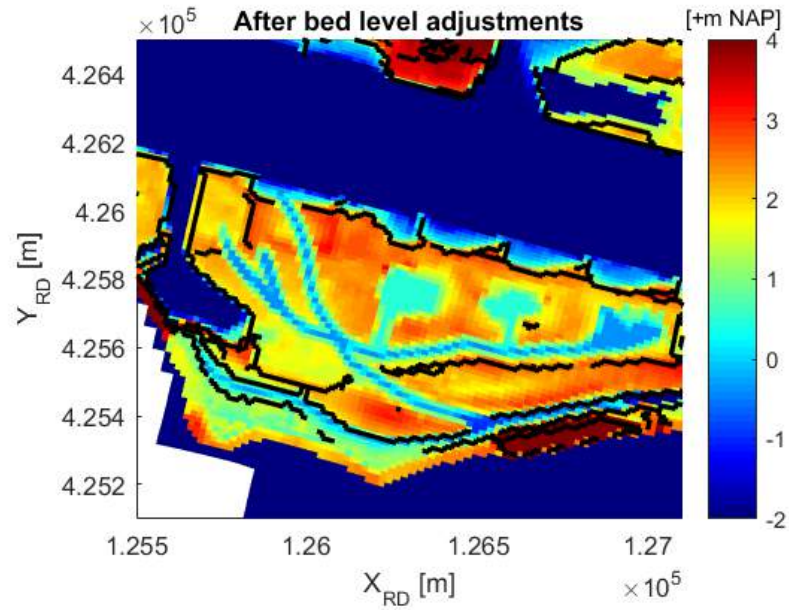
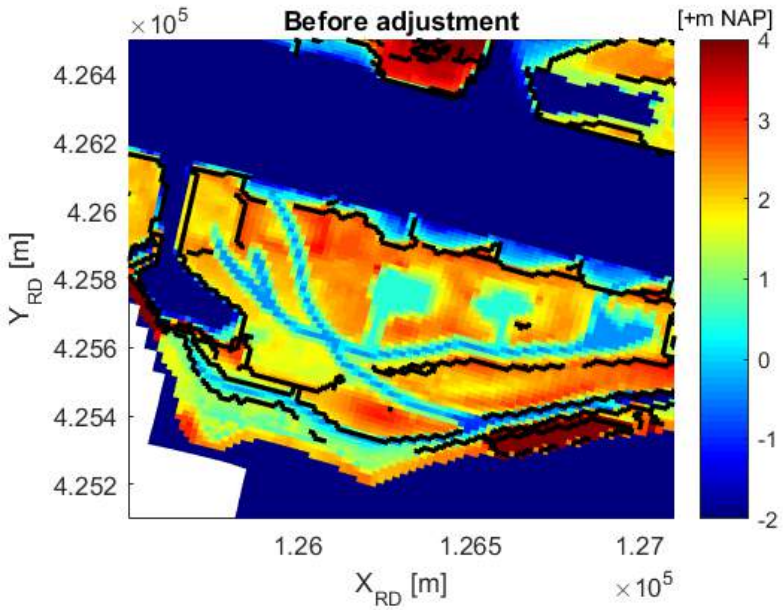


Optimalisatie 4

- Instroomlocatie nevengeul dichtzetten
 - Eenzijdig aangetakte nevengeul

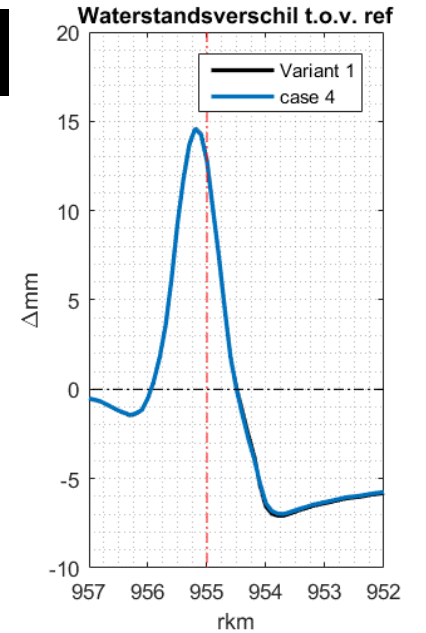
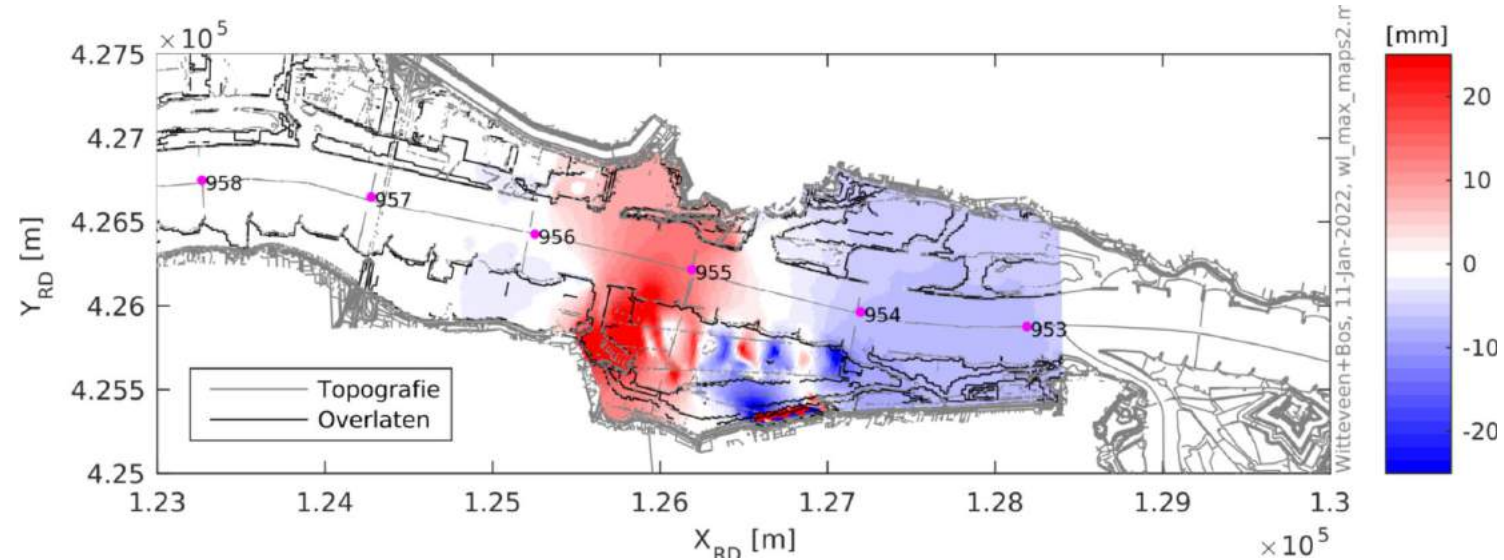


Optimalisatie 4

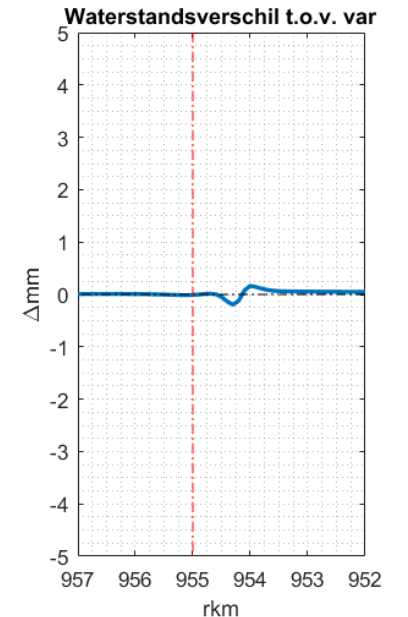
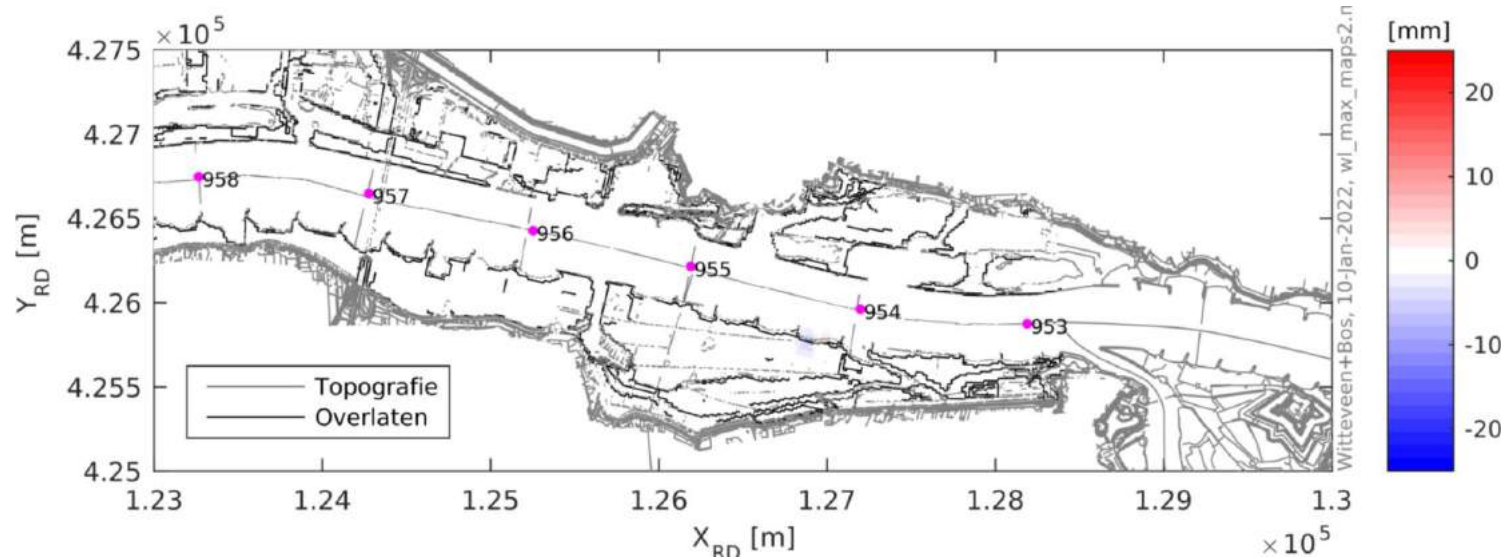


Optimalisatie 4- waterstandsverschil

- Case-ref



- Case-var

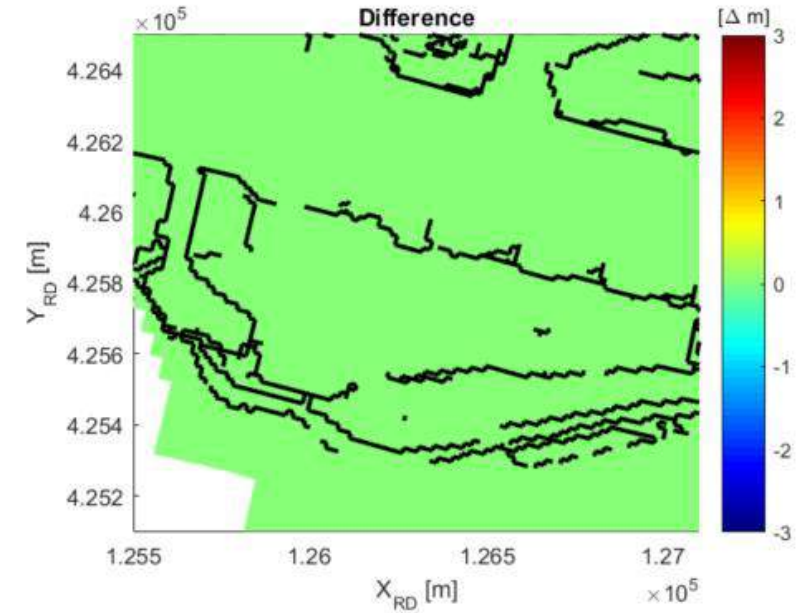
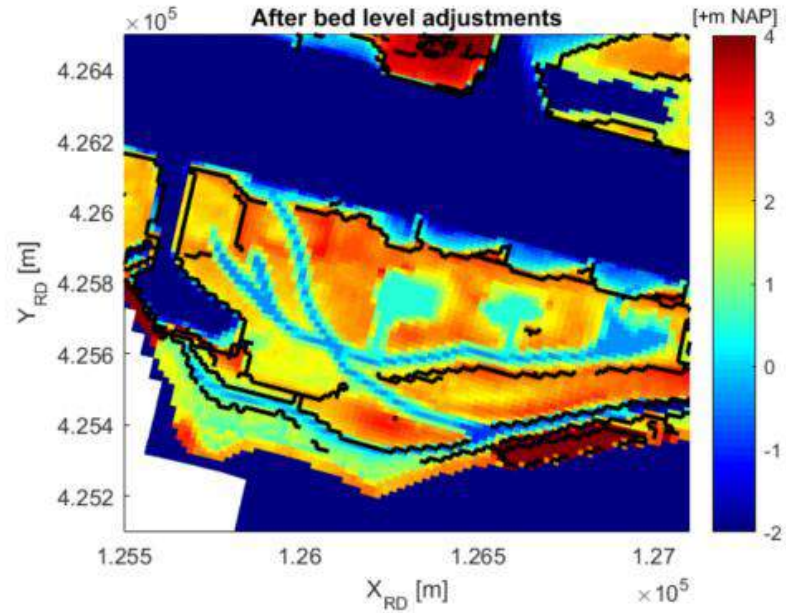
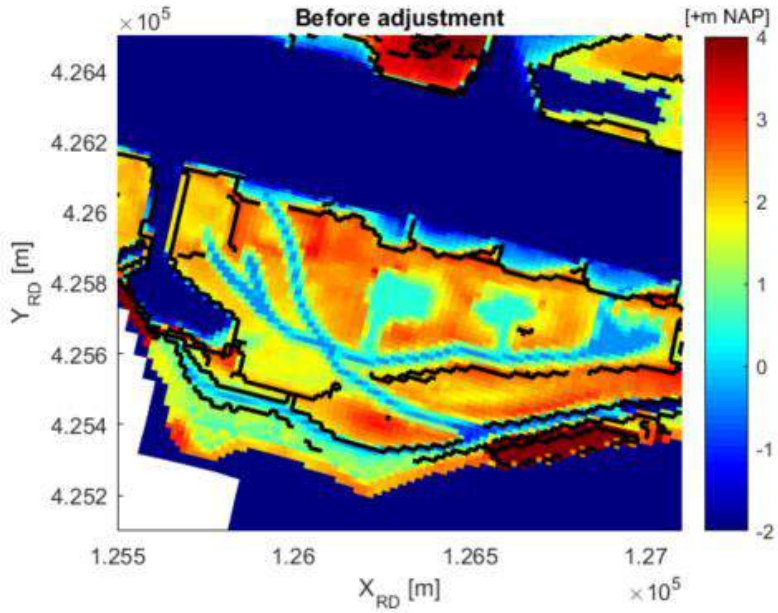


Optimalisatie 5

- Krib ten westen van uitstroomlocatie verlagen

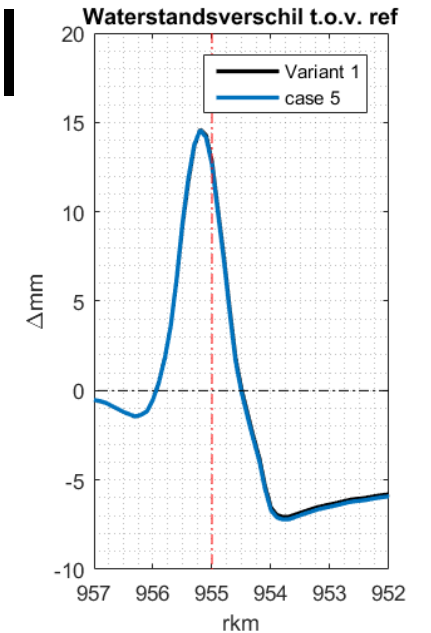
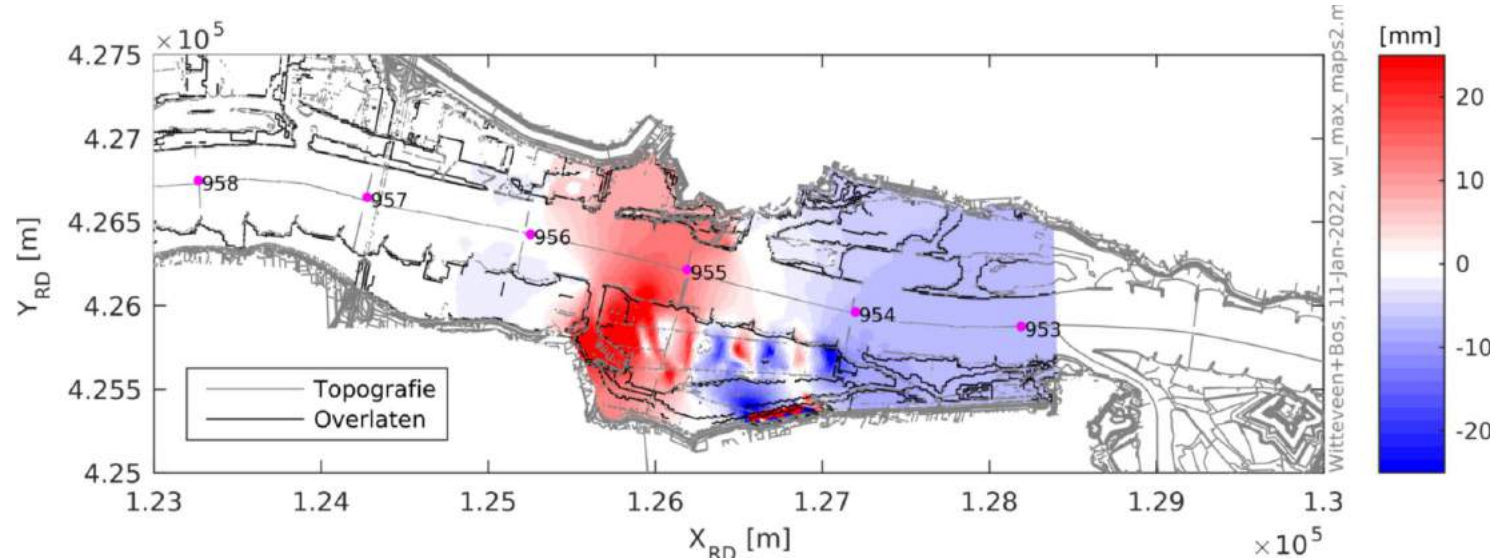


Optimalisatie 5

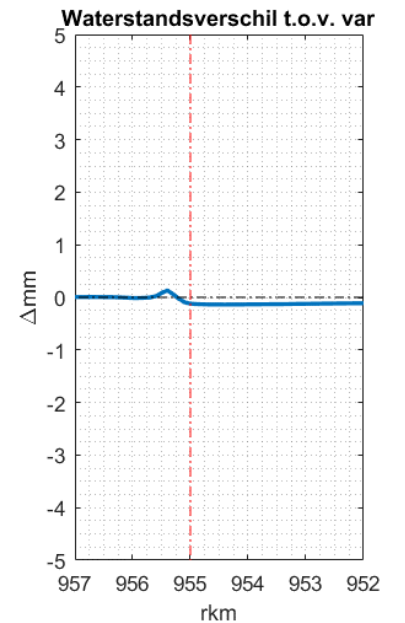
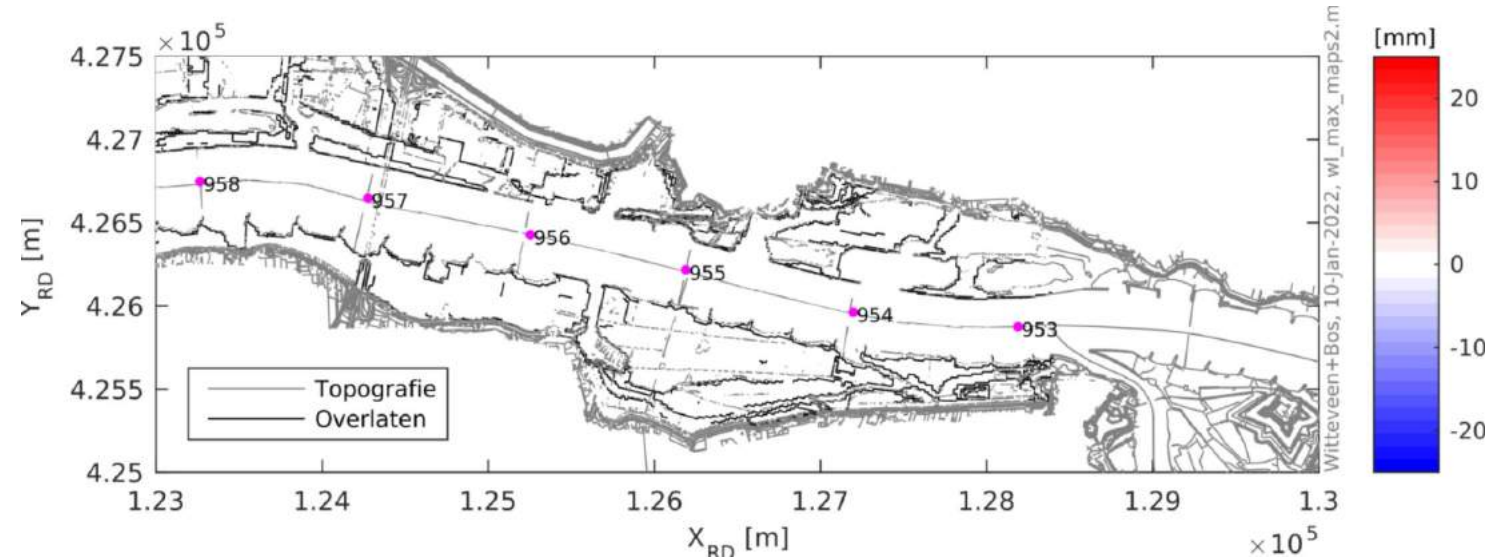


Optimalisatie 5- waterstandsverschil

- Case-ref



- Case-var

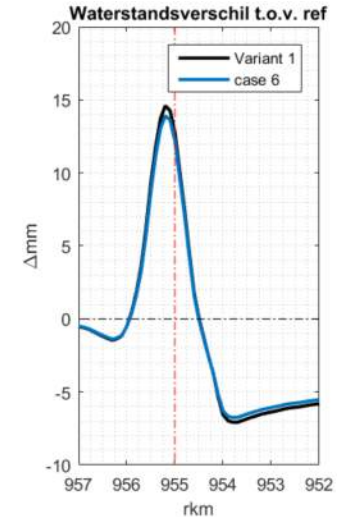
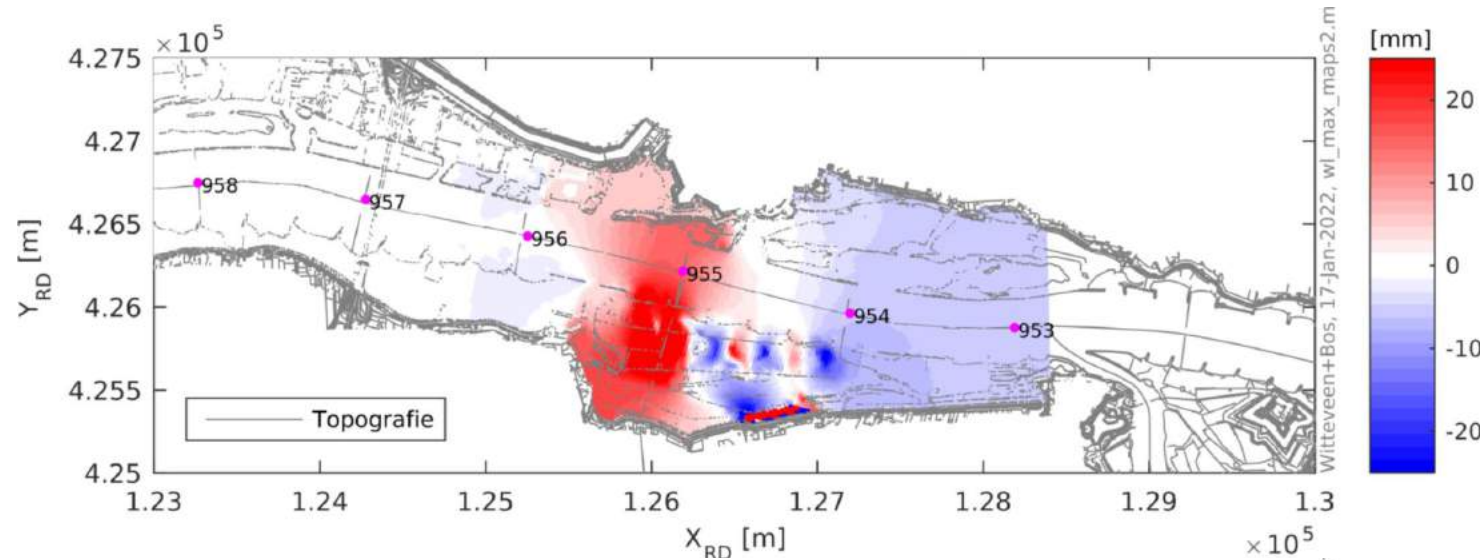


Optimalisatie 6

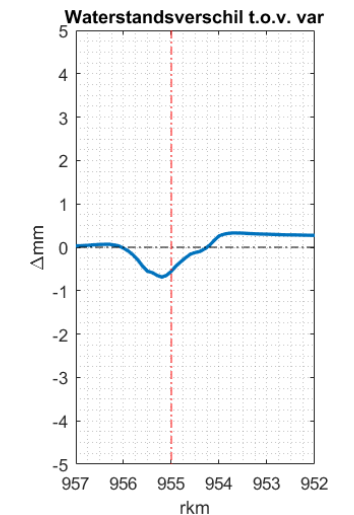
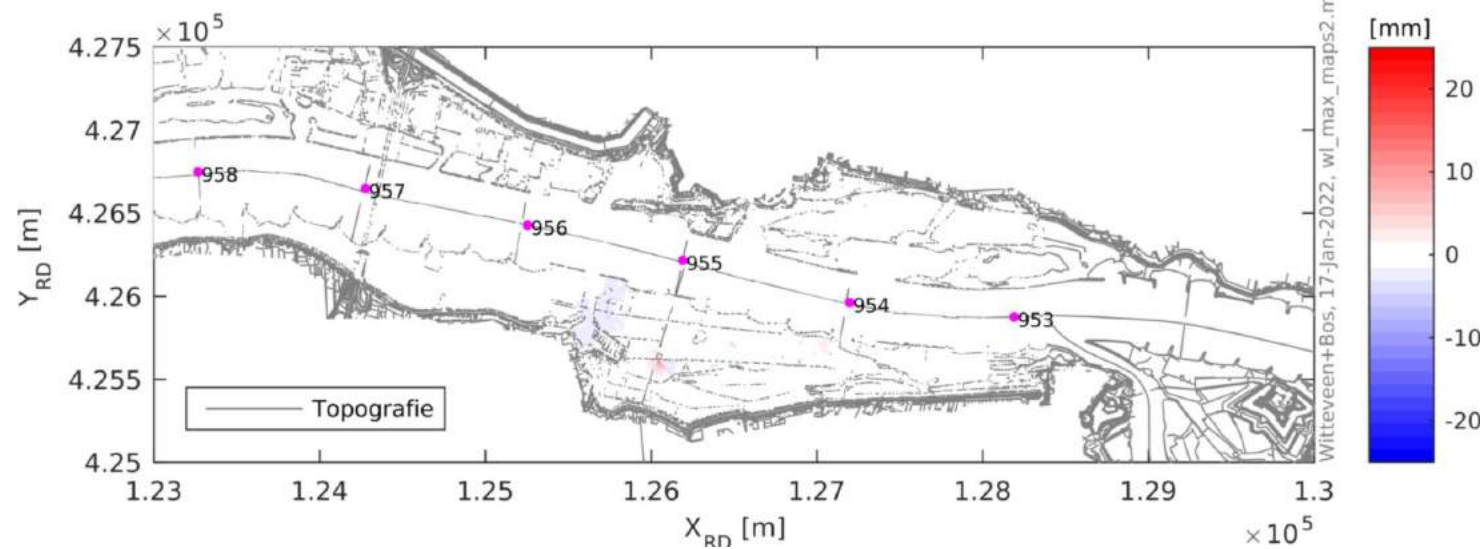
- Begroeiing toevoegen op oevers van mee stromende nevengeul

Optimalisatie 6- waterstandsverschil

- Case-ref



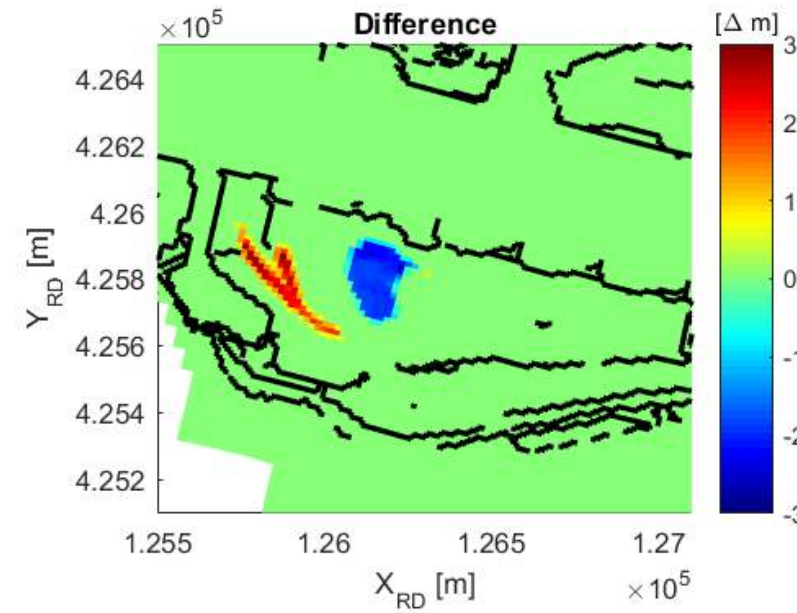
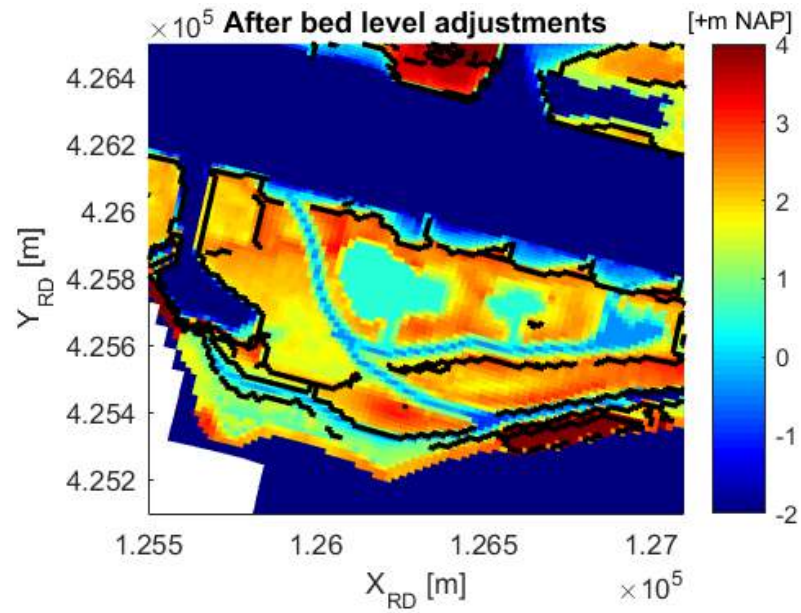
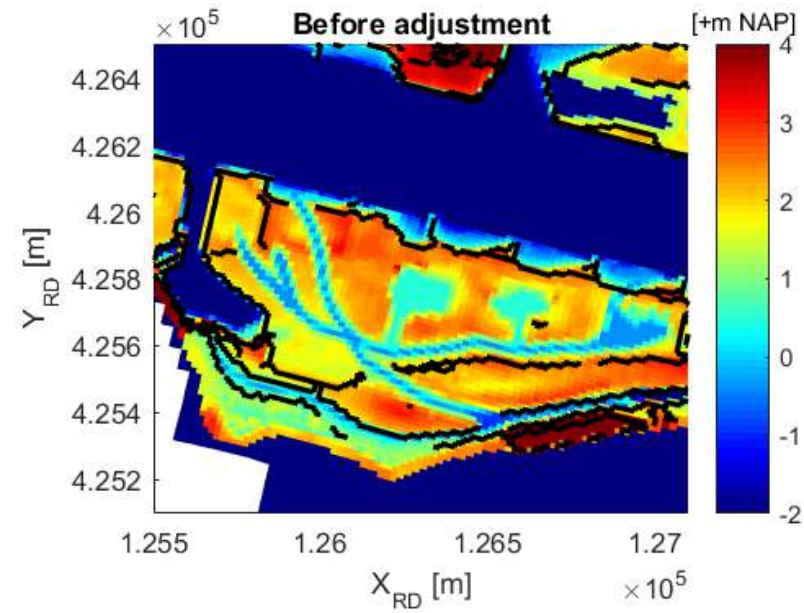
- Case-var



Optimalisatie 7

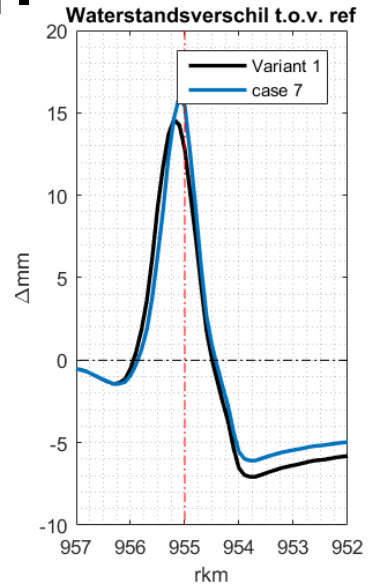
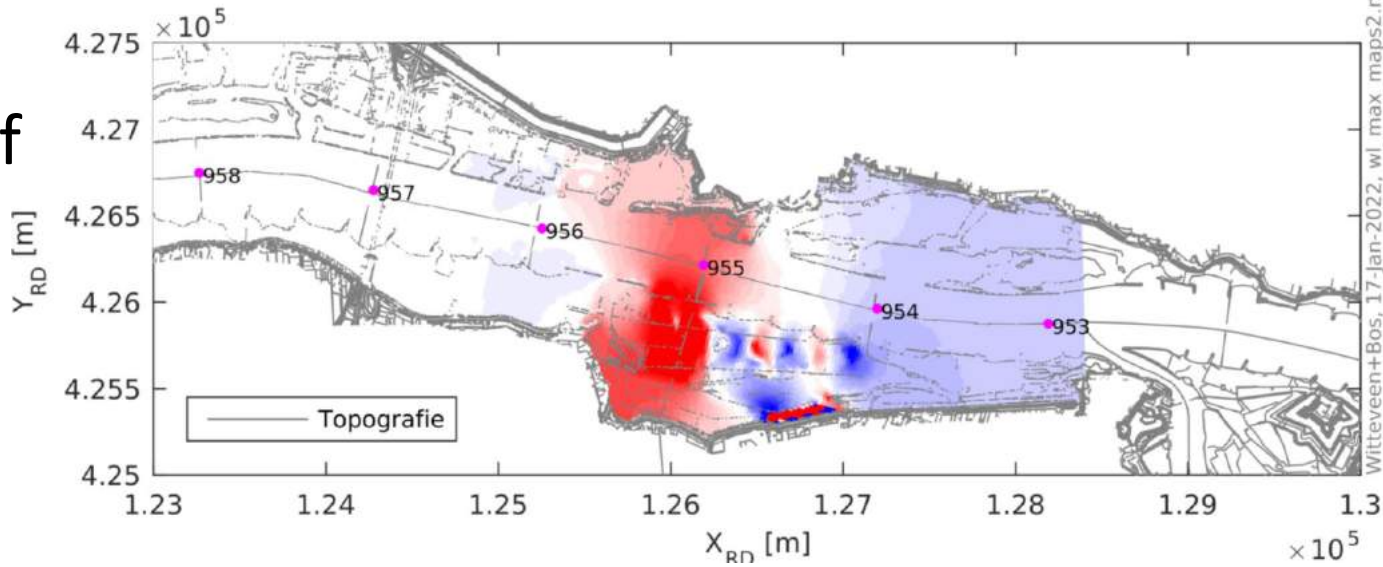
- Verwijderen westelijke aftakking nevengeul
- Plas vergroten

Optimalisatie 7

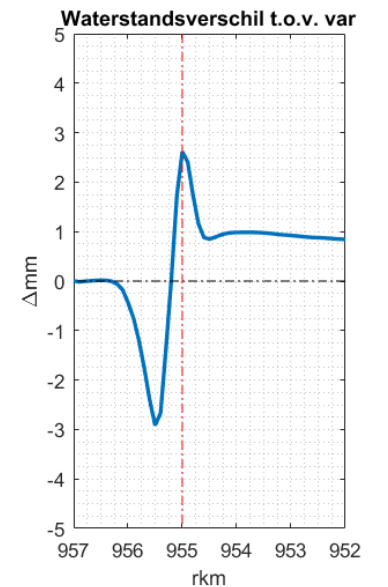
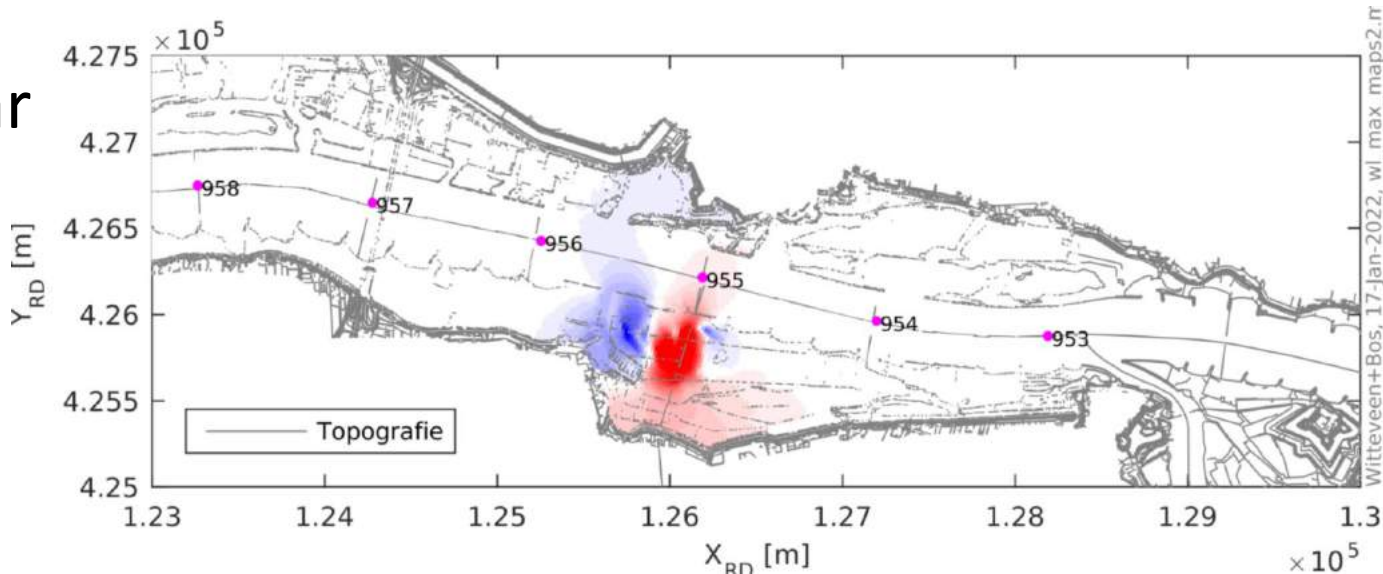


Optimalisatie 7- waterstandsverschil

- Case-ref



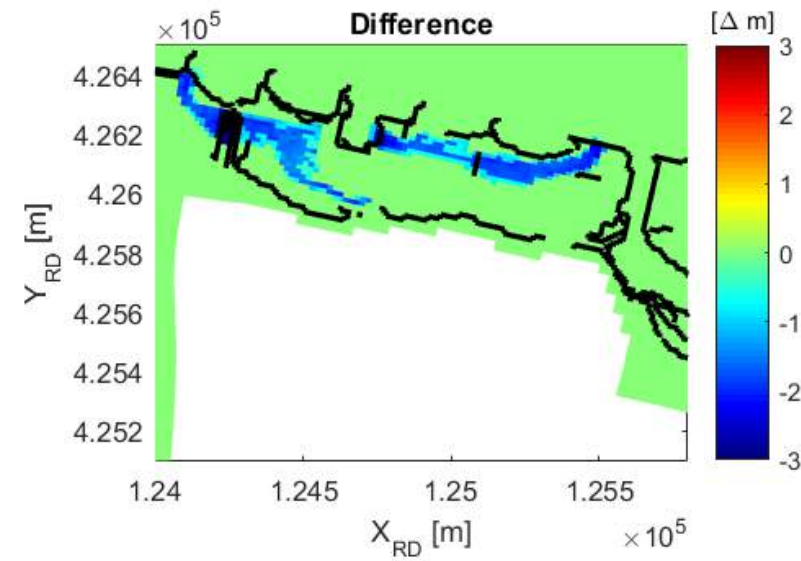
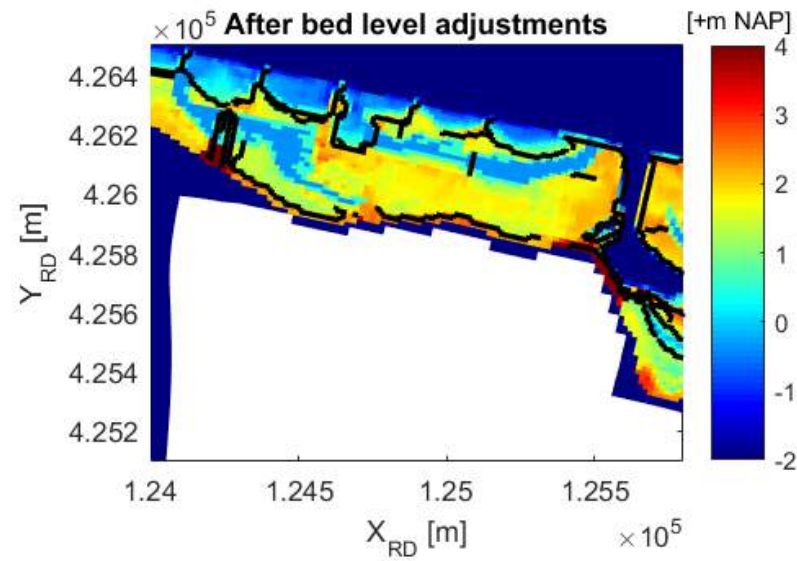
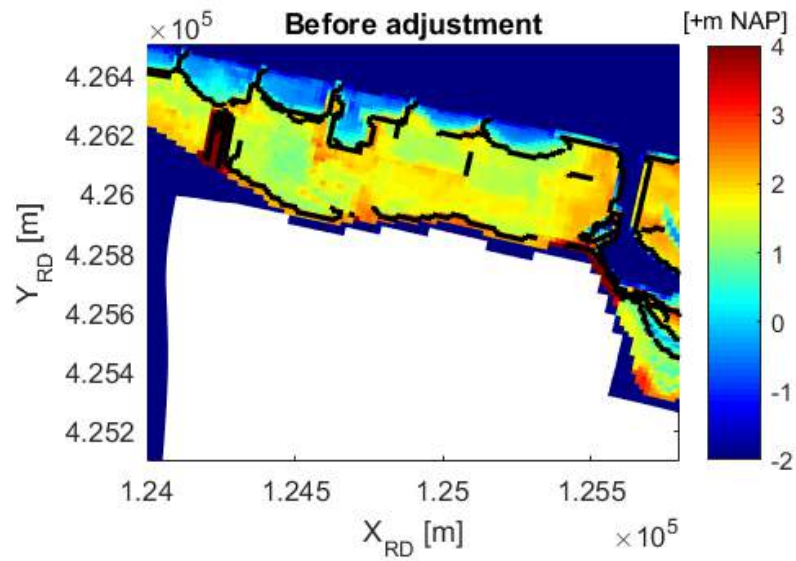
- Case-var



Optimalisatie 9

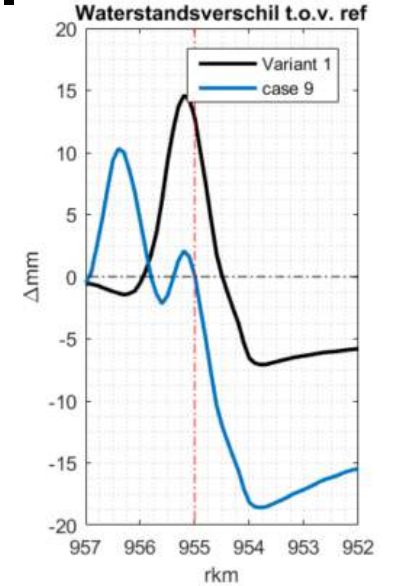
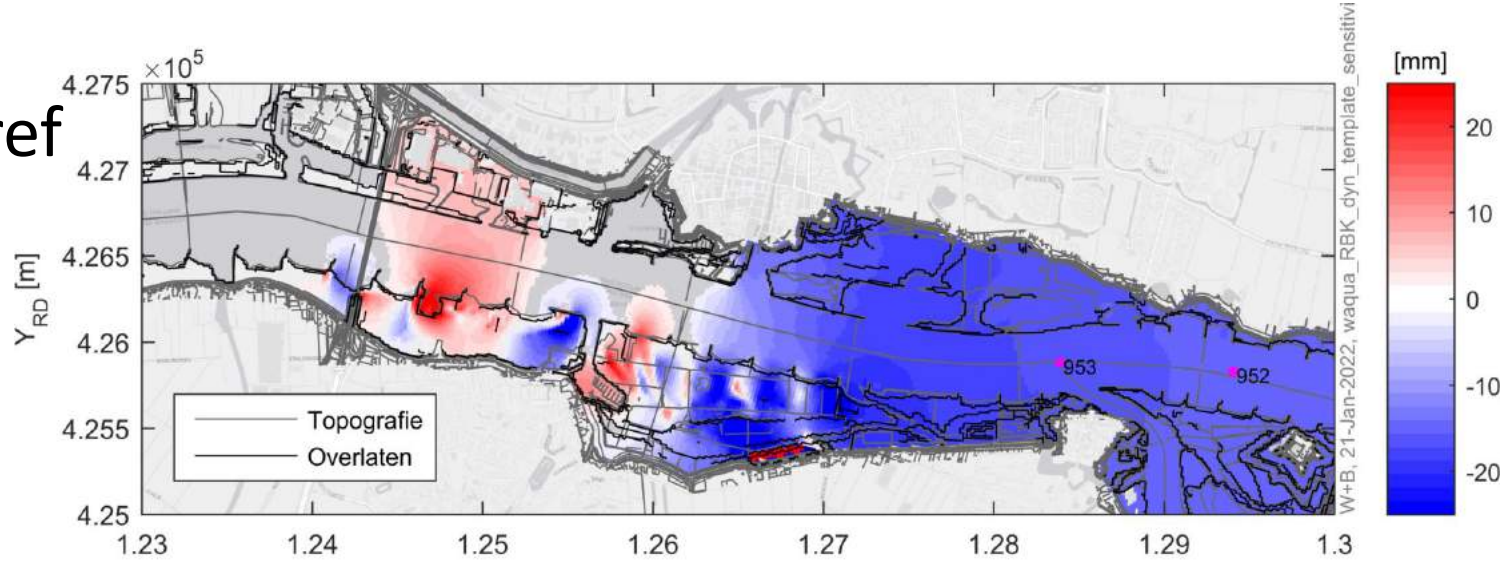
- Ingreep in Gors en Aanwas in combinatie met benedenstroomse nevengeul in de Sleeuwijkerwaard.

Optimalisatie 9

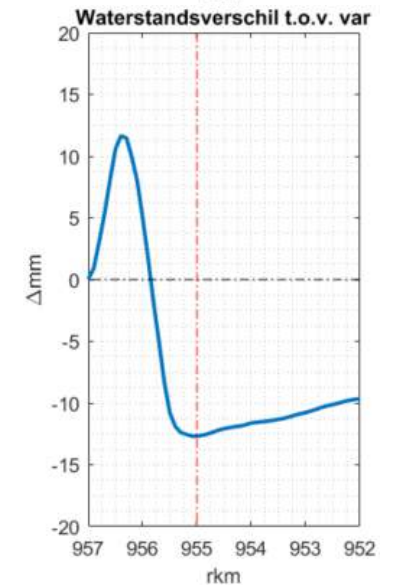
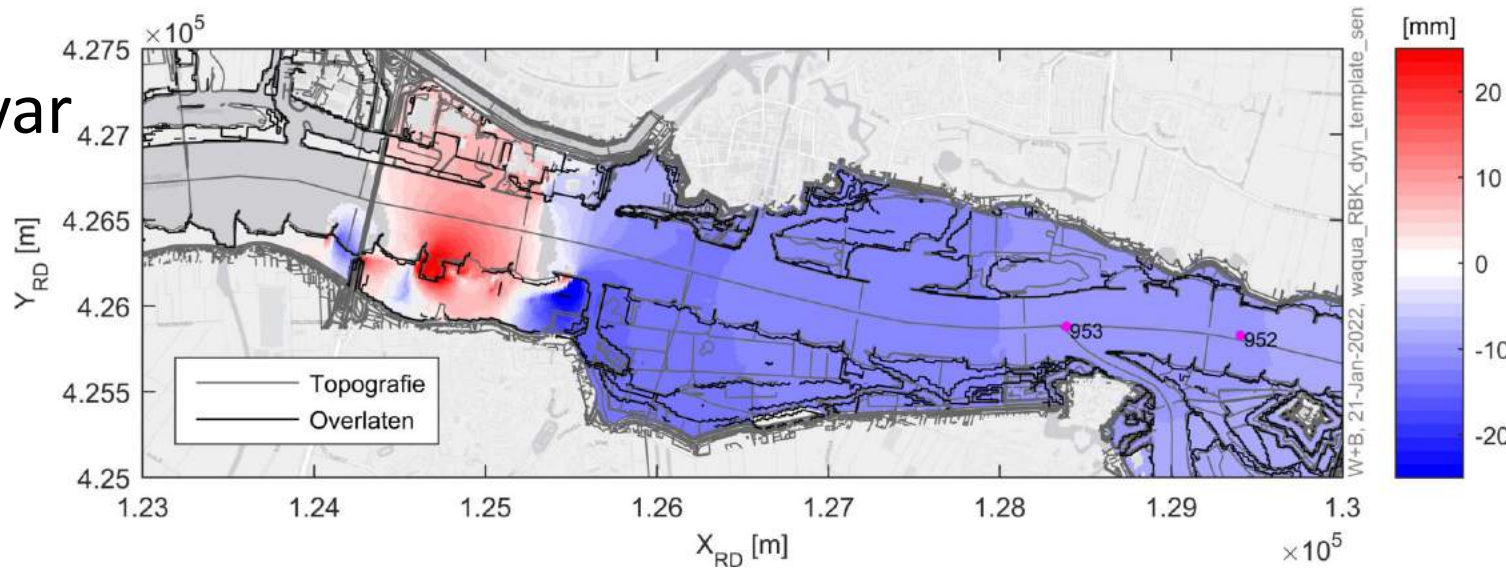


Optimalisatie 9- waterstandsverschil

- Case 9 -ref



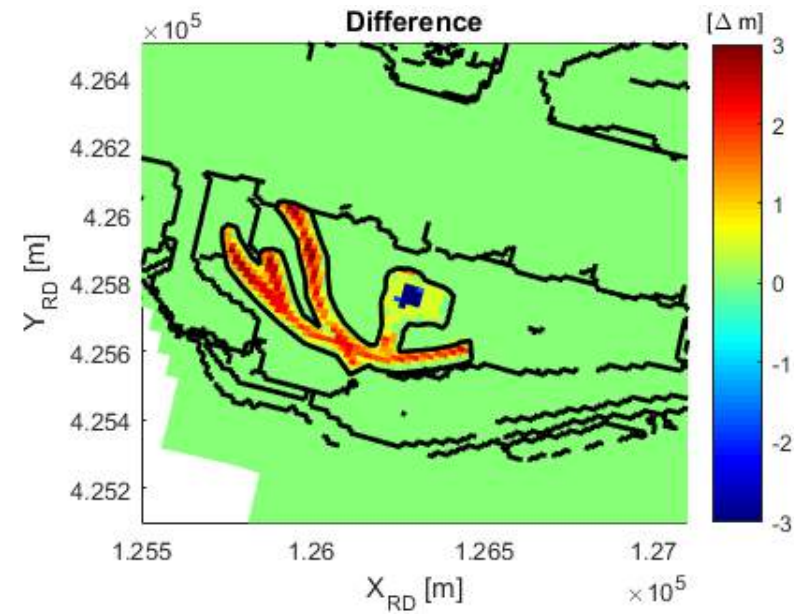
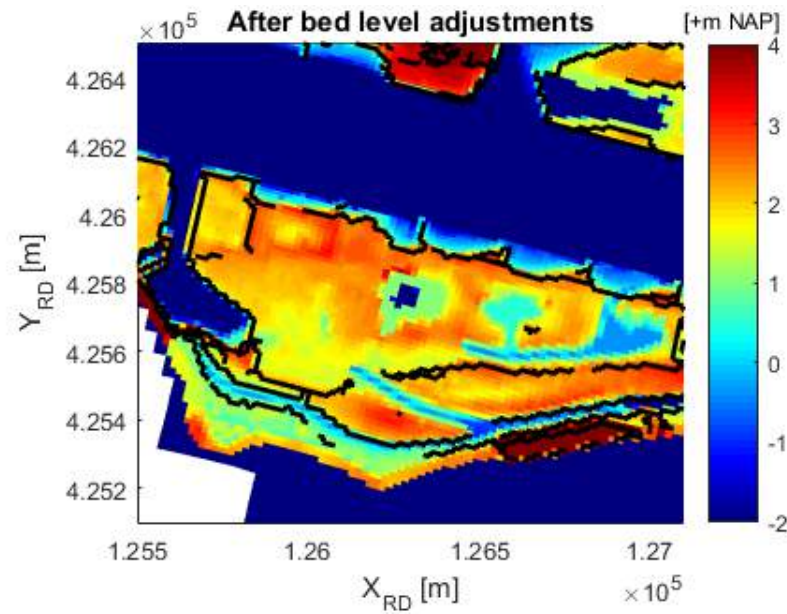
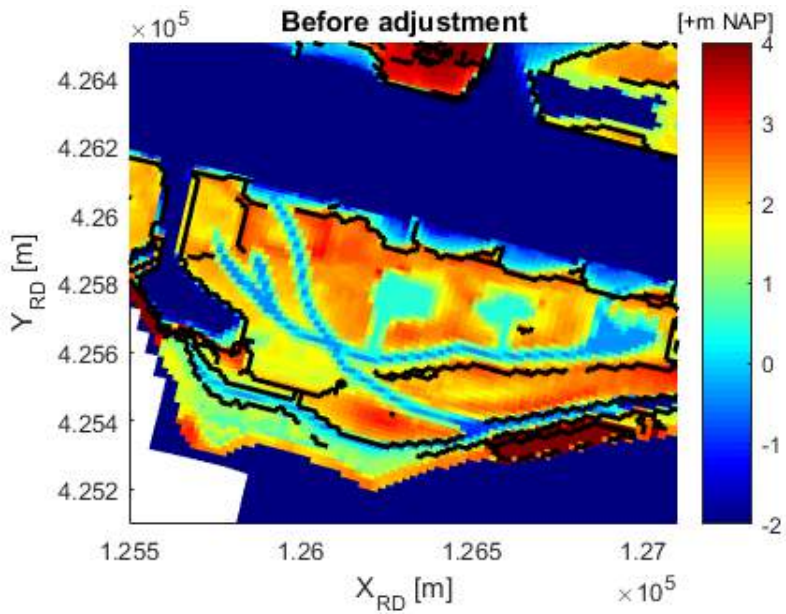
- Case 9 -var



Optimalisatie 10

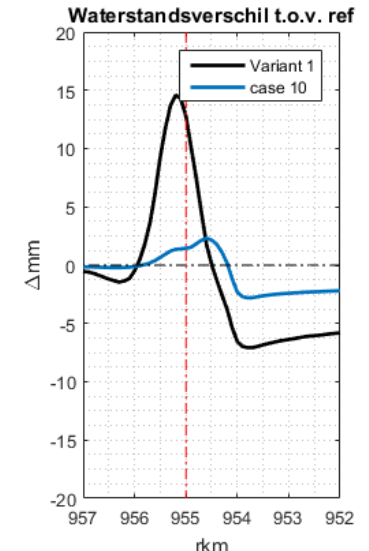
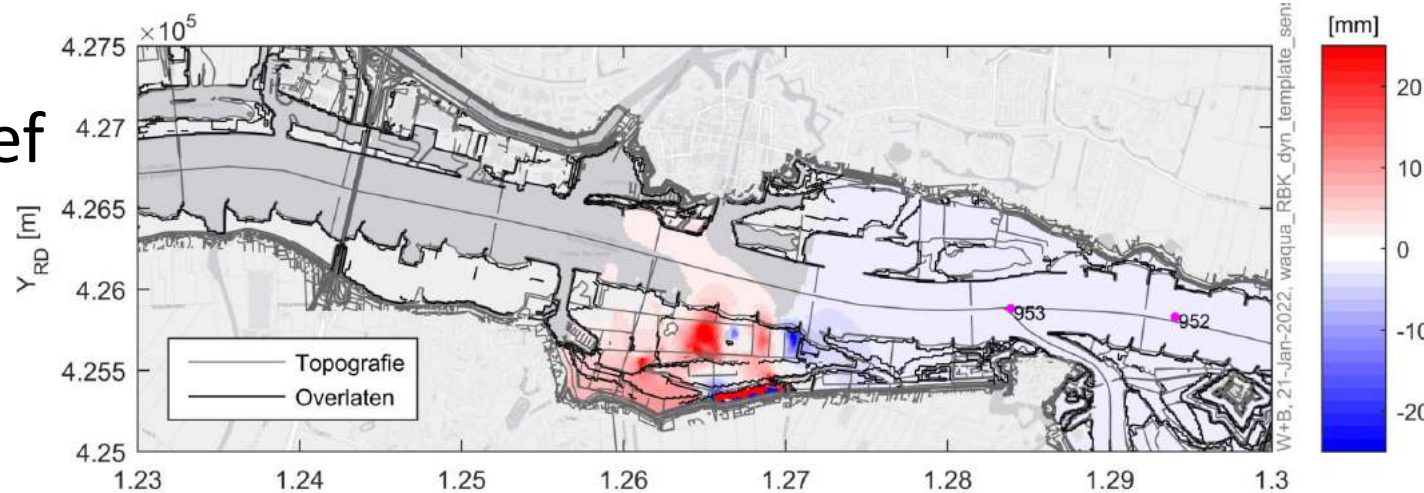
- Verwijderen van westelijke deel van meestromende nevengeul (halvering van ingreep)

Optimalisatie 10

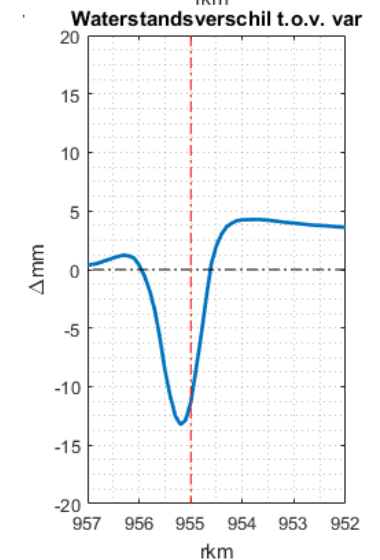
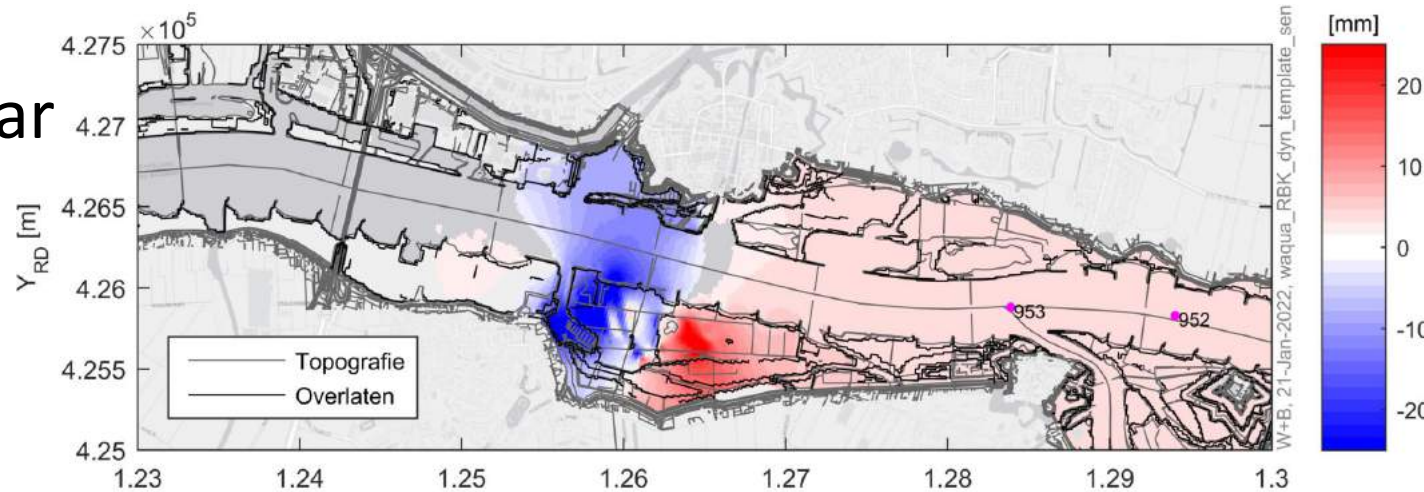


Optimalisatie 10- waterstandsverschil

- Case 10 -ref



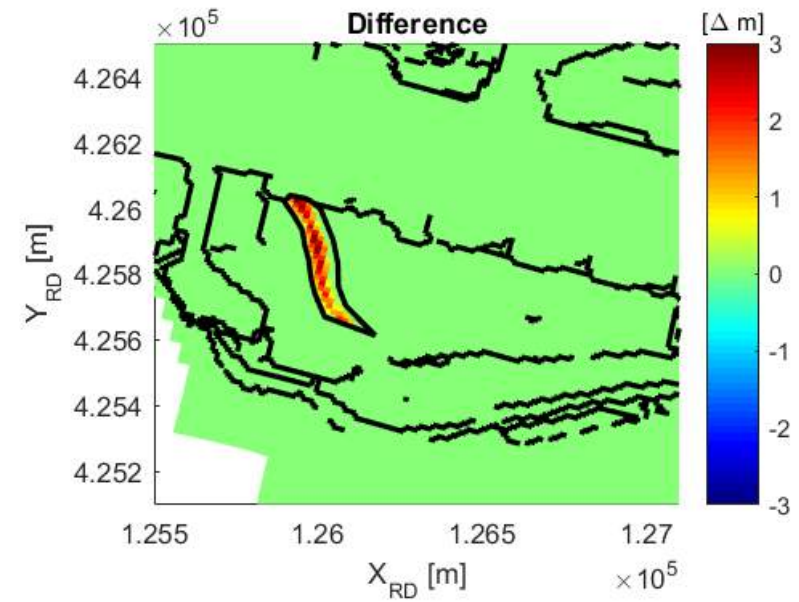
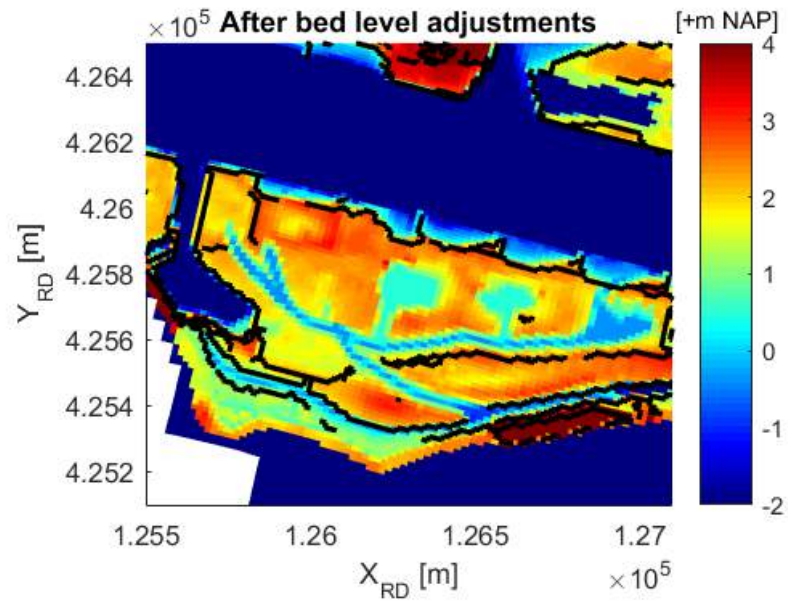
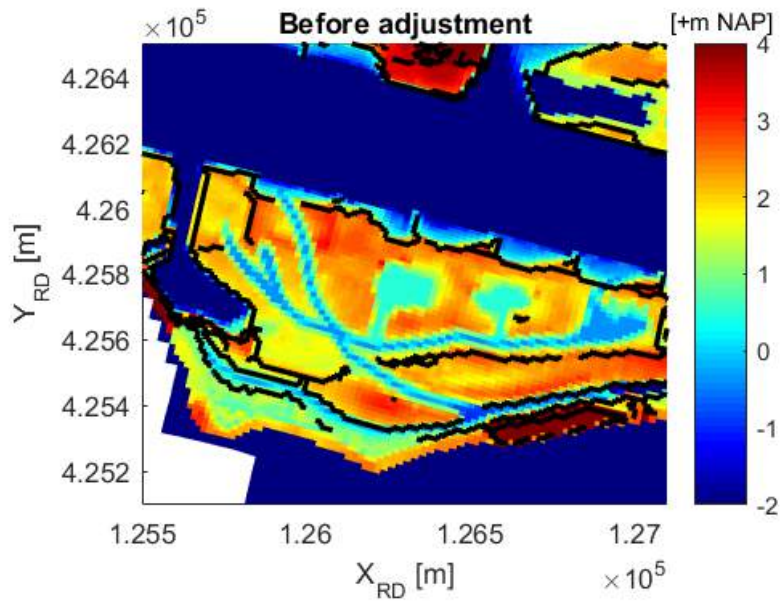
- Case 10 -var



Optimalisatie 11

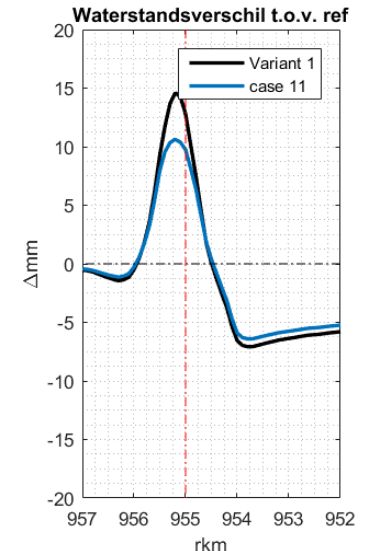
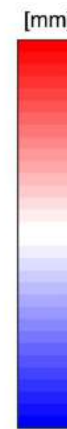
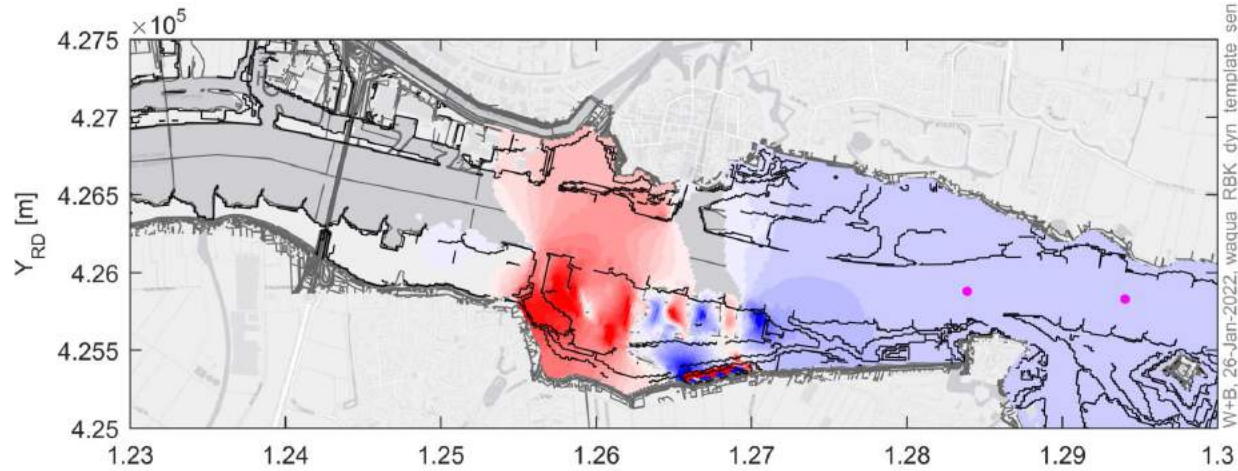
- Verwijderen van westelijke aansluiting op het zomerbed (wordt een eenzijdig aangetakte geul).

Optimalisatie 11

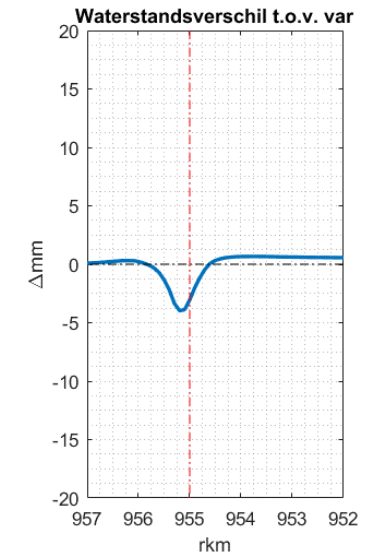
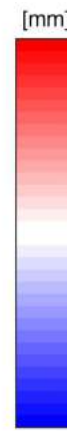
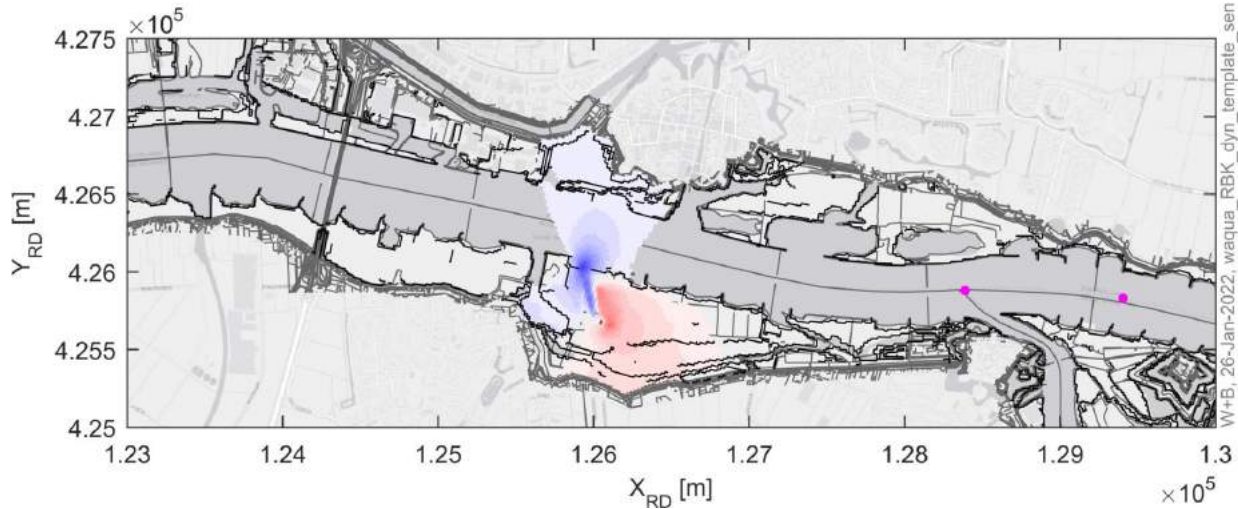


Gevoeligheid 11 - WL

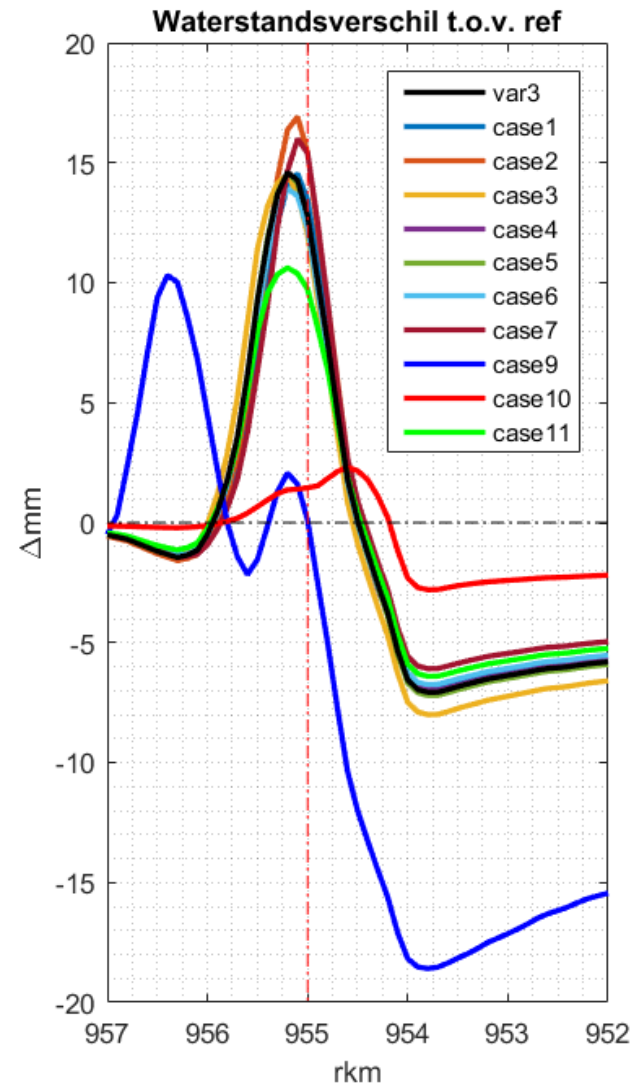
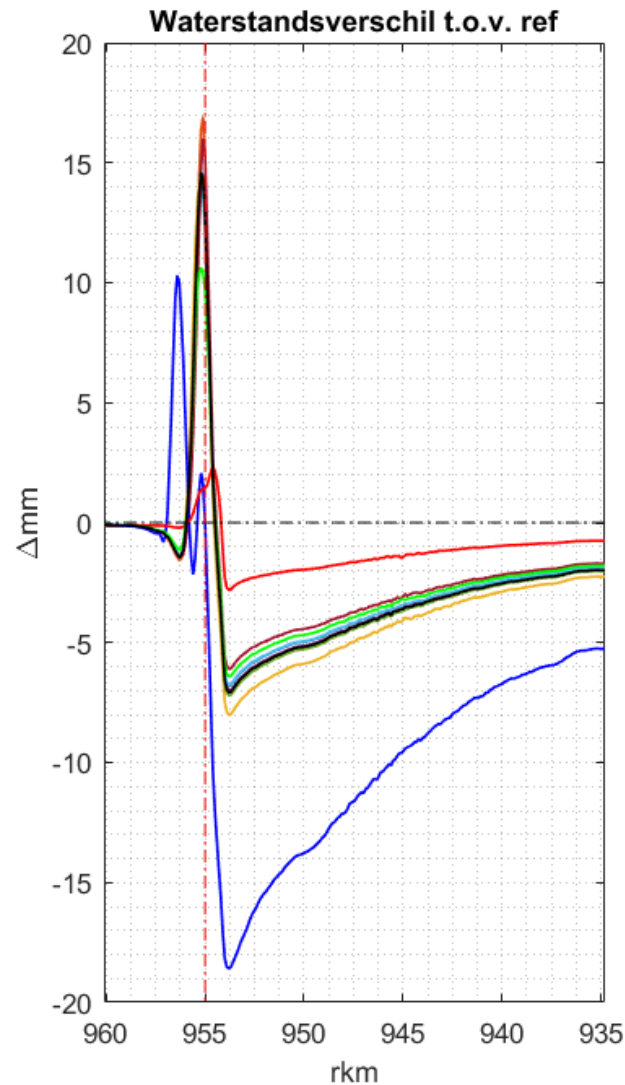
- Case 11 -ref



- Case 11 -var



Samenvatting waterstandseffecten op de as





BIJLAGE: OPTIMALISATIES HEL- EN ZUILESPOLDER

III.1 Beschrijving optimalisaties

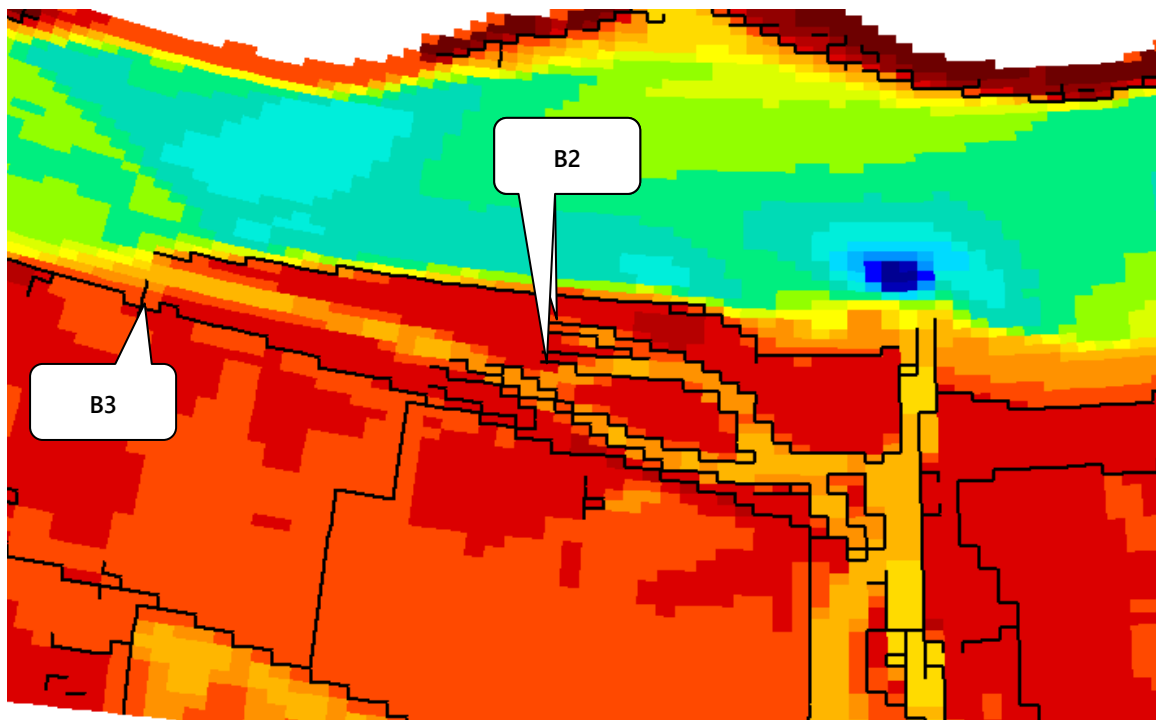
Optimalisatie B2

Het opstuwingseffect nabij de uitlopers van de nevengeul in de buitendijkse uiterwaard waren significant. De opstuwung werd veroorzaakt door de overlaten langs de steile geulen zoals aangegeven in afbeelding X. Door het verflauwen van de oever van de uitlopers van de geul hoeven er geen overlaten toegepast te worden.

Optimalisatie B3

Het opstuwingseffect bij de uitstroomlocatie van de nevengeul is significant. De verwachting was dat dit effect wordt veroorzaakt door de overlaat die de grootte van de uitstroomopening beperkt. De overlaat is ingekort (afbeelding) om te toetsen wat het waterstandseffect hiervan is.

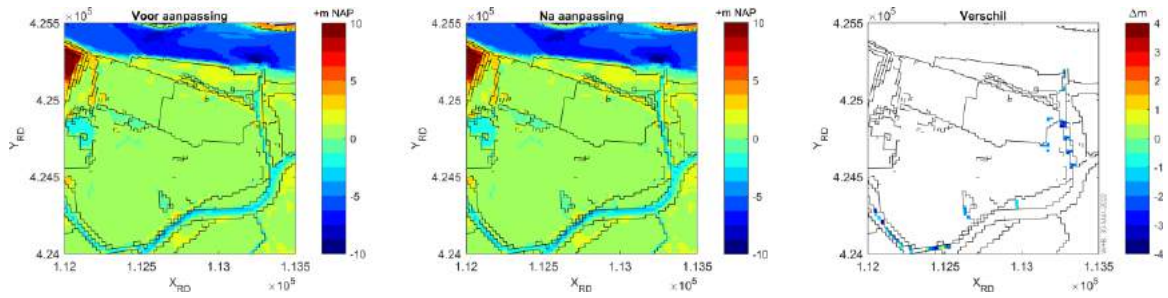
Afbeelding III.1 Bodemligging in waqview waarin de overlaten worden getoond



Optimalisatie referentiemodel

Voor de effectbepaling van de ingreep in de polder is het van belang dat er stroming plaats kan vinden door de geulen rondom de polder (Moldiep en Helsloot). Vanwege de smalle geulen stonden de geulen in het referentiemodel in enkele gevallen dicht. Om de effecten van de maatregelen in beeld te brengen zijn op de locaties waar de geulen in de referentie dicht stond kleine aanpassingen gedaan. De aanpassingen worden getoond in onderstaande afbeelding.

Afbeelding III.2 Optimalisaties referentiemodel Hel- en Zuilespolder



III.2 Netto waterstandseffecten

Tabel III.1 Netto waterstandseffecten bouwstenen Hel- en Zuilespolder op de Beneden Merwede en Nieuwe Merwede

Scenario	(A) HZP binnendijks	(B1) HZP buitendijks	(B2) HZP optimalisatie buitendijkse maatregelen	(B3) HZP 2 ^e optimalisatie buitendijkse maatregelen
HZA Boven-Rijnafvoer 17.353 m ³ /s, open kering	+0,3 mm	-0,7 mm	-0,5 mm	-0,6 mm
HZB, Boven-Rijnafvoer 11.253 m ³ /s, zware storm, gesloten kering	-0,1 mm	+0,1 mm	+0,0 mm	+0,0 mm
HZC Boven-Rijnafvoer 16.713 m ³ /s, matige storm, gesloten kering	+0,4 mm	-0,1 mm	-0,6 mm	-0,2 mm
Gewogen netto waterstandseffect	+0,4 mm	+ 0,1 mm	0,0 mm	0,0 mm

Tabel III.2 Netto waterstandseffecten combinaties Hel- en Zuilespolder op de Beneden Merwede en Nieuwe Merwede

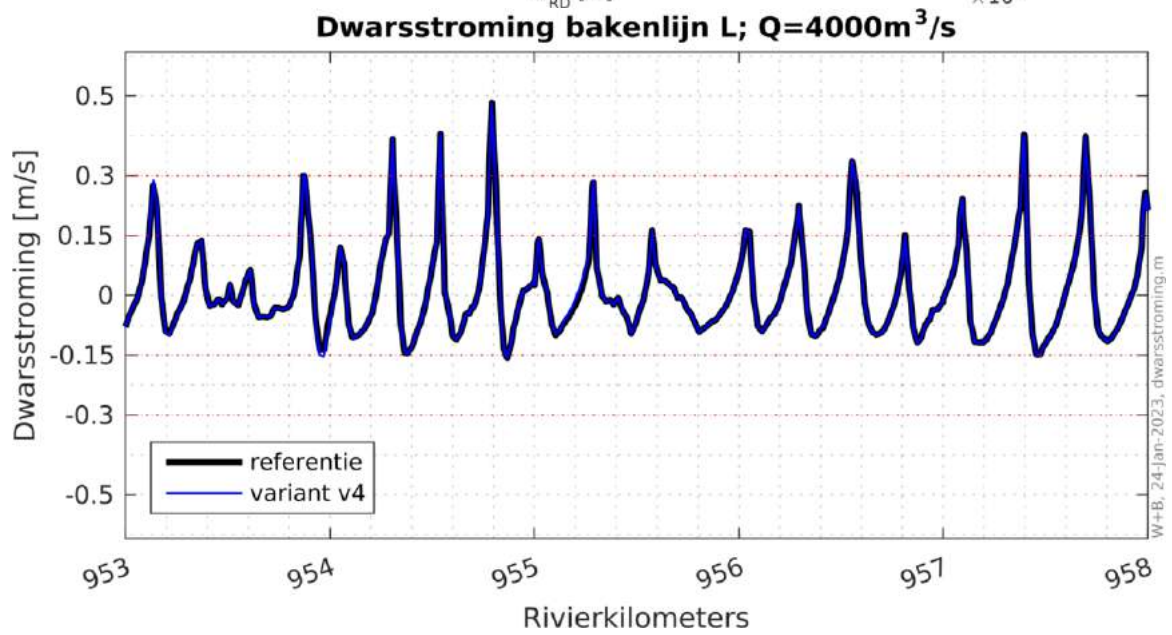
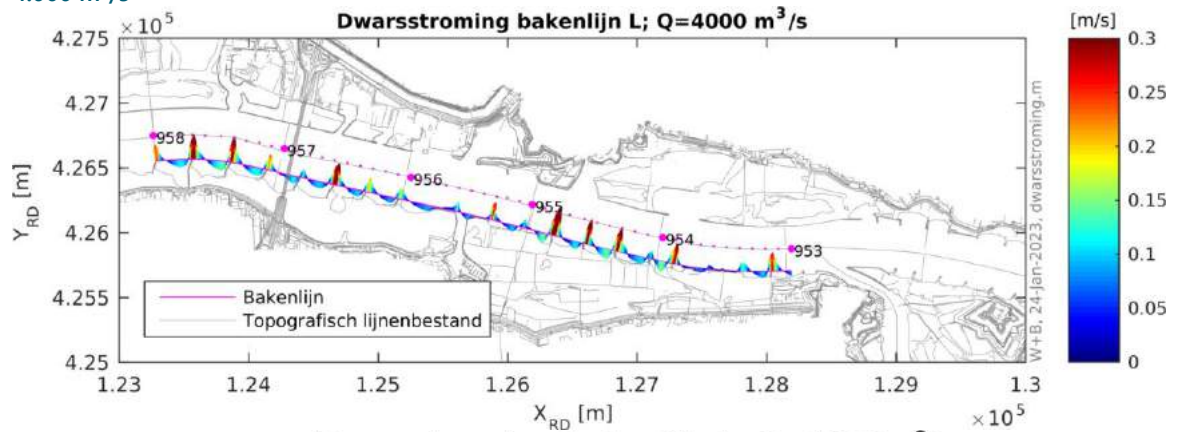
Scenario	(A) HZP binnendijks	(A+B1) Ontwerp fase 3 HZP	(A+B2) Ontwerp fase 3 HZP met optimalisatie buitendijkse maatregelen	(A+B2) Ontwerp fase 3 HZP met 2 ^e optimalisatie buitendijkse maatregelen
HZA Boven-Rijnafvoer 17.353 m ³ /s, open kering	+0,3 mm	-0,3 mm	-0,2 mm	-0,3 mm
HZB, Boven-Rijnafvoer 11.253 m ³ /s, zware storm, gesloten kering	-0,1 mm	-0,1 mm	-0,1 mm	-0,1 mm
HZC Boven-Rijnafvoer 16.713 m ³ /s, matige storm, gesloten kering	+0,4 mm	0,3 mm	-0,1 mm	+0,3 mm
Gewogen netto waterstandseffect	+0,4 mm	+0,3 mm	-0,1 mm	+0,3 mm

IV

BIJLAGE: DWARSSTROMING GORS EN AANWAS

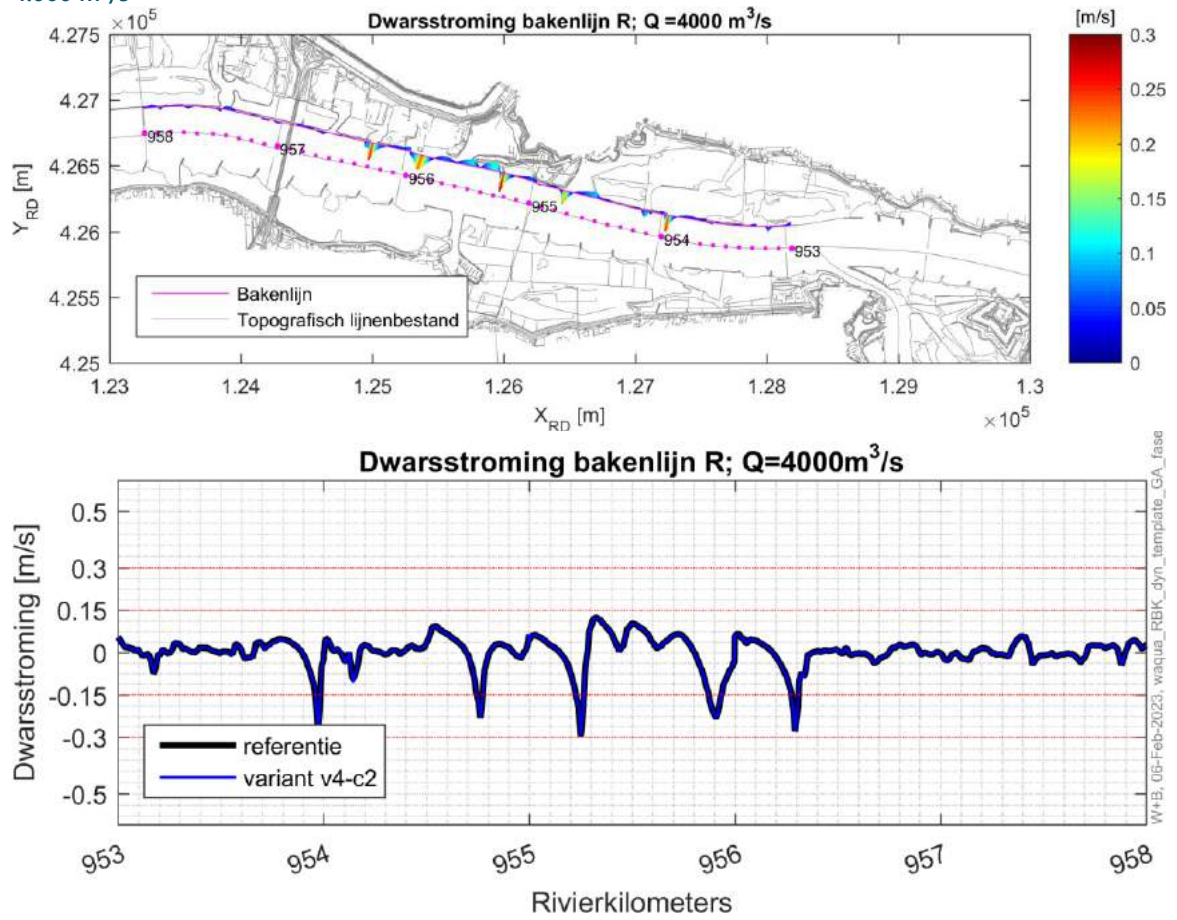
IV.1 Bakelijns zuidoever

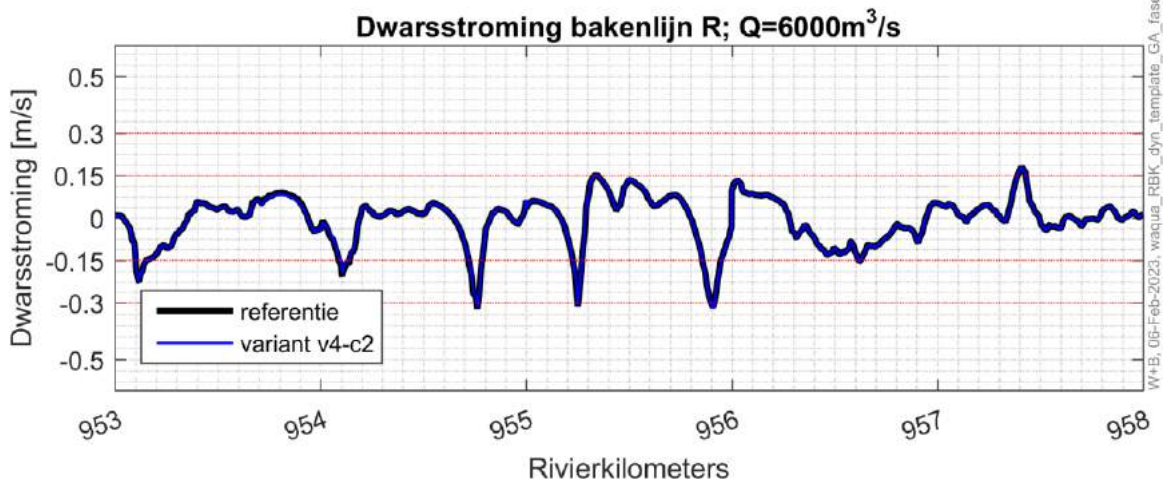
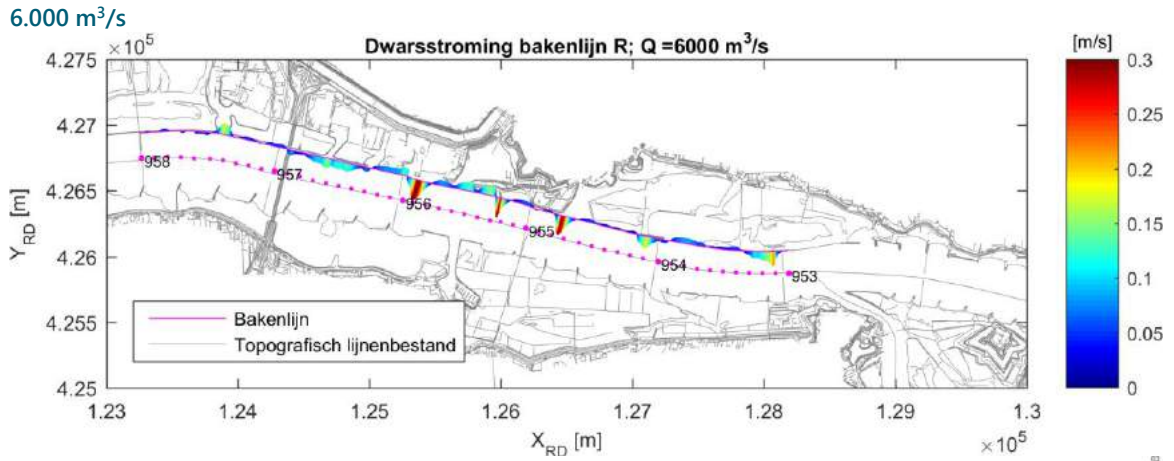
4.000 m³/s

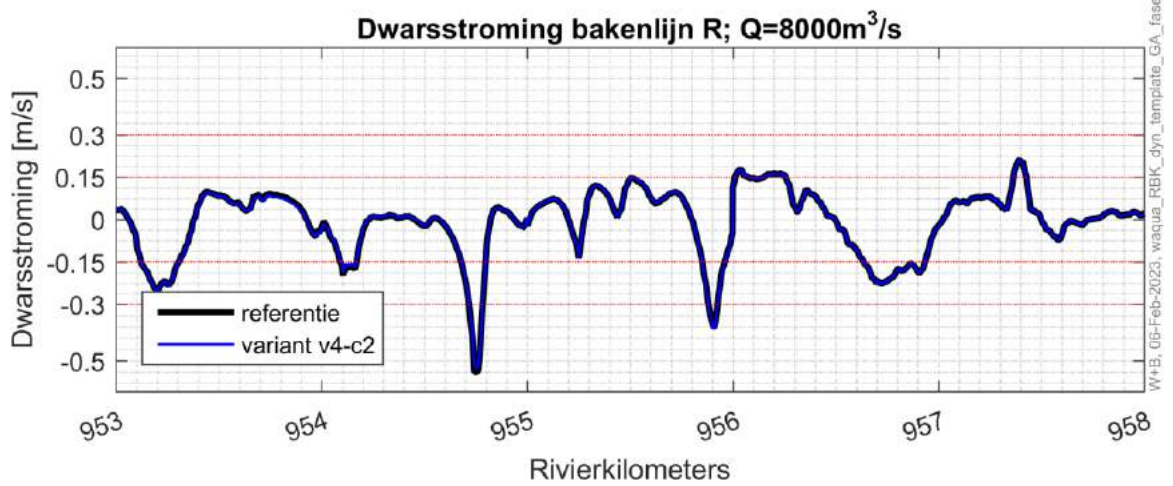
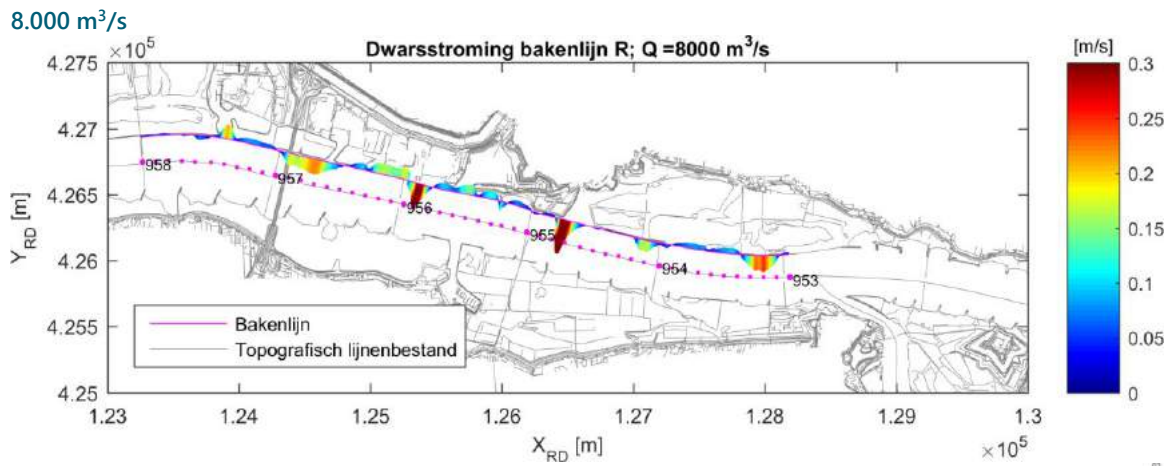


IV.2 Bakelijnsnoordoever

4.000 m³/s



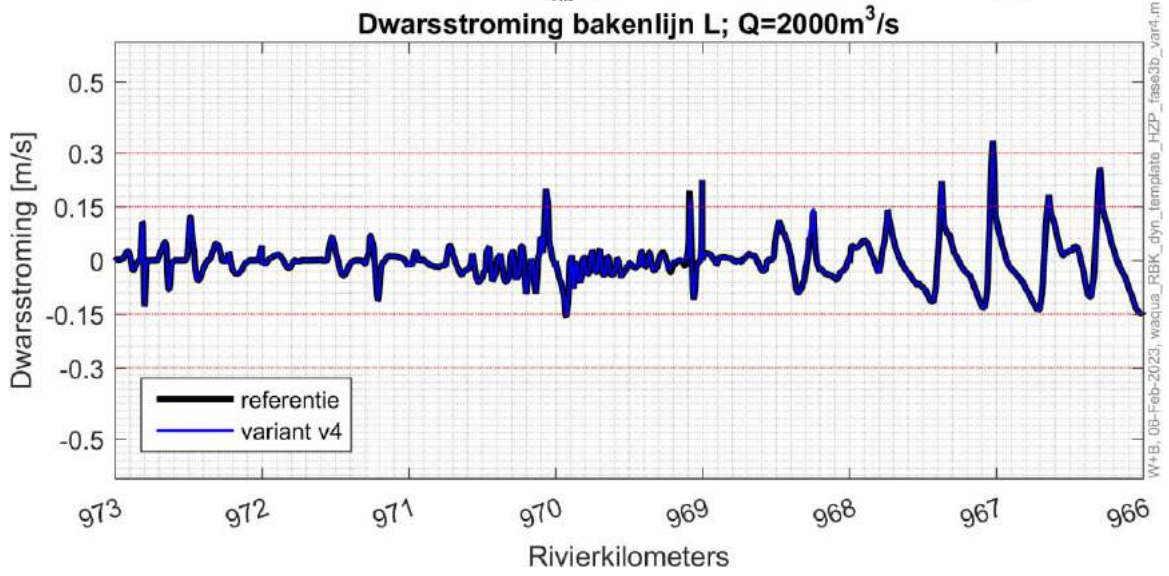
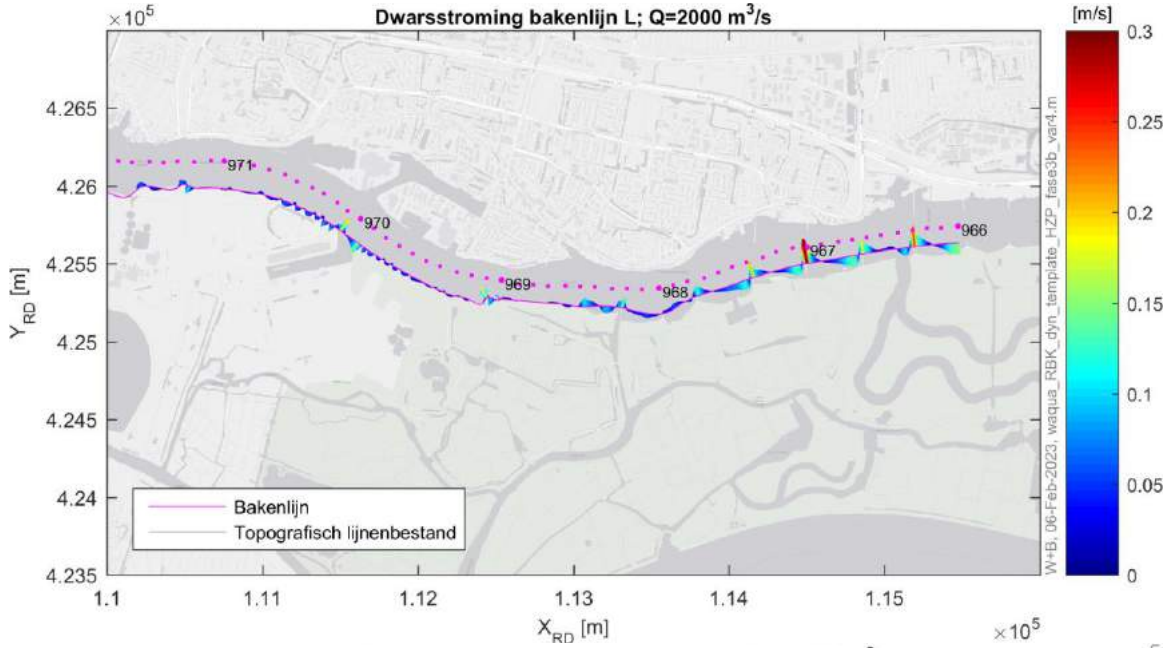




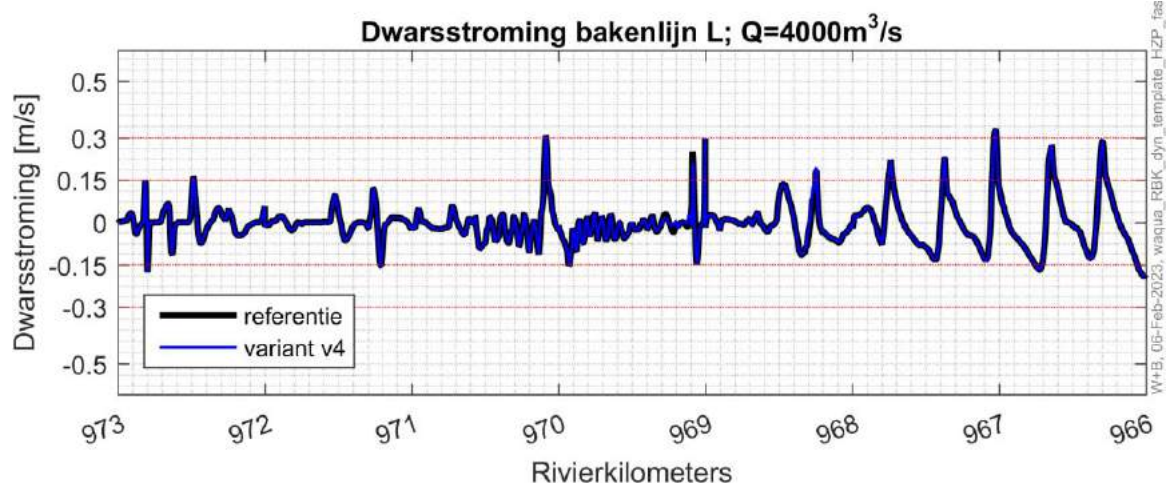
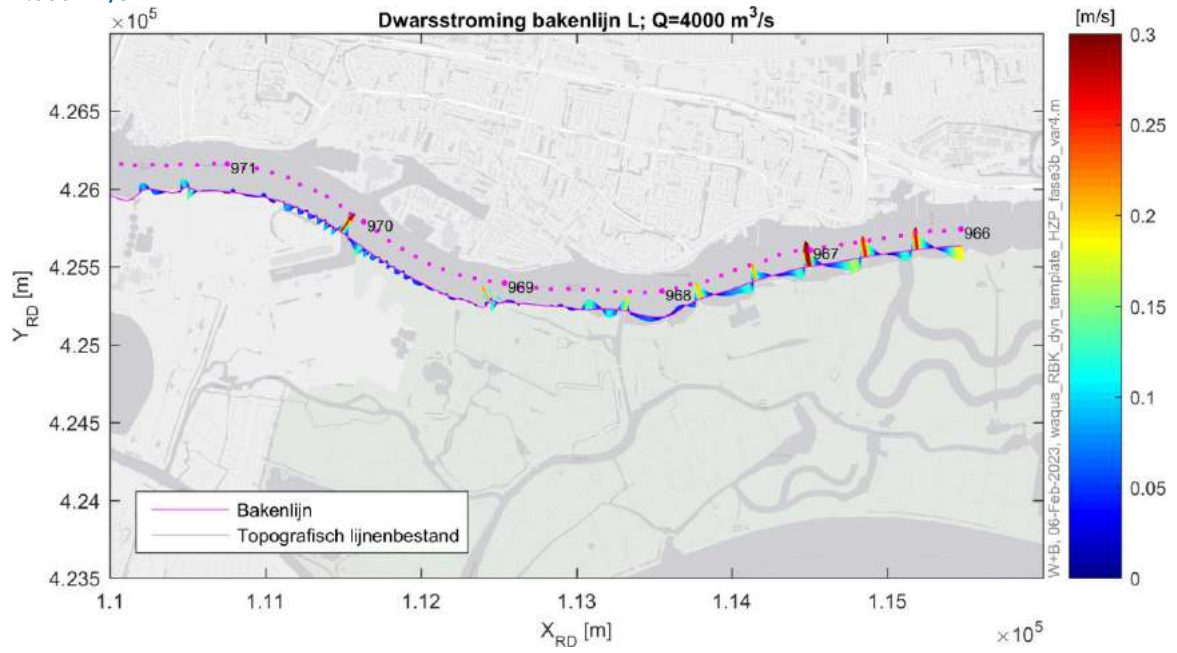


BIJLAGE: DWARSSTROMING HEL- EN ZUILESPOLDER

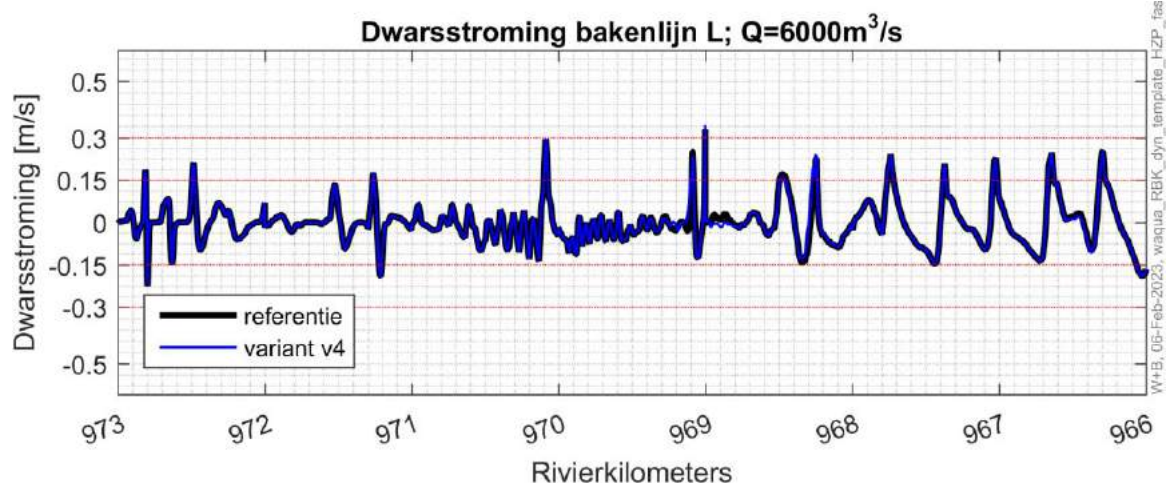
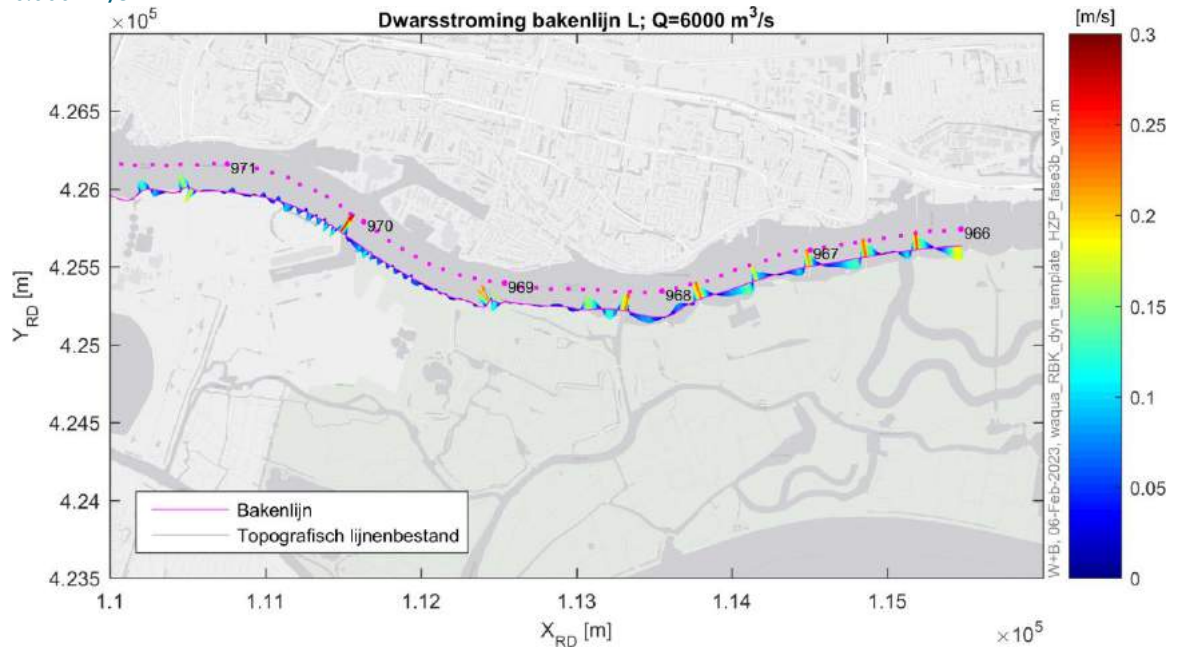
2.000 m³/s



4.000 m³/s



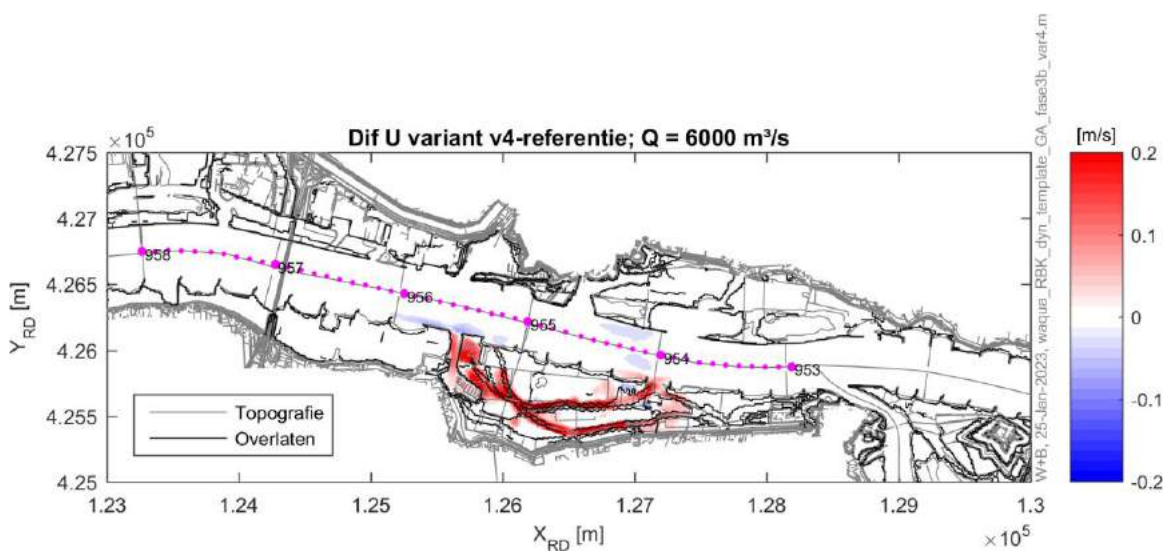
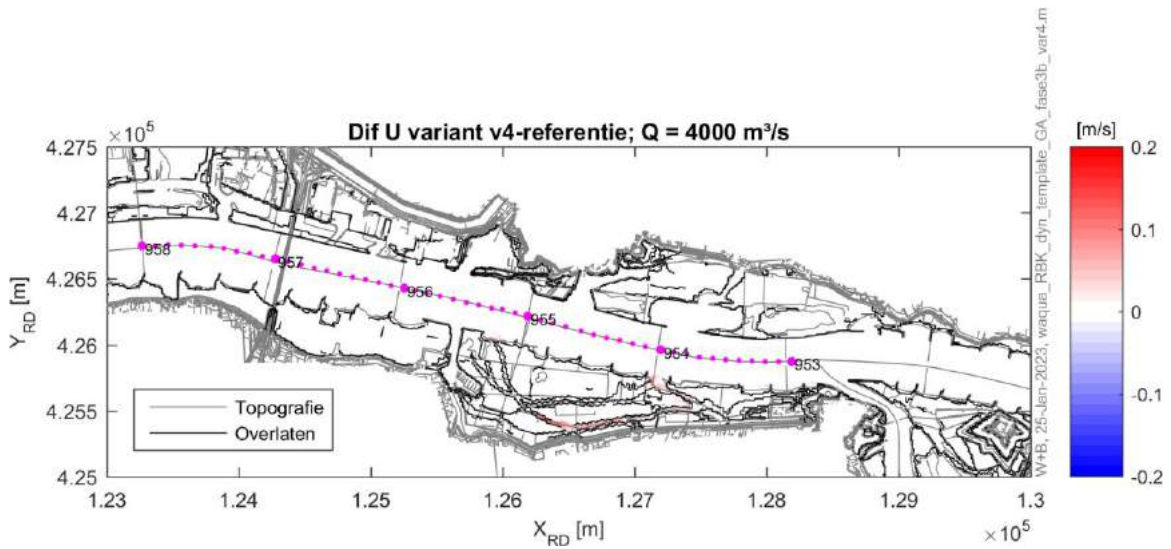
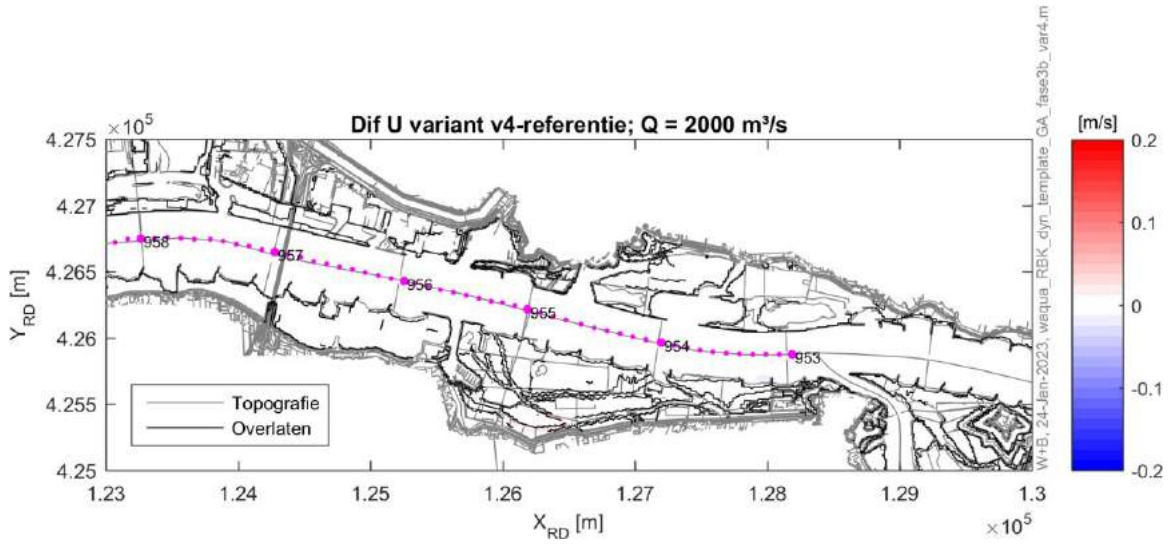
6.000 m³/s



VI

BIJLAGE: EROSIE EN SEDIMENTATIE GORS EN AANWAS

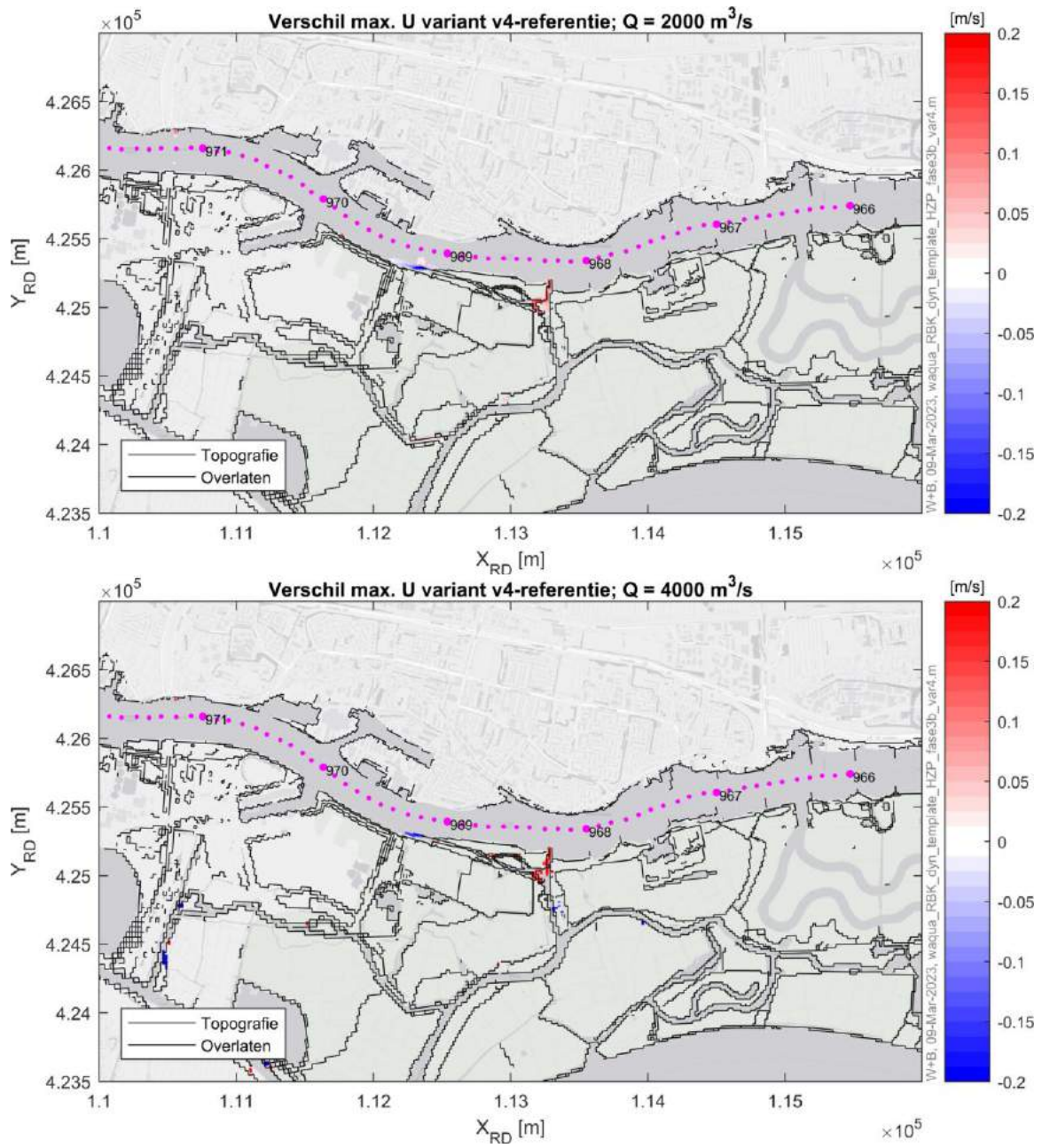
Verskil in maximum stroomsnelheden ten behoeve van inschatting effecten op erosie en sedimentatie zomerbed:



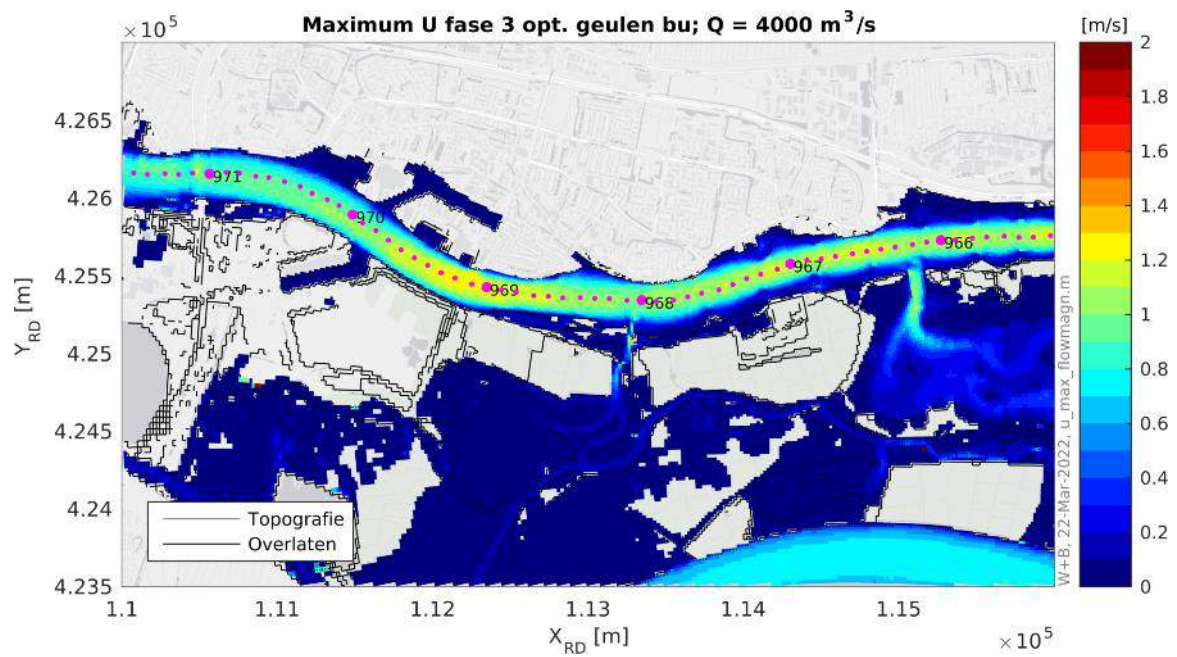
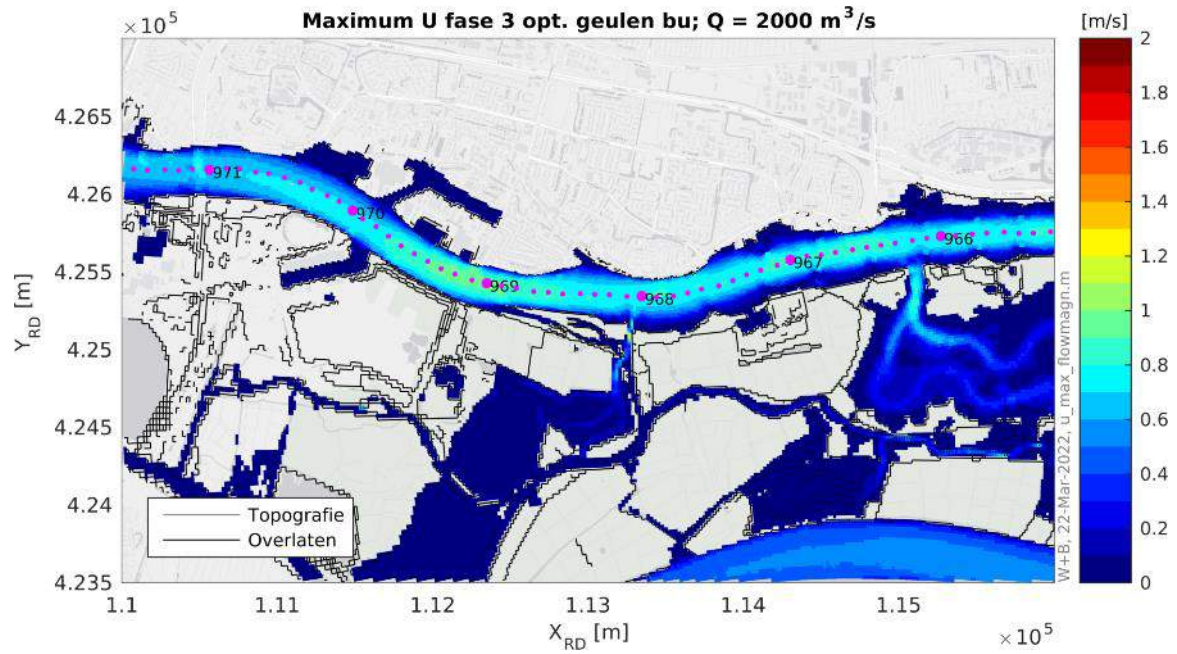
VII

BIJLAGE: EROSIE EN SEDIMENTATIE HEL- EN ZUILESPOLDER

Vershil in maximum stroomsnelheden ten behoeve van inschatting effecten op erosie en sedimentatie zomerbed:

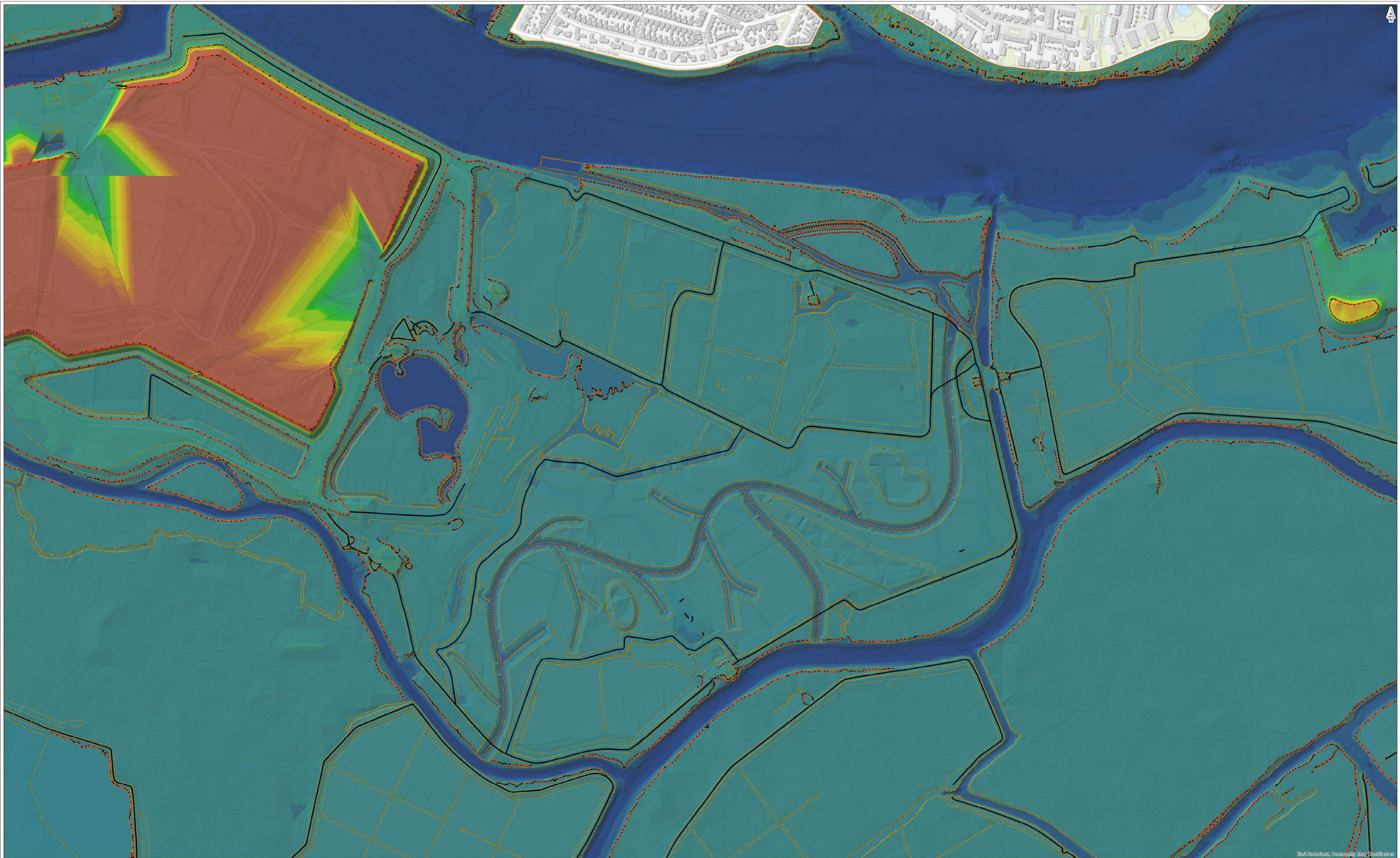


Maximum stroomsnelheid (absolute waarde) voor het referentieontwerp van Hel- en Zuilespolder



VIII

BIJLAGE: BASELINE SCHEMATISATIE RUWHEDEN EN BODEM



	bodemhoogte (m+NAP)	
• kades_events	6,59 - 6,79	5,15 - 5,38
— kades_routes	6,42 - 6,59	4,5 - 5,15
• hoogteverschillen_events	6,2 - 6,42	2,43 - 4,5
— hoogteverschillen_routes	5,71 - 6,2	0 - 2,43
• breuklijnen_events	5,67 - 5,71	-0,8 - 0
— breuklijnen_routes	5,6 - 5,67	-1,81 - -0,8
• bandijken_routes	5,38 - 5,6	-39,08 - -1,81
	7,61 - 92,61	
	7,51 - 7,61	
	7,29 - 7,51	
	7,1 - 7,29	
	7,05 - 7,1	
	6,79 - 7,05	

maatregelen:

bo_GorsAan_a2
be_HelZuil_a2

getekend: Z. van Aatrijk
gecontroleerd: L. de Wit
goedgekeurd:
versie: definitief 1
datum: 6-3-2023
tekeningnr: 2

formaat: A1 liggend
schaal: 1:3535
0 40 80 120 m

Sliedrechtse Biesbosch
variant: ben1553v3_v4

opdrachtgever:
projectnaam: KRW Sliedrechtse Biesbosch
projectcode: 121627





	bodemhoogte (m+NAP)	
• kades_events	6,59 - 6,79	5,15 - 5,38
— kades_routes	6,42 - 6,59	4,5 - 5,15
• hoogteverschillen_events	6,2 - 6,42	2,43 - 4,5
— hoogteverschillen_routes	5,71 - 6,2	0 - 2,43
• breuklijnen_events	5,67 - 5,71	-0,8 - 0
— breuklijnen_routes	5,6 - 5,67	-1,81 - -0,8
• bandijken_routes	5,38 - 5,6	-39,08 - -1,81
	7,61 - 92,61	
	7,51 - 7,61	
	7,29 - 7,51	
	7,1 - 7,29	
	7,05 - 7,1	
	6,79 - 7,05	

maatregelen:

getekend: Z. van Aatrijk
 gecontroleerd: L. de Wit
 goedgekeurd:
 versie: definitief 1
 datum: 27-3-2023
 tekeningnr: 2

Sliedrechtse Biesbosch
 referentie: rmbbeno155_v3

opdrachtgever:
 projectnaam: KRW Sliedrechtse Biesbosch
 projectcode: 121627

formaat: A1 liggend
 schaal: 1:3535
 0 40 80 120 m





ruwheid_punten	RUWHEIDSCODE	Ondiepe bedding	Akker	Ooibos	Natte vegetatie met 25% water	Vegetatielegger, mengklasse 90/10
ruwheid_lijnen	Bebouwing/hoogwater vrij terrein	Plas/haven/slikkige oever	Productiegrasland	Heggen	Vegetatielegger, water	Vegetatielegger, mengklasse 70/30
hoogwater vrij_lijnen	Bebouwd/verhard terrein	Nevengeul	Natuurlijk grasland/hooidland	Struweel/griend	Vegetatielegger, verhard	Vegetatielegger, mengklasse 50/50
	Steenbekleding	Meer	Verruigd grasland	Pioniersvegetatie	Vegetatielegger, gras en akker	Niet gecodeerd
	Vaste lagen	Strang	Boomgaard	Riet	Vegetatielegger, riet en ruigte	Niet gedefinieerd
	Zomerbed	Kribvakstrand/zandplaat/grindplaat	Bomen	Ruigte	Vegetatielegger, bos	
	Diepe bedding	Ruwe oever	Productiebos	Natte vegetatie homogeen	Vegetatielegger, struweel	

maatregelen:
bo_GorsAan_a2
be_HelZuil_a2

getekend: Z. van Aartrijk
gecontroleerd: L. de Wit
goedgekeurd:
versie: definitief 1
datum: 6-3-2023
tekeningnr: 2

formaat: A1 liggend
schaal: 1:3535

Sliedrechtse Biesbosch
variant: ben1553v3_v4

opdrachtgever:
projectnaam: KRW Sliedrechtse Biesbosch
projectcode: 121627



RUWHEIDSCODE		Ondiepe bedding		Akker		Ooibos		Natte vegetatie met 25% water		Vegetatielegger, mengklasse 90/10								
ruwheid_punten	Bebouwing/hoogwater vrij terrein	Plas/haven/slikkige oever	Akker	Ooibos	Natte vegetatie met 25% water	Vegetatielegger, mengklasse 90/10	ruwheid_lijnen	Bebouwd/verhard terrein	Vegetatielegger, water	Vegetatielegger, mengklasse 70/30	hoogwater vrij_lijnen	Steenbekleding	Nevengeul	Productiegrasland	Heggen	Vegetatielegger, verhard	Vegetatielegger, mengklasse 50/50	Niet gecodeerd
	Vaste lagen	Meer	Natuurlijk grasland/hooidland	Struweel/griend	Vegetatielegger, gras en akker	Vegetatielegger, mengklasse 50/50		Strang	Vegetatielegger, riet en ruijgte	Niet gedefinieerd		Vaste lagen	Verruigd grasland	Pioniersvegetatie	Vegetatielegger, bos	Niet gedefinieerd		
	Zomerbed	Strang	Boomgaard	Pioniersvegetatie	Vegetatielegger, riet en ruijgte	Vegetatielegger, bos		Ruwe oever	Ruige	Vegetatielegger, struweel			Meer	Bomen	Ruige			
	Diepe bedding	Kribvakstrand/zandplaat/grindplaat	Productiebos	Natte vegetatie homogeen									Strang	Productiebos				

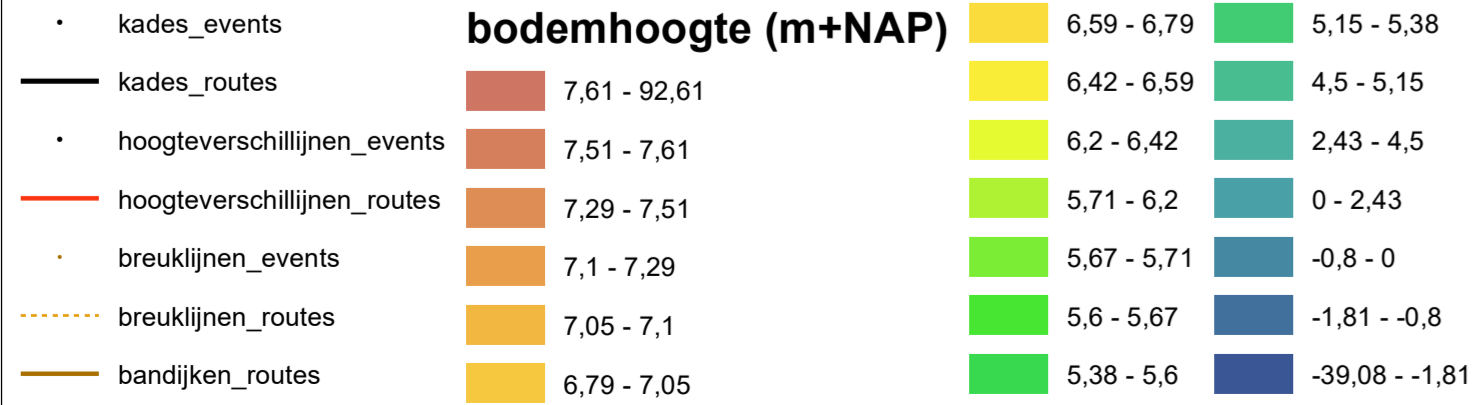
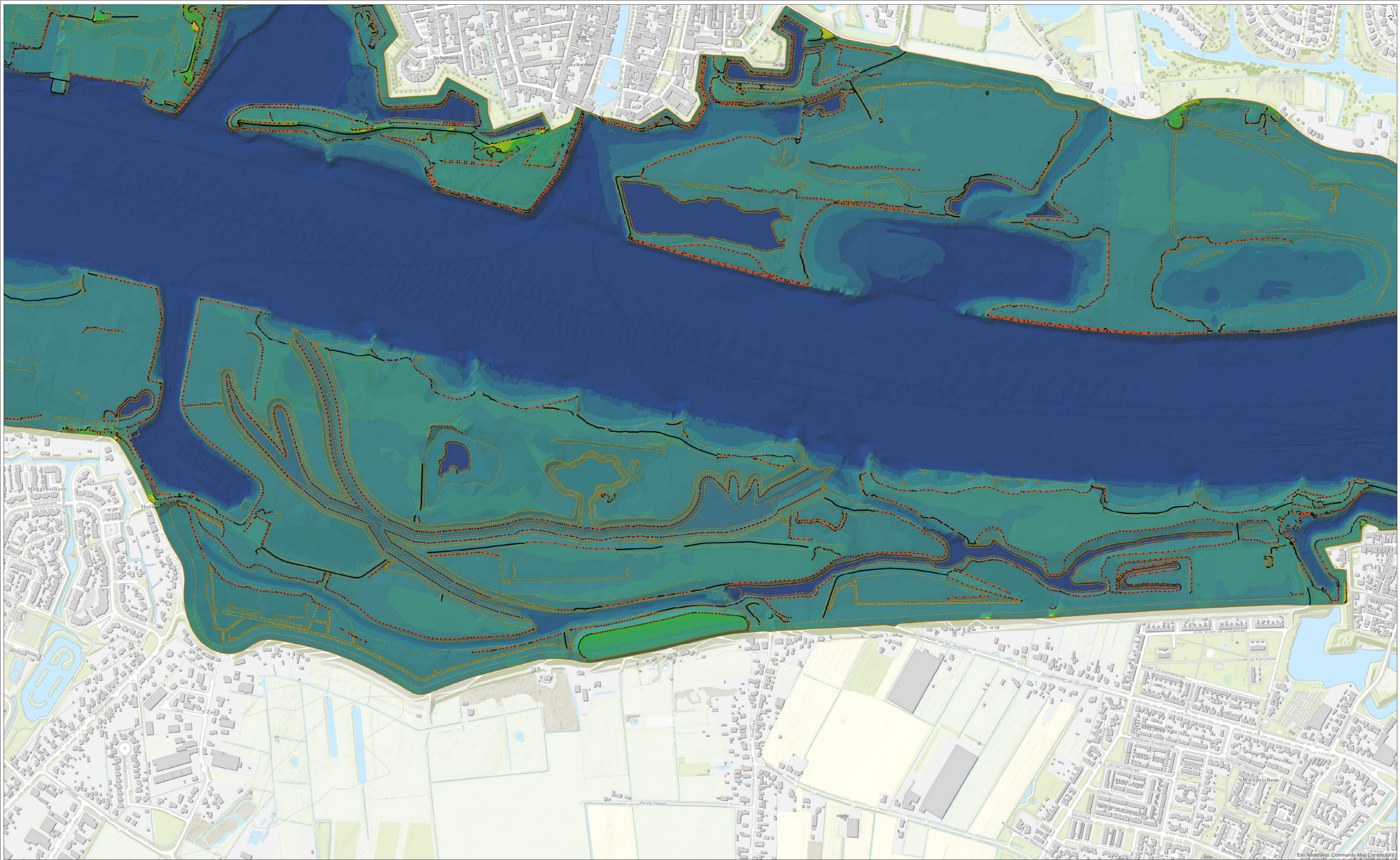
maatregelen:

getekend: Z. van Aartrijk
gecontroleerd: L. de Wit
goedgekeurd:
versie: definitief 1
datum: 27-3-2023
tekeningnr: 2

formaat: A1 liggend
schaal: 1:3535

Sliedrechtse Biesbosch
refrentie: rmbeno155_v3

opdrachtgever:
projectnaam: KRW Sliedrechtse Biesbosch
projectcode: 121627



maatregelen:

bo_GorsAan_a2
be_HelZuil_a2

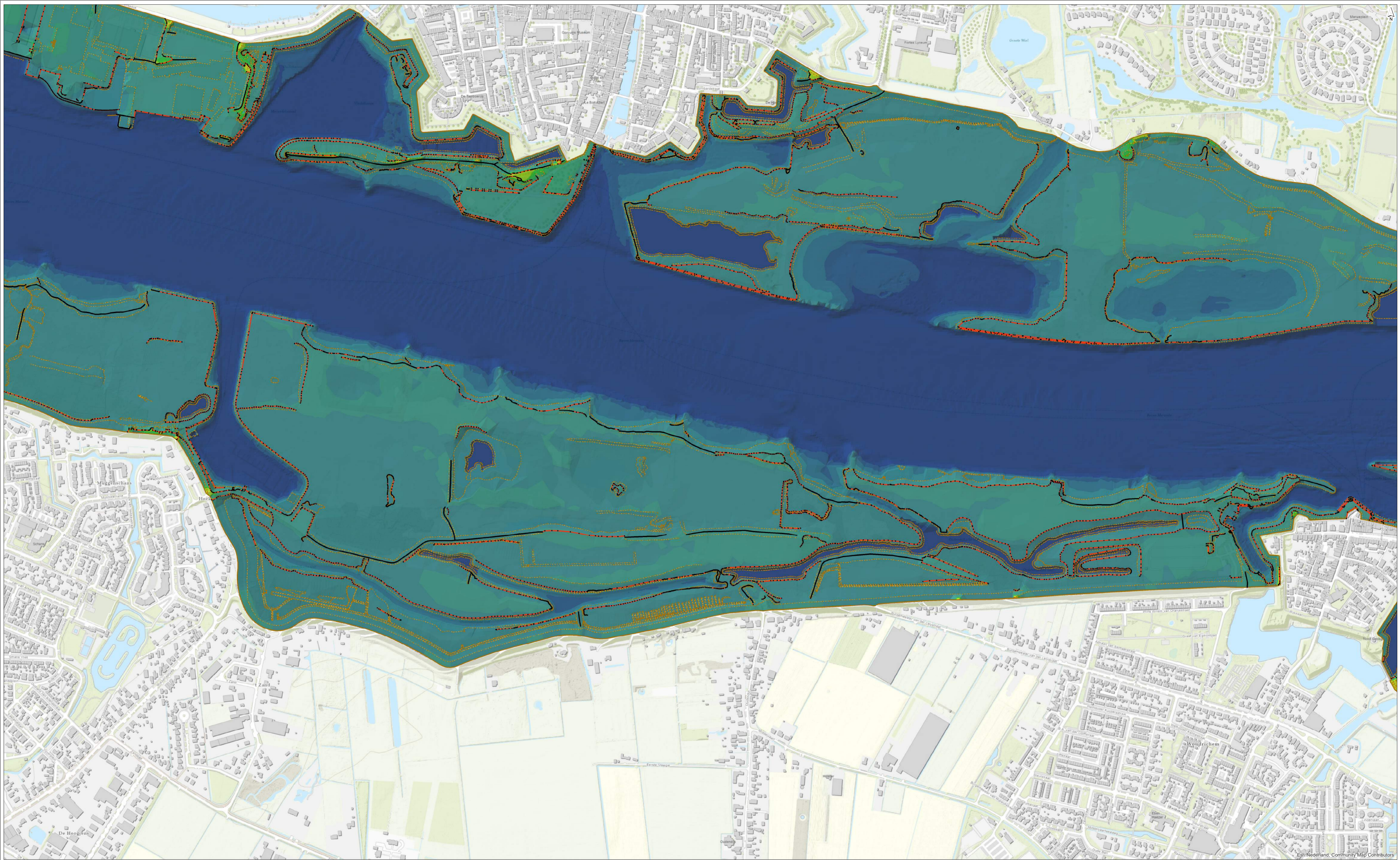
getekend: Z. van Aatrijk
gecontroleerd: L. de Wit
goedgekeurd:
versie: definitief 1
datum: 6-3-2023
tekeningnr: 2

Sliedrechtse Biesbosch
variant: ben1553v3_v4

opdrachtgever:
projectnaam: KRW Sliedrechtse Biesbosch
projectcode: 121627

formaat: A1 liggend
schaal: 1:4000
0 40 80 120 m





	bodemhoogte (m+NAP)	
• kades_events	6,59 - 6,79	5,15 - 5,38
— kades_routes	7,61 - 92,61	4,5 - 5,15
• hoogteverschillen_events	6,2 - 6,42	2,43 - 4,5
— hoogteverschillen_routes	5,71 - 6,2	0 - 2,43
• breuklijnen_events	5,67 - 5,71	-0,8 - 0
— breuklijnen_routes	5,6 - 5,67	-1,81 - -0,8
• bandijken_routes	5,38 - 5,6	-39,08 - -1,81
	7,1 - 7,29	
	7,05 - 7,1	
	6,79 - 7,05	

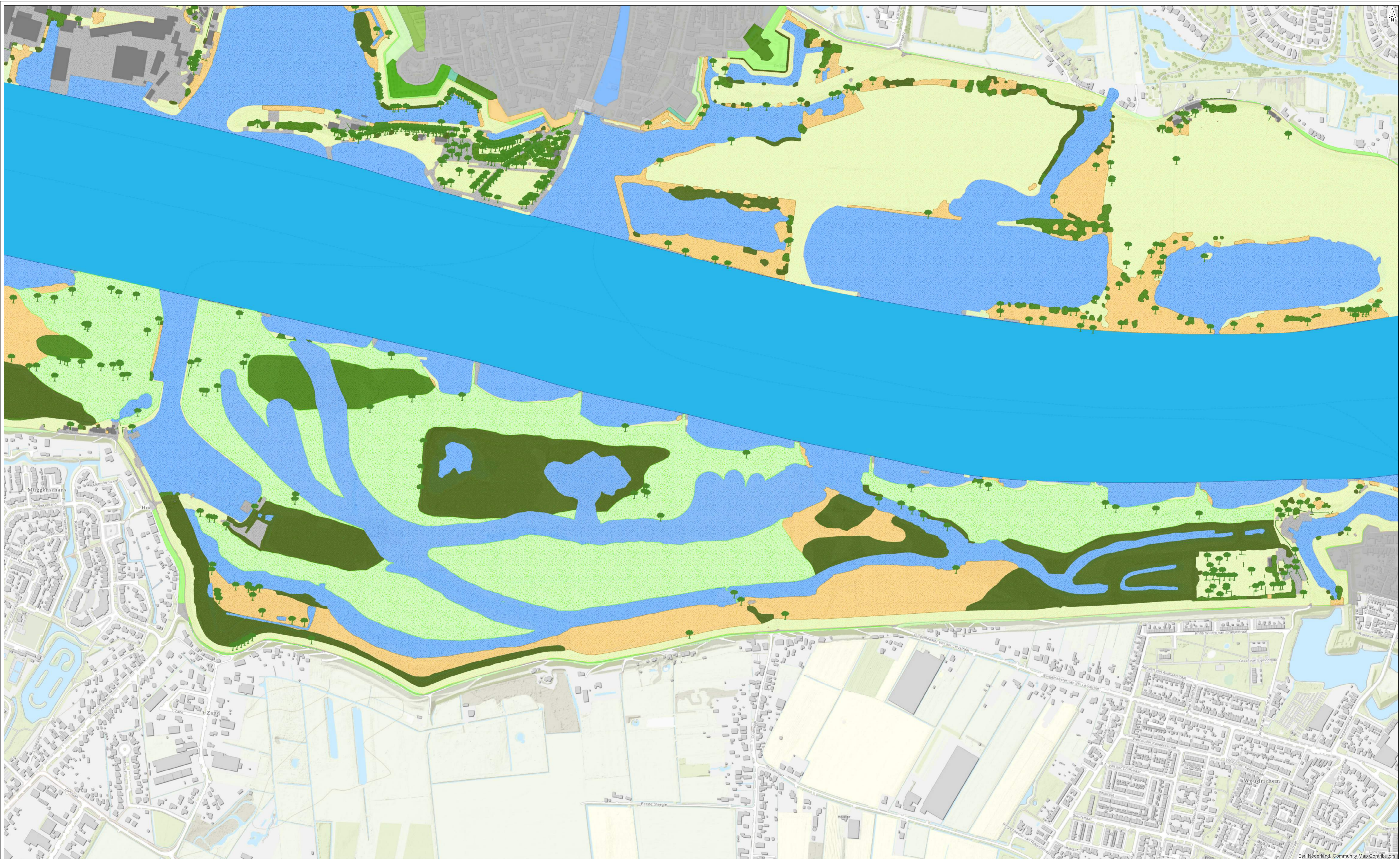
maatregelen:

getekend: Z. van Aatrijk
 gecontroleerd: L. de Wit
 goedgekeurd:
 versie: definitief 1
 datum: 27-3-2023
 tekeningnr: 2

Sliedrechtse Biesbosch
 referentie: rmbbno155_v3
 opdrachtgever:
 projectnaam: KRW Sliedrechtse Biesbosch
 projectcode: 121627

formaat: A1 liggend
 schaal: 1:4462
 0 40 80 120 m





RUWHEIDSCODE		RUWHEIDSCODE		RUWHEIDSCODE		RUWHEIDSCODE	
ruwheid_punten	Bebouwing/hoogwaterrijk terrein	Ondiepe bedding	Akker	Ooibos	Natte vegetatie met 25% water	Vegetatielegger, mengklasse 90/10	
ruwheid_lijnen	Bebouwd/verhard terrein	Plas/haven/slikkige oever	Productiegrasland	Heggen	Vegetatielegger, water	Vegetatielegger, mengklasse 70/30	
hoogwaterrijk_lijnen	Steenbekleding	Nevengeul	Natuurlijk grasland/hoiland	Struweel/griend	Vegetatielegger, verhard	Vegetatielegger, mengklasse 50/50	
	Vaste lagen	Meer	Verruigd grasland	Pioniersvegetatie	Vegetatielegger, gras en akker	Niet gecodeerd	
	Zomerbed	Strang	Boomgaard	Riet	Vegetatielegger, riet en ruigte	Niet gedefinieerd	
	Diepe bedding	Kribvakstrand/zandplaat/grindplaat	Bomen	Ruigte	Vegetatielegger, bos		
		Ruwe oever	Productiebos	Natte vegetatie homogeen	Vegetatielegger, struweel		

maatregelen:
bo_GorsAan_a2
be_HelZuil_a2

getekend: Z. van Aartrijk
gecontroleerd: L. de Wit
goedgekeurd:
versie: definitief 1
datum: 6-3-2023
tekeningnr: 2

Sliedrechtse Biesbosch
variant: ben1553v3_v4
opdrachtgever:
projectnaam: KRW Sliedrechtse Biesbosch
projectcode: 121627

formaat: A1 liggend
schaal: 1:4000
0 40 80 120 m





ruwheid_punten	RUWHEIDSCODE	Ondiepe bedding	Akker	Ooibos	Natte vegetatie met 25% water	Vegetatielegger, mengklasse 90/10
ruwheid_lijnen	Bebouwing/hoogwaterrijk terrein	Plas/haven/slikkige oever	Productiegrasland	Heggen	Vegetatielegger, water	Vegetatielegger, mengklasse 70/30
hoogwaterrijk_lijnen	Bebouwd/verhard terrein	Nevengeul	Natuurlijk grasland/hoiland	Struweel/griend	Vegetatielegger, verhard	Vegetatielegger, mengklasse 50/50
	Steenbekleding	Meer	Verruigd grasland	Pioniersvegetatie	Vegetatielegger, gras en akker	Niet gecodeerd
	Vaste lagen	Strang	Boomgaard	Riet	Vegetatielegger, riet en ruigte	Niet gedefinieerd
	Zomerbed	Kribvakstrand/zandplaat/grindplaat	Bomen	Ruigte	Vegetatielegger, bos	
	Diepe bedding	Ruwe oever	Productiebos	Natte vegetatie homogeen	Vegetatielegger, struweel	

maatregelen:

getekend: Z. van Aatrijk
gecontroleerd: L. de Wit
goedgekeurd:
versie: definitief 1
datum: 27-3-2023
tekeningnr: 2

Sliedrechtse Biesbosch
referentie: rmmbeno155_v3
opdrachtgever:
projectnaam: KRW Sliedrechtse Biesbosch
projectcode: 121627

formaat: A1 liggend
schaal: 1:4462
0 40 80 120 m

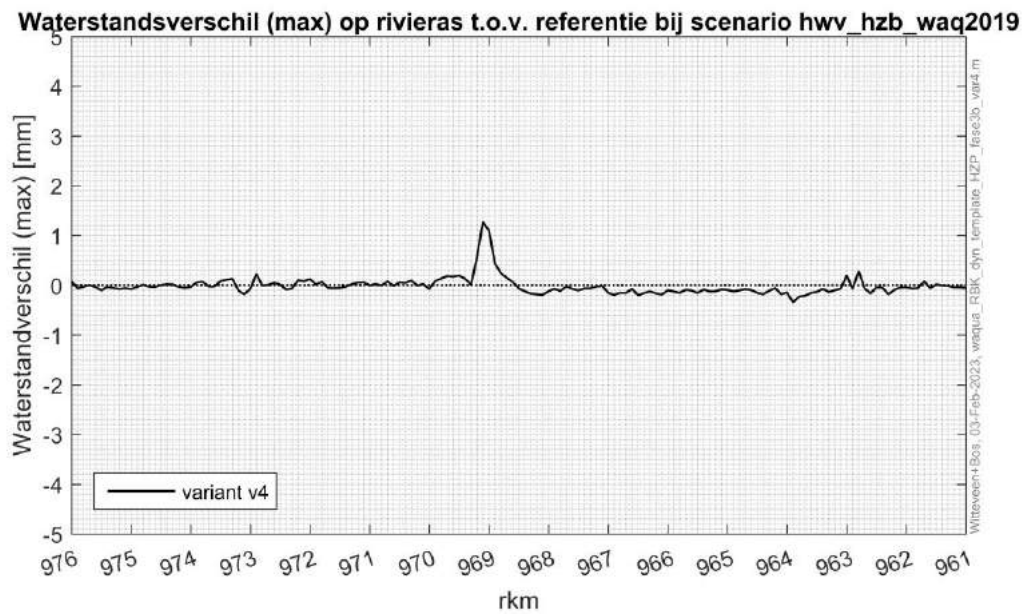
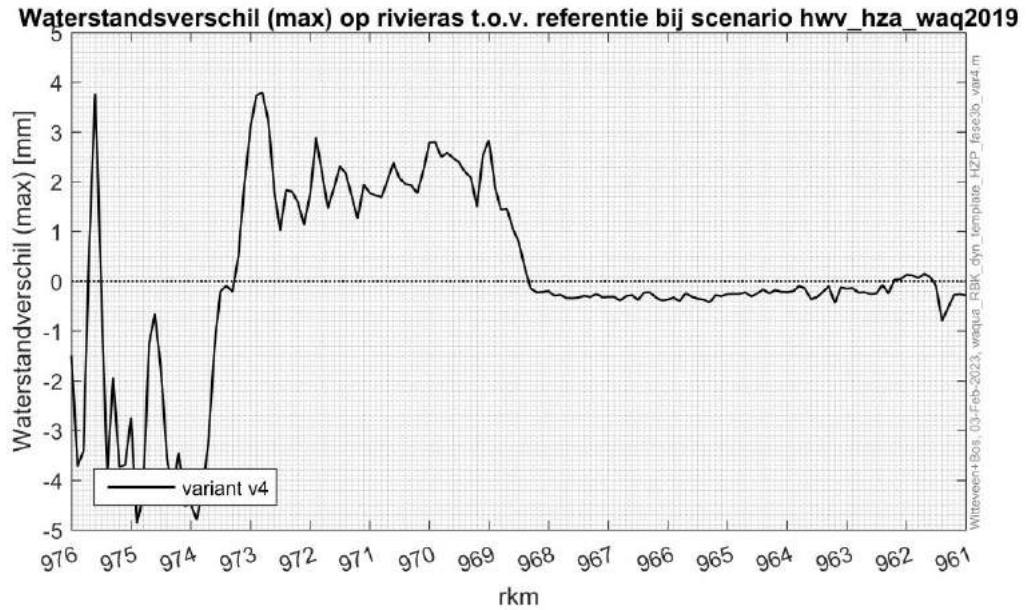


IX

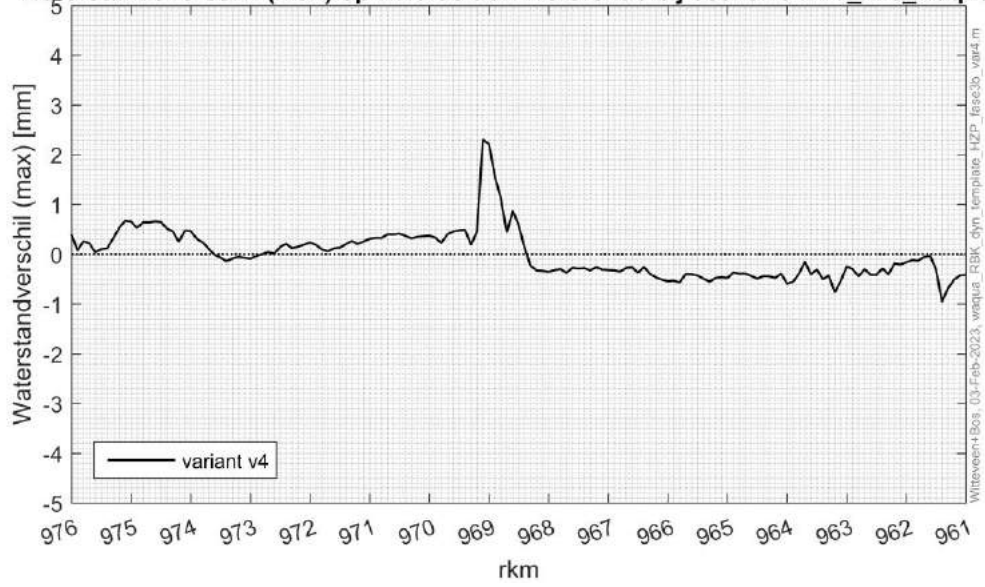
BIJLAGE: WATERSTANDSEFFECTEN HEL- EN ZUILESPOLDEROP DE AS VAN DE RIVIER CIP SCENARIO'S HZA, HZB EN HZC

Beneden Merwede

Onderstaande drie afbeeldingen tonen de waterstandseffecten op de as van de Beneden Merwede als gevolg van de ingreep in de Hel- en Zuilespolder voor CIP scenario's hza, hzb en hzc.

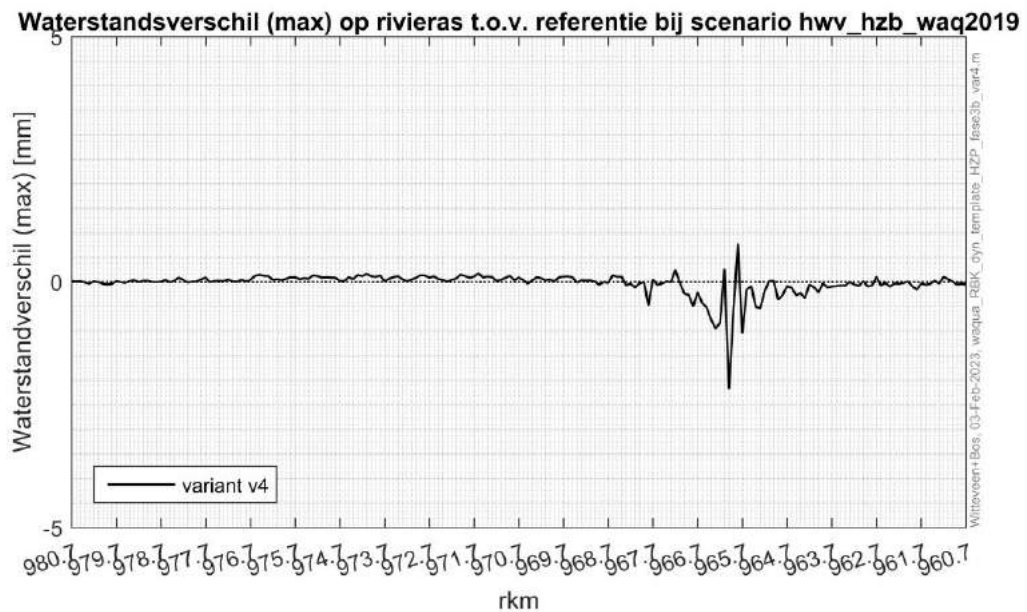
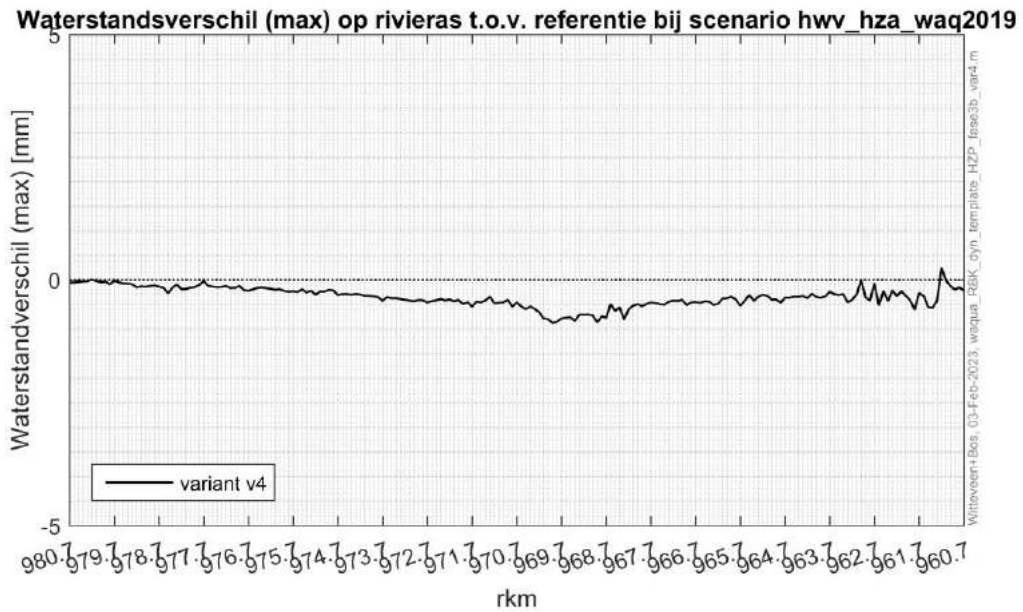


Waterstandsverschil (max) op rivieras t.o.v. referentie bij scenario hww_hzc_waq2019

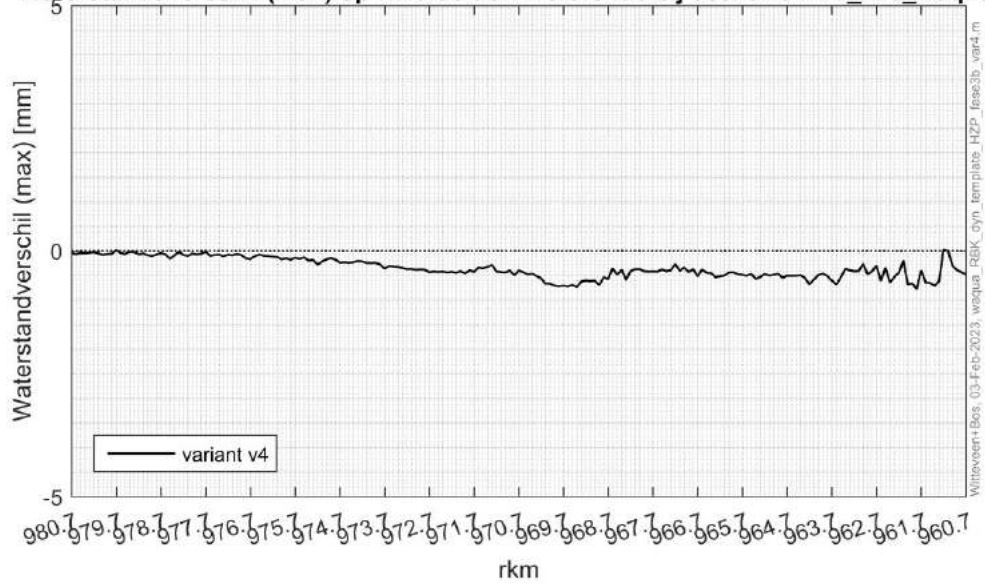


Nieuwe Merwede

Onderstaande drie afbeeldingen tonen de waterstandseffecten op de as van de Nieuwe Merwede als gevolg van de ingreep in de Hel- en Zuilespolder voor CIP scenario's hza, hzb en hzc.



Waterstandsverschil (max) op rivieras t.o.v. referentie bij scenario hww_hzc_waq2019





BIJLAGE: PADBREEDTEANALYSE BINNENVAARTSCHEPEN OP MERWEDE



BETTER SHIPS, BLUE OCEANS

Padbreedteanalyse binnenvaartschepen op Merwede

Rapport nr. : 34504-1-MO-rev.1
Datum : 26 April 2023
Versie : Rev.1
Eindrapport

Padbreedteanalyse binnenvaartschepen op Merwede

Opdrachtgever : Witteveen + Bos
Leeuwenbrug 8
7400 AE Deventer

Gerapporteerd door : G.J.A. Boomaars

Paraaf management :



Versie	Datum	Status	Gecontroleerd door
Rev.0	24 maart 2023	Conceptrapport	F. Verkerk
Rev.1	26 april 2023	Eindrapport	

INHOUD	PAGINA
1	INLEIDING 1
1.1	Aanleiding 1
1.2	Doel 3
1.3	Leeswijzer 3
2	PROBLEEMBESCHRIJVING 4
2.1	Varen in dwarsstroom 4
2.2	Beoordelingscriteria voor dwarsstroomsituaties 4
2.3	Uitgangspunten 5
3	OPZET EN UITVOERING VAN DE SIMULATIES 6
3.1	Inleiding 6
3.2	Gebiedsdatabases 6
3.3	Stroomcondities en waterstanden 8
3.4	Manoeuvreermodellen 8
3.5	Opzet van de vaarscenario's 8
3.6	Initiële condities 10
4	ANALYSE VAN DE RESULTATEN 11
4.1	Presentatie van de resultaten 11
4.2	Locatie 1: Hel- en Zuilespolder (HZP) 12
4.3	Locatie 2: Het Gors en de Aanwas (GA) 18
5	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN 30
	REFERENTIES 31
BIJLAGE A:	SHIPMA LEAFLET 33
BIJLAGE B:	FIGUREN SHIPMA RESULTATEN 34

1 INLEIDING

1.1 Aanleiding

Sinds 2000 is de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) van kracht. De algemene doelstelling van de KRW is om aquatische- en terrestrische ecosystemen die afhankelijk zijn van water, te beschermen tegen verdere achteruitgang en om deze ecosystemen in kwaliteit te verbeteren. Het streven is om in de Boven en Beneden Merwede een gebied van 60,5 hectare zoveel mogelijk aaneengesloten zoetwatergetijdennatuur te ontwikkelen. Locaties met lage bestaande natuurwaarden of locaties waar grote meerwaarde te bereiken is, hebben de voorkeur voor ontwikkeling tot getijdennatuur. Het referentieontwerp bestaat uit ingrepen in:

- De Hel- en Zuilespolder;
- Gors en de Aanwas;
- Avelingen;
- Het Wantij.

Als gevolg van deze ingrepen zal de stroming op de rivier veranderen. Uit berekeningen van Witteveen + Bos blijkt dat de stroomsnelheid van de dwarsstroming op de Merwede op meerdere locaties toeneemt. Een te sterke dwarsstroming op de rivier kan ongewenste effecten hebben op de scheepvaart. Hierdoor is er besloten om voor twee locaties nader onderzoek uit te voeren met scheepssimulaties met een stuurautomaat. Hiervoor zal het bij MARIN ontwikkelde programma SHIPMA gebruikt worden. Dit onderzoek zal aantonen of de aanpassingen op de beide locaties leiden tot een onveilige situatie voor de scheepvaart.

In dit rapport wordt er aandacht besteedt aan twee locaties uit dit project.

De eerste locatie is de Hel- en Zuilespolder (HZP) nabij Dordrecht en is gelegen aan de Beneden Merwede (zie Figuur 1-1). In de polder zal er een overstromingsvlakte ontstaan door het maken van openingen in de bestaande kering die nu rondom de polder ligt. In de uiterwaarde ten noorden van de Hel- en Zuilespolder ligt een natuurgebied met een bestaande doodlopende geul. Deze geul wordt verdiept en aangetakt op de Merwede tot een meestromende nevengeul.



Figuur 1-1 *Locatie 1 - Hel- en Zuilespolder*

De tweede locatie is Het Gors en de Aanwas (GA) en is een polder nabij Sleeuwijk en grenzend aan de Boven Merwede (zie Figuur 1-2). In de uiterwaarde zal een stromende nevengeul, een kreek, een overstromingsvlakte en een Hoogwatervluchtplaats gecreëerd worden.



Figuur 1-2 *Locatie 2 - Het Gors en de Aanwas*

Door de herinrichting op de beide locaties verandert lokaal het stroombeeld in de vaarweg. Het rivierkundig beoordelingskader [Ref 1.] stelt dat in het geval de dwarsstroming in de huidige situatie al boven de norm zit deze niet verder mag toenemen door de ingreep. Aan de hand van de berekeningen uitgevoerd door Witteveen + Bos is gebleken dat in de huidige situatie (voor ingreep) in HZP de norm voor dwarsstroming al overschreden wordt conform de Richtlijnen Vaarwegen 2020 [Ref 2.]. Daarnaast neemt de dwarsstroming ook nog toe na de ingreep. In GA wordt de norm eveneens overschreden in

de huidige situatie op een aantal punten langs de bakenlijn. Na de ingreep neemt de dwarsstroming toe op die locaties en wordt op nog meer locaties op de bakenlijn de norm overschreden.

1.2 Doel

Het hoofddoel is de veilige en vlotte doorvaart van het scheepvaartverkeer op de Merwede te garanderen. Het doel van dit onderzoek is om de padbreedten van verschillende soorten binnenvaartschepen te bepalen voor en na de uitvoering van het project en te toetsen aan de Richtlijnen Vaarwegen 2020 om te onderzoeken of de toename toelaatbaar is.

1.3 Leeswijzer

Dit rapport beschrijft de opzet en de resultaten van het uitgevoerde onderzoek. Het is opgedeeld in de volgende hoofdstukken:

- Hoofdstuk 2: Probleembeschrijving;
- Hoofdstuk 3: Opzet en uitvoering van de simulaties;
- Hoofdstuk 4: Analyse van de resultaten;
- Hoofdstuk 5: Conclusies en aanbevelingen.

2 PROBLEEMBESCHRIJVING

2.1 Varen in dwarsstroom

Te hoge dwarsstromingen en verandering in de dwarsstroom kunnen hinderlijk zijn voor de scheepvaart en de veiligheid nadelig beïnvloeden. Afhankelijk van de breedte van een dwarsstroomveld zal een schip na het passeren van dat stroomveld kort een uitwijking hebben en terugkeren naar de oorspronkelijke baan of verder varen met een opstuurhoek. Het uiteindelijke effect is afhankelijk van:

- de lengte van het dwarsstroomveld ten opzichte van de lengte van het schip;
- de gemiddelde stroomsterkte, zowel van de dwarsstroom als van de langsstroom;
- de variatie van de dwarsstroom over de lengte van het schip (de dwarsstroomgradiënten);
- de vaarsnelheid, de diepgang en beschikbare kielspeling van het schip.

Bij een smal dwarsstroomveld, ten opzichte van de lengte van het schip, zal het schip kort uitwijken en terugkeren naar de oorspronkelijke baan. In deze situatie is dus vooral de uitwijking van belang. Bij een breed dwarsstroomveld zal het schip verder varen met een opstuurhoek. In dat geval is de padbreedte van het varen met een opstuurhoek van belang.

Witteveen + Bos heeft onderzocht wat de effecten zijn van een toename van de dwarsstroom, ten gevolge van de uitstroom van een nevengeul, op het totale stroombeeld in de rivier. In dit onderzoek is dit totale stroombeeld gebruikt en is er gekeken naar de effecten van dat stroomveld op het schip op de lijn waar het schip vaart.

2.2 Beoordelingscriteria voor dwarsstromingsituaties

In de Richtlijnen Vaarwegen 2020 wordt als criterium een maximaal toelaatbare dwarsstroomsnelheid v_c gehanteerd afhankelijk van de verhouding van de scheepslengte L tot de breedte van de uitstroomopening W_u . Daarnaast wordt een maximale, absolute grootte van het dwarsstroomdebiet Q gehanteerd. Als $Q > 50 \text{ m}^3/\text{s}$ of $W_u > 0.5 \cdot L$ kan er met behulp van een stroomdiagram in de RVW2020 bepaald worden of de dwarsstroming toelaatbaar is, dan wel nader moet worden onderzocht.

Witteveen + Bos heeft bepaald aan de hand van de criteria dat er op de beide locaties (HZP en GA) nader onderzoek gedaan moet worden.

De criteria die gelden in deze situaties zijn:

- Toename van de padbreedte kleiner dan $0,5 \cdot B$ (B = scheepsbreedte) boven de padbreedte, die het schip nodig heeft zonder dwarsstroom;
- Roeruitslag behoudens kortstondige uitschieters maximaal 20° .

De totale padbreedte mag niet meer zijn dan $2 \cdot B$ [Ref. 1]. Opgemerkt wordt dat er in de huidige situatie al sprake is van dwarsstroming en dat de padbreedte in de situatie na ingreep wordt vergeleken met de huidige situatie voor ingreep om de toename te bepalen. Er wordt tevens vanuit gegaan dat het schip op een track zonder bochten, stroming en wind een padbreedte van $1 B$ heeft.

2.3 Uitgangspunten

Het effect van dwarsstroom op de padbreedte en het roergebruik wordt in dit onderzoek bepaald voor:

- Een viertal scheepsklassen (Klasse III, Va, VIa en VIc) in geladen toestand;
- De schepen worden in de manoeuvreersimulaties door een stuurautomaat bestuurd, waardoor de reproduceerbaarheid van de simulaties is gewaarborgd;
- Opvaart voor verschillende debieten;
 - Opvaart met 6000 m³/s op de rivier voor locatie 2;
 - Opvaart met 8000 m³/s op de rivier voor locatie 1 en 2;
- Geen invloed van wind en/of golven;
- Geen gebruik van boegschroef;
- Geen interactie met overige vaart;
- Vergelijking tussen de situatie voor en na de verruimingsingreep.

3 OPZET EN UITVOERING VAN DE SIMULATIES

3.1 Inleiding

De nautische consequenties van de dwarsstroomcondities op de padbreedte en het roergebruik worden met behulp van fast-time simulaties in beeld gebracht. In dit onderzoek wordt gebruik gemaakt van het simulatieprogramma SHIPMA, versie 7.4.2.

In dit hoofdstuk worden de opzet en de uitvoering van de simulaties kort beschreven aan de hand van de volgende stappen:

- Gebiedsdatabases;
- Stroomcondities en waterstanden;
- Manoeuvreermodellen van de schepen;
- Opzet van de vaarscenario's;
- Initiële gegevens van de scenario's in SHIPMA.

In de volgende paragrafen worden bovenstaande elementen beschreven. De presentatie en analyse van de simulatieresultaten worden in het volgende hoofdstuk besproken.

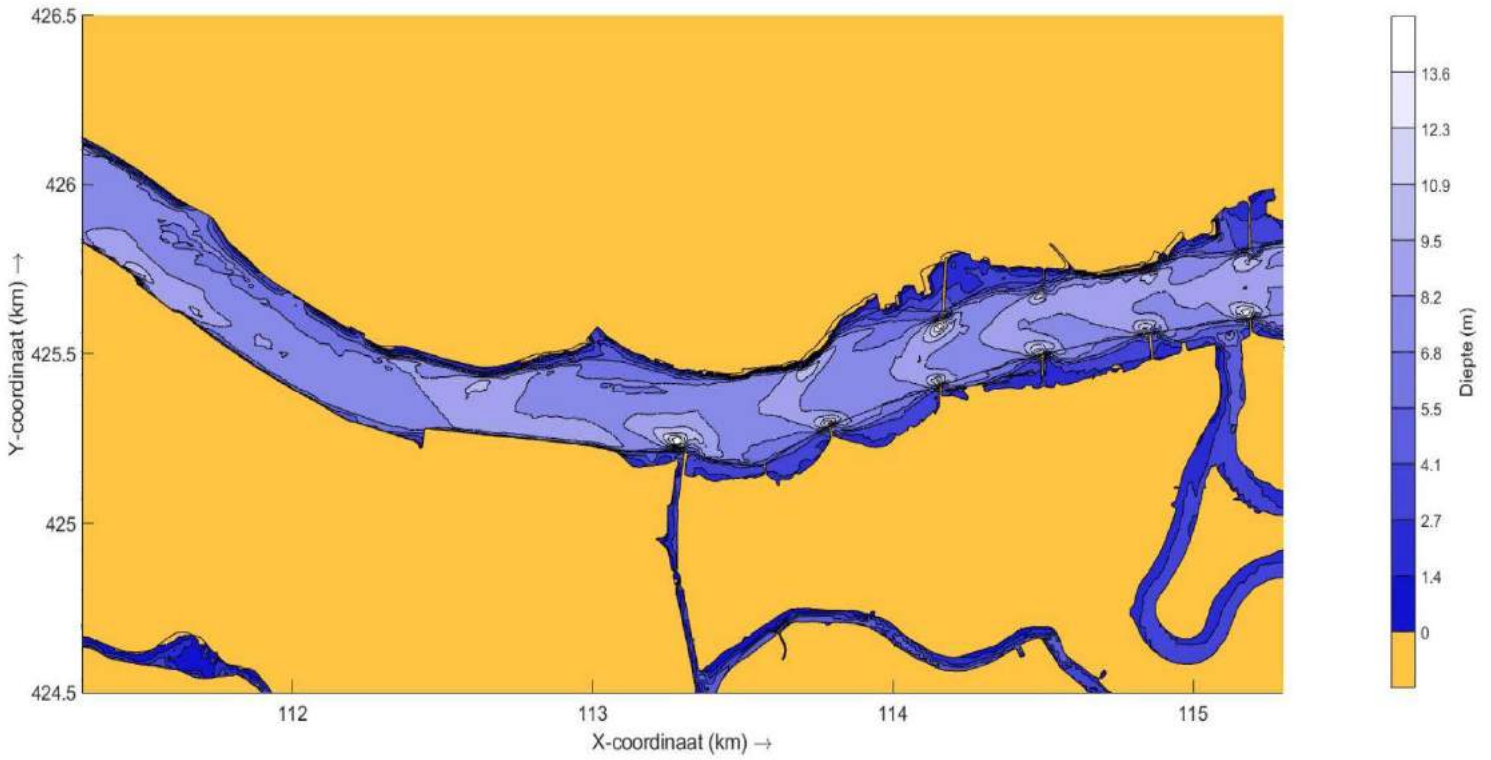
3.2 Gebiedsdatabases

Voor de beide locaties (HZP en GA) is een aparte gebiedsdatabase opgezet.

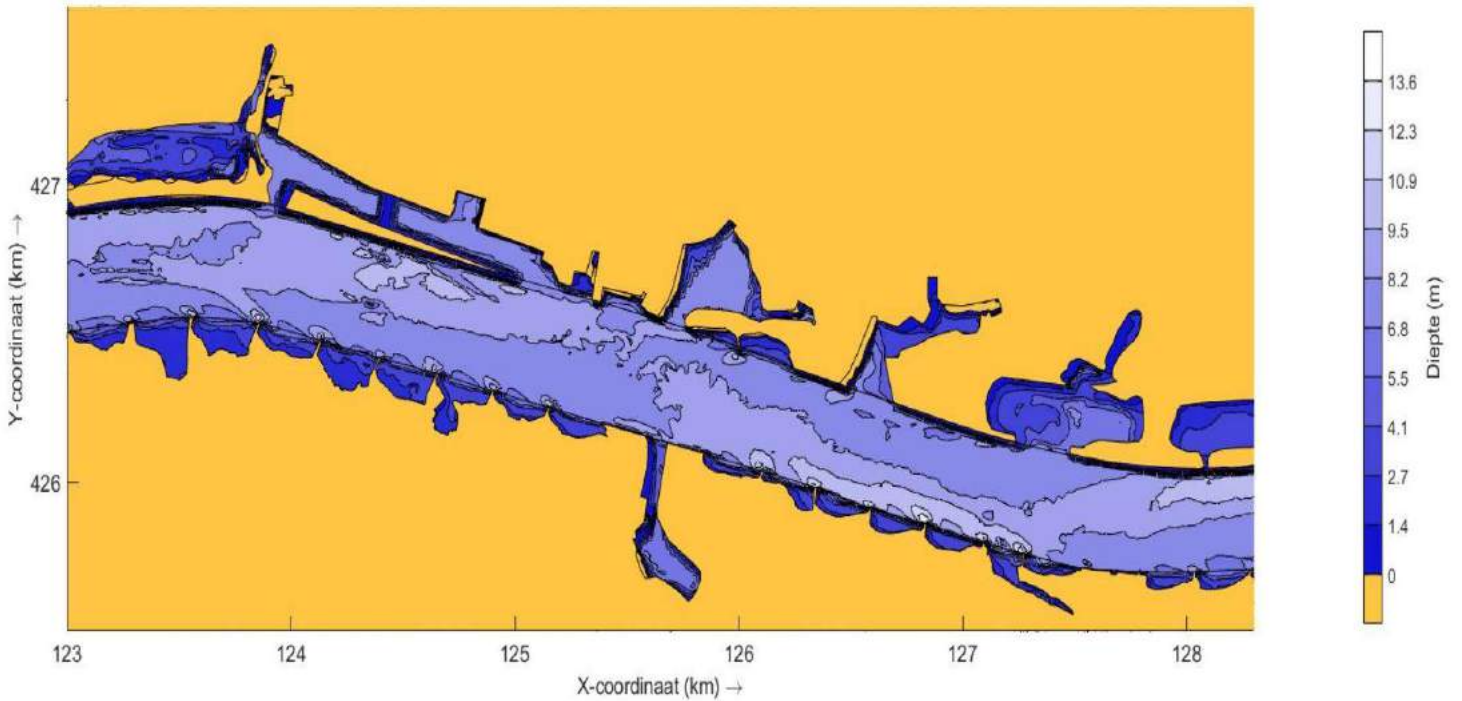
Voor de HZP database is de Beneden Merwede gemodelleerd van twee kilometer ten westen van de uitstroom gelegen tussen RKM 968,2 en 968,3 tot circa twee kilometer ten oosten van dezelfde uitstroom. Voor de lay-out is gebruik gemaakt van de aangeleverde bestanden afkomstig uit de Baseline schematisatie van Rijkswaterstaat. Voor de database is het bestaande rijksdriehoekskoördinatenstelsel gebruikt. Figuur 3-1 geeft een bovenaanzicht van de gemodelleerde vaarweg bij Hel- en Zuilespolder.

Voor de GA database is de Boven Merwede gemodelleerd van drie kilometer ten westen van RKM 955,6 tot ongeveer anderhalve kilometer ten oosten van RKM 954,3. Voor de lay-out is gebruik gemaakt van de aangeleverde bestanden afkomstig uit de Baseline schematisatie van Rijkswaterstaat. Ook voor deze database is de bestaande rijksdriehoekskoördinatenstelsel gebruikt. Figuur 3-2 geeft een bovenaanzicht van de gemodelleerde vaarweg bij Het Gors en de Aanwas.

De bodem van de vaarweg is gemodelleerd aan de hand van de aangeleverde bestanden van Witteveen + Bos, genaamd: "bodem_GA.mat" en "bodem_HZP.mat". Hier is onderscheid gemaakt tussen de situatie voor de ingreep (referentie situatie) en de situatie na de ingreep (variatie).



Figuur 3-1 Vaarwegcontour met diepteprofiel bij Hel- en Zuilespolder (HZP)



Figuur 3-2 Vaarwegcontour met diepteprofiel bij Het Gors en de Aanwas (GA)

3.3 Stroomcondities en waterstanden

Stroom

De stroomvelden in dit onderzoek zijn opgebouwd uit een combinatie van een langsstroomveld (in de richting van de rivier) en een dwarsstroom vanuit een nevengeul. Dit stroomveld is het resultaat uit de WAQUA berekeningen van Witteveen + Bos en zijn aangeleverd voor de twee gebruikte debieten (6000 en 8000 m³/s), voor de beide locaties (HZP en GA) en zowel voor als na de ingreep van het project. De bestandsnamen van de aangeleverde stroomvelden zijn: "dwars_map_com_L_GA.mat" en "dwars_map_com_L_HZP.mat". De stroomvelden presenteren alleen de maximale stroomsnelheden. De snelheden zijn dieptegemiddeld. Er is gekozen voor de maximale stroomsnelheid, zodat de resultaten van dit onderzoek ook gelden voor alle mogelijke lagere stroomsnelheden.

Waterstanden

De waterstanden op de Beneden Merwede en Boven Merwede corresponderen met de verschillende debieten van 6000 en 8000 m³/s en voor de beide situaties (voor en na ingreep). Deze waterstanden zijn aangeleverd door Witteveen + Bos en zijn genaamd: "max_flowmagn_corresponding_wl.mat".

3.4 Manoeuvrere modellen

Voor het onderzoek is er gebruik gemaakt van bestaande modellen van binnenvaartschepen binnen MARIN. In dit onderzoek wordt geen gebruik gemaakt van eventueel in deze modellen aanwezige boegbesturing. De belangrijkste dimensies van de schepen staan in Tabel 3-1.

Tabel 3-1 Scheepsgegevens SHIPMA schepen

	Hagenaar	Groot Rijnschip	Rijnmax	6-baksduwstel lang
CEMT-klasse [-]	III	Va	Vla	Vlc
RWS-klasse [-]	M3	M8	M12	BII-6I
Lengte over alles [m]	65	110	135	270
Breedte [m]	7,2	11,4	16,8	22,8
Diepgang [m]	2,5	3,5	4,0	4,0
Displacement [ton]	999	3830	8146	19867

Er is gesimuleerd met geladen schepen, omdat geladen schepen meer effect ondervinden van een dwarsstroomsituatie. Simulaties met lege schepen bieden in de onderzochte situaties met een dieptegemiddelde dwarsstroom vanaf de rand van de vaarweg geen extra inzicht.

3.5 Opzet van de vaarscenario's

De vaart langs de beide locaties (HZP en GA) is in oostelijke richting (opvaart) gesimuleerd. De simulaties starten op een recht deel van de Merwede. Bij HZP start de simulatie 750 m voor RKM 968,3 en eindigt 1000 m na 968,2. Bij GA start de simulatie 1500 m voor RKM 955,6 en eindigt 1400 m na RKM 954,3. De vaarbaan moet op de Merwede minimaal 30m + 0.5 B (breedte schip) dwarsafstand uit de bakelijijn liggen, zoals voorgeschreven in RVW2020. Door de vaarbaan te plaatsen op deze minimale dwarsafstand vanuit de bakelijijn, ondervinden de binnenvaartschepen de meeste invloed van de dwarsstroom. Dit betekent dat de resultaten van de simulaties het slechts mogelijke scenario representeren en dat de invloed van de dwarsstroom richting het midden van de rivier steeds minder wordt. De vaarbanen zijn dus als volgt bepaald zijn voor de verschillende scheepstypen:

- Hagenaar 33,7 m uit bakelijijn
- Groot Rijnschip 35,7 m uit bakelijijn
- Rijnmax 38,4 m uit bakelijijn

- 6-baksduwstel lang 41,4 m uit bakelijijn

Er wordt gevaren met een vast toerental (vaste telegraafstand) horende bij volle kracht vooruit. De vaarten worden zonder boegschroef uitgevoerd en in geladen toestand.

Alle scenario's hebben een uniek Run-ID, die in het gehele rapport gebruikt wordt. Het Run-ID bestaat uit vier cijfers, waarbij het eerste cijfer staat voor het type schip. Het tweede cijfer staat voor de locatie. Het derde cijfer staat voor de afvoer en het vierde cijfer staat of het de situatie voor of na de ingreep betreft. De cijfers horende bij de verschillende opties zijn weergegeven in Tabel 3-2. Tabel 3-3 geeft een overzicht van alle 24 scenario's horende bij deze analyse.

Tabel 3-2 Opbouw Run-ID

Schip	Locatie	Afvoer	Voor of na ingreep
Hagenaar = 3	HZP = 1	6000 = 6	Voor = 1
Groot Rijnschip = 5	GA = 2	8000 = 8	Na = 2
Rijnmax = 6			
6-baksduwstel lang = 8			

Tabel 3-3 Vaarscenario's voor het onderzoek

Nummer	Schip	Snelheid door het water [km/h]	Locatie	Afvoer [m ³ /s]	voor of na ingreep	Run-ID
1	Hagenaar (3)	11,0	HZP - Beneden Merwede	8000	Voor	3181
2		11,0	HZP - Beneden Merwede	8000	Na	3182
3		11,0	GA - Boven Merwede	6000	Voor	3261
4		11,0	GA - Boven Merwede	6000	Na	3262
5		11,0	GA - Boven Merwede	8000	Voor	3281
6		11,0	GA - Boven Merwede	8000	Na	3282
7	Groot Rijnschip (5a)	13,9	HZP - Beneden Merwede	8000	Voor	5181
8		13,9	HZP - Beneden Merwede	8000	Na	5182
9		13,9	GA - Boven Merwede	6000	Voor	5261
10		13,9	GA - Boven Merwede	6000	Na	5262
11		13,9	GA - Boven Merwede	8000	Voor	5281
12		13,9	GA - Boven Merwede	8000	Na	5282
13	Rijnmax (6a)	14,6	HZP - Beneden Merwede	8000	Voor	6181
14		14,6	HZP - Beneden Merwede	8000	Na	6182
15		14,6	GA - Boven Merwede	6000	Voor	6261
16		14,6	GA - Boven Merwede	6000	Na	6262
17		14,6	GA - Boven Merwede	8000	Voor	6281
18		14,6	GA - Boven Merwede	8000	Na	6282
19	6-baks duwstel lang (6c)	10,1	HZP - Beneden Merwede	8000	Voor	8181
20		10,1	HZP - Beneden Merwede	8000	Na	8182

Nummer	Schip	Snelheid door het water [km/h]	Locatie	Afvoer [m ³ /s]	voor of na ingreep	Run-ID
21		10,1	GA - Boven Merwede	6000	Voor	8261
22		10,1	GA - Boven Merwede	6000	Na	8262
23		10,1	GA - Boven Merwede	8000	Voor	8281
24		10,1	GA - Boven Merwede	8000	Na	8282

De definitie van de manoeuvre bestaat o.a. uit de gewenste vaarbaan, een toerental en instellingen van de stuurautomaat. De gewenste vaarbaan bestaat in dit onderzoek zoveel mogelijk uit rechtstanden met bochten en volgt niet exact de bakenlijn. De gewenste baan, afwijkingen van de gewenste baan en afwijkingen van de gewenste koers worden door de baanvolgende stuurautomaat gebruikt om de roerhoeken te bepalen. Door middel van de anticipatielengte kan de stuurautomaat bijtijds reageren op de dwarsstroomgradiënten. De stuurautomaat is in dit onderzoek ingesteld met een anticipatielengte van $1 \cdot L$, waarbij L de scheepslengte is.

3.6 Initiële condities

In Tabel 3-4 en Tabel 3-5 zijn de initiële condities weergegeven van de SHIPMA scenario's, bestaande uit het startpunt [x,y], de koers bij aanvang scenario, de anticipatielengte, een vast toerental en de vaarsnelheid door het water in m/s die bij dit toerental hoort. De snelheid invoer en uitvoer in SHIPMA is in m/s en niet in km/h. Hierdoor wordt in de rest van het rapport m/s gebruikt bij snelheden door het water in plaats van km/h.

Tabel 3-4 *Initiële condities locatie 1 (HZP)*

Schip		Start		Koers	Anticipatie- lengte	Snelheid door het water	Toeren
		x	y				
		[m]	[m]	[°]	[m]	[km/h] / [m/s]	[omw./min]
Hagenaar	opvaart	112460	425313	095	65	11,0 / 3,05	420
Groot Rijnschip	opvaart	112460	425316	095	110	13,9 / 3,85	250
Rijnmax	opvaart	112460	425319	095	135	14,6 / 4,05	290
6-baksduwstel lang	opvaart	112460	425321	095	270	10,1 / 2,80	224

Tabel 3-5 *Initiële condities locatie 2 (GA)*

Schip		Start		Koers	Anticipatie- lengte	Snelheid door het water	Toeren
		x	y				
		[m]	[m]	[°]	[m]	[km/h] / [m/s]	[omw./min]
Hagenaar	opvaart	124150	426520	103	65	11,0 / 3,05	420
Groot Rijnschip	opvaart	124150	426525	103	110	13,9 / 3,85	250
Rijnmax	opvaart	124150	426528	103	135	14,6 / 4,05	290
6-baksduwstel lang	opvaart	124150	426531	103	270	10,1 / 2,80	224

4 ANALYSE VAN DE RESULTATEN

De resultaten van de fast-time simulaties worden geanalyseerd aan de hand van de numerieke resultaten voor de diverse scenario's. De analyse van de numerieke resultaten bestaat per simulatie uit de volgende onderdelen:

- Ruimtegebruik van het schip tijdens de vaart (padbreedte);
- Beheersbaarheid van het schip door analyse van het roergebruik.

4.1 Presentatie van de resultaten

De resultaten van elk scenario worden gepresenteerd in een aantal plots. De gevaren baan wordt weergegeven in een tweetal 'trackplots'; enkele karakteristieke parameters zijn gegeven in dataplots. De data wordt gepresenteerd ten opzichte van de vaarbaan. Bijlage B bevat voor elke run de volgende figuren:

Figuur A:

- Trackplot hele vaarbaan met een scheepscontour getekend om de 30 sec.

Figuur A1:

- Detail trackplot passage uitstroom met een scheepscontour getekend om de 20 sec.

Figuur B:

- Padbreedtebeslag t.o.v. de referentiebaan [m];
- Dwarsafstand t.o.v. de referentiebaan [m];
- Hoekafwijking t.o.v. de referentiebaan [graden].

Figuur C:

- De snelheid door het water [m/s];
- Het toerental [omw./min];
- De roerhoek [graden].

Daarnaast worden er in dit hoofdstuk meerdere figuren getoond, waarin de roerhoeken en padbreedten voor en na de ingreep van het project vergeleken worden. Door deze vergelijking wordt de invloed van de toename van de dwarsstroming gevisualiseerd.

De figuren met de vergelijking van de roerhoeken zijn als volgt opgebouwd:

- De verticale zwarte stippellijnen geeft de locatie van de uitstroom weer;
- De rode horizontale lijnen geven de limieten van de roerhoeken weer, conform de criteria gesteld in paragraaf 2.2;
- Positieve roerhoeken zijn naar bakboord en negatieve roerhoeken zijn naar stuurboord;
- In de legenda staan de Run-ID's;
- de zwarte onderbroken lijn is de situatie voor de ingreep en de blauwe getrokken lijn de situatie na de ingreep.

De figuren met de vergelijking van de padbreedte zijn als volgt opgebouwd:

- De verticale zwarte stippellijnen geeft de locatie van de uitstroom weer;
- De rode horizontale lijn geeft een toename van 0,5 B (halve scheepsbreedte) weer, conform de criteria gesteld in paragraaf 2.2;
- De groene horizontale lijn geeft de scheepsbreedte weer;
- In de legenda staan de Run-ID's;
- de zwarte onderbroken lijn is de situatie voor de ingreep en de blauwe getrokken lijn de situatie na de ingreep.

4.2 Locatie 1: Hel- en Zuilespolder (HZP)

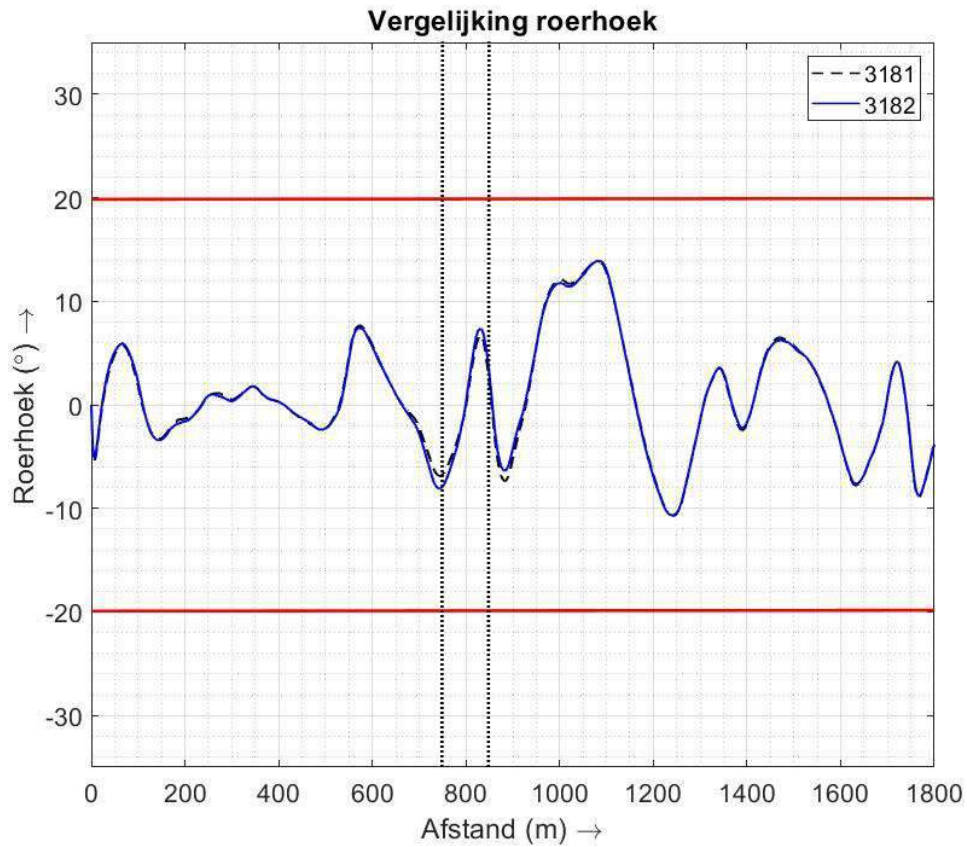
In totaal zijn er acht simulaties gedaan voor locatie 1: Hel- en Zuilespolder. De simulaties zijn uitgevoerd met vier verschillende binnenvaartschepen met een vaste telegraafstand van volle kracht vooruit. Het debiet is voor alle situaties gelijk en er wordt gekeken naar de situatie voor en na de ingreep van het project. Dit is weergegeven in Tabel 4-1. Om de invloed van de ingreep te toetsen aan de criteria, die gesteld zijn in paragraaf 2.2, worden de scenario's voor en na de ingreep per schip vergeleken. Hierbij wordt gekeken naar de beheersbaarheid van het schip door middel van het roergebruik. Daarnaast wordt er gekeken naar het ruimtebeslag door analyse van de totale padbreedte.

Tabel 4-1 Simulatieprogramma voor locatie 1.

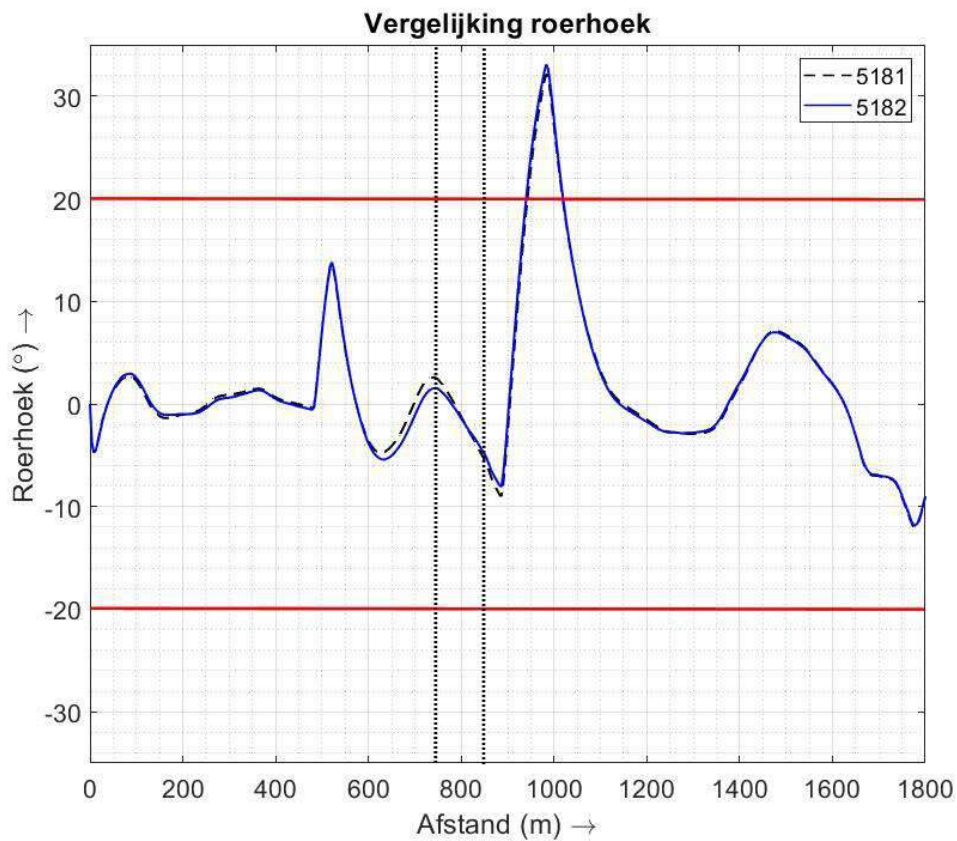
Nummer	Schip	Snelheid [m/s]	Afvoer [m ³ /s]	voor of na ingreep	Run-ID
1	Hagenaar (3)	3,05	8000	voor	3181
2		3,05	8000	na	3182
3	Groot Rijnschip (5a)	3,85	8000	voor	5181
4		3,85	8000	na	5182
5	Rijnmax (6a)	4,05	8000	voor	6181
6		4,05	8000	na	6182
7	6-baks duwstel lang (6c)	2,80	8000	voor	8181
8		2,80	8000	na	8182

Beheersbaarheid schip

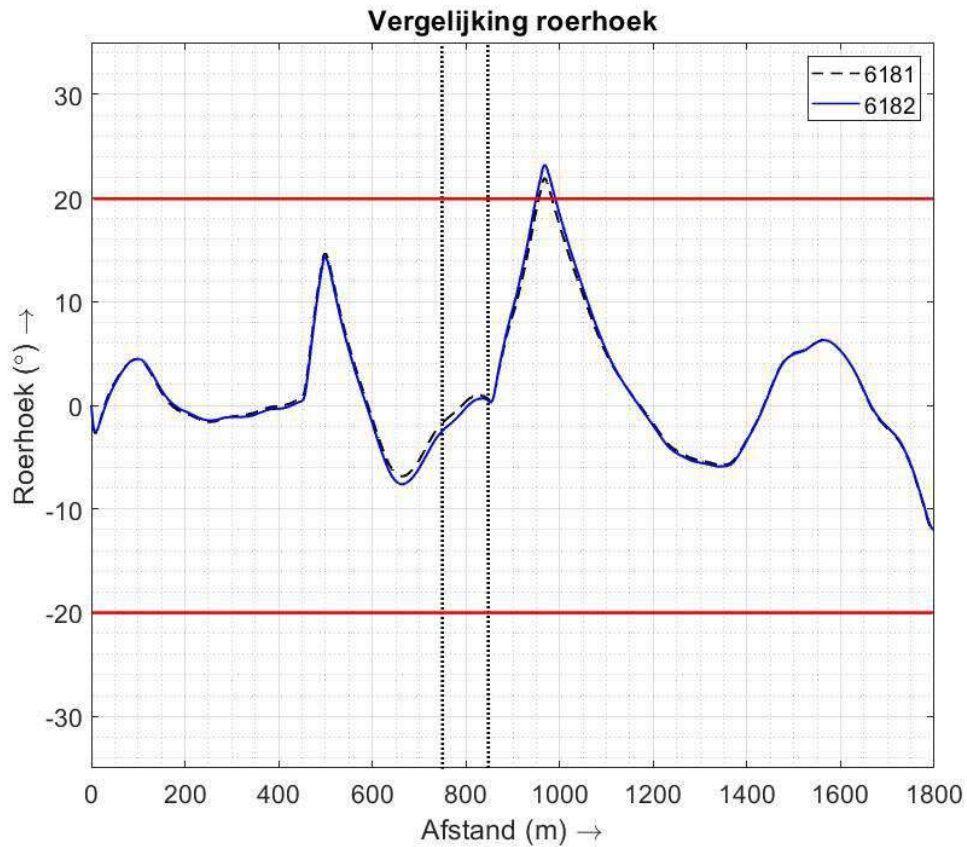
In de onderzochte scenario's is het criterium ten opzichte van het roergebruik niet overschreden, zie Figuur 4-1 tot en met Figuur 4-4. De maximale roerhoek die gevonden wordt ter hoogte van de uitstroom is 12 graden voor het 6-baksduwstel. Daarnaast is het verschil in roergebruik voor de ingreep en na de ingreep maximaal 1 graad voor alle vier de binnenvaartschepen. De pieken van de roerhoek ter hoogte van 500 m en 1000 m zijn de geplande bochten die ingezet worden om de track te volgen. Vooral bij het 6-baksduwstel heeft de geplande bocht op 1000 m invloed op het roergebruik tijdens de passage van de uitstroom. De lengte van dit duwstel en de daar bijhorende vooruitkijklengte van 270 meter zorgen ervoor dat dit schip de bocht naar bakboord inzet tijdens de passage van de uitstroom.



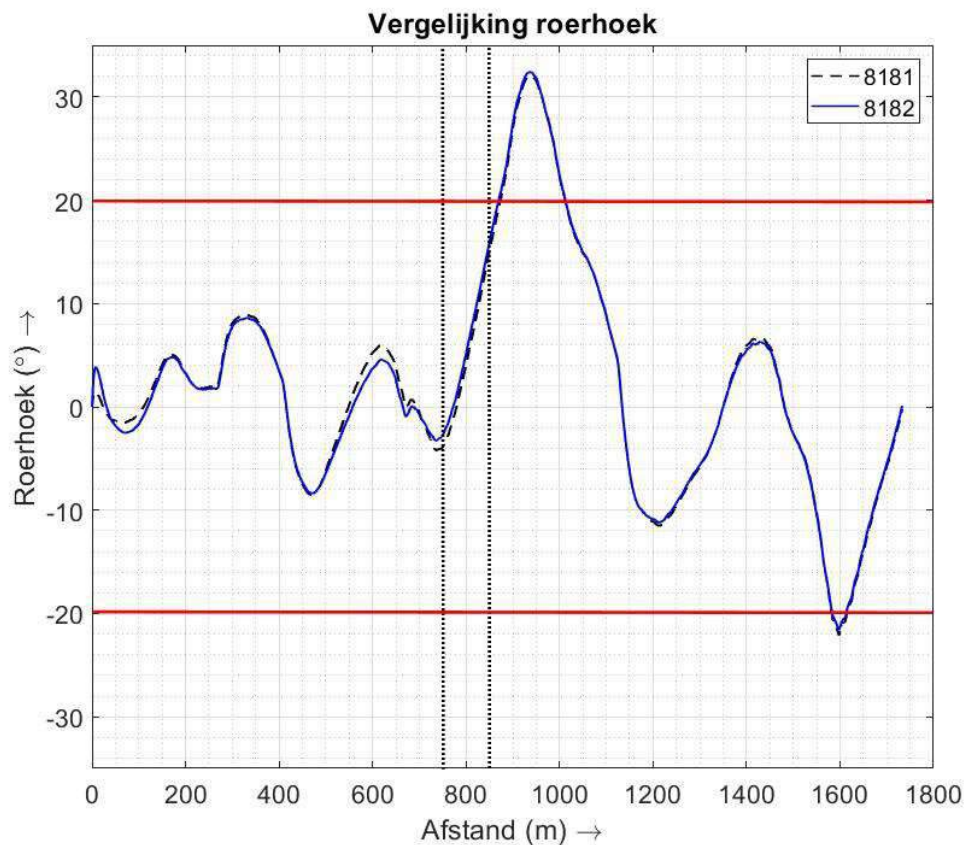
Figuur 4-1 *Vergelijking roerhoeken M3-klasse binnenvaartschip op locatie 1.*



Figuur 4-2 *Vergelijking roerhoeken M8-klasse binnenvaartschip op locatie 1.*



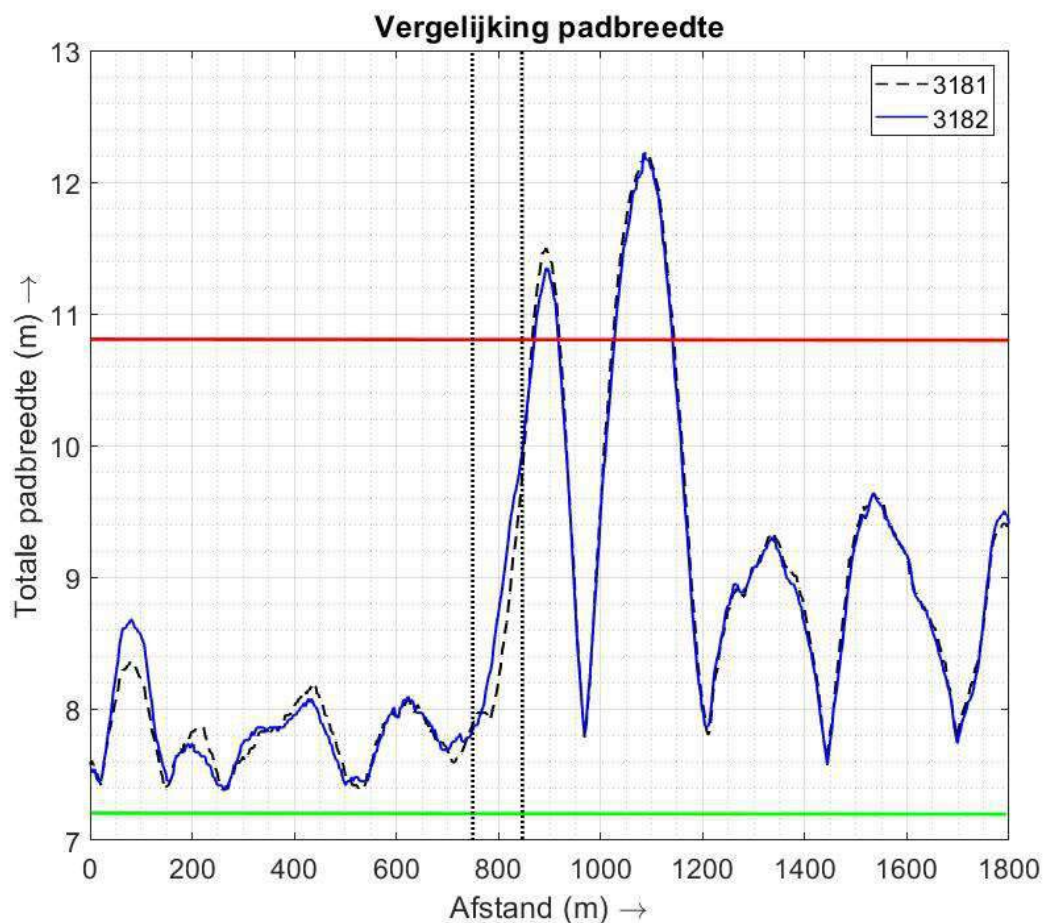
Figuur 4-3 *Vergelijking roerhoeken M12-klasse binnenvaartschip op locatie 1.*



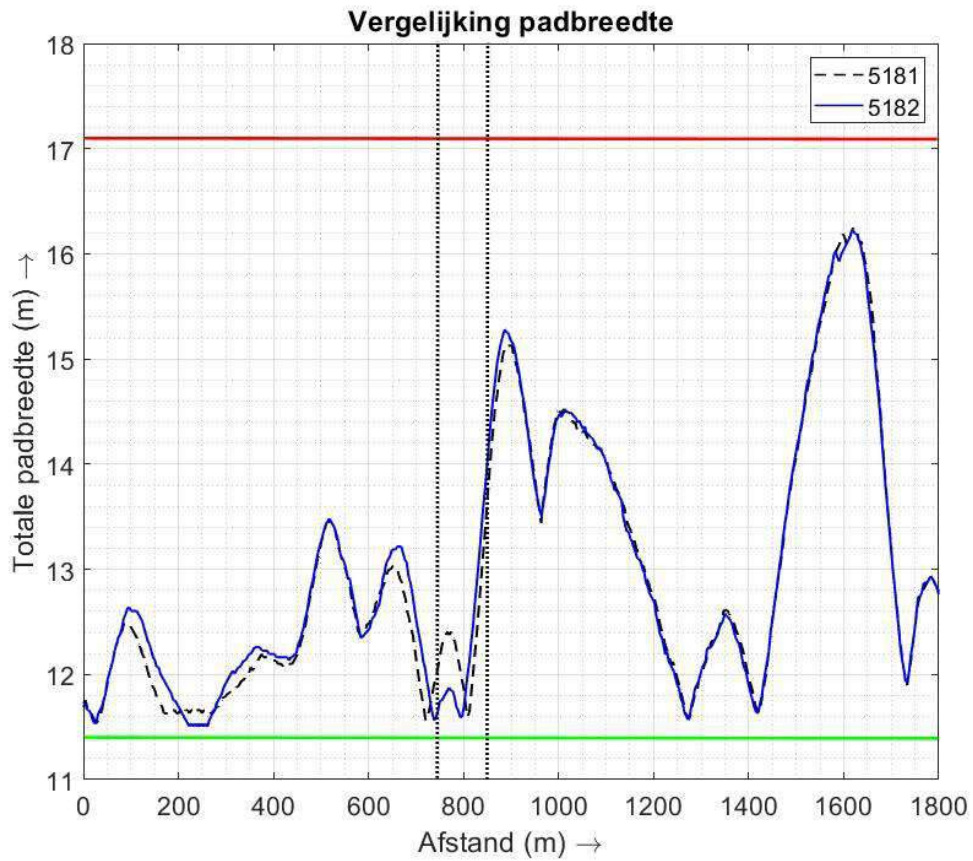
Figuur 4-4 *Vergelijking roerhoeken BII-6I-klasse binnenvaartschip op locatie 1.*

Ruimtebeslag

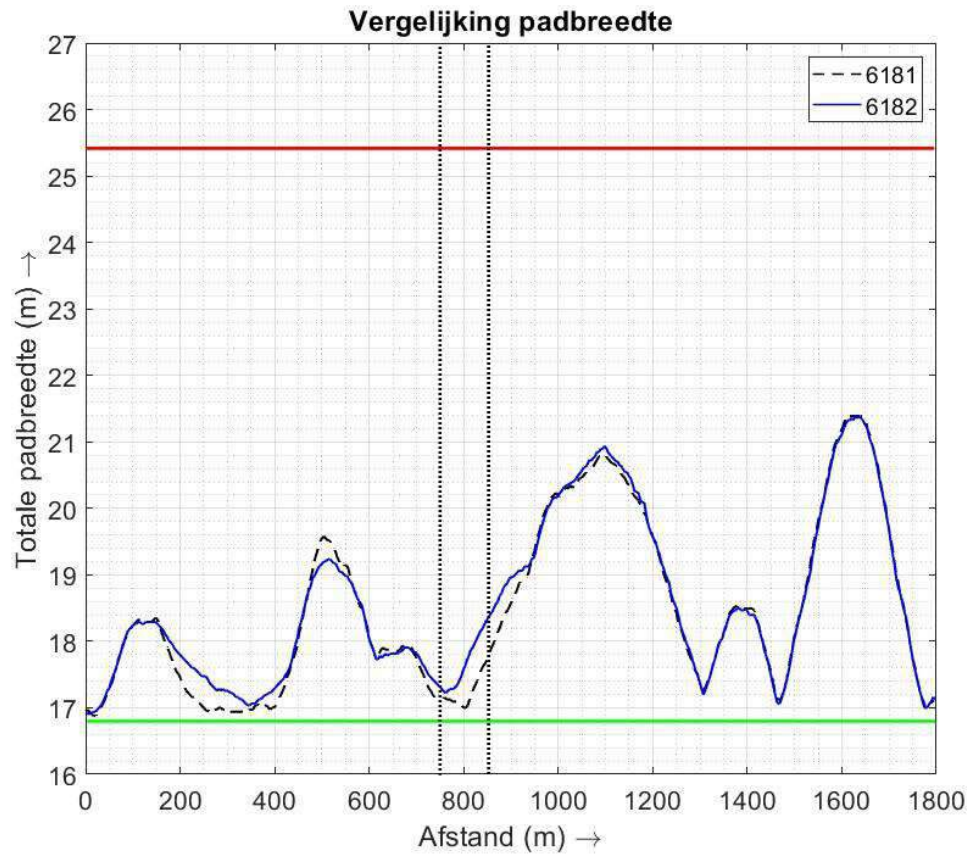
In de onderzochte scenario's is het criterium ten opzichte van de toename van de padbreedte niet overschreden, zie Figuur 4-5 tot en met Figuur 4-8. Het verschil in padbreedte voor en na de ingreep is minimaal. Het verschil in padbreedte is maximaal een halve meter bij het Groot Rijnschip. Voor de Hagenaar is de padbreedte na passage over de limiet ten opzichte van de situatie zonder dwarsstroom. De Hagenaar is het kleinste schip van de vier, waardoor de Hagenaar van alle vier de schepen het dichtstbij de uitstroom vaart en een relatief lage snelheid heeft. Hierdoor ondervindt de Hagenaar de meeste invloed van de dwarsstroom. Het verschil voor en na de ingreep is echter maar 20 centimeter, waardoor de toename in padbreedte veroorzaakt door de ingreep minimaal is. Voor de overige drie schepen heeft het dwarsstroomveld dermate weinig invloed dat het verschil in padbreedte ruim onder het criterium van 0,5B blijft. De piek in padbreedte ter hoogte van 1000 m wordt veroorzaakt door de geplande bocht die ingezet wordt om de vaarbaan te blijven volgen. Dit wordt buiten beschouwing gelaten omdat dit geen effect is dat door het verschil in dwarsstroom wordt veroorzaakt.



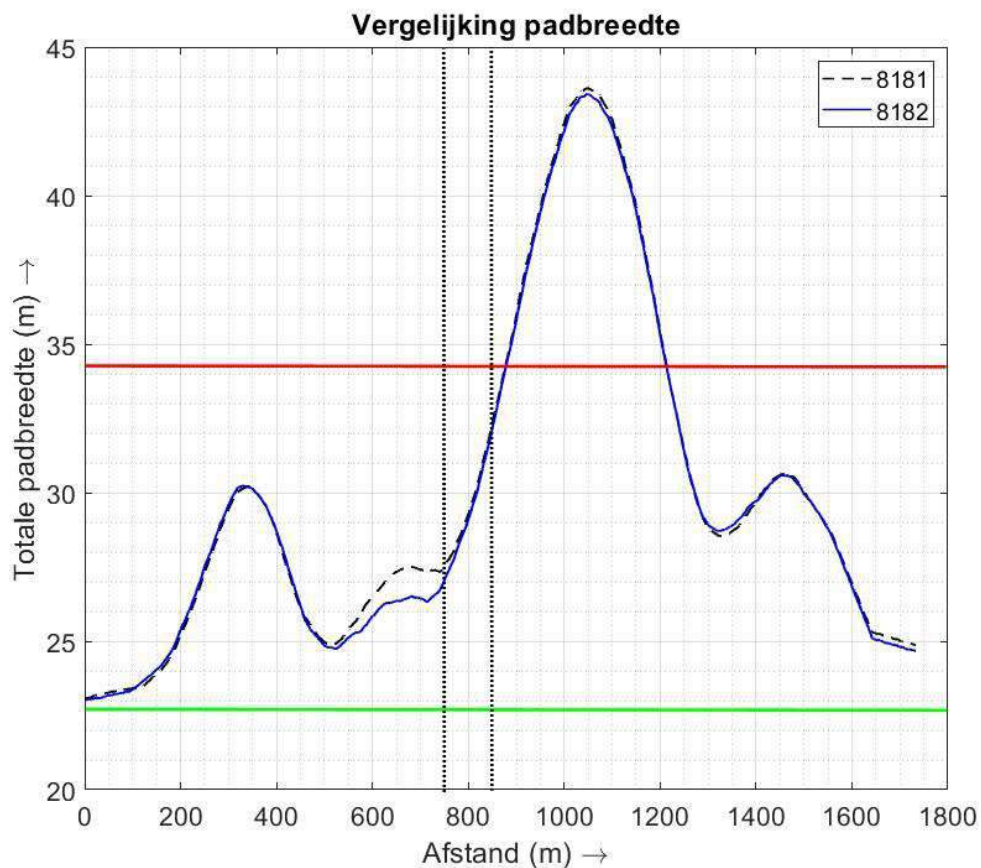
Figuur 4-5 Vergelijking padbreedte M3-klasse binnenvaartschip op locatie 1.



Figuur 4-6 *Vergelijking padbreedte M8-klasse binnenvaartschip op locatie 1.*



Figuur 4-7 *Vergelijking padbreedte M12-klasse binnenvaartschip op locatie 1.*



Figuur 4-8 Vergelijking padbreedte BII-6I-klasse binnenvaartschip op locatie 1.

Voor locatie 1 levert de toename van de dwarsstroom, als gevolg van het project, het resultaat op zoals weergegeven in Tabel 4-2. Een positief getal in de tabel correspondeert met een toename en een negatief getal in de tabel correspondeert met een afname.

Tabel 4-2 Resultaten voor locatie 1.

Nummer	Schip	Run-ID	Max. padbreedte (m)	Toename padbreedte (m)	Max. roerhoek (°)	Toename roerhoek (°)
1	Hagenaar	3181	9,7	0,2	6,8	0,5
2		3182	9,9			
3	Groot Rijnschip	5181	13,6	0,4	5,5	-0,5
4		5182	14,0			
5	Rijnmax	6181	17,7	0,6	1,2	0,8
6		6182	18,3			
7	6-baksduwstel lang	8181	32,4	-0,1	15,0	1,0
8		8182	32,3			

4.3 Locatie 2: Het Gors en de Aanwas (GA)

In totaal zijn er 16 simulaties gedaan voor locatie 2: Het Gors en de Aanwas. De simulaties zijn uitgevoerd met vier verschillende binnenvaartschepen met een vaste telegraafstand van volle kracht vooruit. Er wordt gekeken naar de situatie voor en na de ingreep van het project voor twee verschillende debieten. Dit is weergegeven in Tabel 4-3. Om de invloed van de ingreep te toetsen aan de criteria, die gesteld zijn in paragraaf 2.2, worden de scenario's voor en na de ingreep per schip vergeleken.

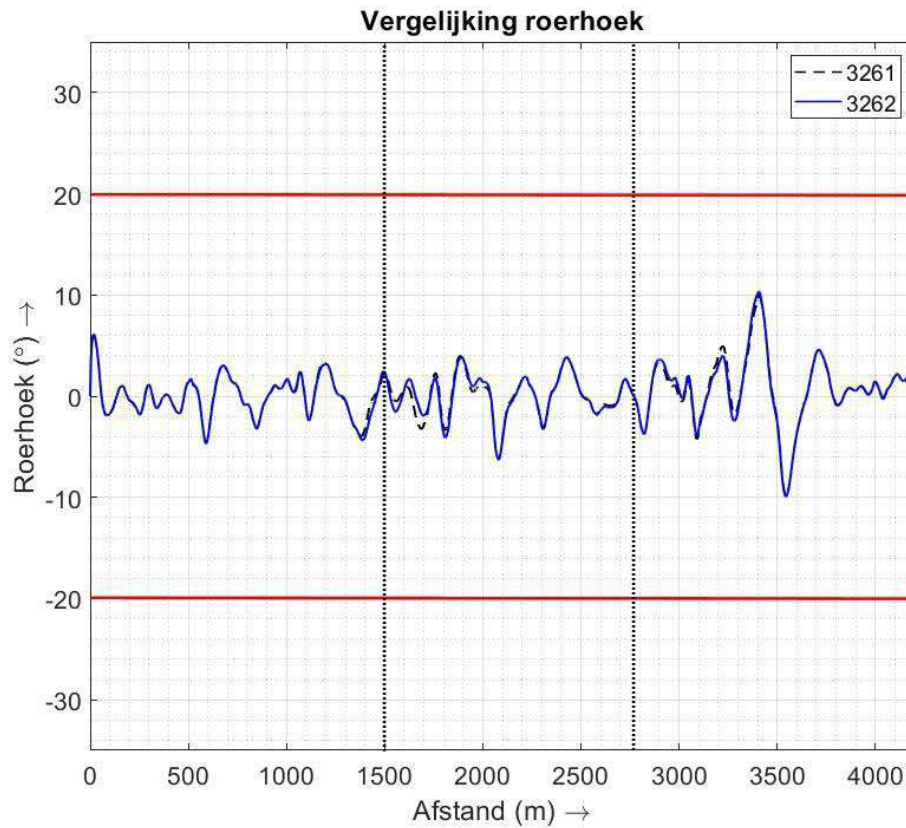
Tabel 4-3 Simulatieprogramma voor locatie 2.

Nummer	Schip	Snelheid [m/s]	Locatie	Afvoer [m ³ /s]	voor of na ingreep	Run-ID
1	Hagenaar (3)	3,05	GA - Boven Merwede (2)	6000	voor	3261
2		3,05	GA - Boven Merwede (2)	6000	na	3262
3		3,05	GA - Boven Merwede (2)	8000	voor	3281
4		3,05	GA - Boven Merwede (2)	8000	na	3282
5	Groot Rijnschip (5a)	3,85	GA - Boven Merwede (2)	6000	voor	5261
6		3,85	GA - Boven Merwede (2)	6000	na	5262
7		3,85	GA - Boven Merwede (2)	8000	voor	5281
8		3,85	GA - Boven Merwede (2)	8000	na	5282
9	Rijnmax (6a)	4,05	GA - Boven Merwede (2)	6000	voor	6261
10		4,05	GA - Boven Merwede (2)	6000	na	6262
11		4,05	GA - Boven Merwede (2)	8000	voor	6281
12		4,05	GA - Boven Merwede (2)	8000	na	6282
13	6-baks duwstel lang (6c)	2,80	GA - Boven Merwede (2)	6000	voor	8261
14		2,80	GA - Boven Merwede (2)	6000	na	8262
15		2,80	GA - Boven Merwede (2)	8000	voor	8281
16		2,80	GA - Boven Merwede (2)	8000	na	8282

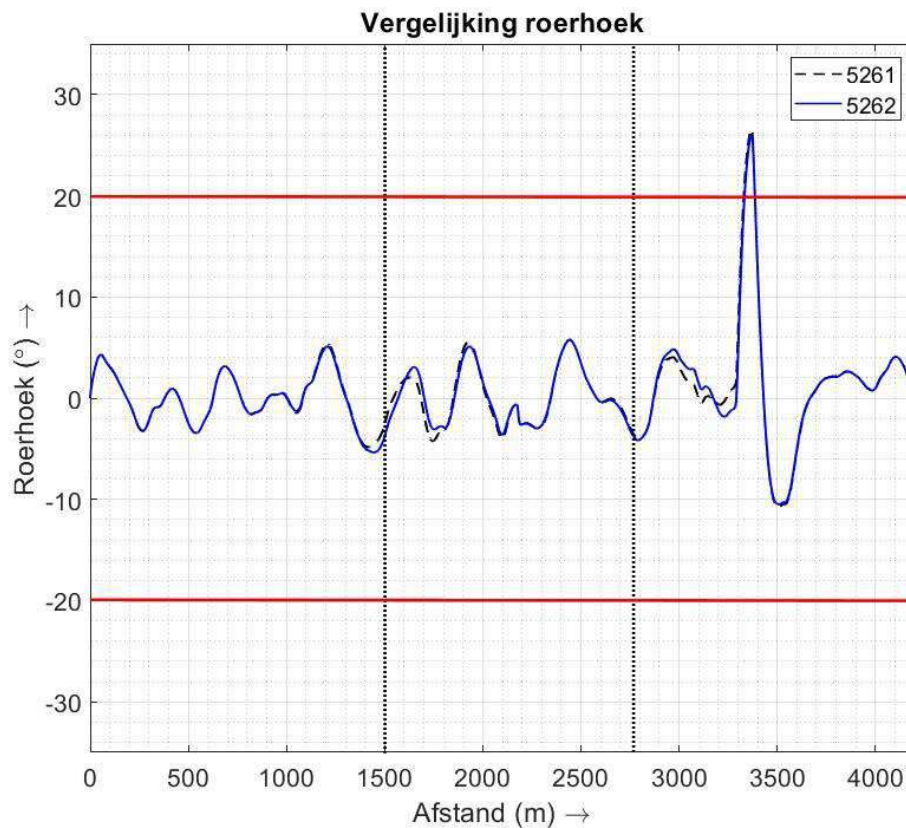
Om de invloed van de toename in dwarsstroom goed te kunnen vergelijken, worden de figuren en resultaten gegroepeerd per debiet. De twee debieten hebben beide een andere invloed op de dwarsstroming en dus ook een ander invloed op het roergebruik en padbreedte van de vier verschillende binnenvaartschepen. Daarnaast zijn er op deze locatie twee uitstromen waar de dwarsstroom-criteria overschreden wordt. Deze uitstromen liggen bij RKM 955,6 en RKM 954,3 en dat is respectievelijk 1500 m en 2775 m op de X-as van de figuren.

Beheersbaarheid schip bij een afvoer van 6000 m³/s

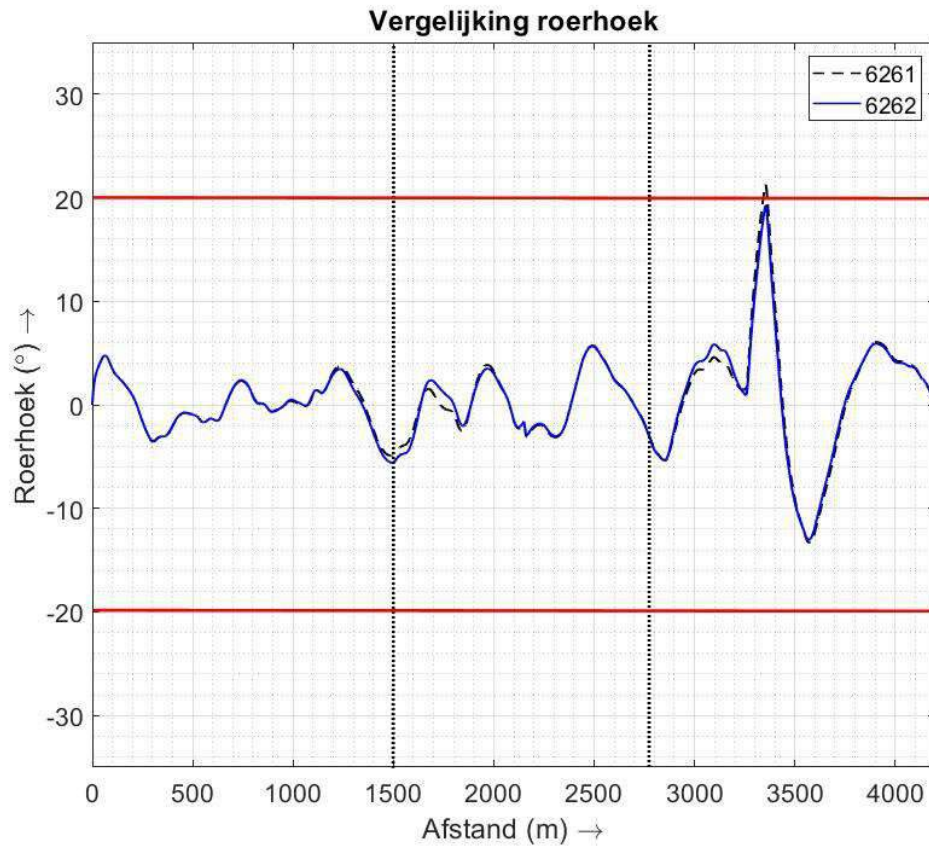
In de onderzochte scenario's is het criterium ten opzichte van het roergebruik niet overschreden, zie Figuur 4-9 tot en met Figuur 4-12. De maximale roerhoek die gevonden wordt ter hoogte van de uitstromen is 5,6 graden voor het Rijnmax binnenvaartschip. Daarnaast is het verschil in roergebruik voor de ingreep en na de ingreep maximaal anderhalve graad voor alle vier de binnenvaartschepen. De piek van de roerhoek ter hoogte van 3350 m is de geplande bocht die ingezet wordt om de track te volgen.



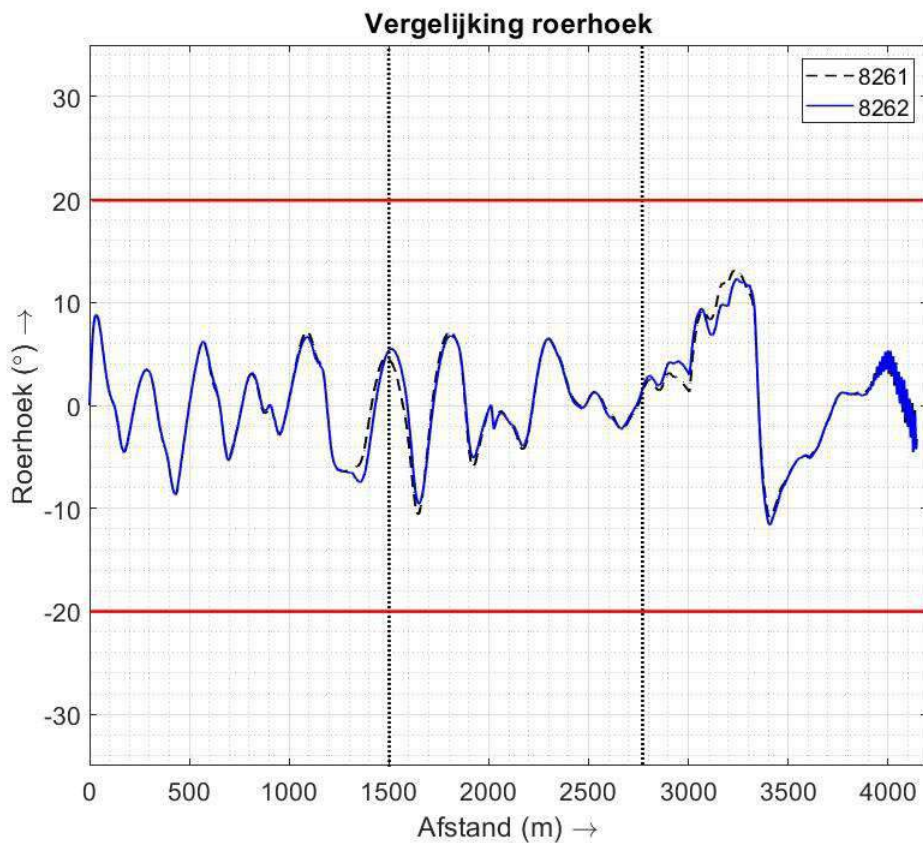
Figuur 4-9 *Vergelijking roerhoeken M3-klasse binnenvaartschip op locatie 2*



Figuur 4-10 *Vergelijking roerhoeken M8-klasse binnenvaartschip op locatie 2*



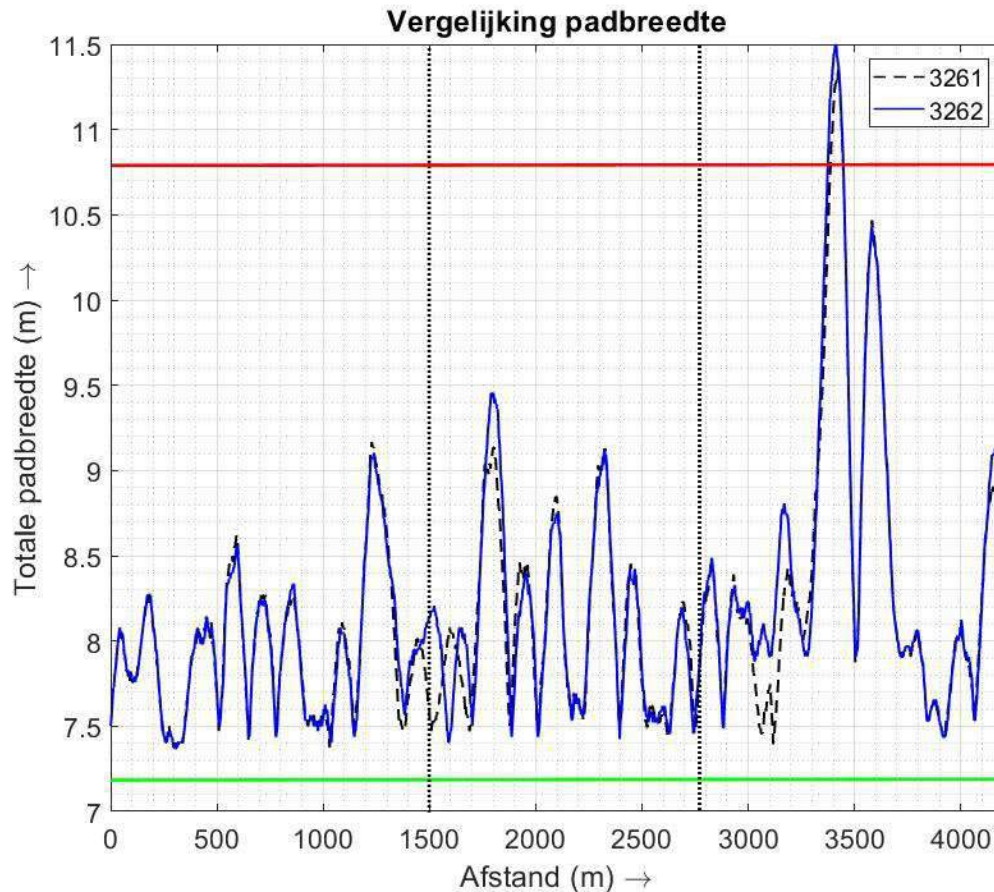
Figuur 4-11 *Vergelijking roerhoeken M12-klasse binnenvaartschip op locatie 2*



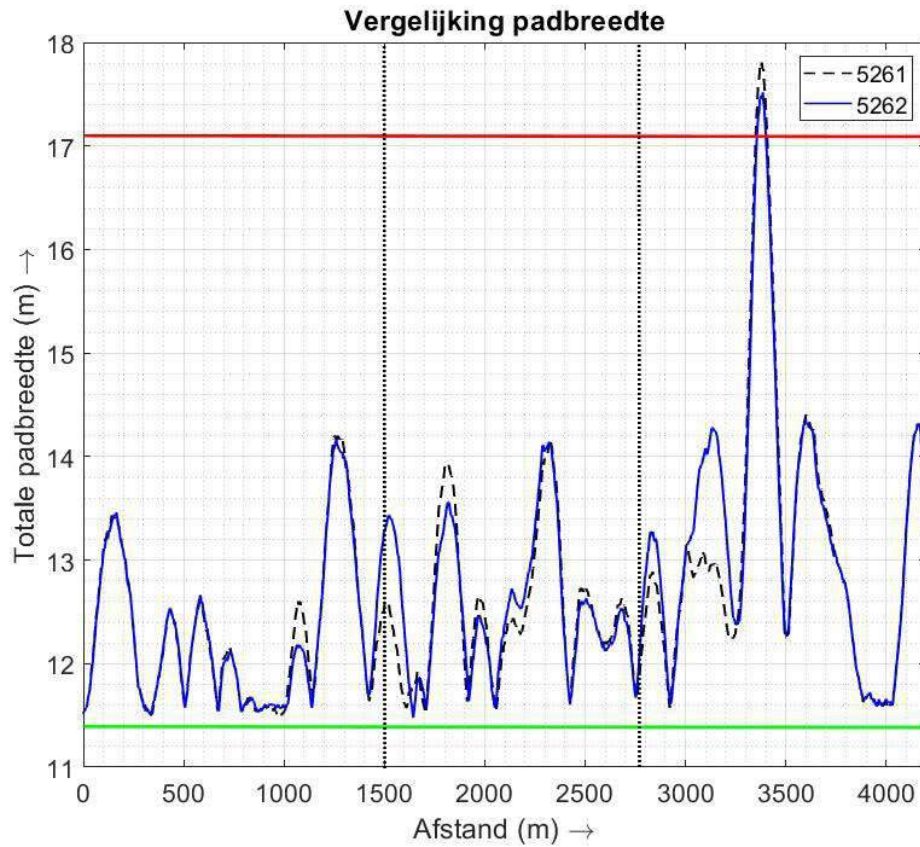
Figuur 4-12 *Vergelijking roerhoeken BII-6I-klasse binnenvaartschip op locatie 2*

Ruimtebeslag bij een afvoer van 6000 m³/s

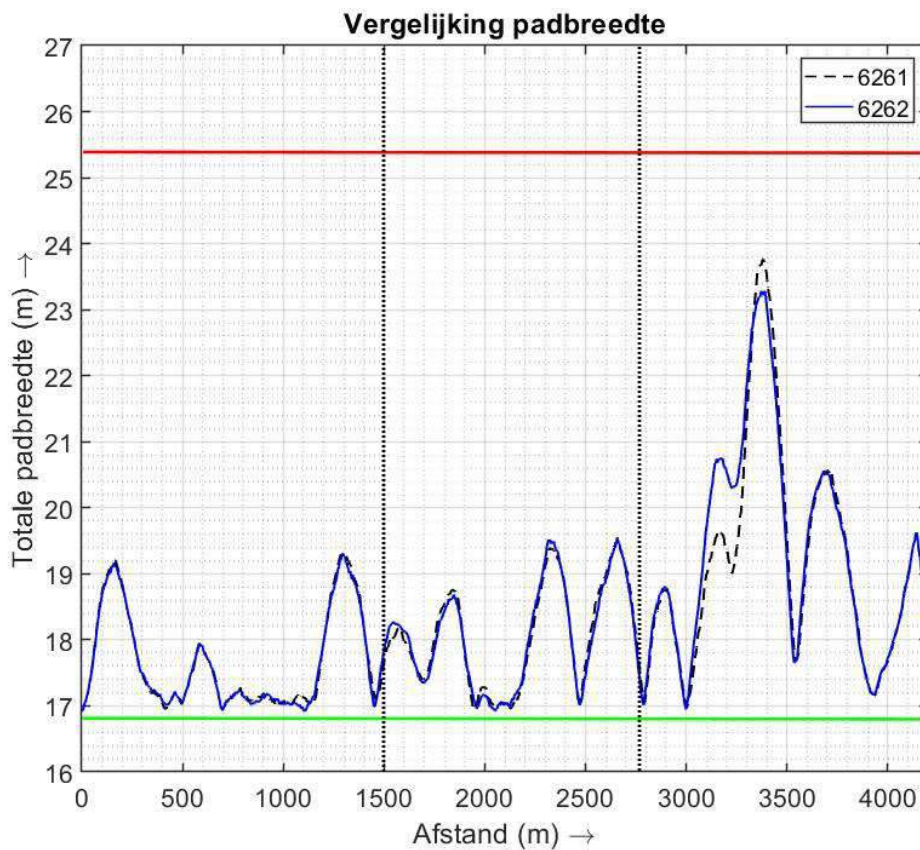
In de onderzochte scenario's is het criterium ten opzichte van de toename van de padbreedte niet overschreden, zie Figuur 4-13 tot en met Figuur 4-16. Het verschil in padbreedte voor en na de ingreep is minimaal. Het verschil in padbreedte is maximaal 1,2 meter bij het 6-bakduwstel. De piek in padbreedte ter hoogte van 3350 m wordt veroorzaakt door de geplande bocht die ingezet wordt om de vaarbaan te blijven volgen. Dit effect wordt buiten beschouwing gelaten.



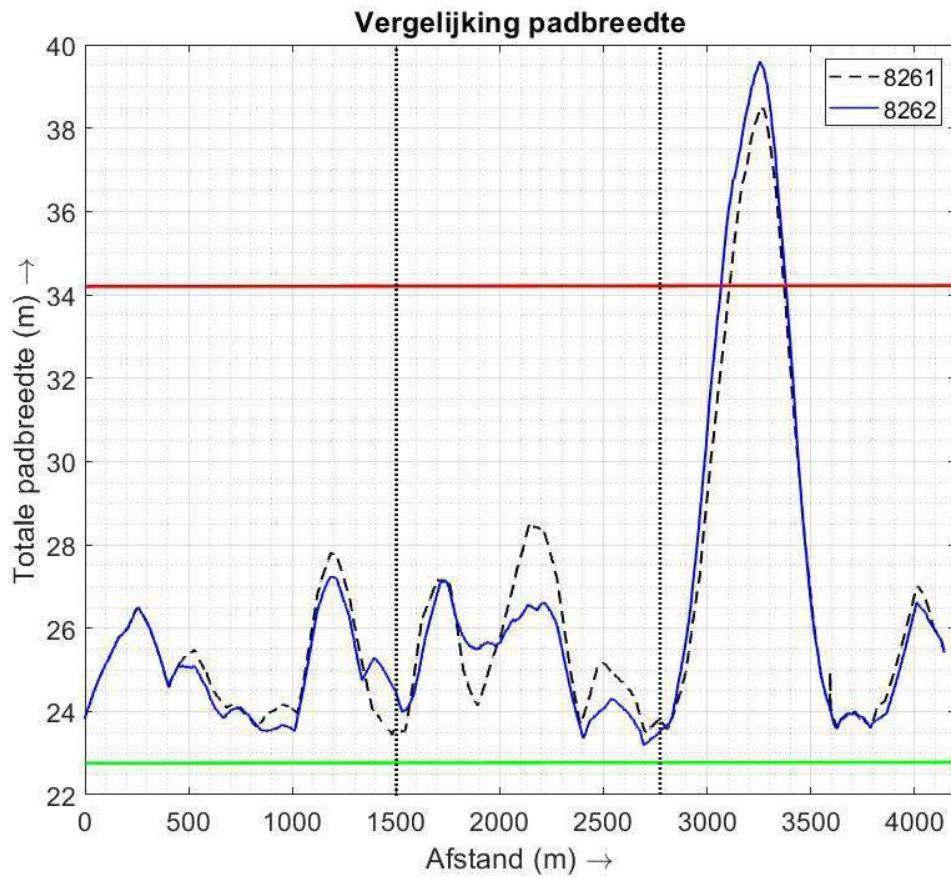
Figuur 4-13 Vergelijking padbreedte M3-klasse binnenvaartschip op locatie 2.



Figuur 4-14 Vergelijking padbreedte M8-klasse binnenvaartschip op locatie 2.



Figuur 4-15 Vergelijking padbreedte M12-klasse binnenvaartschip op locatie 2.



Figuur 4-16 Vergelijking padbreedte BII-6I-klasse binnenvaartschip op locatie 2.

Voor locatie 2 levert de toename van de dwarsstroom bij een debiet van $6000 \text{ m}^3/\text{s}$, als gevolg van het project, het resultaat op zoals weergegeven in Tabel 4-4 en Tabel 4-5. Een positief getal in de tabel correspondeert met een toename en een negatief getal in de tabel correspondeert met een afname.

Tabel 4-4 Resultaten voor locatie 2 bij RKM 955,6 bij een afvoer van $6000 \text{ m}^3/\text{s}$.

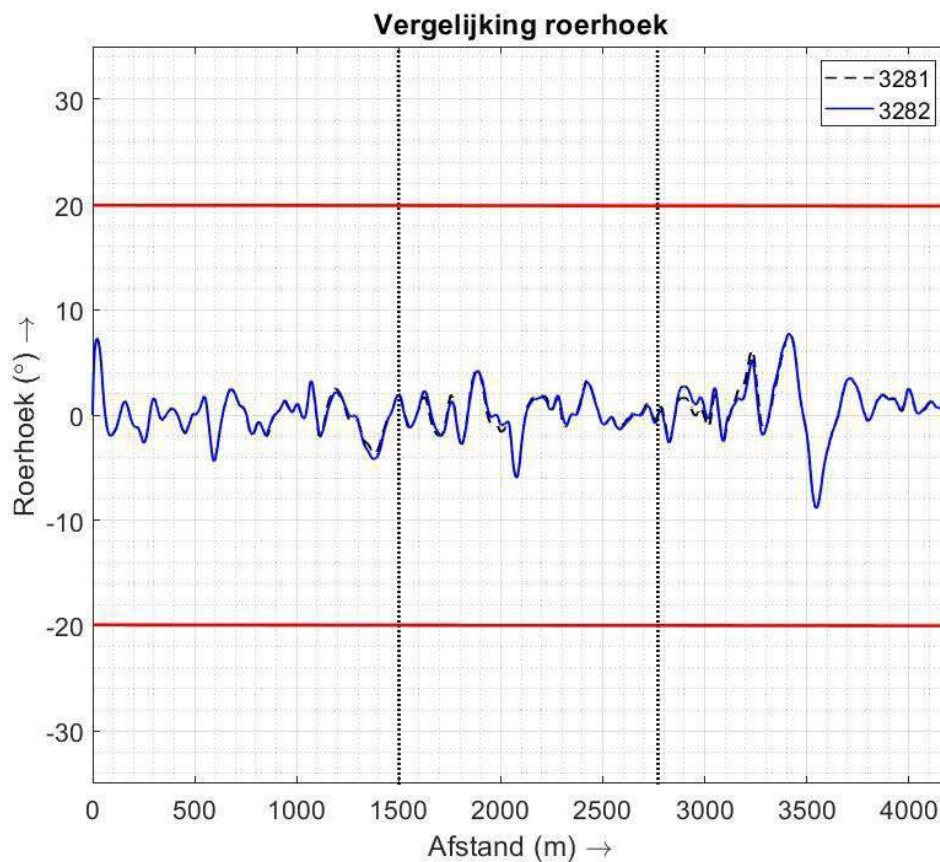
Nummer	Schip	Run-ID	Max. padbreedte (m)	Toename padbreedte (m)	Max. roerhoek (°)	Toename roerhoek (°)
1	Hagenaar	3261	7,5	0,65	2,0	0,4
2		3262	8,15		2,4	
3	Groot Rijnschip	5261	12,6	0,85	2,5	1,5
4		5262	13,45		4,0	
5	Rijnmax	6261	17,65	0,2	4,9	0,7
6		6262	17,85		5,6	
7	6-baksduwstel lang	8261	23,4	1,2	4,5	1
8		8262	24,6		5,5	

Tabel 4-5 Resultaten voor locatie 2 bij RKM 954,3 bij een afvoer van 6000 m³/s.

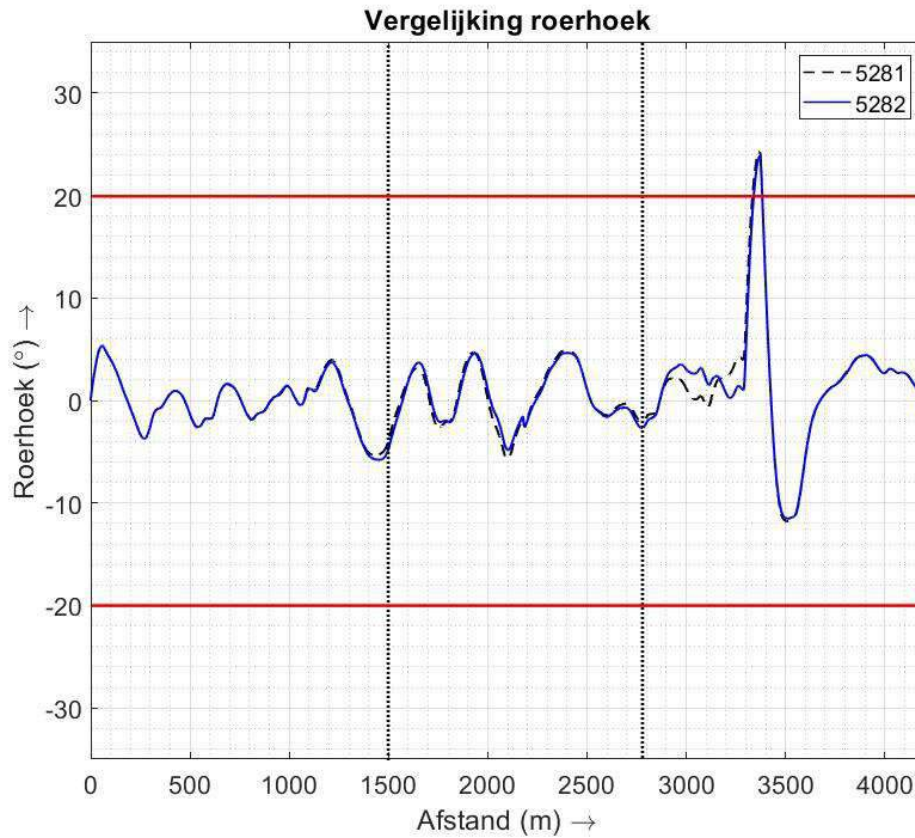
Nummer	Schip	Run-ID	Max. padbreedte (m)	Toename padbreedte (m)	Max. roerhoek (°)	Toename roerhoek (°)
1	Hagenaar	3261	8,2	0,1	3,2	0,4
2		3262	8,3			
3	Groot Rijnschip	5261	12,9	0,4	4,0	0,2
4		5262	13,3			
5	Rijnmax	6261	17,2	0,1	4,5	0,2
6		6262	17,3			
7	6-baksduwstel lang	8261	23,5	0,35	3,2	1,0
8		8262	23,85			

Beheersbaarheid schip bij een afvoer van 8000 m³/s

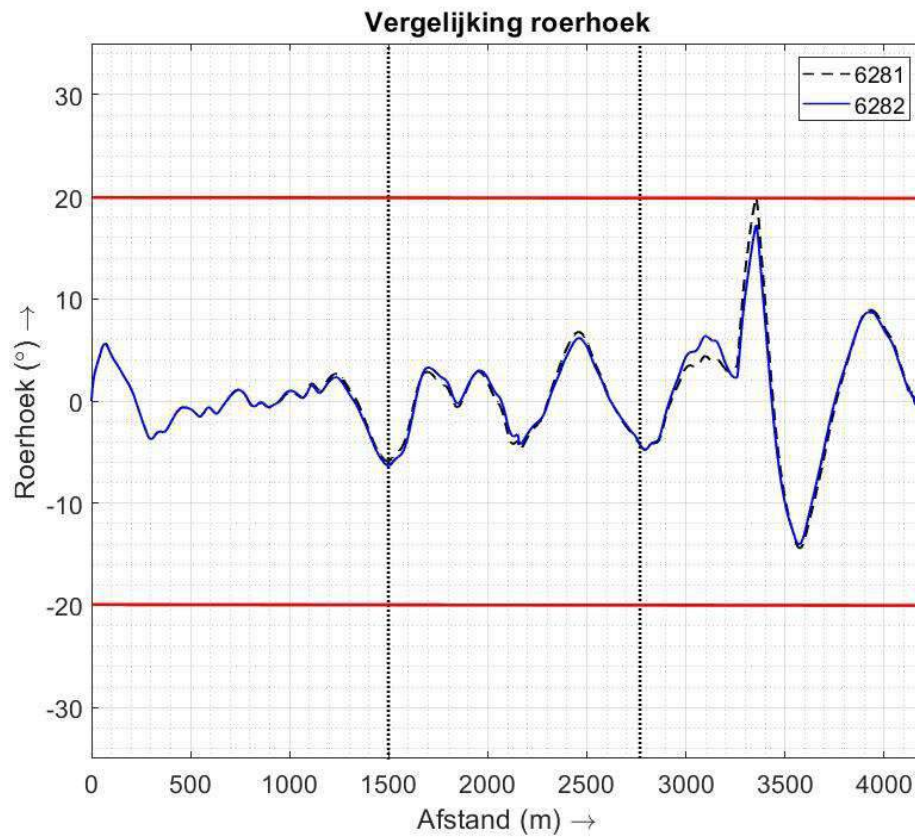
In de onderzochte scenario's is het criterium ten opzichte van het roergebruik niet overschreden, zie Figuur 4-17 tot en met Figuur 4-20. De maximale roerhoek die gevonden wordt ter hoogte van de uitstromen is 6,4 graden voor het Rijnmax binnenvaartschip. Daarnaast is het verschil in roergebruik voor de ingreep en na de ingreep maximaal 0,8 graad voor alle vier de binnenvaartschepen. De piek van de roerhoek ter hoogte van 3350 m is de geplande bocht die ingezet wordt om de track te volgen.



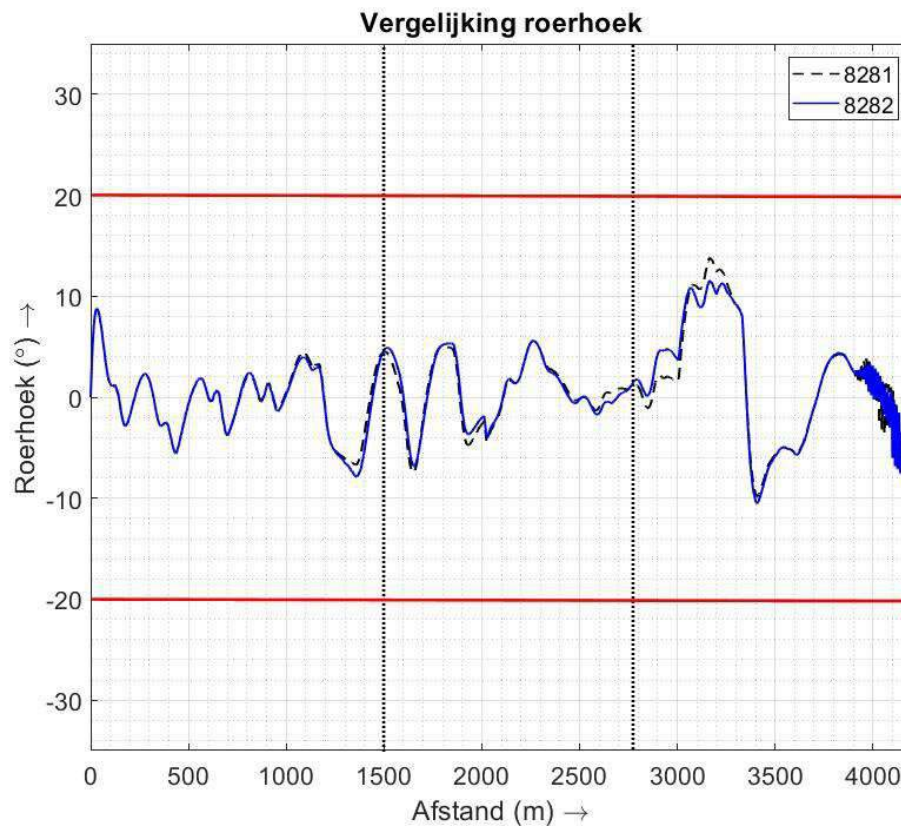
Figuur 4-17 Vergelijking roerhoeken M3-klasse binnenvaartschip op locatie 2



Figuur 4-18 *Vergelijking roerhoeken M8-klasse binnenvaartschip op locatie 2*



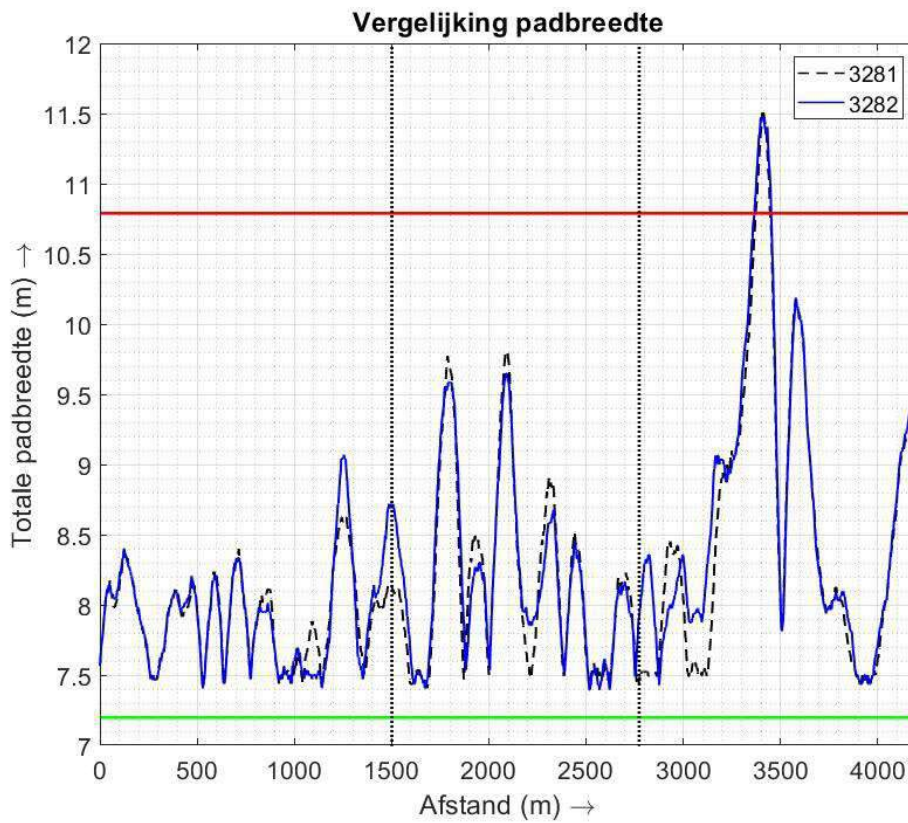
Figuur 4-19 *Vergelijking roerhoeken M12-klasse binnenvaartschip op locatie 2*



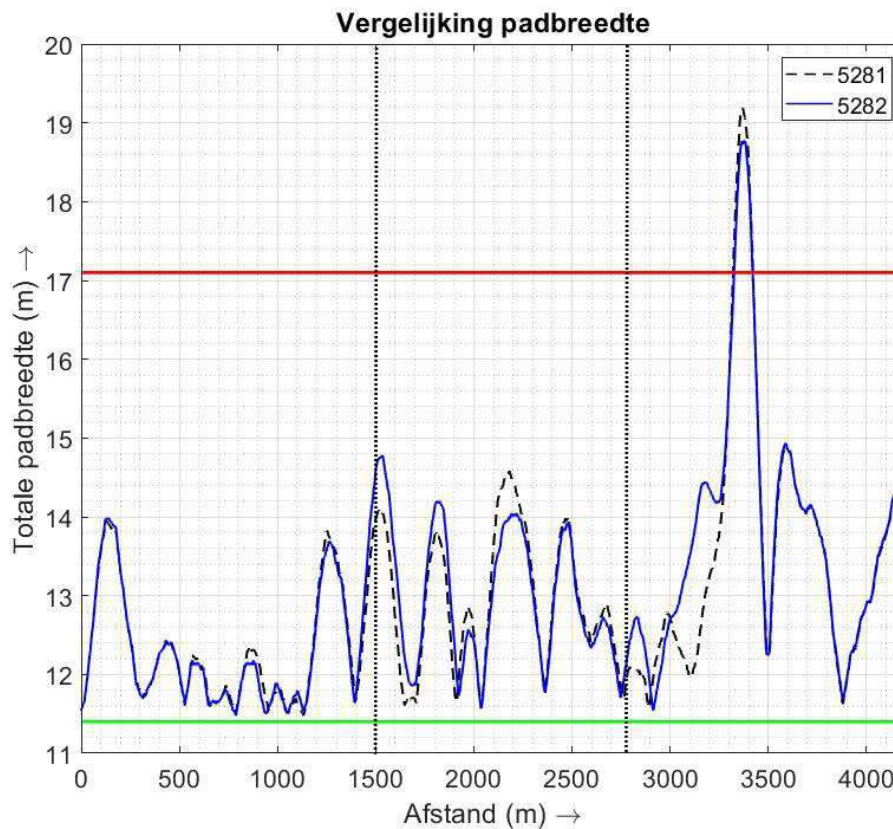
Figuur 4-20 *Vergelijking roerhoeken BII-6I-klasse binnenvaartschip op locatie 2*

Ruimtebeslag bij een afvoer van 8000 m³/s

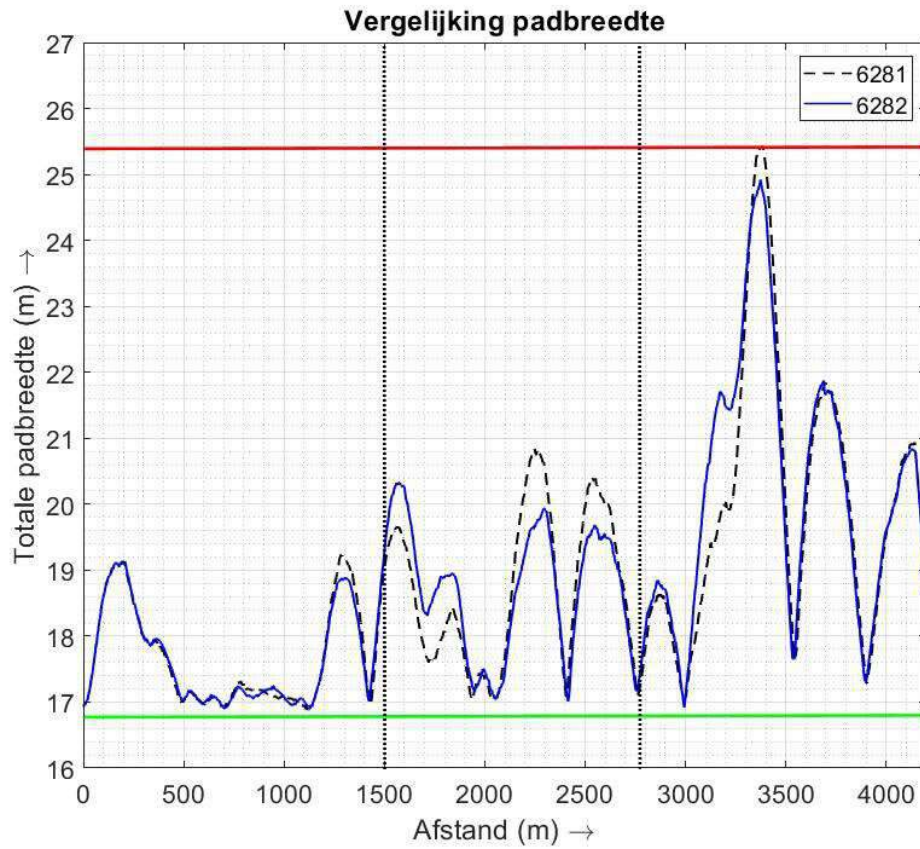
In de onderzochte scenario's is het criterium ten opzichte van de toename van de padbreedte niet overschreden, zie Figuur 4-21 tot en met 4-24. Het verschil in padbreedte voor en na de ingreep is minimaal. Het verschil in padbreedte is maximaal 1,1 meter bij het 6-baksduwstel. De piek in padbreedte ter hoogte van 3350 m wordt veroorzaakt door de geplande bocht die genomen wordt om de vaarbaan te blijven volgen. Dit effect wordt buiten beschouwing gelaten.



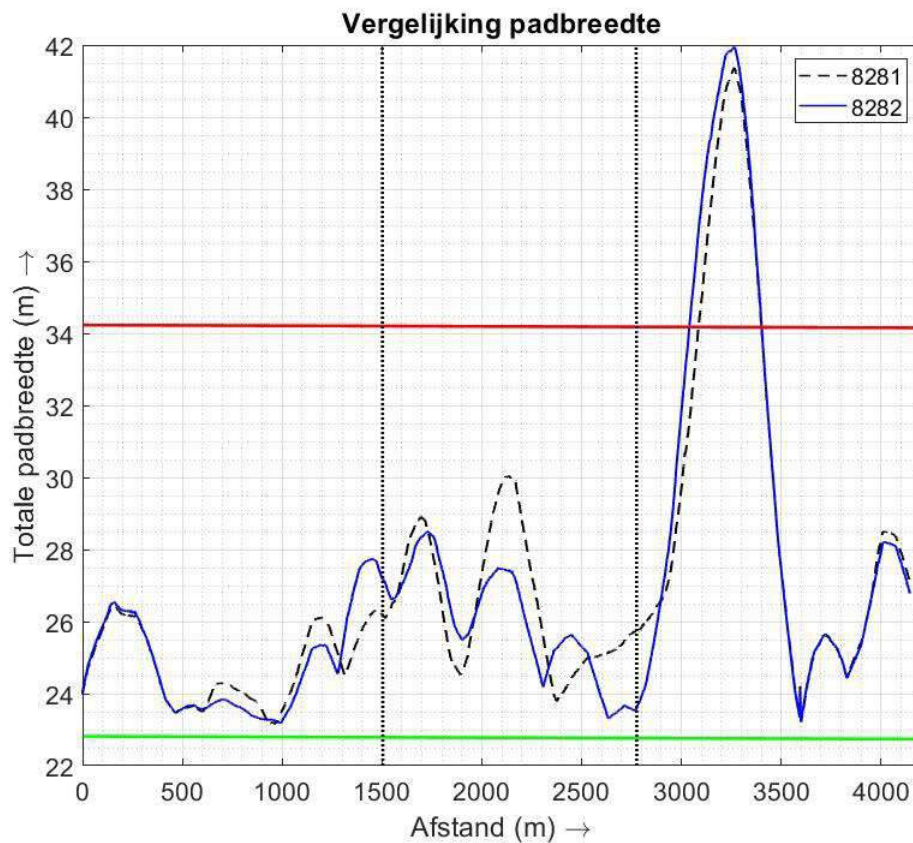
Figuur 4-21 *Vergelijking padbreedte M3-klasse binnenvaartschip op locatie 2*



Figuur 4-22 *Vergelijking padbreedte M8-klasse binnenvaartschip op locatie 2*



Figuur 4-23 *Vergelijking padbreedte M12-klasse binnenvaartschip op locatie 2*



Figuur 4-24 *Vergelijking padbreedte BII-6I-klasse binnenvaartschip op locatie 2*

Voor locatie 2 levert de toename van de dwarsstroom bij een debiet van 8000 m³/s, als gevolg van het project, het resultaat op zoals weergegeven in Tabel 4-6 en Tabel 4-7. Een positief getal in de tabel correspondeert met een toename en een negatief getal in de tabel correspondeert met een afname.

Tabel 4-6 Resultaten voor locatie 2 bij RKM 955,6 bij een afvoer van 8000 m³/s.

Nummer	Schip	Run-ID	Max. padbreedte (m)	Toename padbreedte (m)	Max. roerhoek (°)	Toename roerhoek (°)
1	Hagenaar	3281	8,15	0,55	1,8	0,2
2		3282	8,7		2,0	
3	Groot Rijnschip	5281	14,1	0,65	4,0	0,8
4		5282	14,75		4,8	
5	Rijnmax	6281	19,65	0,65	5,9	0,5
6		6282	20,3		6,4	
7	6-baksduwstel lang	8281	26,2	1,1	4,4	0,5
8		8282	27,3		4,9	

Tabel 4-7 Resultaten voor locatie 2 bij RKM 954,3 bij een afvoer van 8000 m³/s.

Nummer	Schip	Run-ID	Max. padbreedte (m)	Toename padbreedte (m)	Max. roerhoek (°)	Toename roerhoek (°)
1	Hagenaar	3281	7,5	0,85	0,5	0,3
2		3282	8,35		0,8	
3	Groot Rijnschip	5281	12,1	0,6	2,0	0,5
4		5282	12,7		2,5	
5	Rijnmax	6281	18,6	0,2	4,6	0,05
6		6282	18,8		4,65	
7	6-baksduwstel lang	8281	25,7	-1,9	1,2	0,6
8		8282	23,6		1,8	

5 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

In een project op de Merwede, uitgevoerd door Witteveen + Bos, worden diverse maatregelen genomen. Als gevolg van deze maatregelen zal de stroming op de rivier veranderen. In dit onderzoek is onderzocht of de aanpassingen op twee locaties leiden tot een onveilige situatie voor de scheepvaart.

Op grond van de resultaten van het onderzoek wordt de volgende hoofdconclusie geformuleerd:

- Het veranderende stroombeeld door de ingreep van het project leidt niet tot onveilige situaties voor de scheepvaart.

Onderbouwing van de hoofdconclusie:

- Het verschil in padbreedte voor de ingreep van het project en na de ingreep van het project is maximaal 1,2 meter.
- Het verschil in roergebruik voor de ingreep van het project en na de ingreep van het project is maximaal 1,5 graden.

Op grond van de resultaten van het onderzoek worden de volgende deelconclusies geformuleerd:

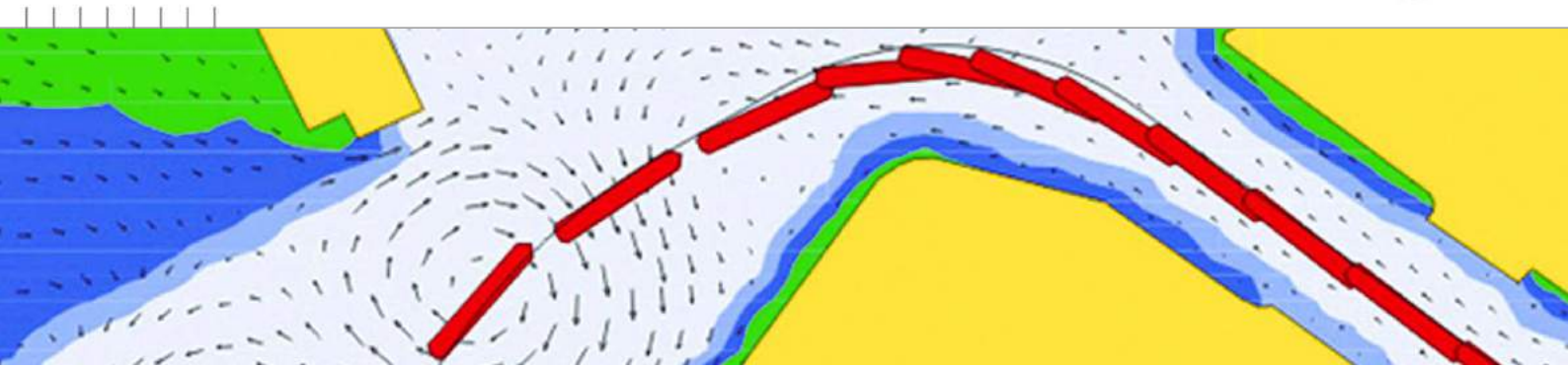
- De situatie op de beide locaties voldoet voor en na ingreep van het project aan de Richtlijnen Vaarwegen 2020.
- Het criterium ten aanzien van de toename van de padbreedte, kleiner dan $0,5 \cdot B$ (scheepsbreedte) boven de padbreedte die het schip nodig heeft zonder dwarsstroom, ten gevolge van de dwarsstroom is in de onderzochte scenario's geen enkele keer overschreden.
- Het criterium ten aanzien van het roergebruik, maximum uitslag van 20° van het roer ten gevolge van de dwarsstroom is in de onderzochte scenario's geen enkele keer overschreden.

REFERENTIES

- [Ref 1.] Rivierkundig Beoordelingskader voor ingrepen in de Grote Rivieren, Versie 4.0, Directoraat Generaal Rijkswaterstaat, 23 januari 2017.
- [Ref 2.] Richtlijnen Vaarwegen 2020, RVW 2020, Directoraat Generaal Rijkswaterstaat, november 2020.

BIJLAGEN

BIJLAGE A: SHIPMA LEAFLET



SHIPMA 7

Fast-time simulation program for ship manoeuvring

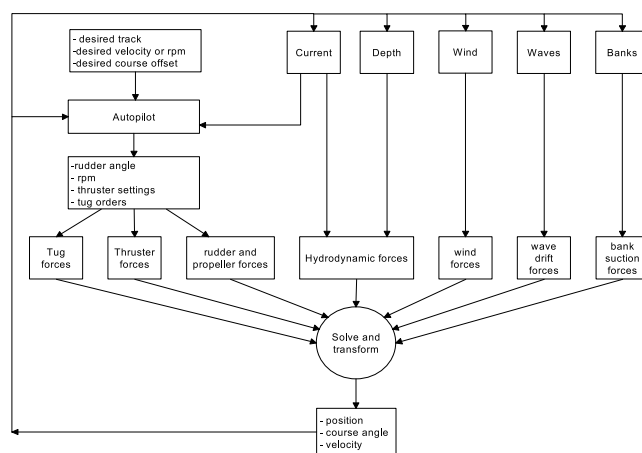
The latest version of the fast-time simulation program SHIPMA is a joint development of MARIN's nautical centre MSCN and Deltares. The combined contribution of these institutes is leading to a fit for purpose program to simulate the manoeuvring behaviour of vessels in ports and fairways.

In SHIPMA the vessels are steered by an autopilot which is capable of operating in the track keeping mode and the harbour manoeuvring mode, making it possible to perform typical harbour manoeuvres like turning, reverse sailing and berthing.

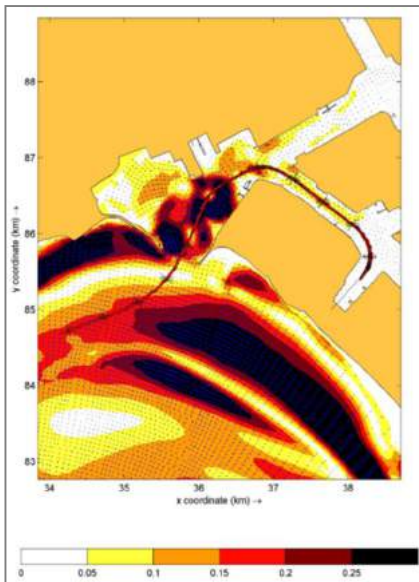


SHIPMA applications

The application of SHIPMA is primarily in port and fairway design, referring to both approach channels and inland waterways. According to PIANC [1] a first estimate of the required channel width based on their methodology has to be followed by ship manoeuvring simulations. These simulations give insight into the inherent possibilities and/or restrictions of vessels, infrastructure and environmental conditions including the effect of additional manoeuvring devices like bow and stern thrusters and the role of tugs. Based on the insights gained, mitigations, if needed, of the infrastructure design (channel layout, manoeuvring basin and terminal layout) and/or the admittance policy can be proposed. In the final stage of the design the SHIPMA study can be followed by a study on a real-time simulator. The flow diagram below gives an overview of the program structure.



Flow diagram of the SHIPMA model



Example of an entry manoeuvre into the 'Sloehaven' Flushing, with an aerial view of the port

Ship characteristics

The mathematical ship models, consisting of sets of hydrodynamic derivatives (Abkowitz type [2]), are specific for each ship. They are determined either by scale model test, through scaling from other models or by calculation (SURSIM [3]). Models can be chosen from an existing list of over 100 high-quality ship models covering the latest ship designs. Specific models can be made according to the client's wishes. The models include wind coefficients, bank suction coefficients, second-order wave drift forces and shallow water effects.

Methodology of SHIPMA use

SHIPMA relies on the use of an autopilot, which also includes a tug and thruster allocation algorithm. The choice for using an autopilot rather than hands-on steering by a pilot or Master allows the engineer to clearly judge and compare the results of different simulations on technical and physical aspects. The use of an automatic pilot in desktop simulation assures repeatability and a consistent nautical assessment procedure. The hands-on mode often seen in other models (actively steering the ship over a chart displayed on a screen) would put a civil engineer in a position where he is in fact playing the role of a pilot or Master. Alternatively, one could ask a pilot to do the runs, but the chart display offered to him is rather different from his normal sailing practice. This will jeopardise the result of the manoeuvres. Furthermore, runs have to be repeated to guarantee consistency.

SHIPMA input and output

The input of the SHIPMA model is organised through the Graphical User Interface. The Shipma GUI organises all data for a project in a hierarchical tree. A Shipma project tree consists of a number of subordinate "nodes", each defining some aspect of the project:

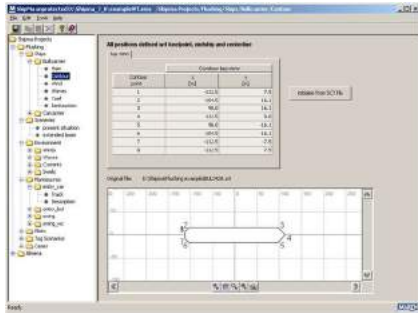
- A set of nodes containing a description of the manoeuvre, desired track, setting of autopilot, time step, starting position, tugs etc.
- A set of nodes in which the ship is represented by dimensions, mass, windage area, etc. and the manoeuvring characteristics of the ship, to be expressed in hydrodynamic derivatives
- Nodes to describe several external conditions such as:
 - bottom level
 - current pattern
 - wind field
 - wave field

Note that for this type of data Shipma offers the possibility of choosing for a simple set-up with constant wind, waves or current or to import self-prepared environmental grids in which the number of grid points is practically unlimited.

The main output consists of:

- track, position, course and heading of the ship
- course deviation and distance to the desired track
- rudder angle and number of propeller revolutions
- for wind and waves: direction, velocity/height and forces acting, on the ship
- water depth at the centre of gravity
- current velocities on the ship
- bank suction forces
- tug forces

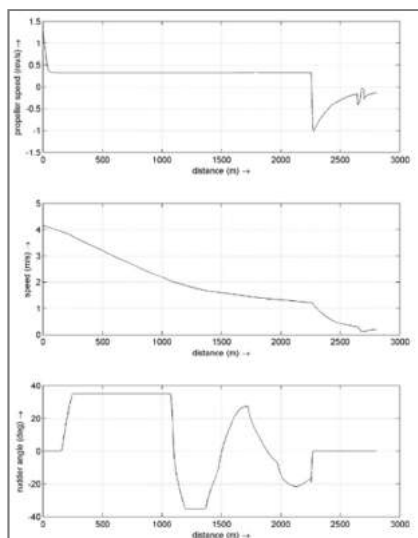
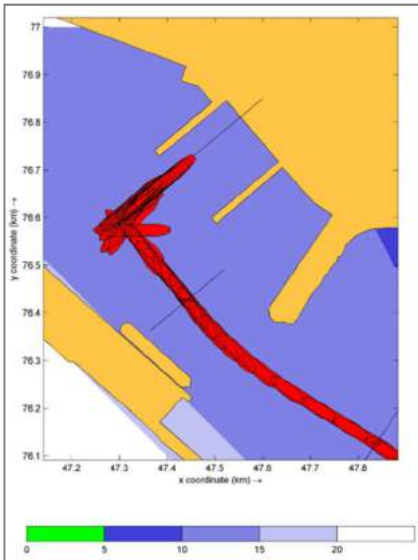
The track and the output data can be plotted using D3D-Quickplot.



Examples

Included are two examples of a computation with the new SHIPMA model. One example (see previous page) shows an entry manoeuvre into the 'Sloehaven', Flushing. The manoeuvre is executed under maximum current conditions, the current is computed with the Delft3d-flow model and imported in SHIPMA, together with bathymetry and the results of wave penetration calculations.

The 2 plots below show another example of an entry and berthing manoeuvre with a twin propeller twin rudder vessel equipped with a bow thruster.



Track plot and Data plot (propeller revolutions, forward speed and rudder angle)



Addresses

Deltares

P.O. Box 177
2600 MH Delft
The Netherlands
T +31 152 85 85 85
E delftchess.info@wldelft.nl
I www.wldelft.nl/soft/chess



MARIN/MSG

P.O. Box 28
6700 AA Wageningen
The Netherlands
T +31 317 49 32 37
E msg@marin.nl
I www.marin.nl



Computer requirements

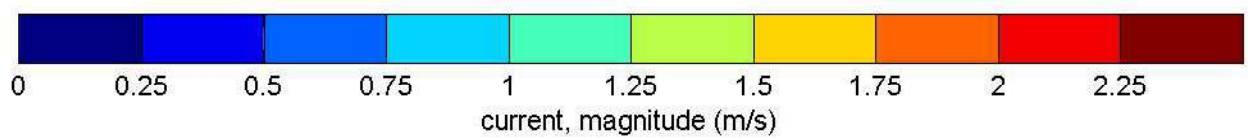
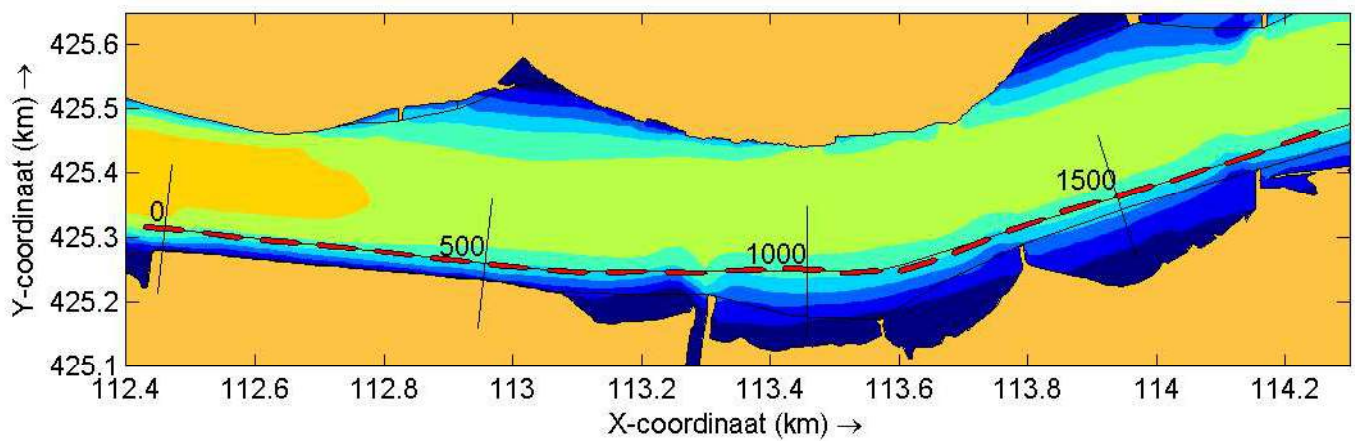
- Computer with a 2GHz or faster processor
- Microsoft Windows XP with service pack 2, 32 bit operating system or Microsoft Windows 7 Professional with service pack 1, 32 and 64 bit operating system
- 2 GByte of installed memory (RAM) or more
- 2 GByte of available hard-disk space
- DVD-Rom drive
- 1024x768 or higher resolution display with 256 colors
- Keyboard and Microsoft Mouse or compatible pointing device
- Microsoft Internet Explorer 8 or later

References

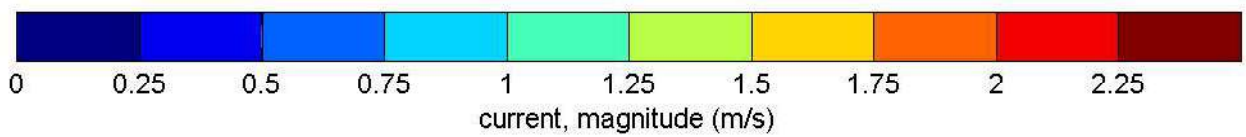
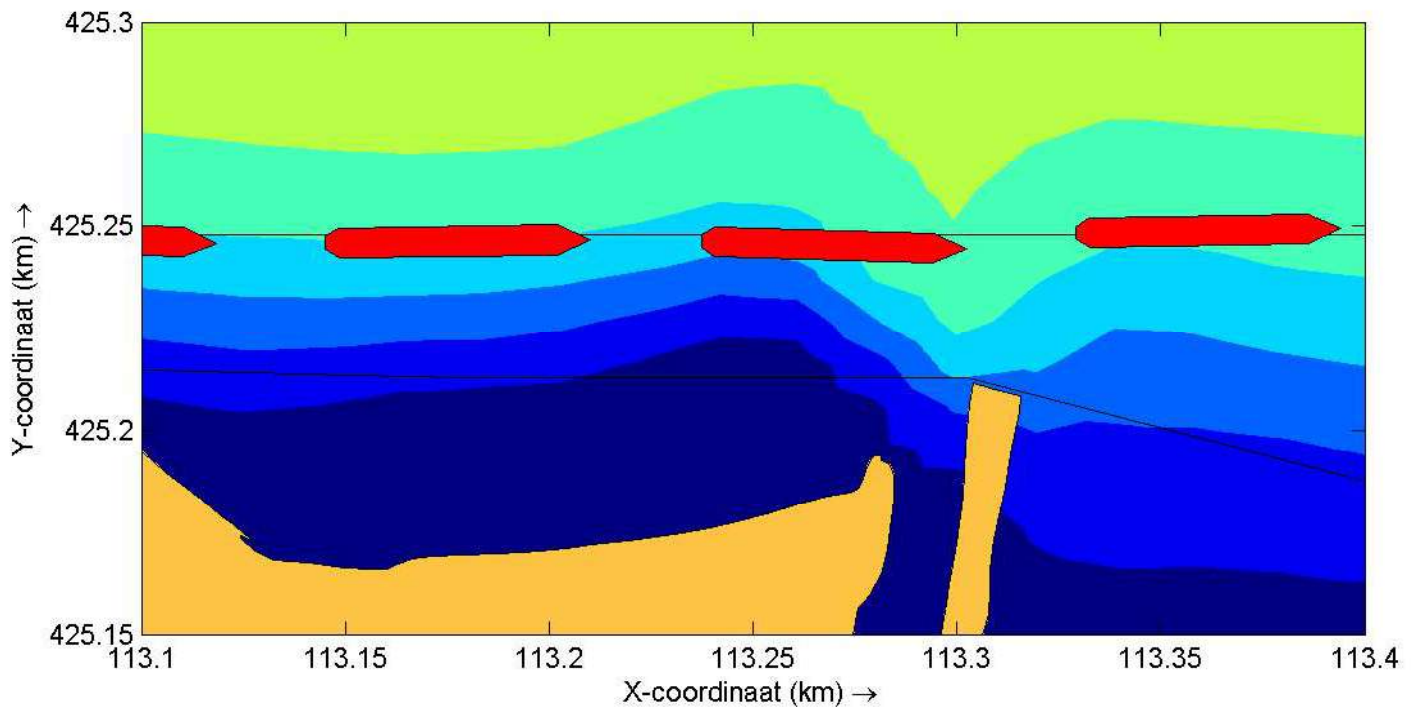
- [1] PIANC-IAPH Working Group II-30, APPROACH CHANNELS; "A Guide for Design".
- [2] Abkowitz, M.A.; "Lectures on Ship Hydrodynamics, Steering and Manoeuvrability, Hydro- and Aerodynamics Laboratory", Rep. No. HY-5, 1962, Copenhagen, Denmark.
- [3] SURSIM; "Computer Program for the Calculation Hydrodynamic Reaction Forces", MARIN.

BIJLAGE B: FIGUREN SHIPMA RESULTATEN

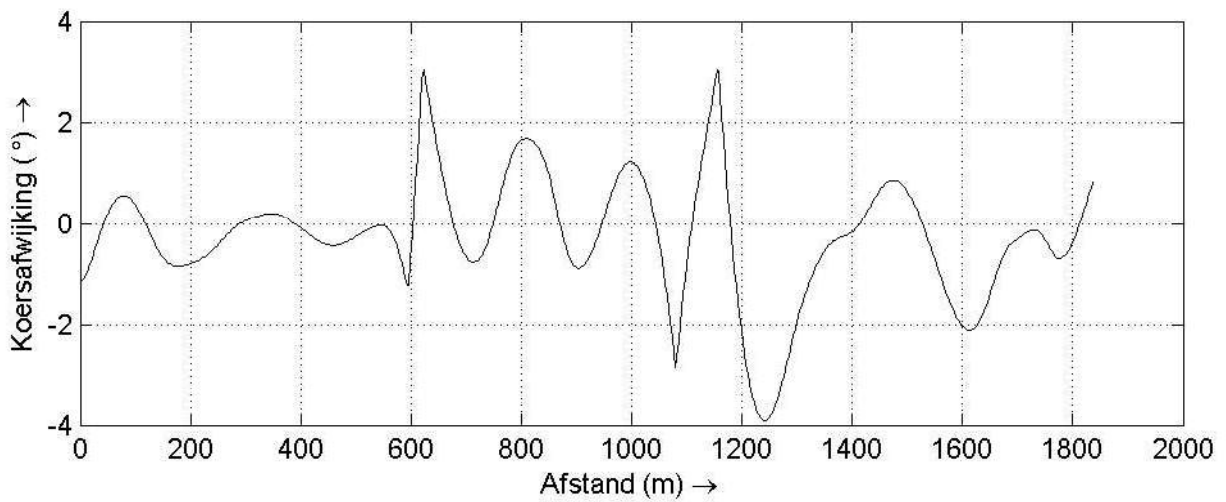
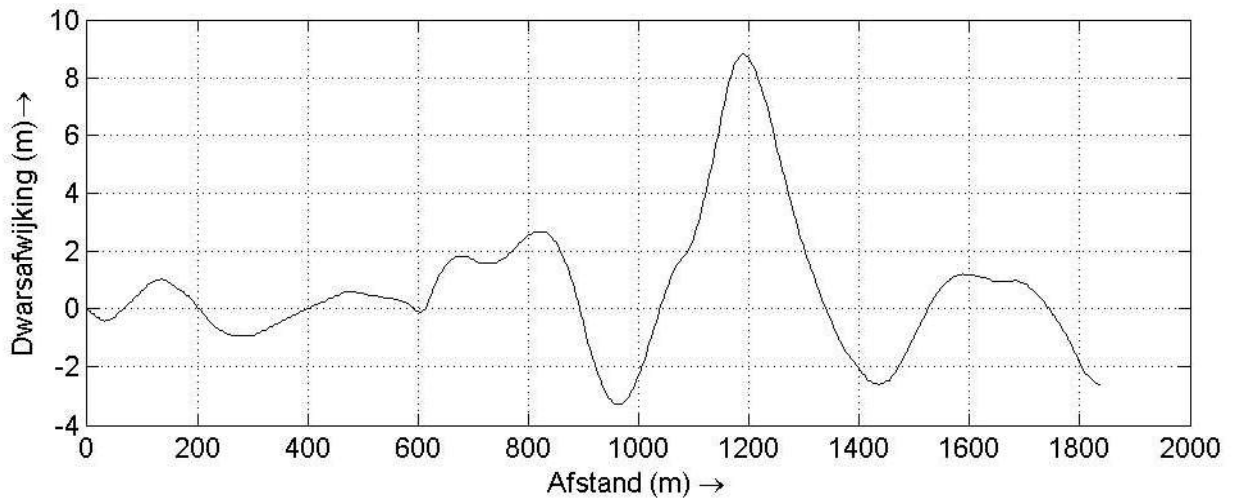
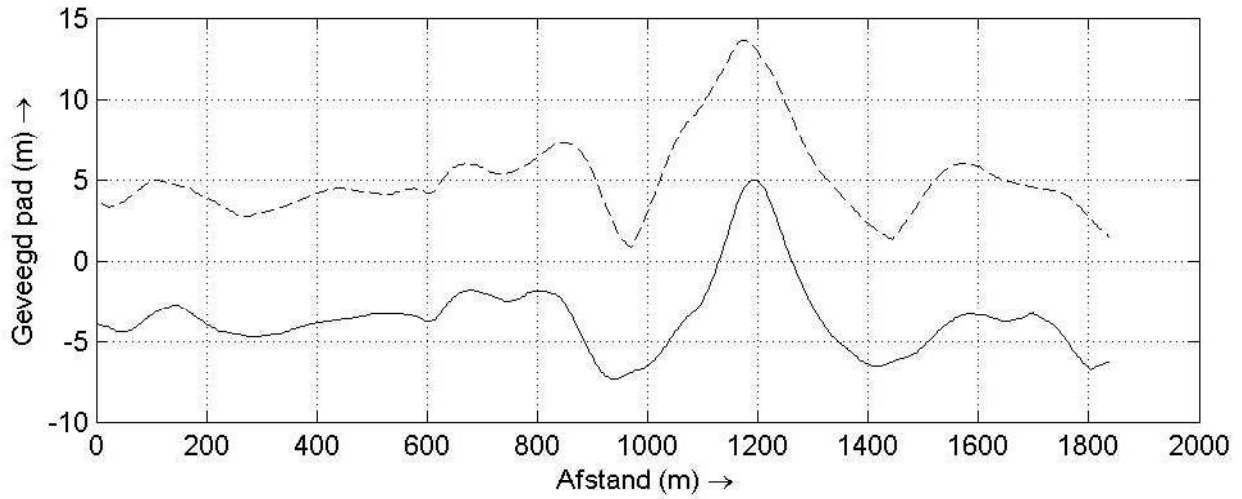
RUN-ID: 3181



Overzichtsplot inclusief route en stroom	M3 - Hageenaar	Run: 3181
	Project: 34504	
MARIN	SHIPMA 7.4.2	Fig. A



Detail trackplot	M3 - Hageenaar	Run: 3181
	Project: 34504	
MARIN	SHIPMA 7.4.2	Fig. A1



Geveegd pad (getrokken: bakboord; streeplijn: stuurboord)

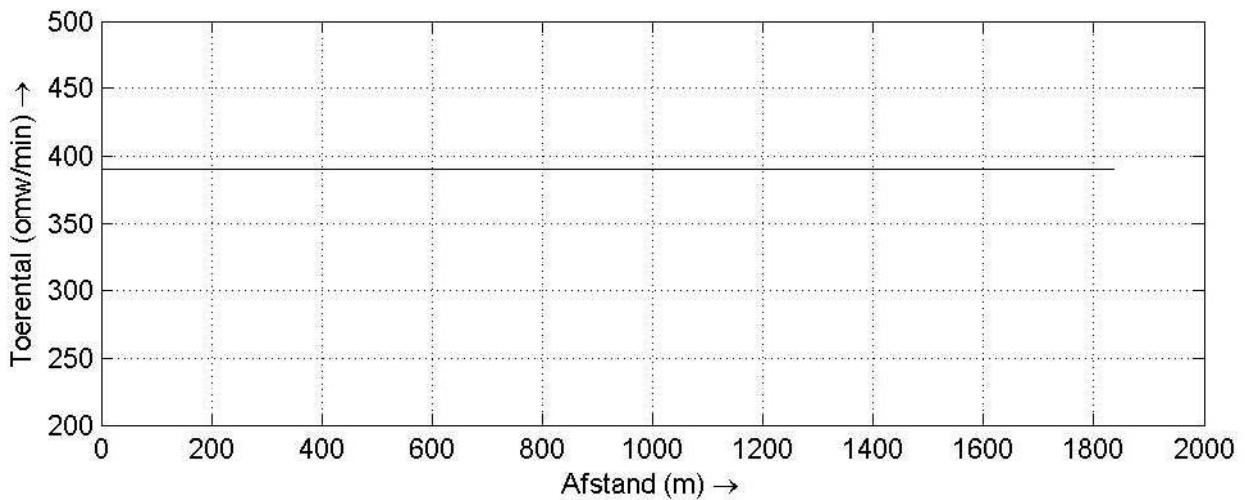
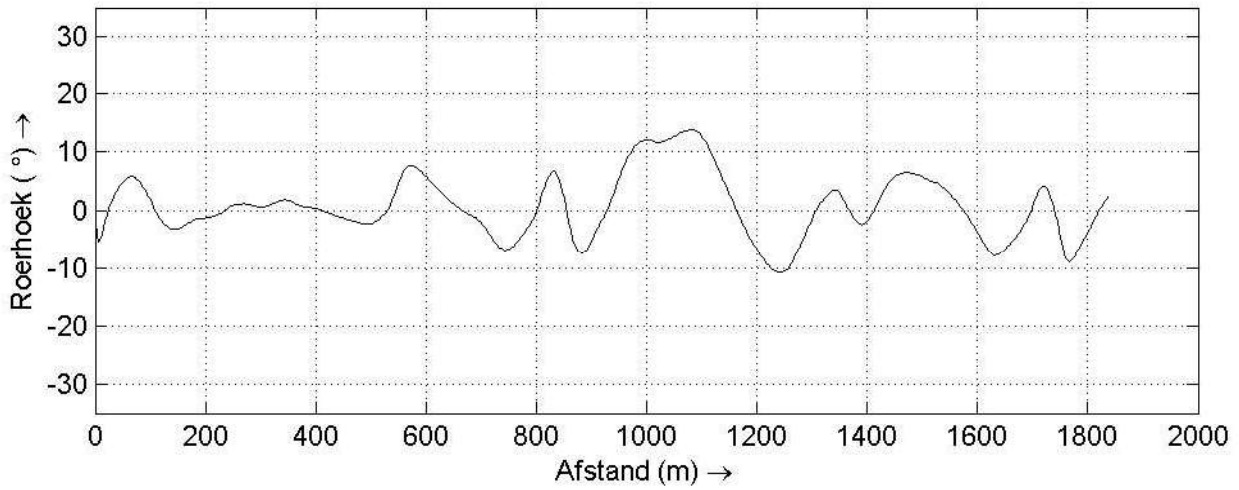
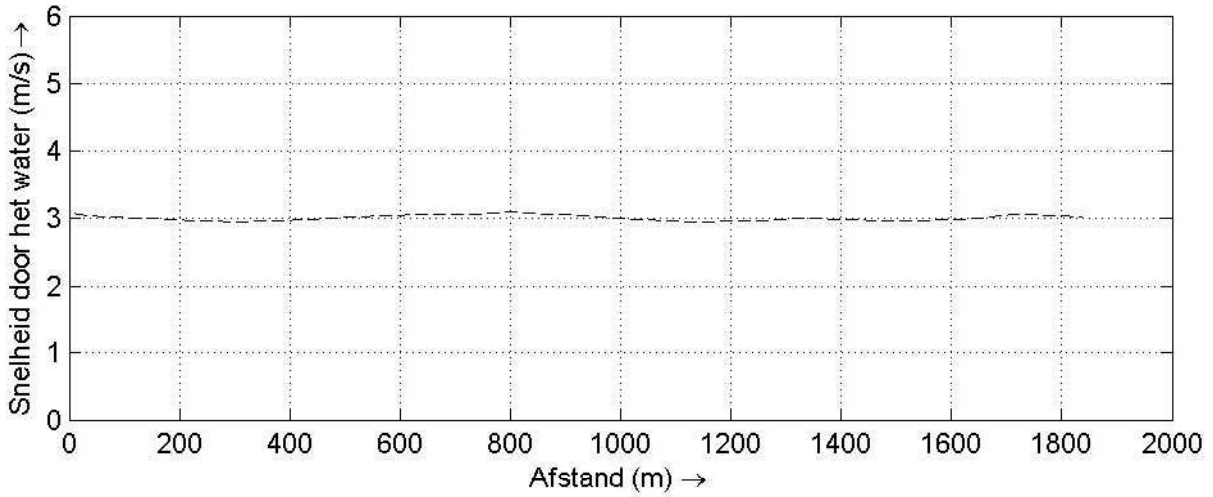
M3 - Hageenaar Run: 3181

Project: 34504

MARIN

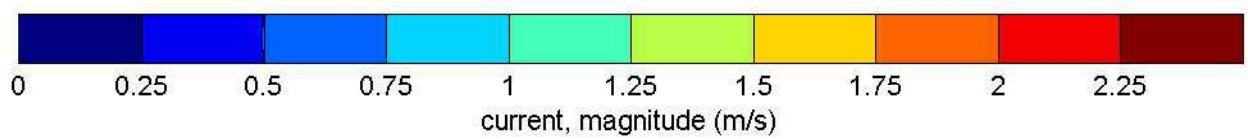
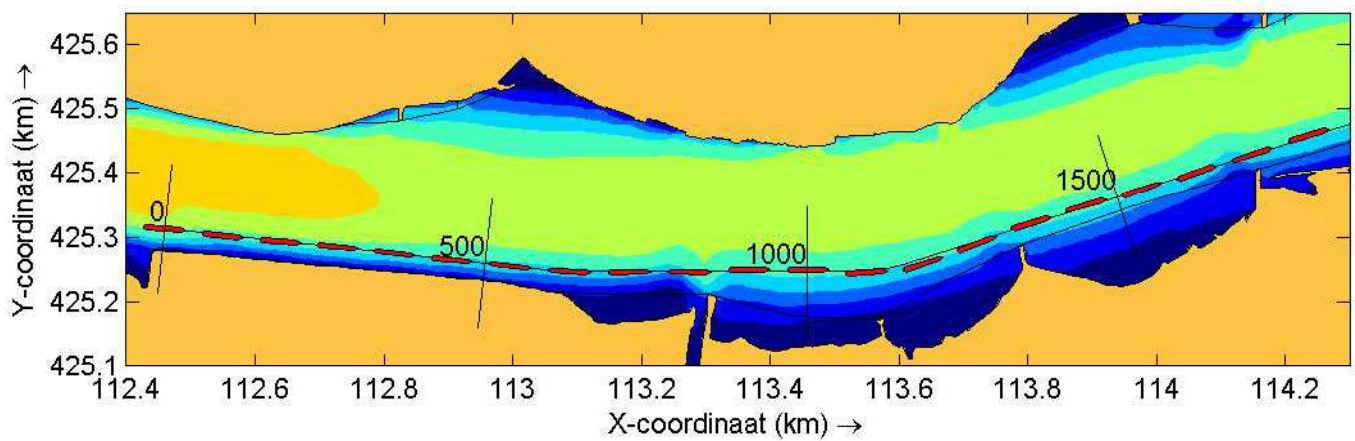
SHIPMA 7.4.2

Fig. B

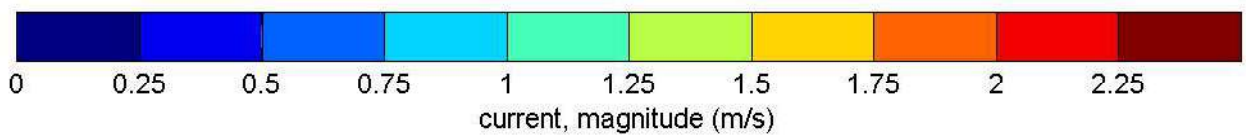
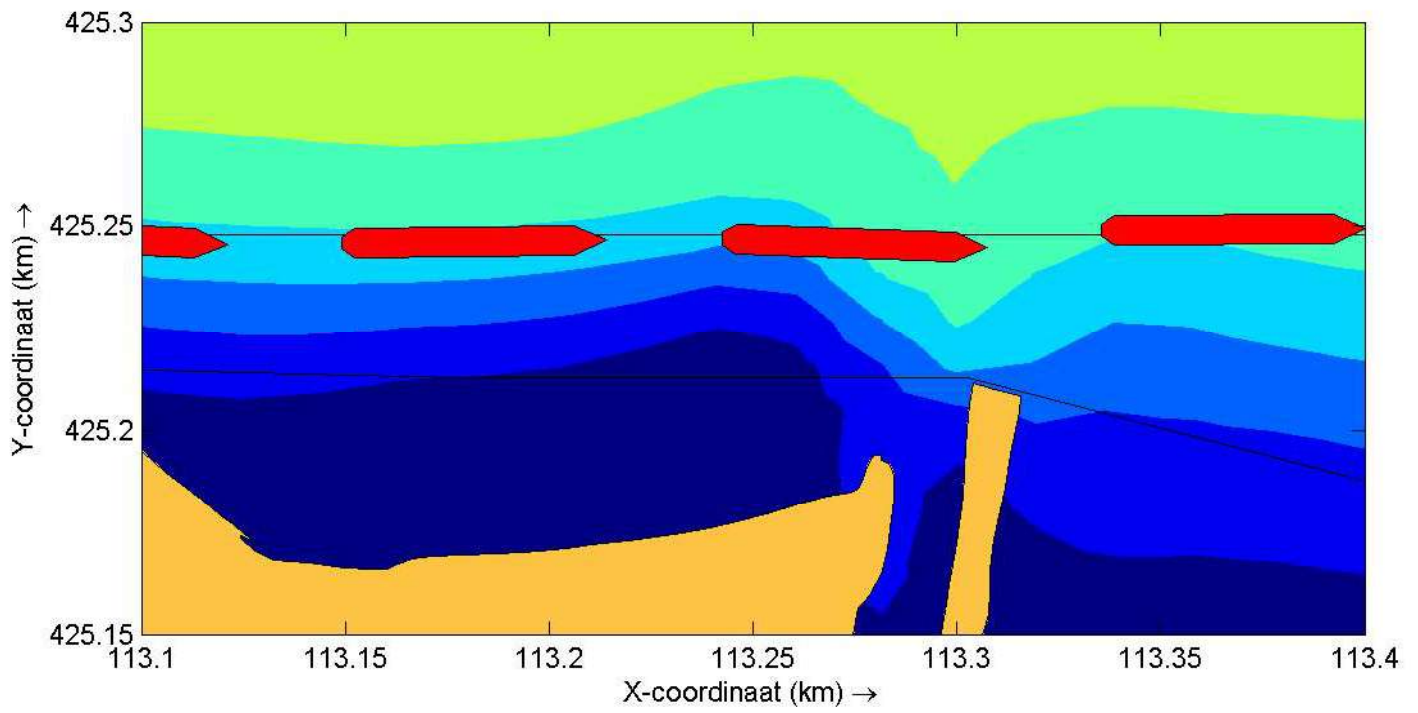


Scheepssnelheid, roerhoek en omwentelingen	M3 - Hageenaar	Run: 3181
	Project: 34504	
MARIN	SHIPMA 7.4.2	Fig. C

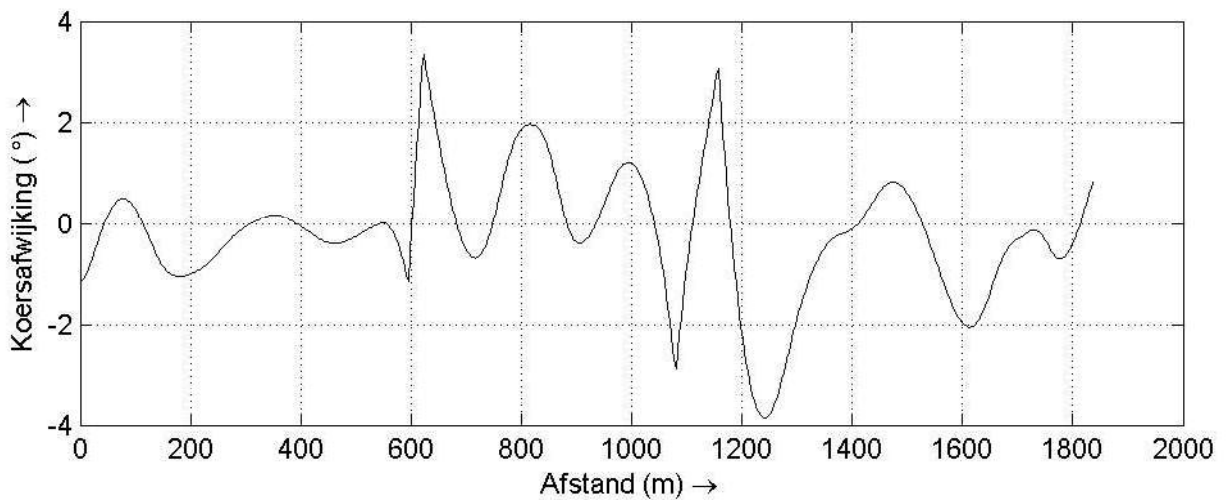
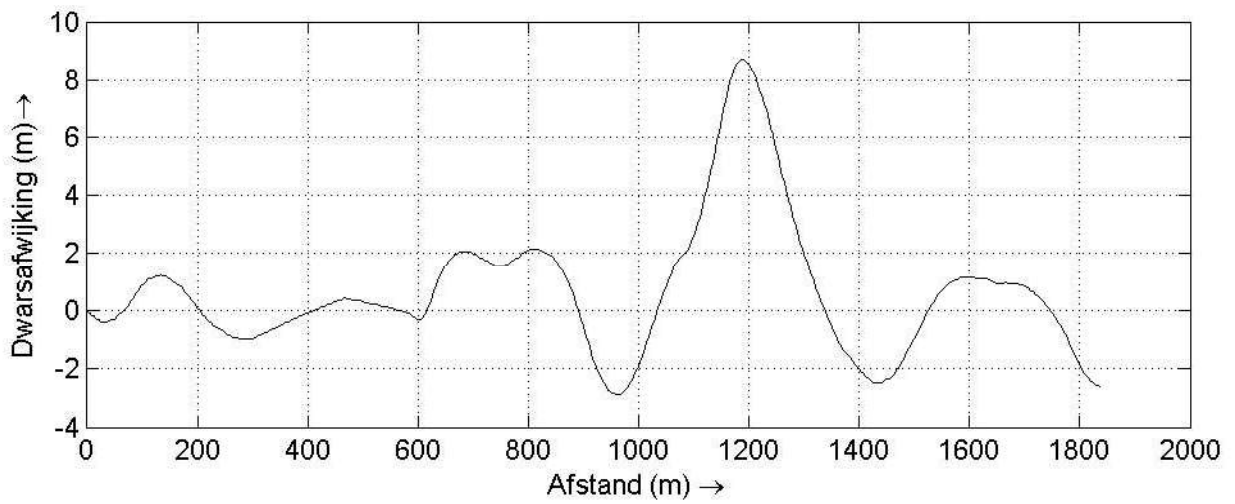
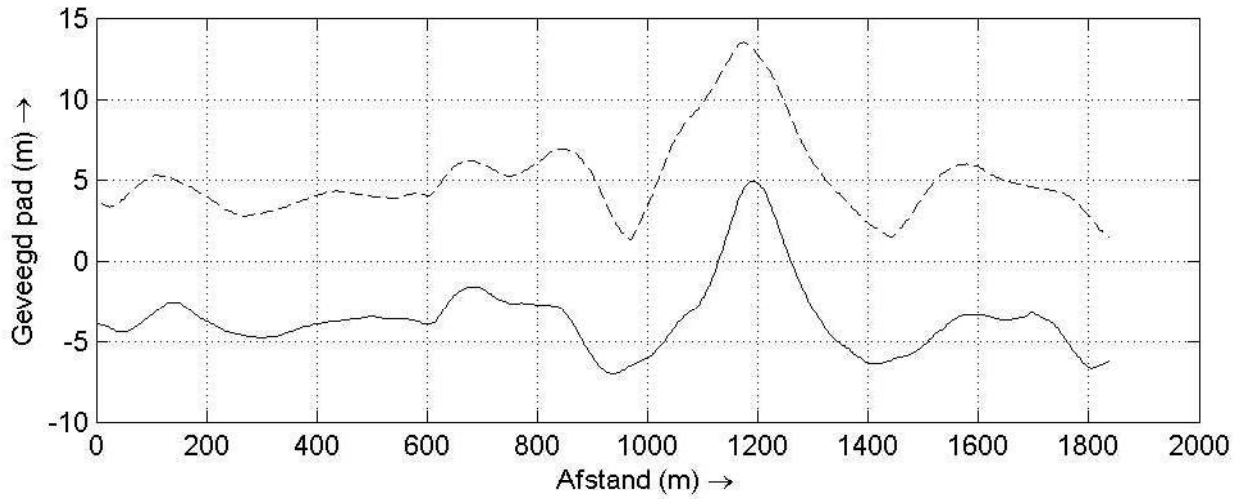
RUN-ID: 3182



Overzichtsplot inclusief route en stroom	M3 - Hageenaar	Run: 3182
	Project: 34504	
MARIN	SHIPMA 7.4.2	Fig. A



Detail trackplot	M3 - Hageenaar	Run: 3182
	Project: 34504	
MARIN	SHIPMA 7.4.2	Fig. A1



Geveegd pad (getrokken: bakboord; streeplijn: stuurboord)

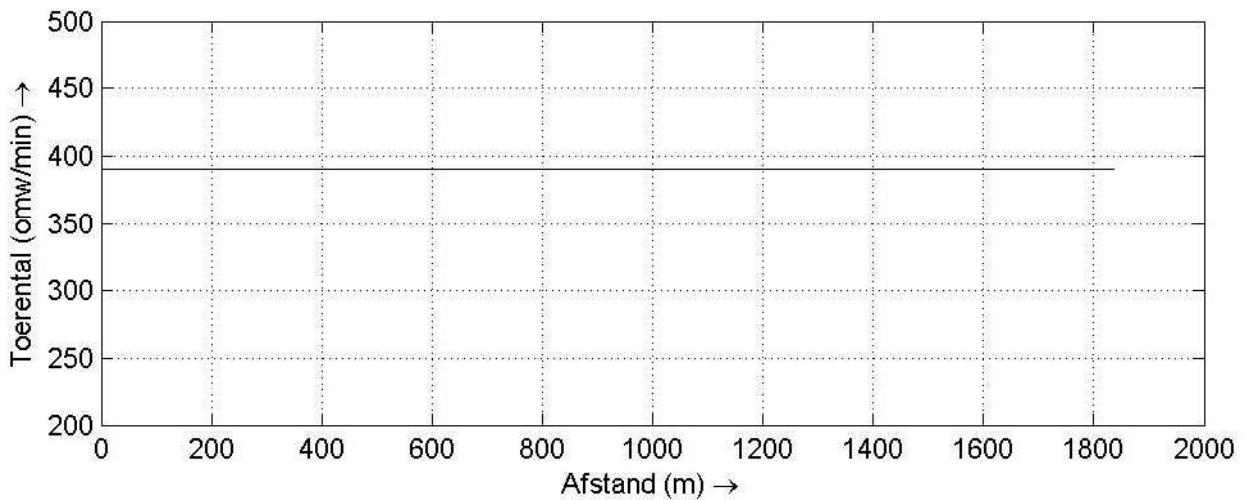
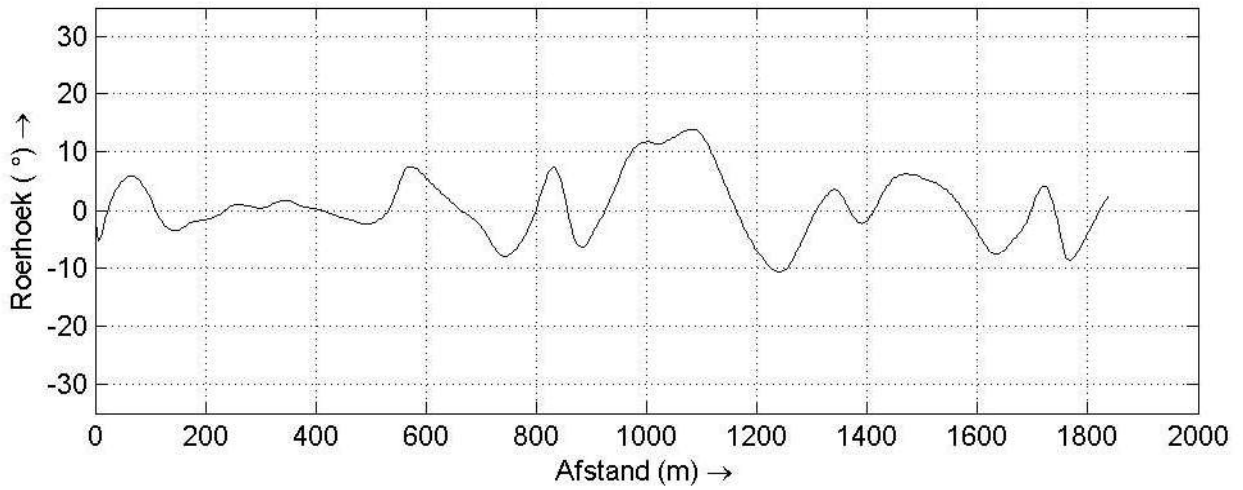
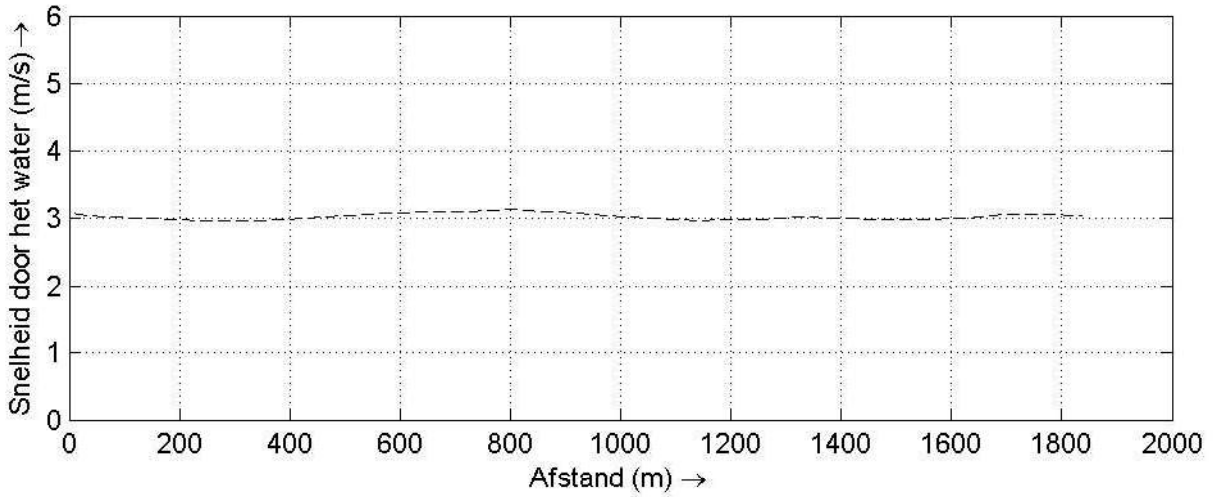
M3 - Hageenaar Run: 3182

Project: 34504

MARIN

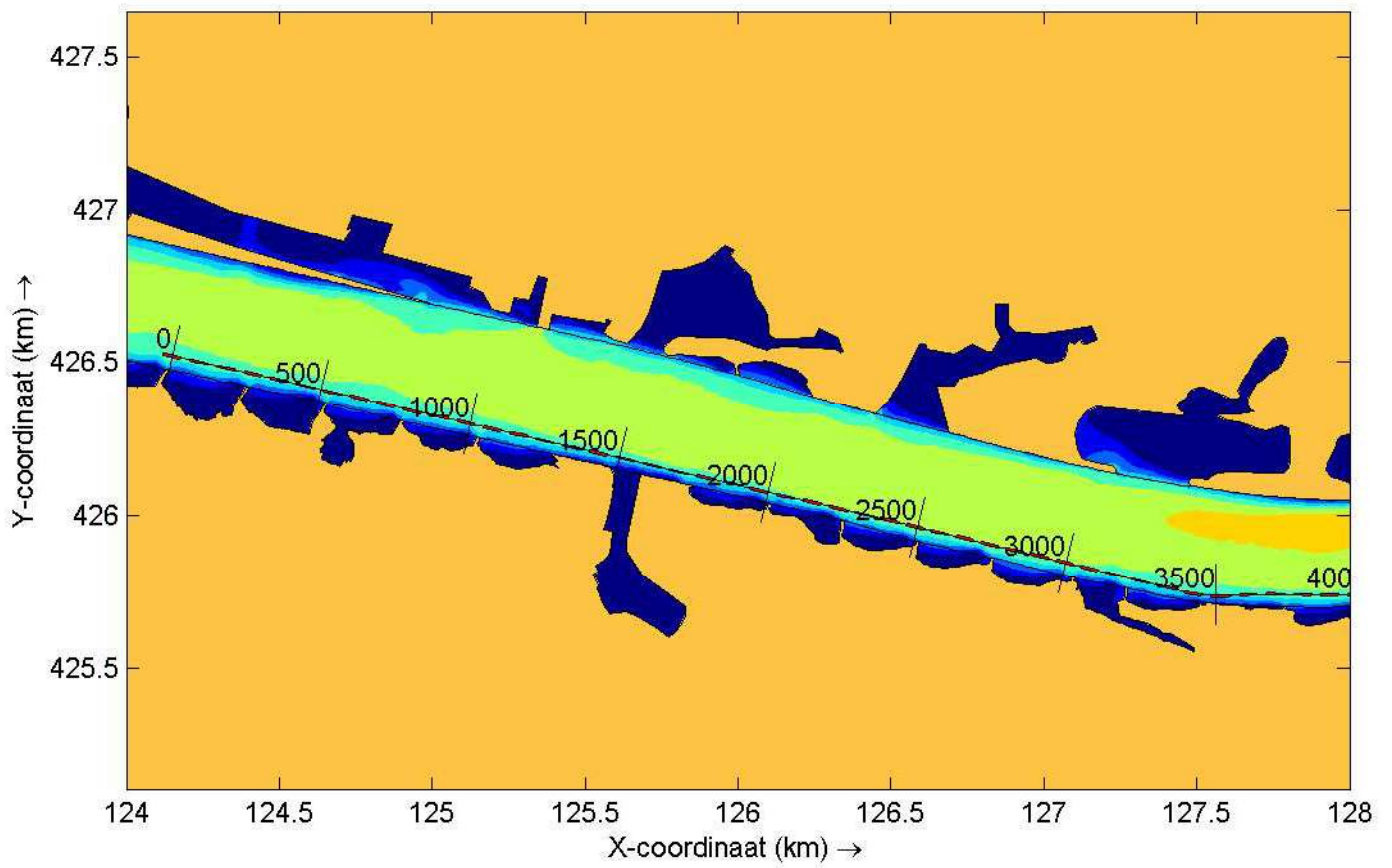
SHIPMA 7.4.2

Fig. B



Scheepssnelheid, roerhoek en omwentelingen	M3 - Hagenaar	Run: 3182
	Project: 34504	
MARIN	SHIPMA 7.4.2	Fig. C

RUN-ID: 3261



Overzichtsplot inclusief route en stroom

M3 - Hagebaar

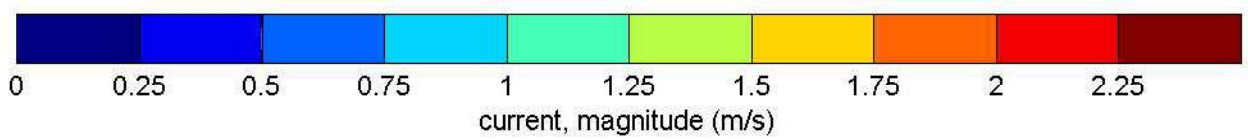
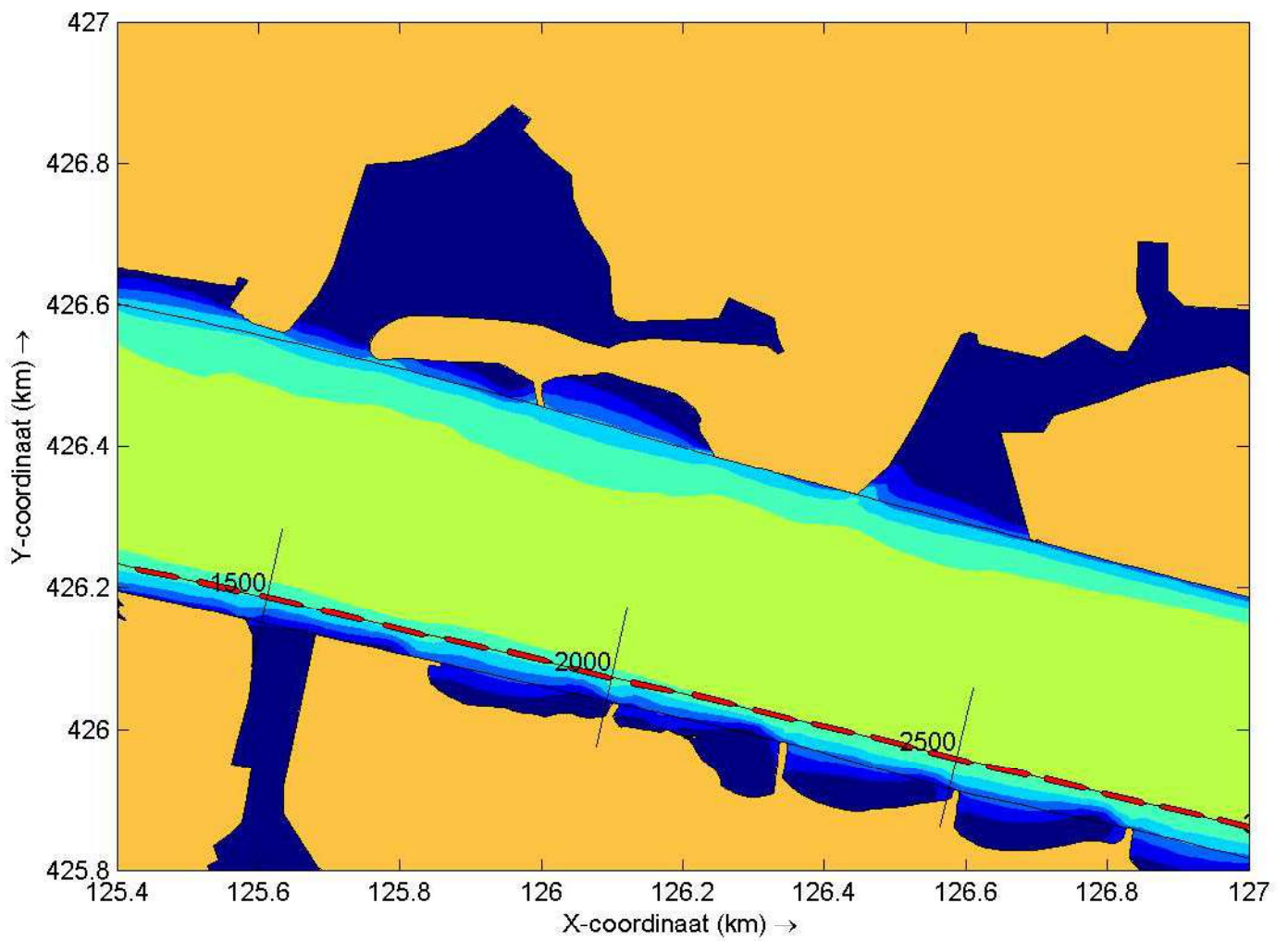
Run: 3261

Project: 34504

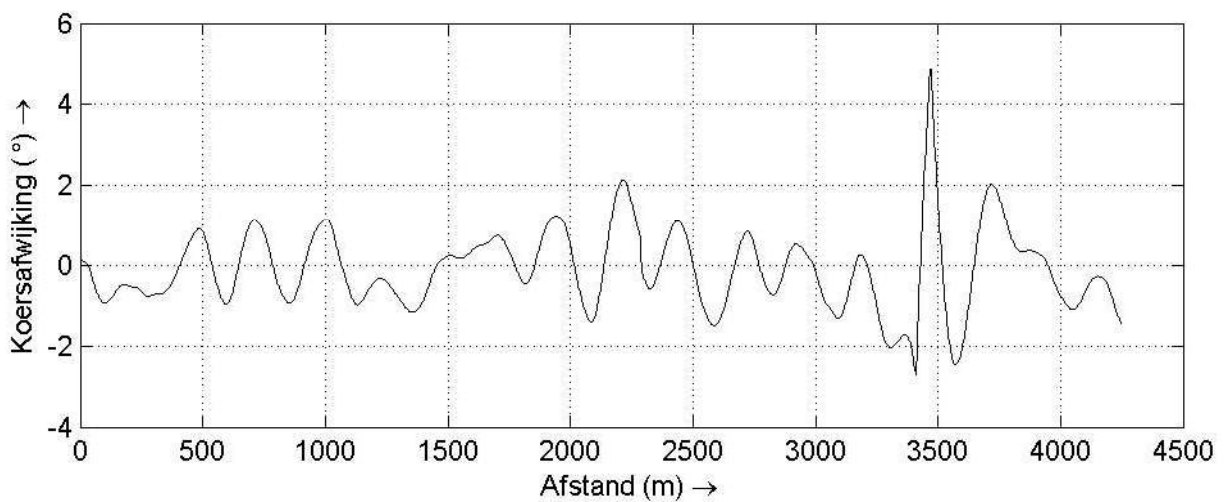
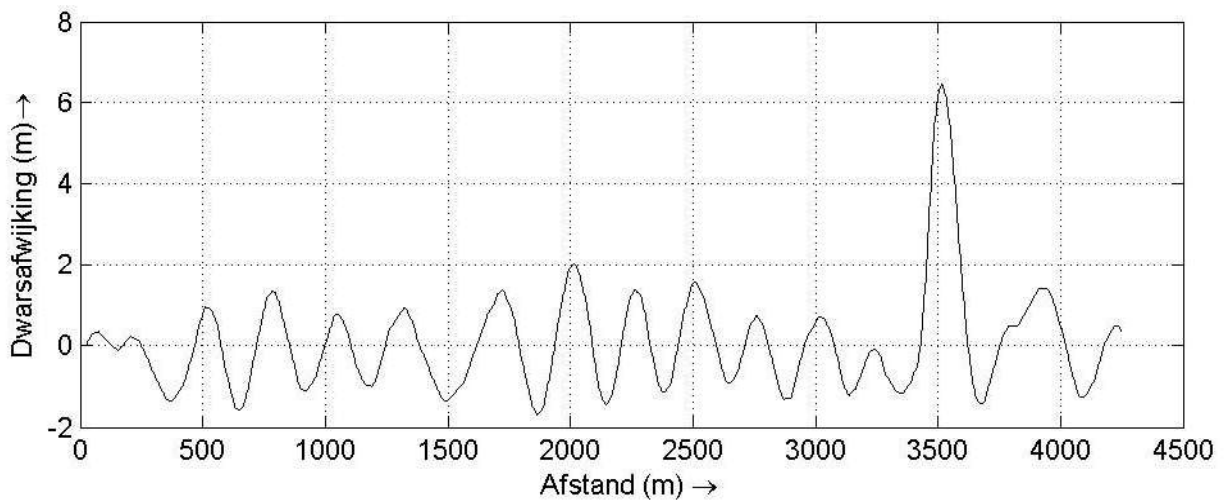
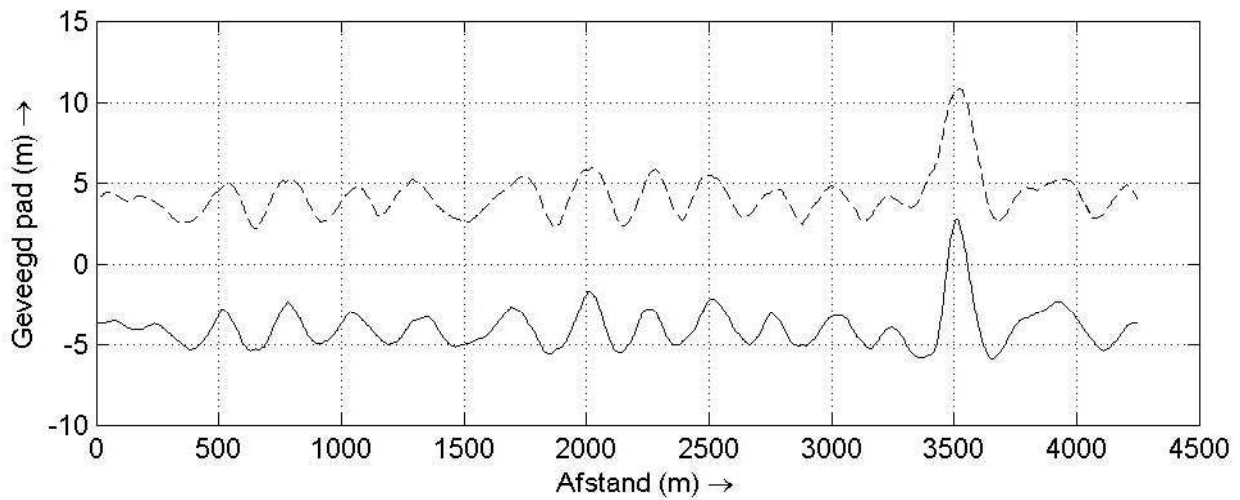
MARIN

SHIPMA 7.4.2

Fig. A



Detail trackplot	M3 - Hagenaar	Run: 3261
	Project: 34504	
MARIN	SHIPMA 7.4.2	Fig. A1



Geveegd pad (getrokken: bakboord; streeplijn: stuurboord)

M3 - Hageenaar

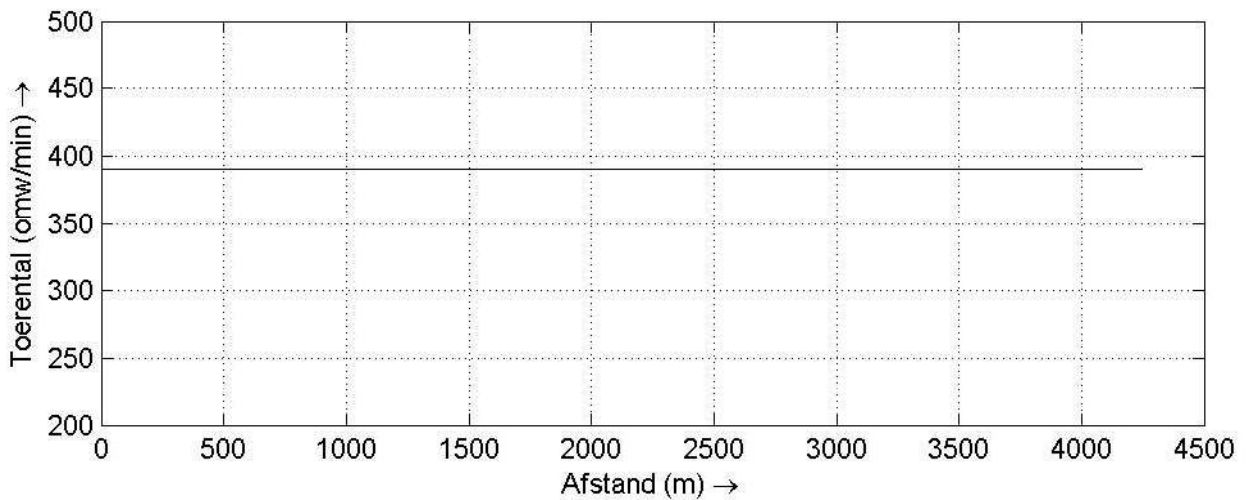
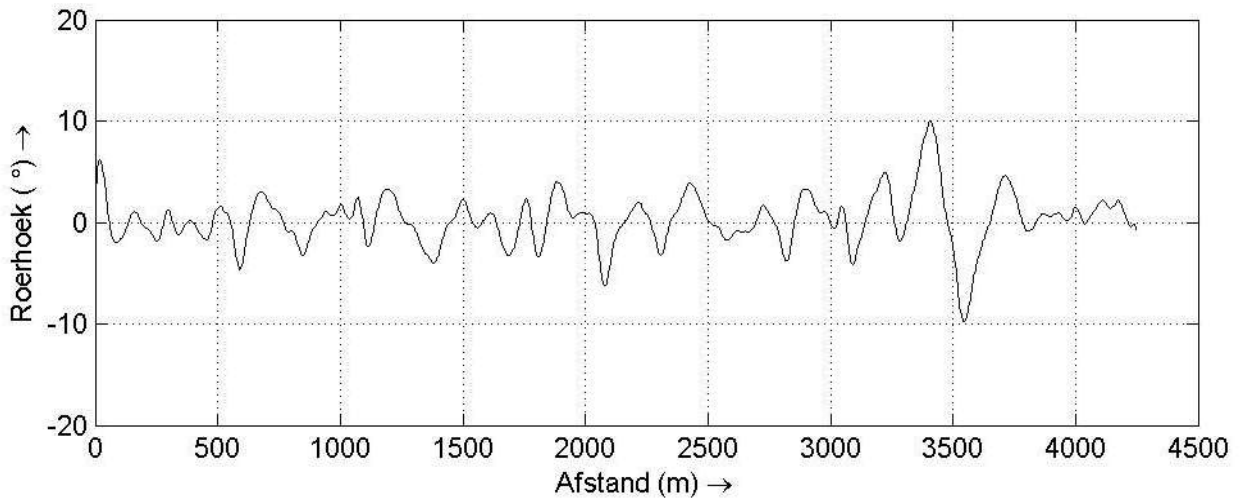
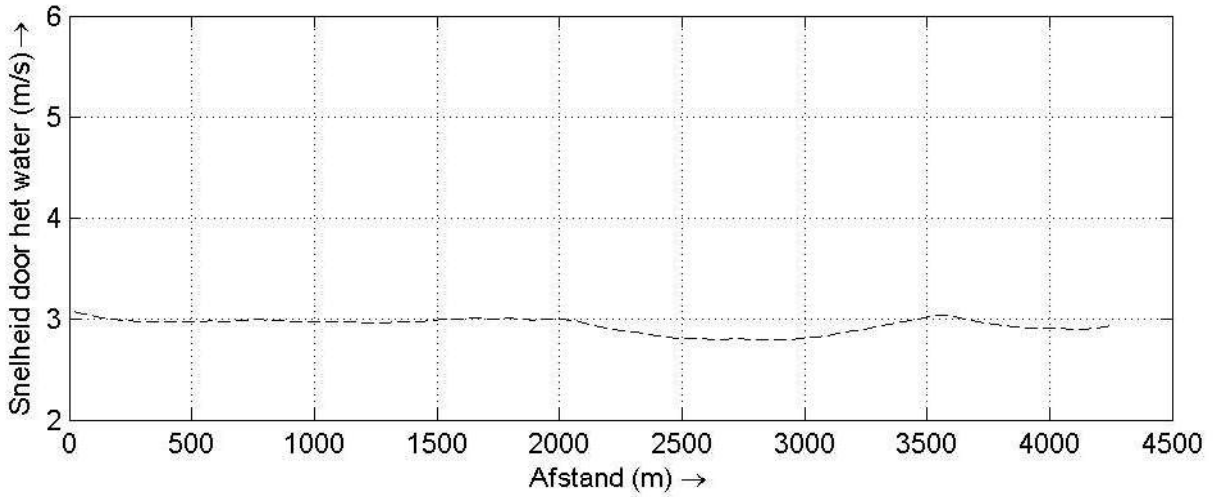
Run: 3261

Project: 34504

MARIN

SHIPMA 7.4.2

Fig. B



Scheepssnelheid, roerhoek en omwentelingen

M3 - Hageenaar

Run: 3261

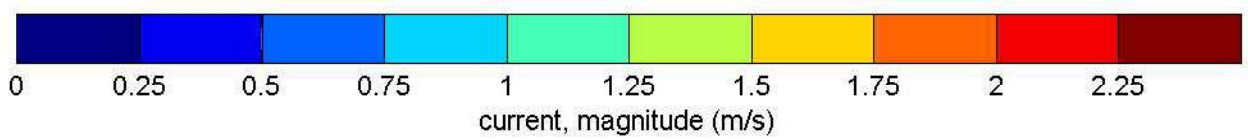
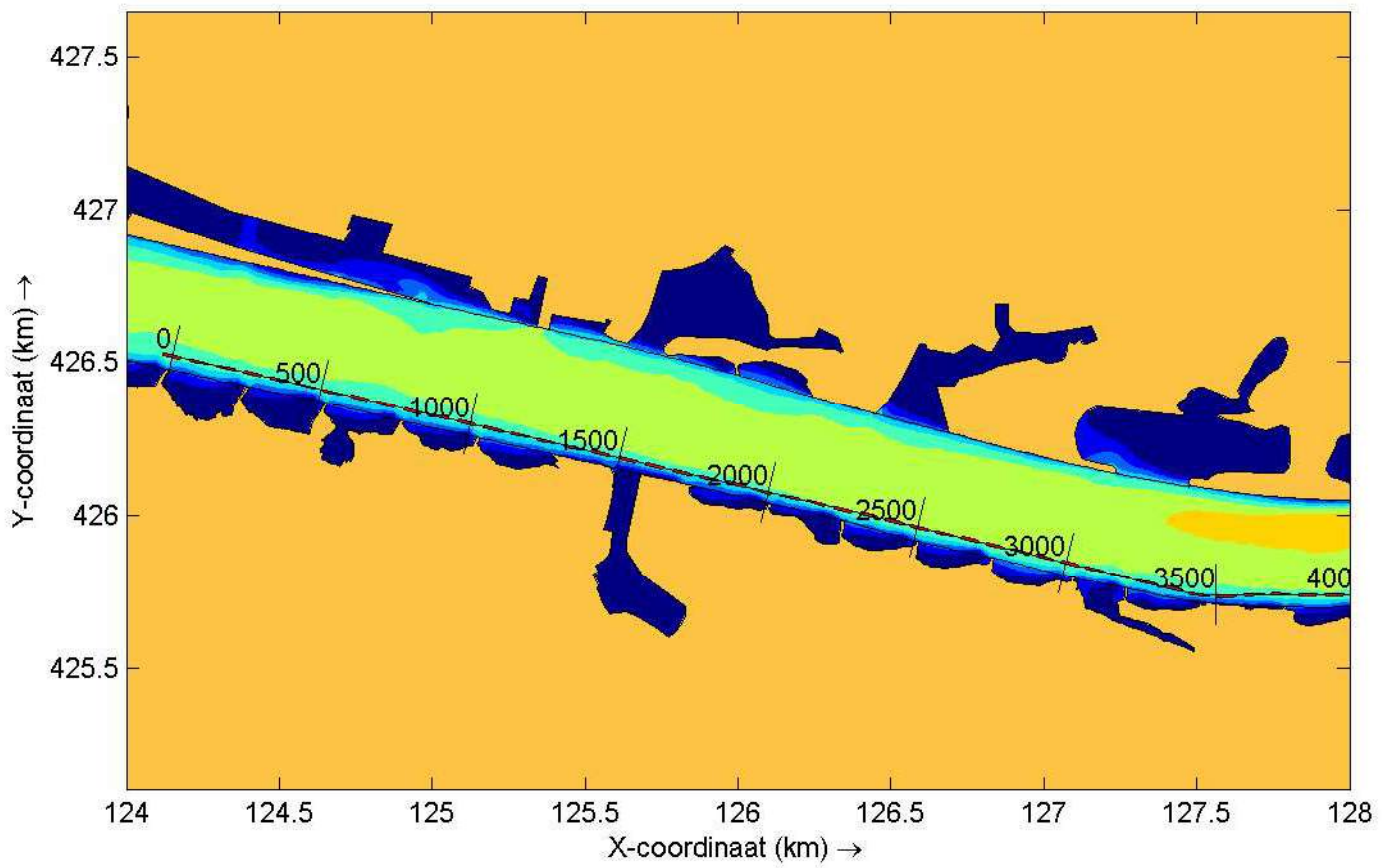
Project: 34504

MARIN

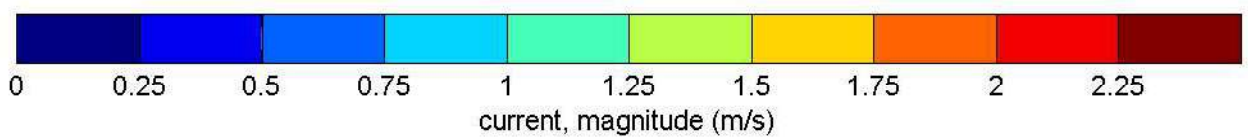
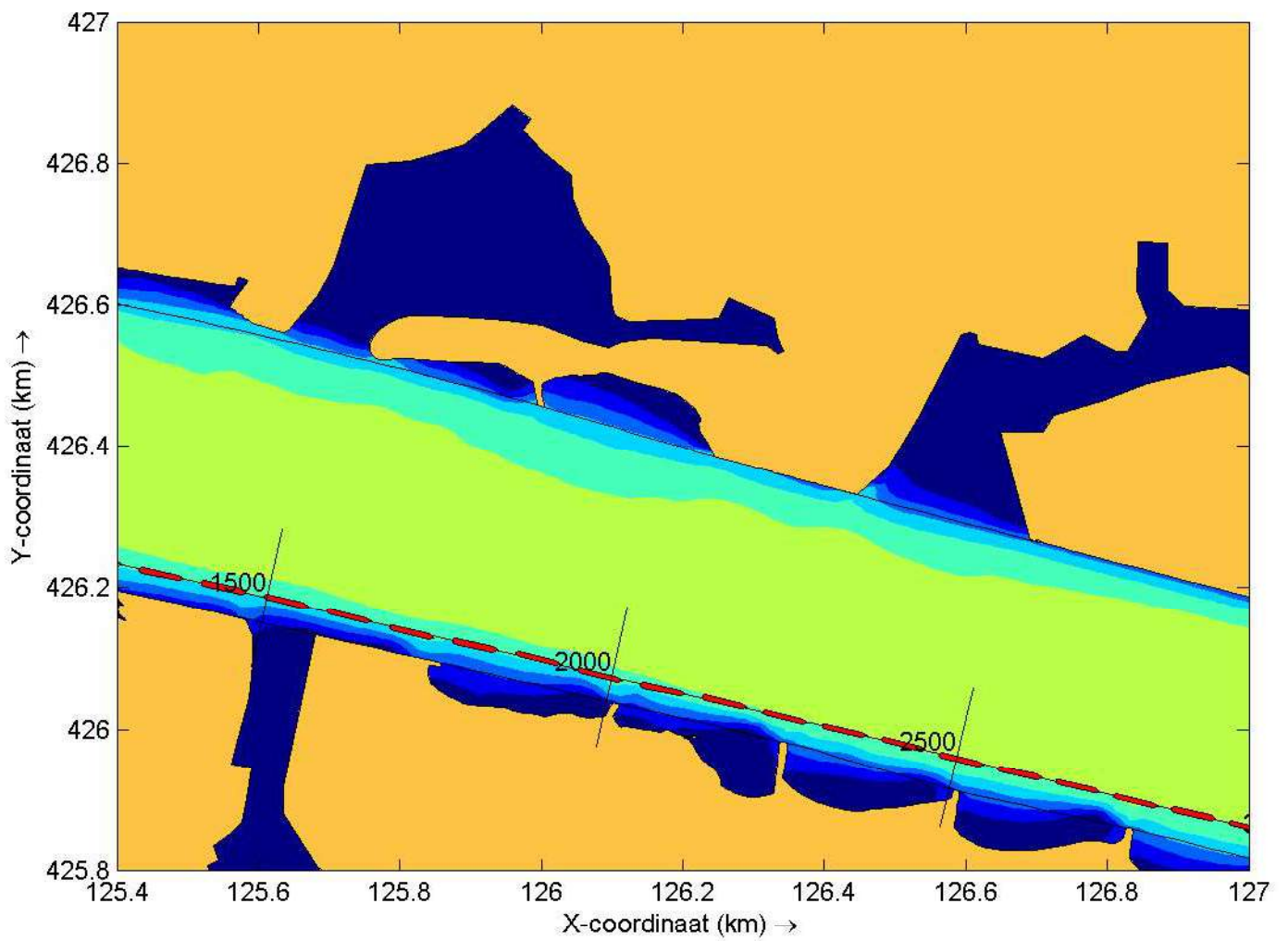
SHIPMA 7.4.2

Fig. C

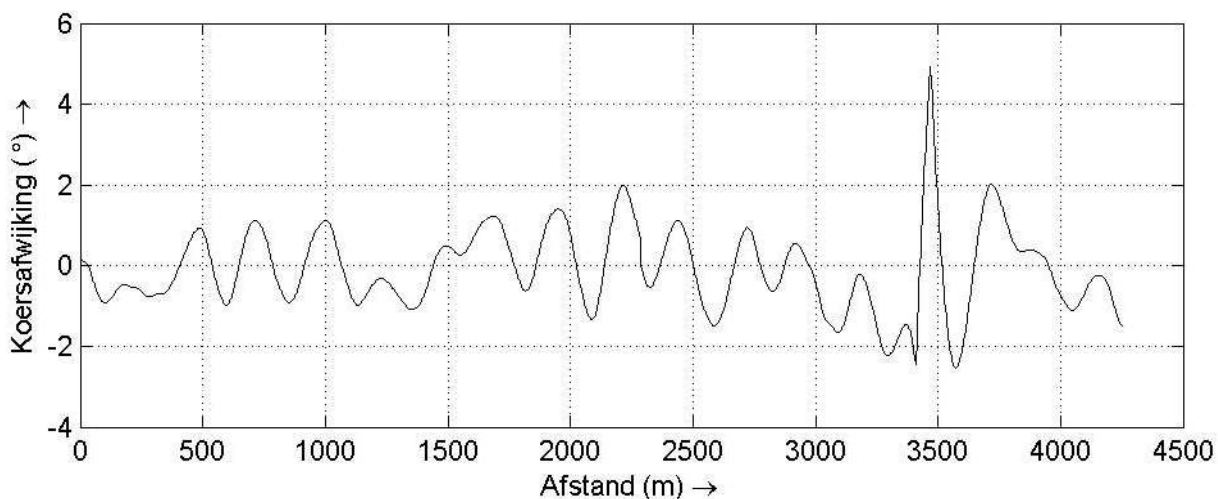
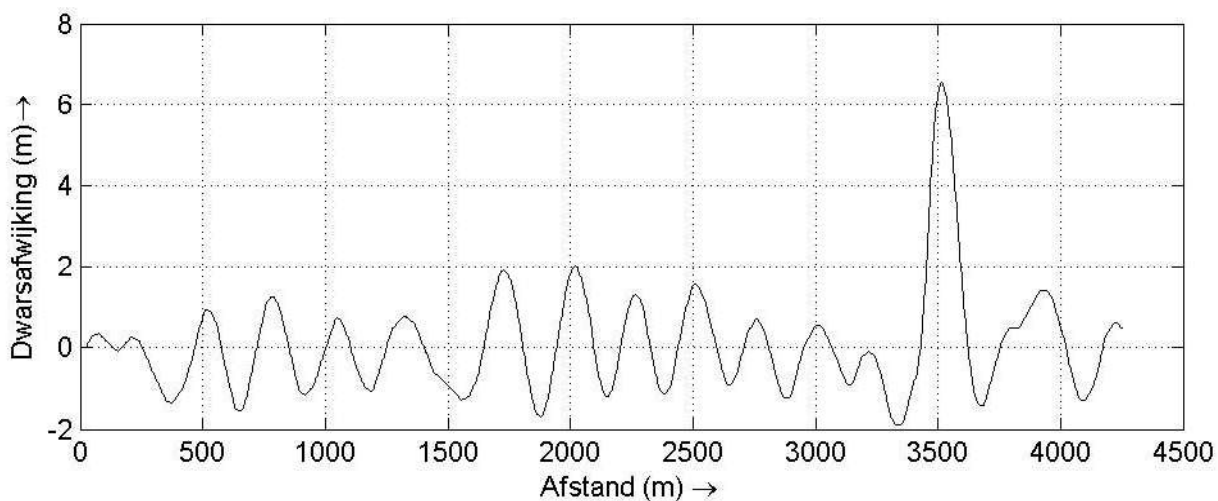
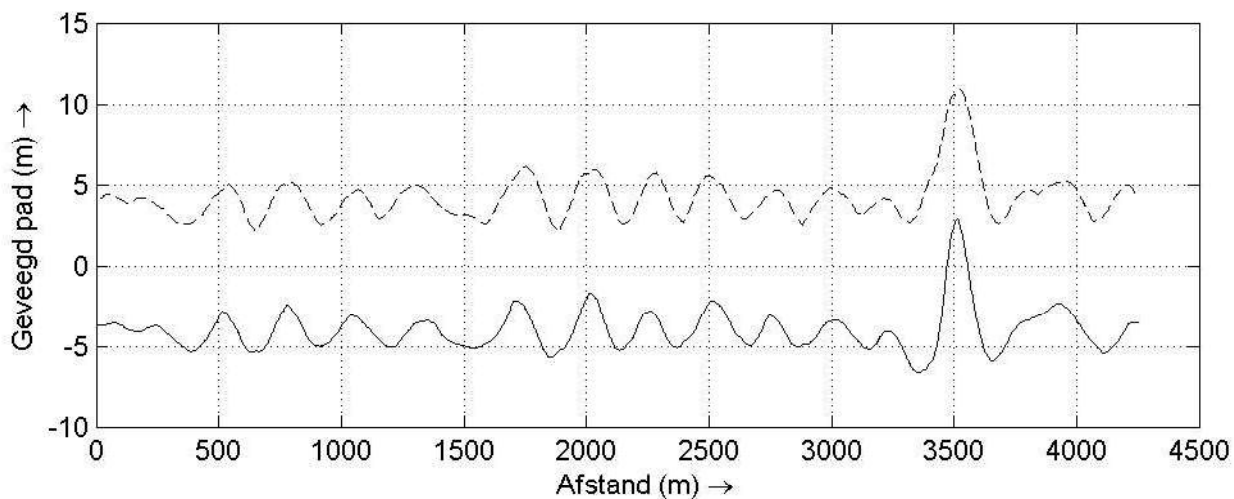
RUN-ID: 3262



Overzichtsplot inclusief route en stroom	M3 - Hagebaar	Run: 3262
	Project: 34504	
MARIN	SHIPMA 7.4.2	Fig. A



Detail trackplot	M3 - Hageenaar	Run: 3262
	Project: 34504	
MARIN	SHIPMA 7.4.2	Fig. A1



Geveegd pad (getrokken: bakboord; streeplijn: stuurboord)

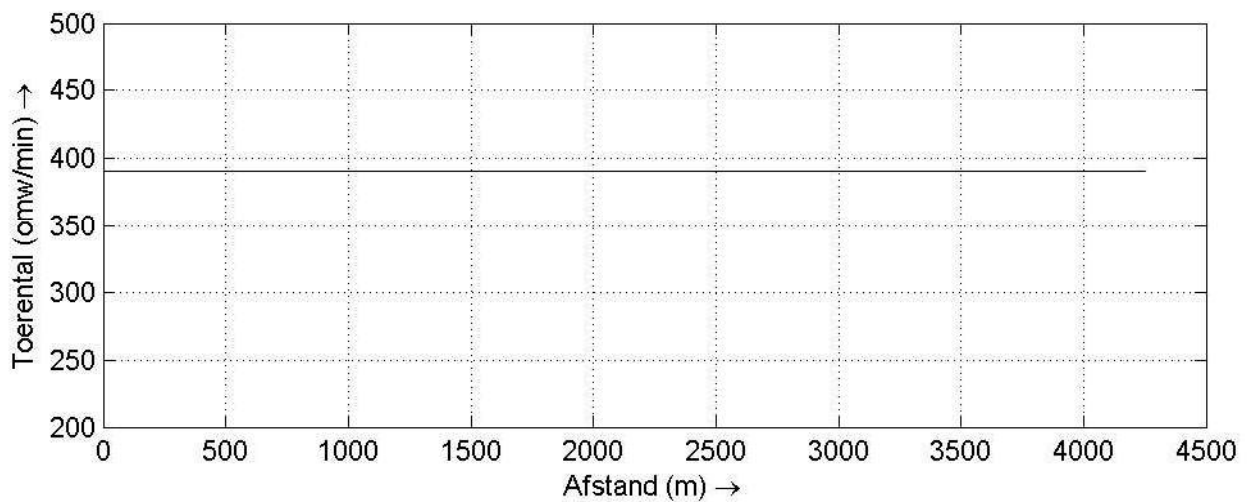
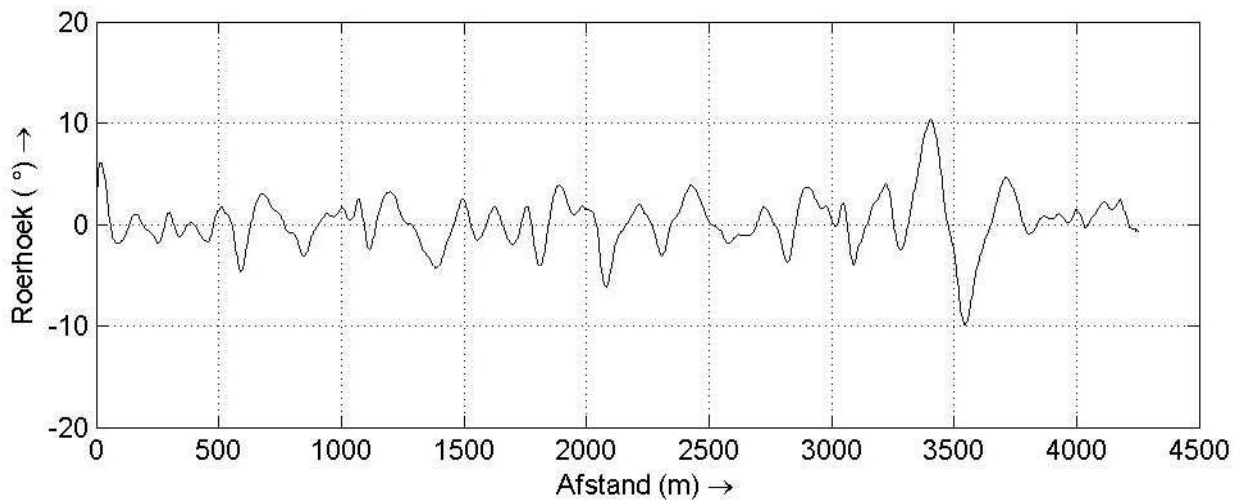
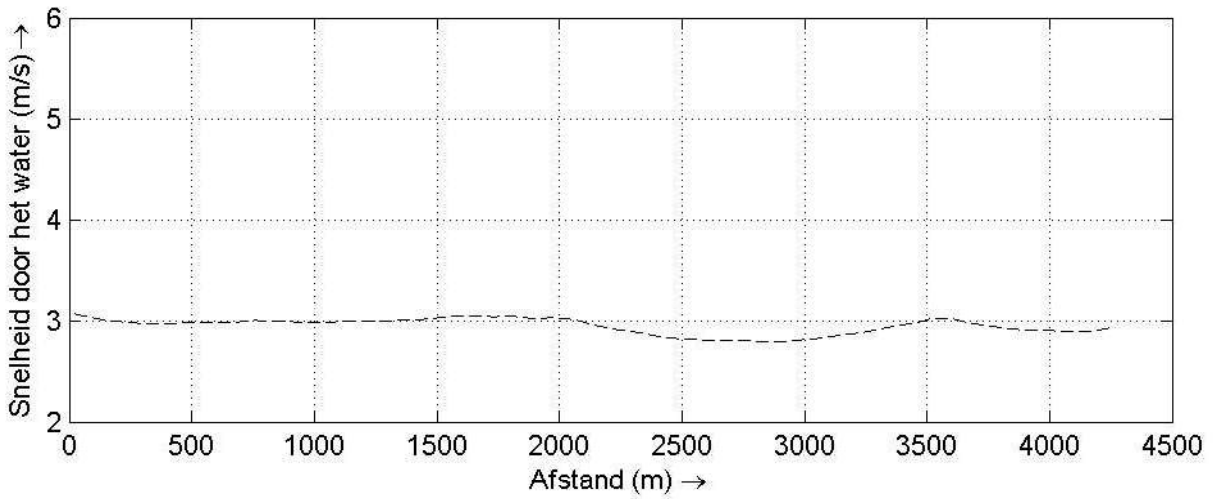
M3 - Hageenaar Run: 3262

Project: 34504

MARIN

SHIPMA 7.4.2

Fig. B



Scheepssnelheid, roerhoek en omwentelingen

M3 - Hageenaar

Run: 3262

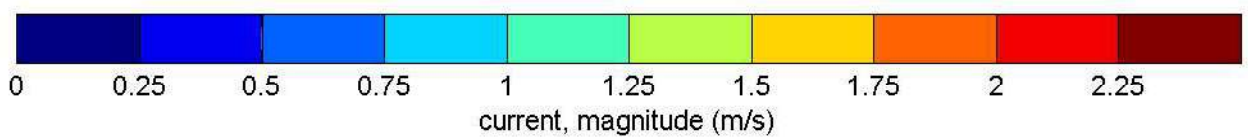
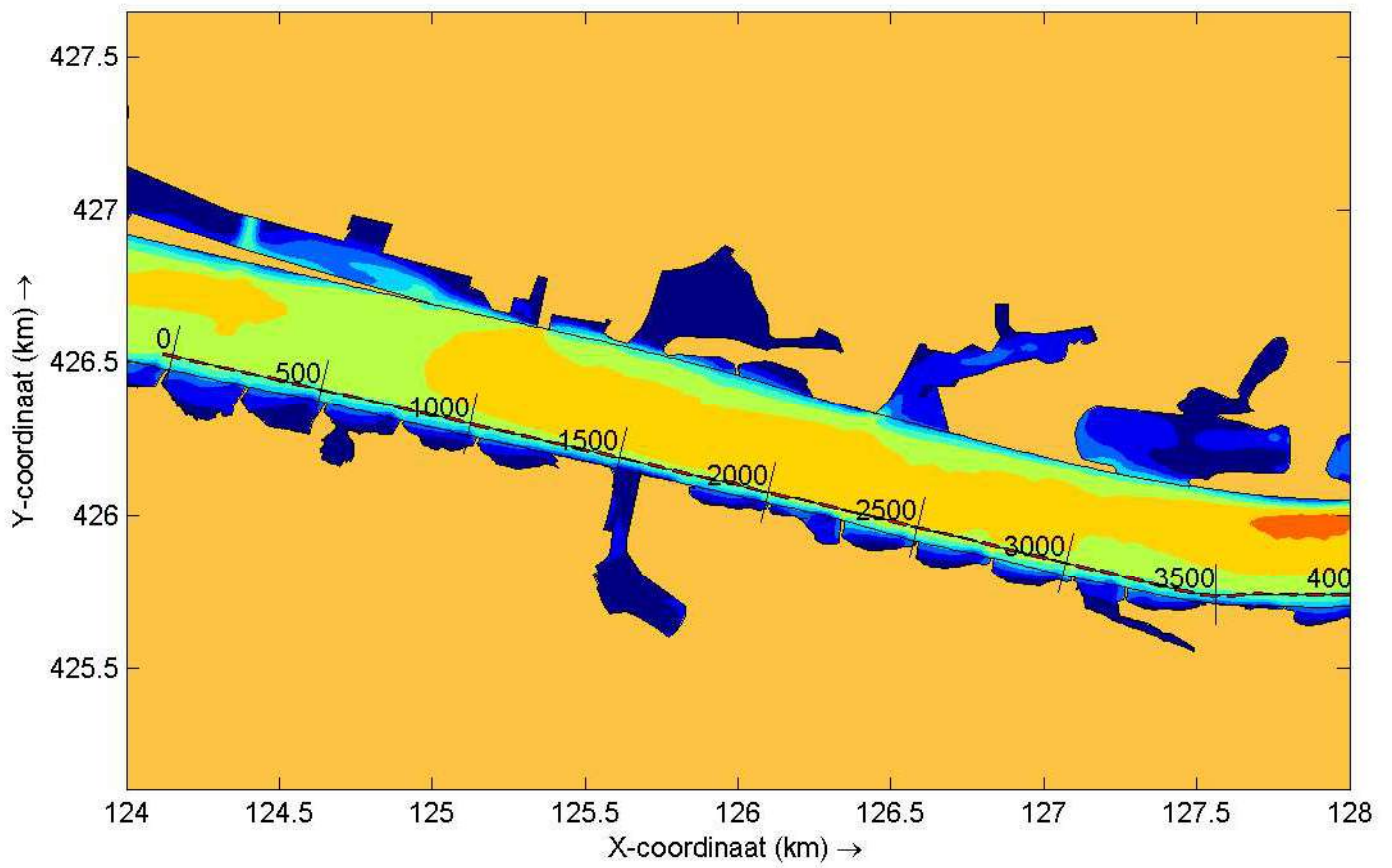
Project: 34504

MARIN

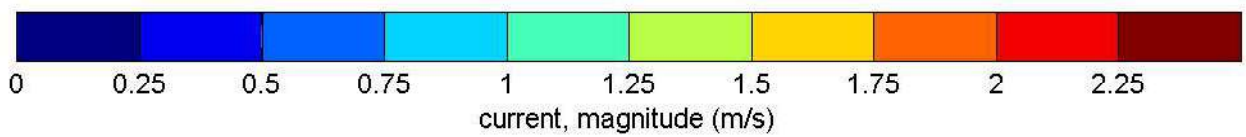
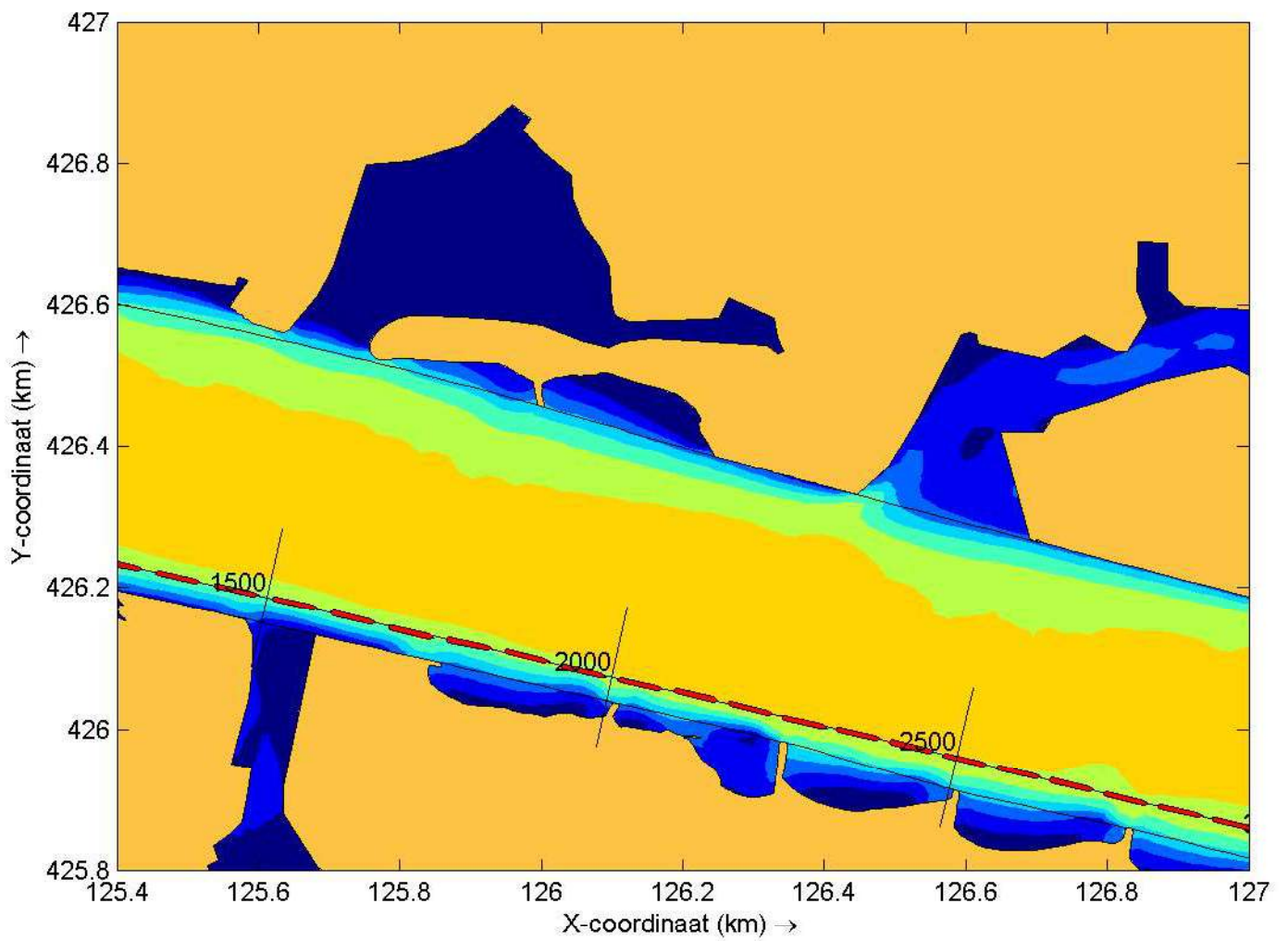
SHIPMA 7.4.2

Fig. C

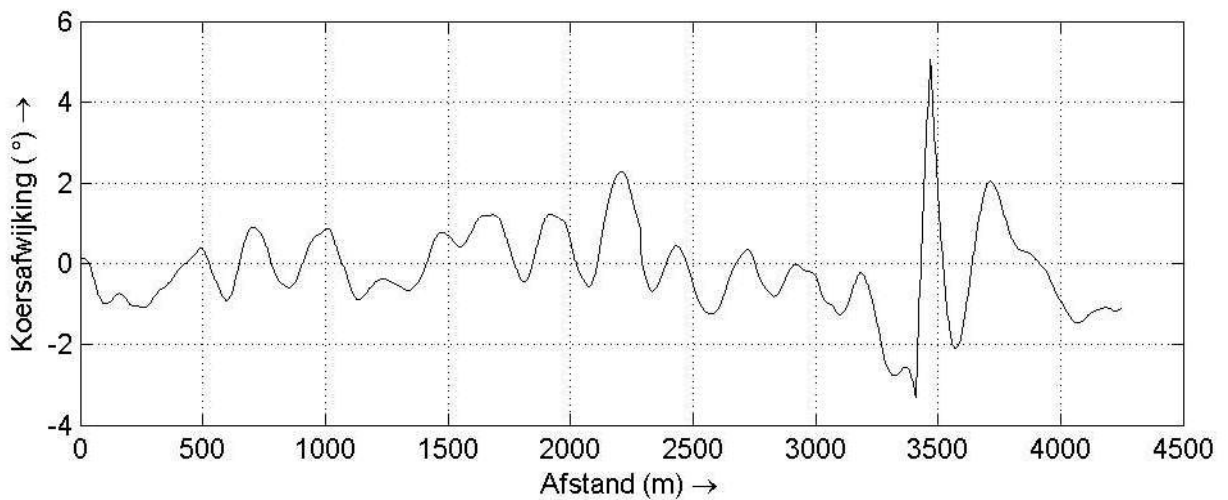
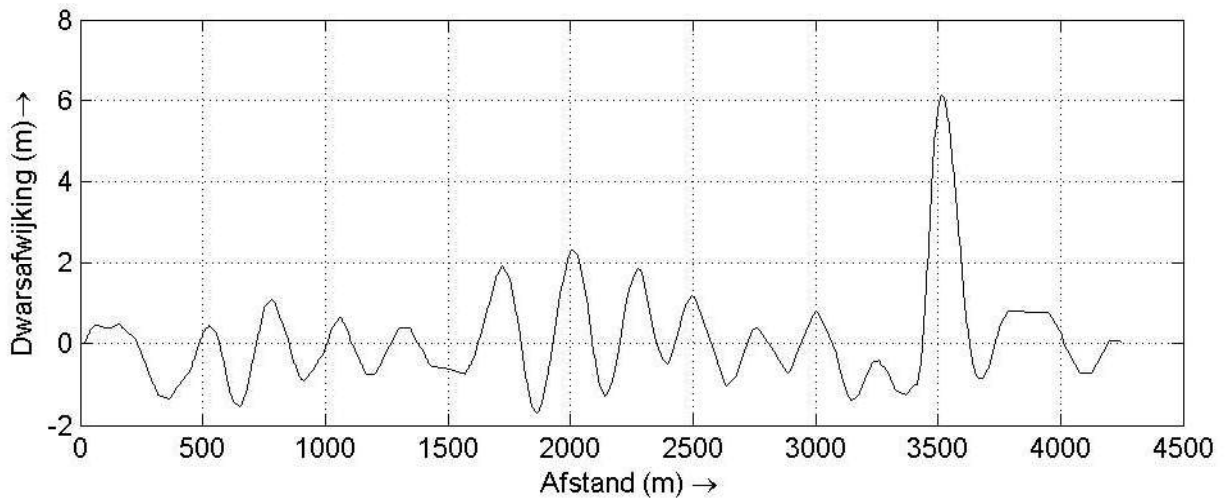
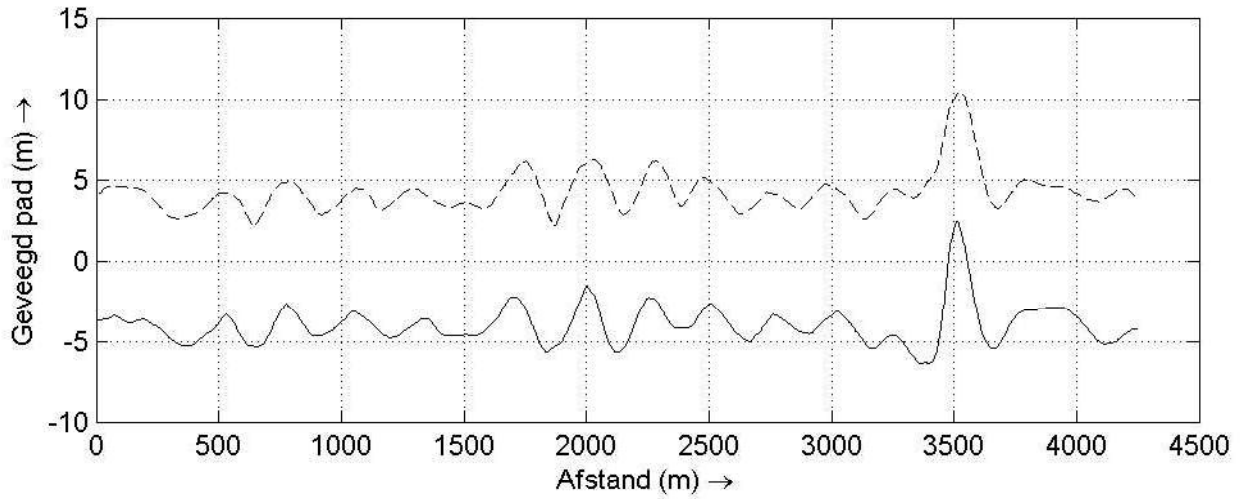
RUN-ID: 3281



Overzichtsplot inclusief route en stroom	M3 - Hagebaar	Run: 3281
	Project: 34504	
MARIN	SHIPMA 7.4.2	Fig. A



Detail trackplot	M3 - Hagenaar	Run: 3281
	Project: 34504	
MARIN	SHIPMA 7.4.2	Fig. A1



Geveegd pad (getrokken: bakboord; streeplijn: stuurboord)

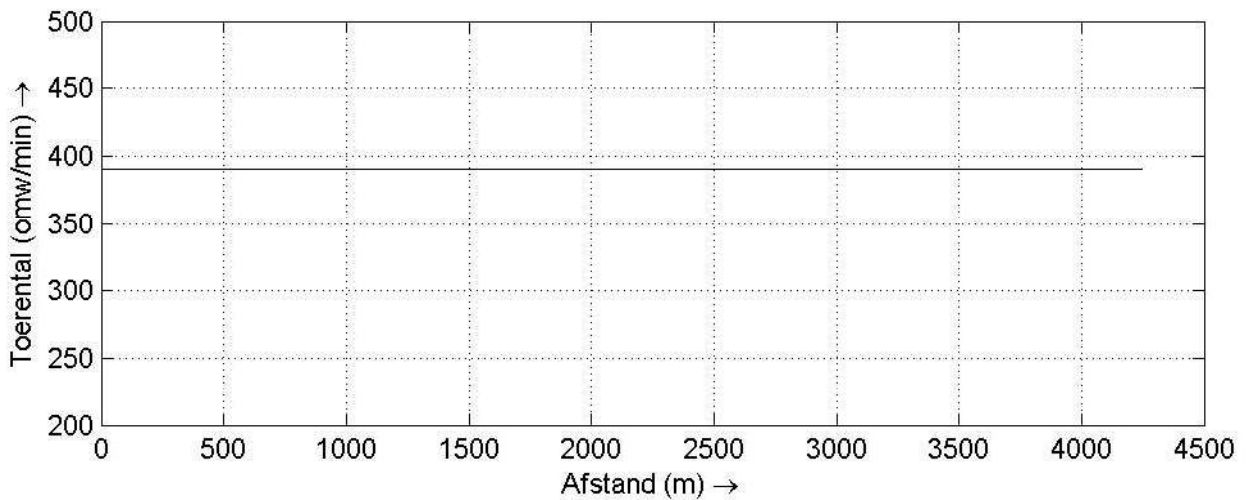
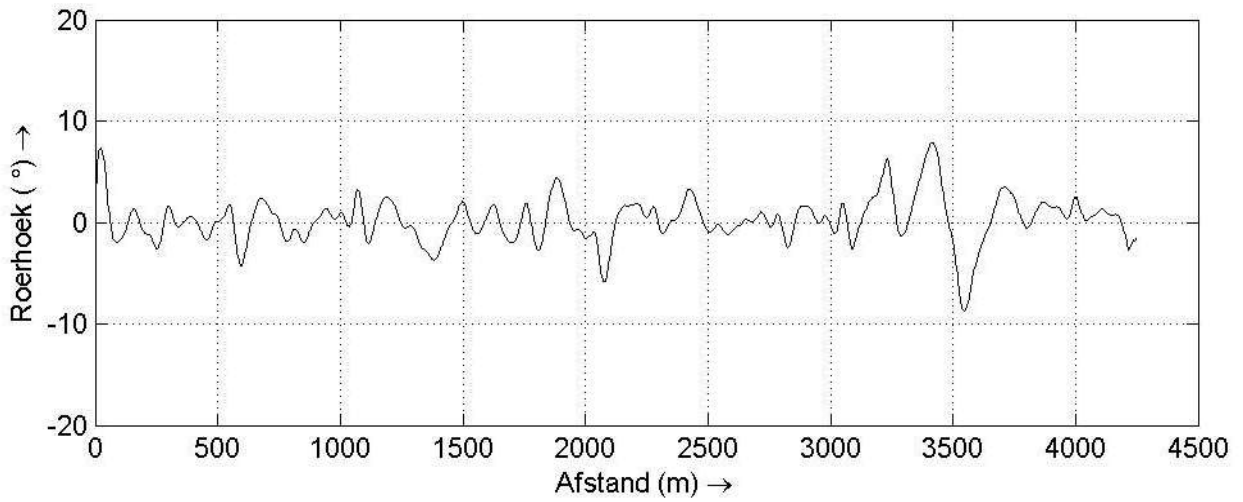
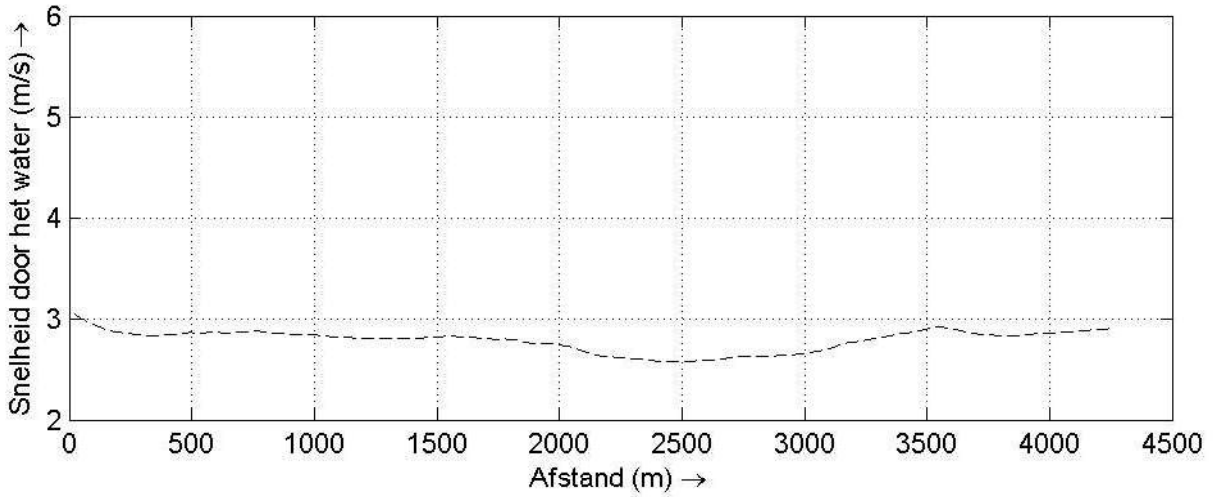
M3 - Hageenaar Run: 3281

Project: 34504

MARIN

SHIPMA 7.4.2

Fig. B



Scheepssnelheid, roerhoek en omwentelingen

M3 - Hageenaar

Run: 3281

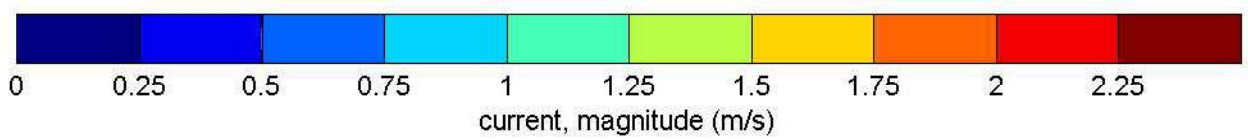
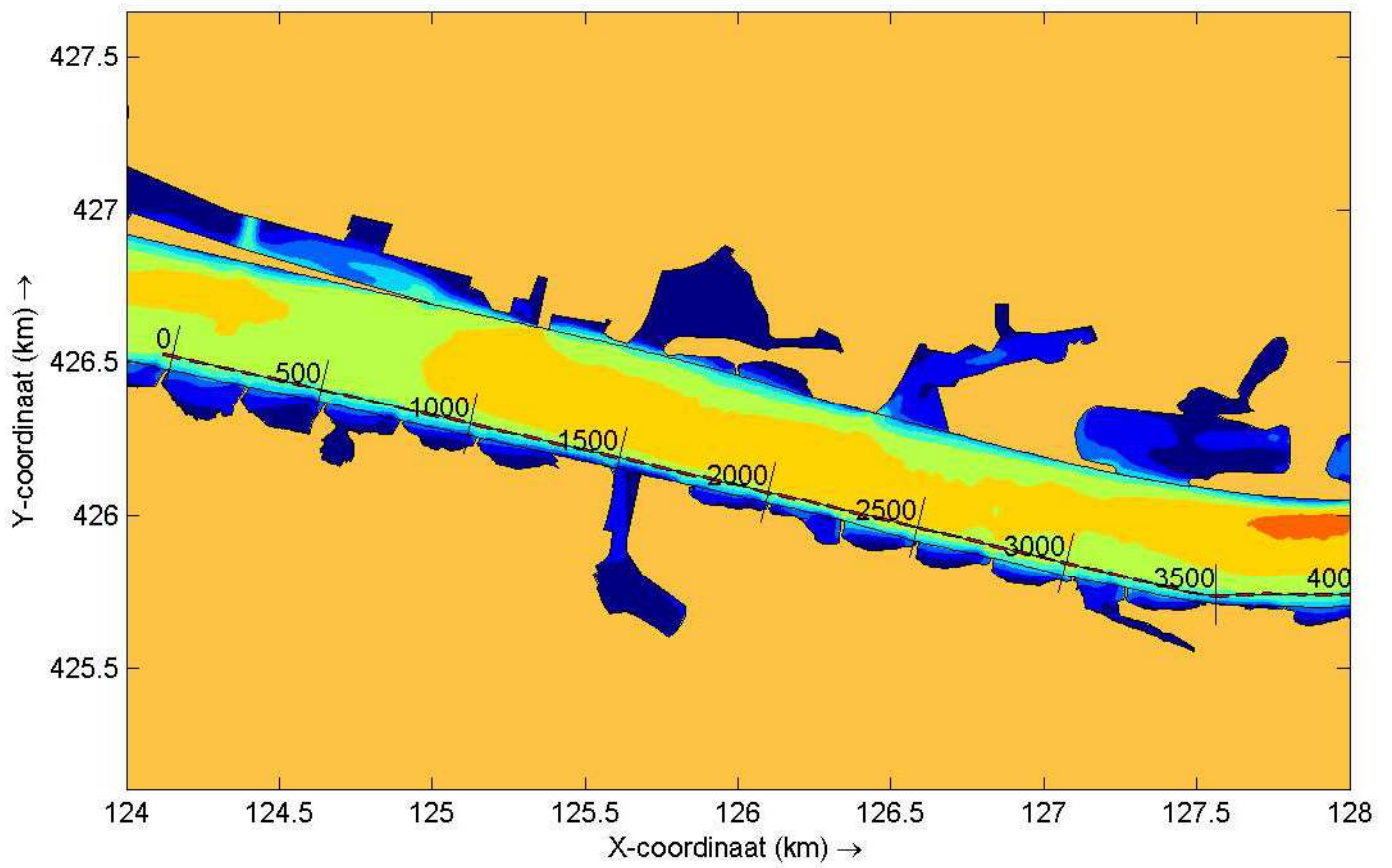
Project: 34504

MARIN

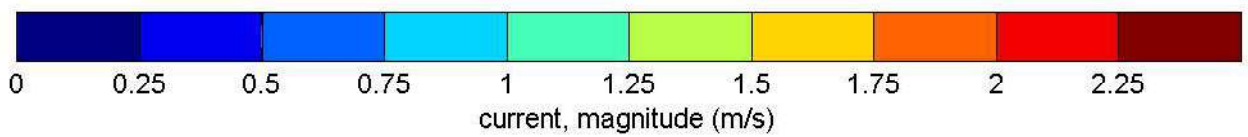
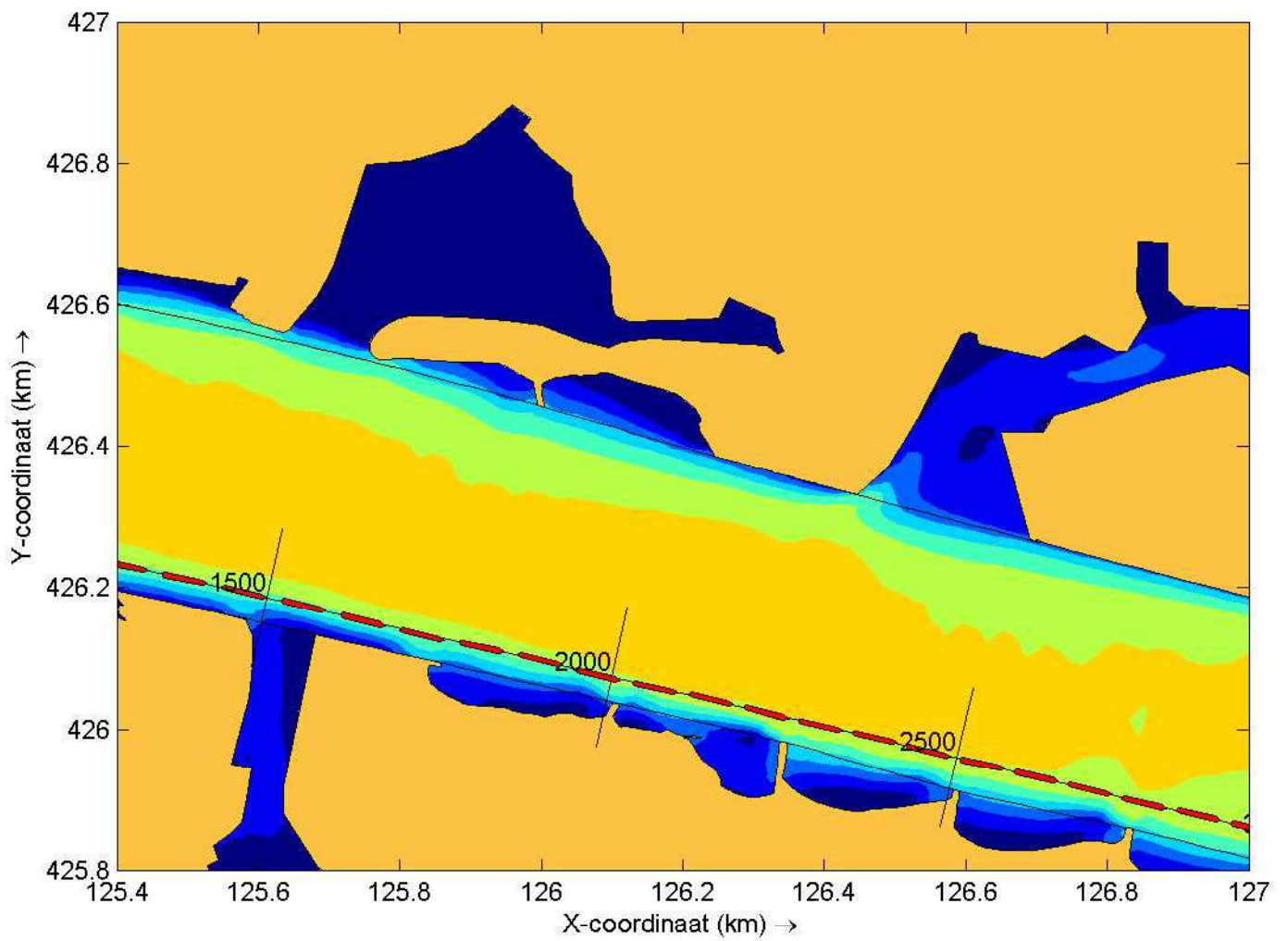
SHIPMA 7.4.2

Fig. C

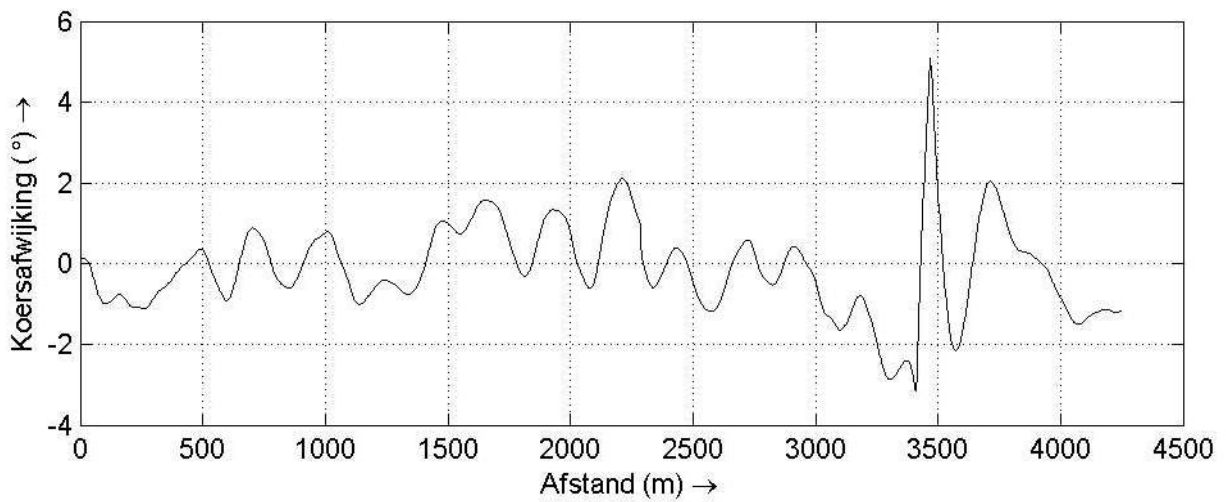
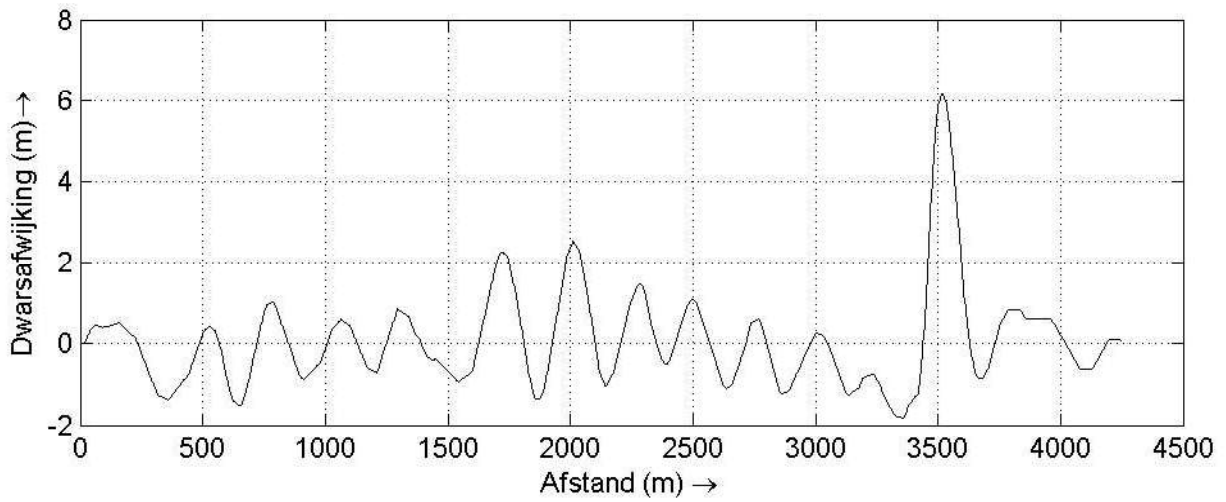
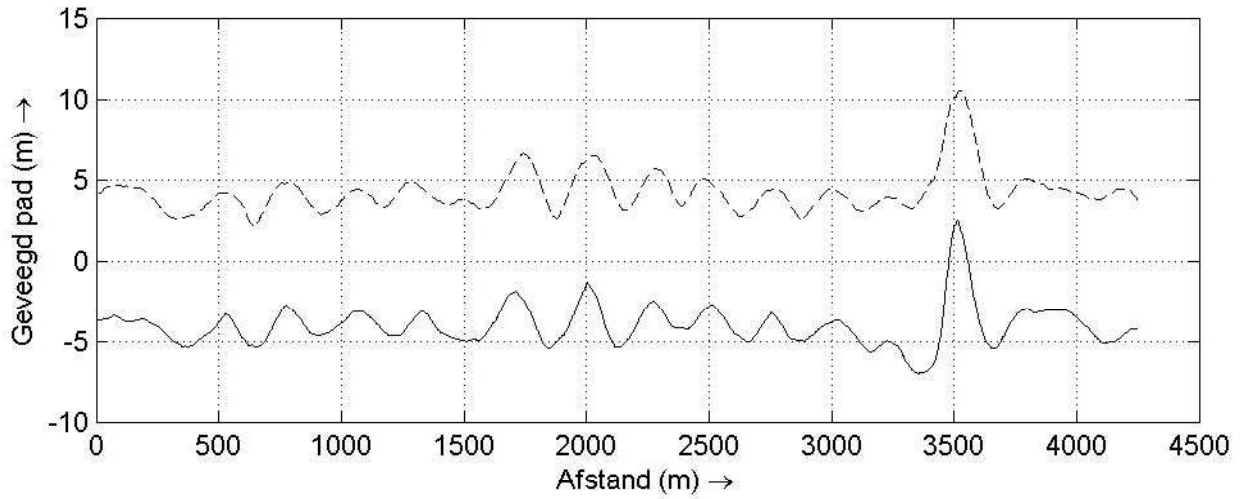
RUN-ID: 3282



Overzichtsplot inclusief route en stroom	M3 - Hagebaar	Run: 3282
	Project: 34504	
MARIN	SHIPMA 7.4.2	Fig. A



Detail trackplot	M3 - Hageenaar	Run: 3282
	Project: 34504	
MARIN	SHIPMA 7.4.2	Fig. A1



Geveegd pad (getrokken: bakboord; streeplijn: stuurboord)

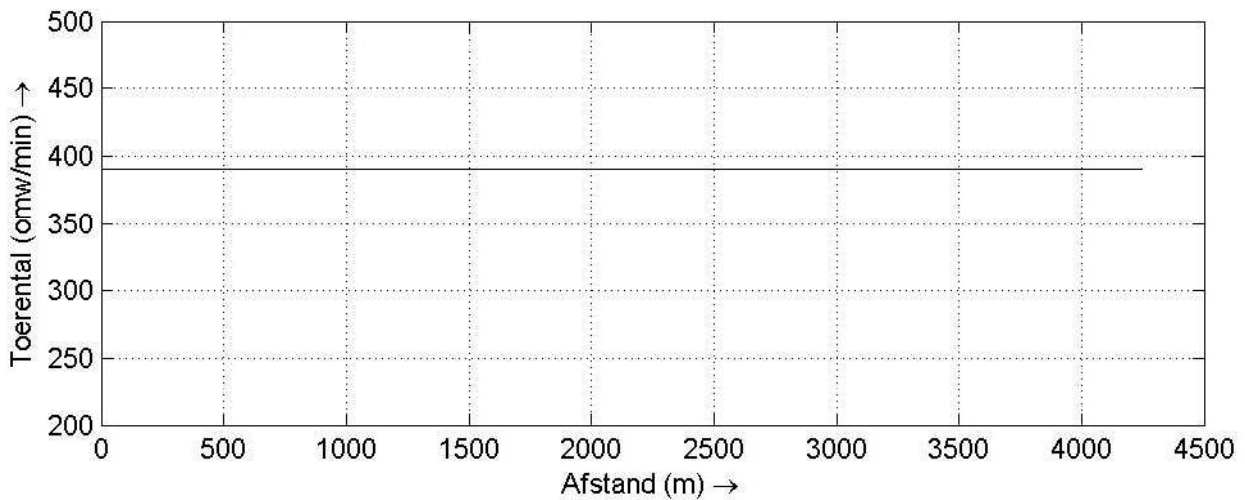
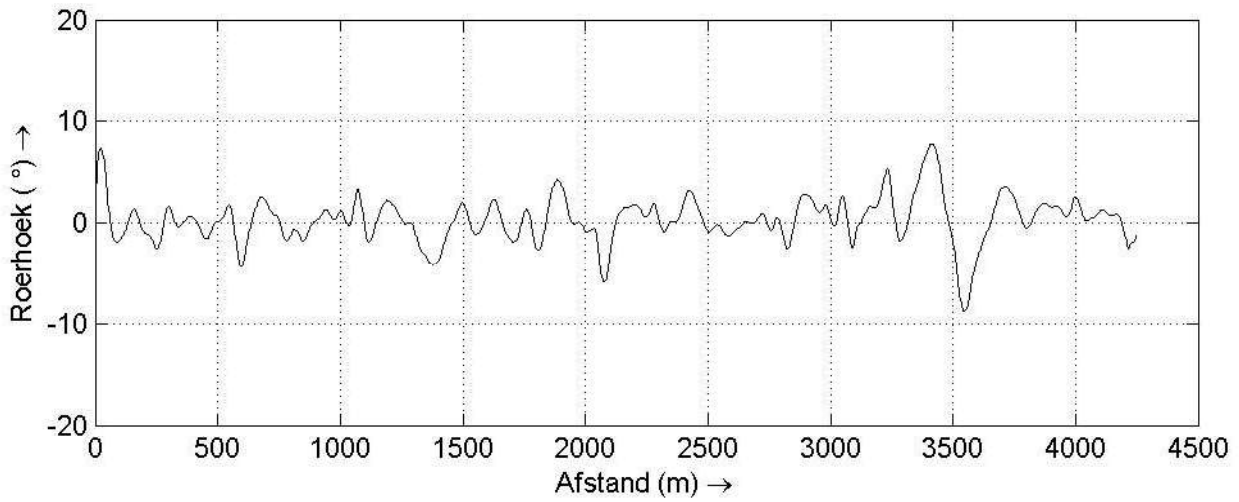
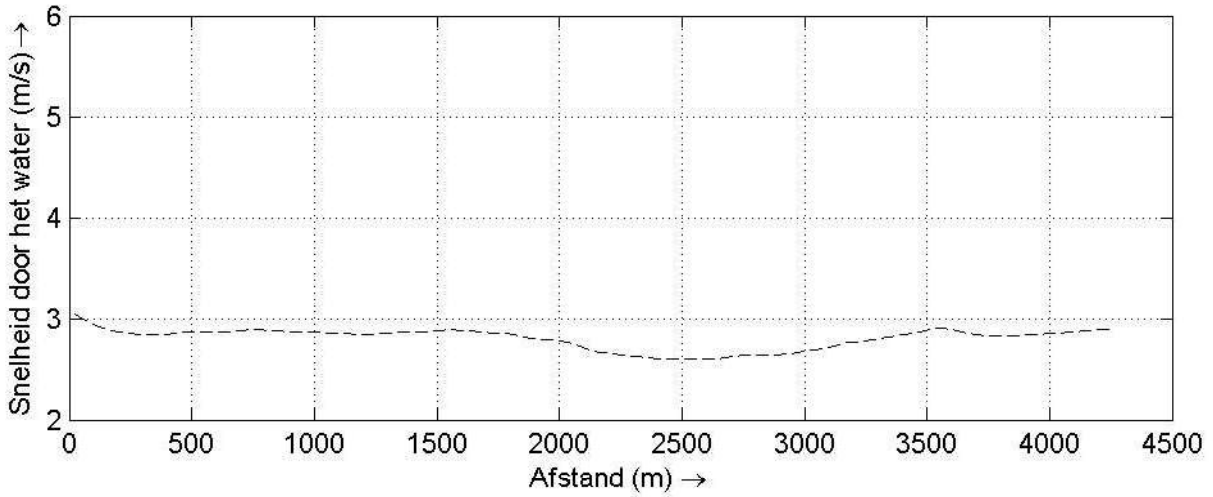
M3 - Hageenaar Run: 3282

Project: 34504

MARIN

SHIPMA 7.4.2

Fig. B



Scheepssnelheid, roerhoek en omwentelingen

M3 - Hageenaar

Run: 3282

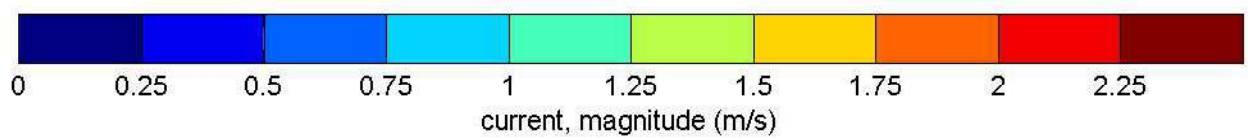
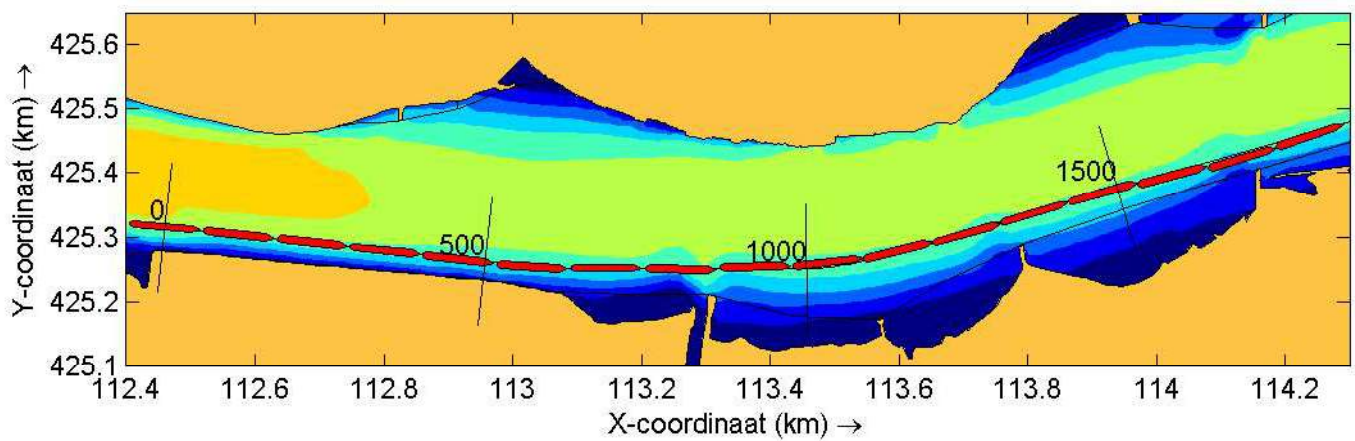
Project: 34504

MARIN

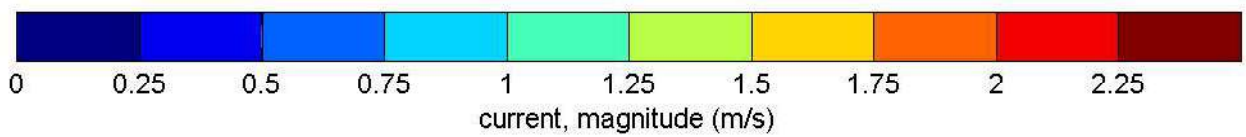
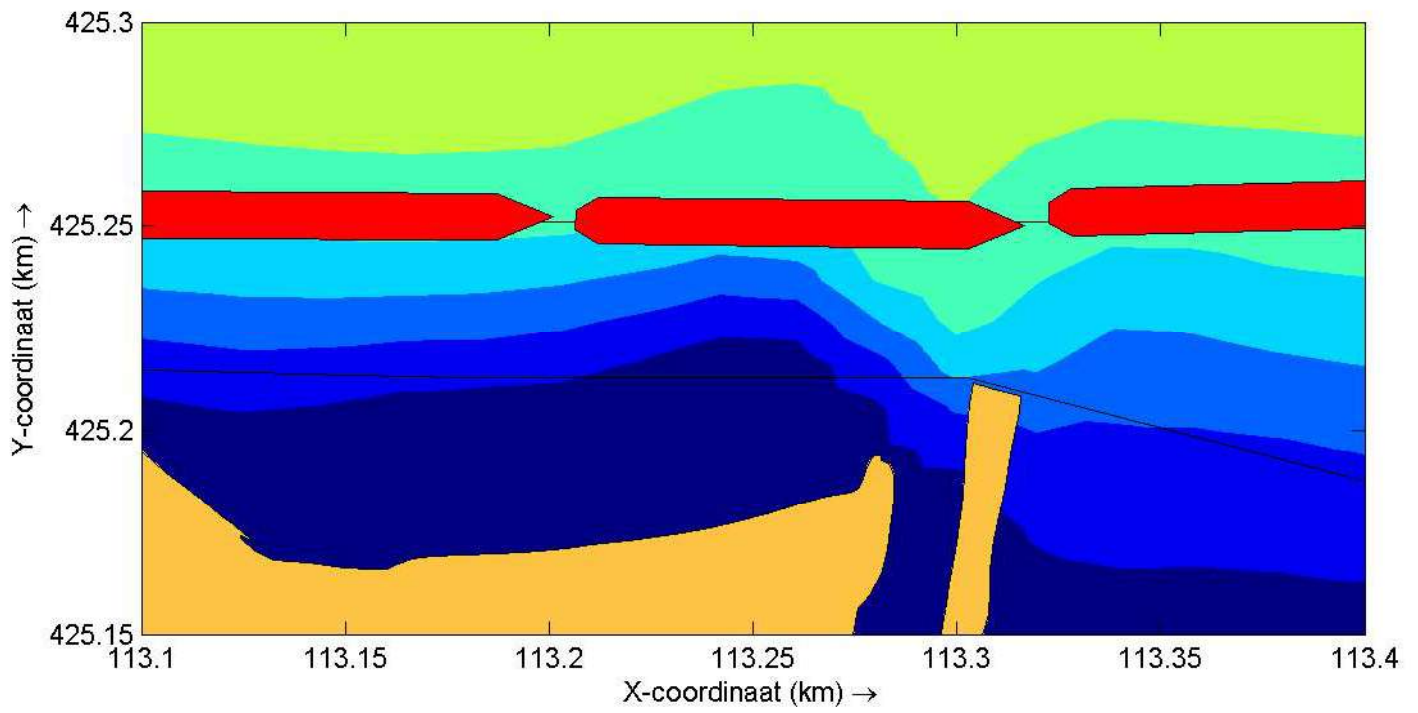
SHIPMA 7.4.2

Fig. C

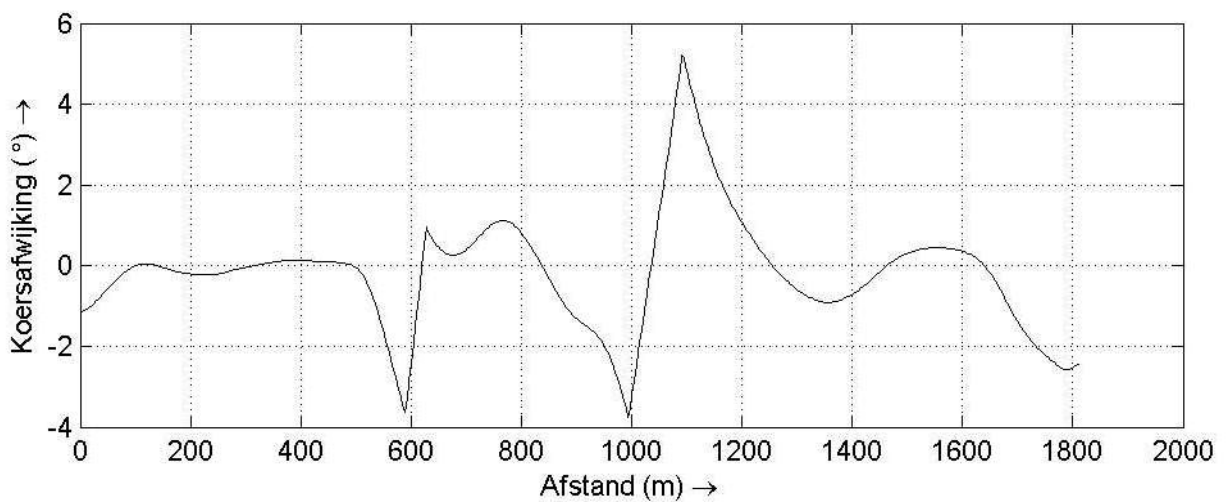
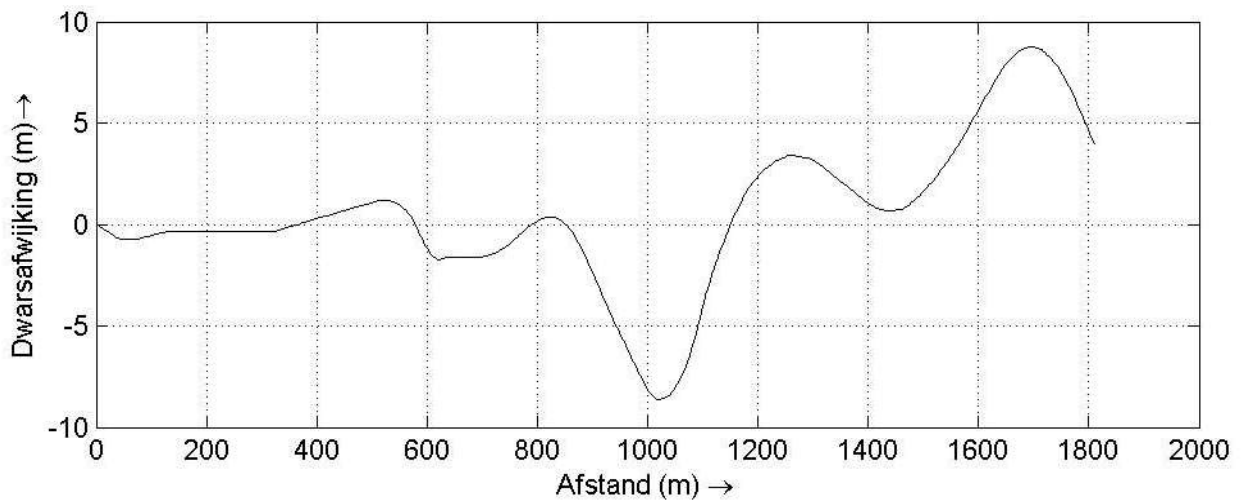
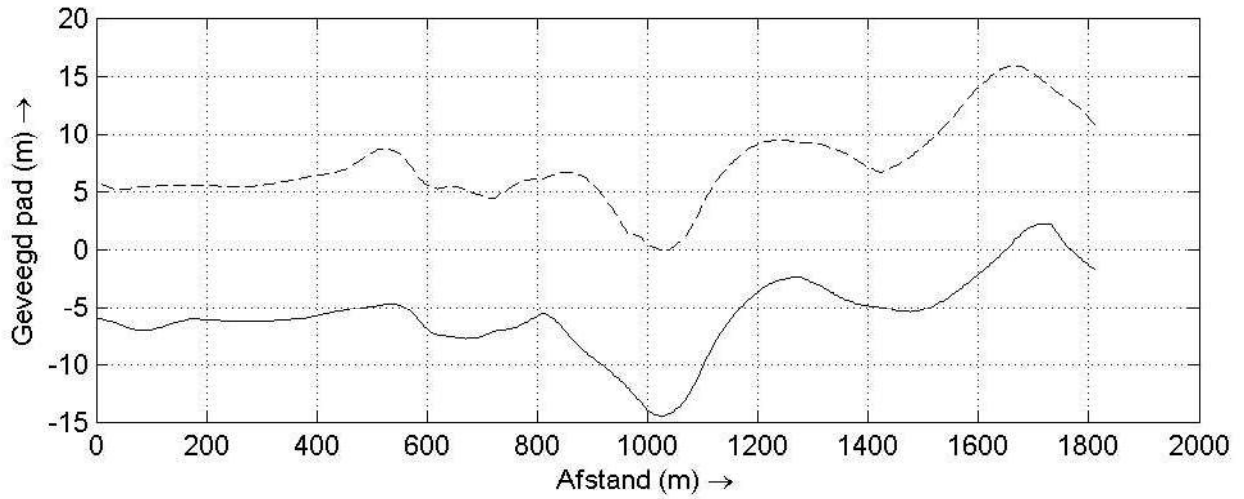
RUN-ID: 5181



Overzichtsplot inclusief route en stroom	M8 - Groot Rijnschip	Run: 5181
	Project: 34504	
MARIN	SHIPMA 7.4.2	Fig. A



Detail trackplot	M8 - Groot Rijnschip	Run: 5181
	Project: 34504	
MARIN	SHIPMA 7.4.2	Fig. A1



Geveegd pad (getrokken: bakboord; streeplijn: stuurboord)

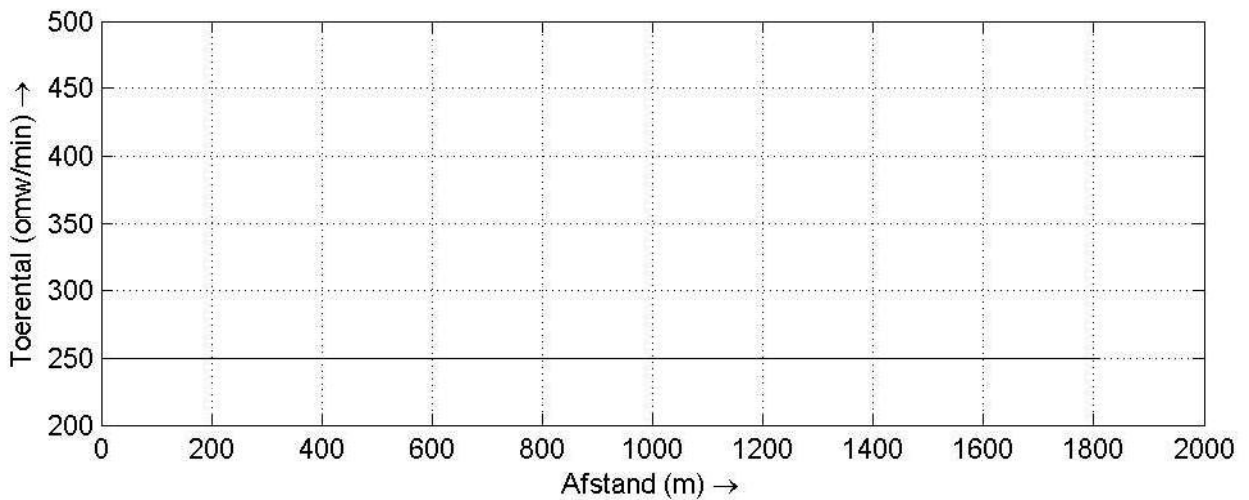
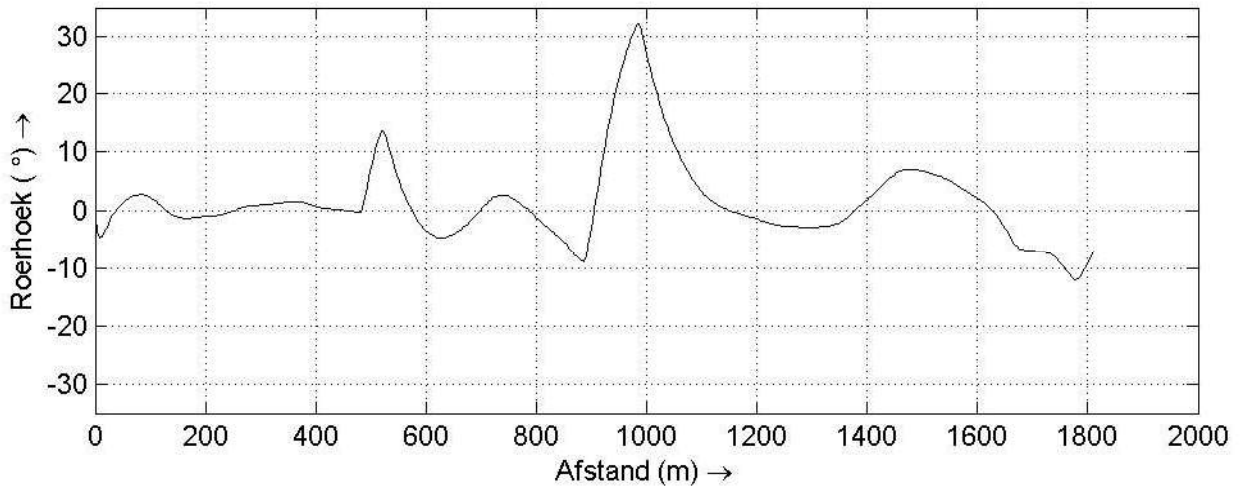
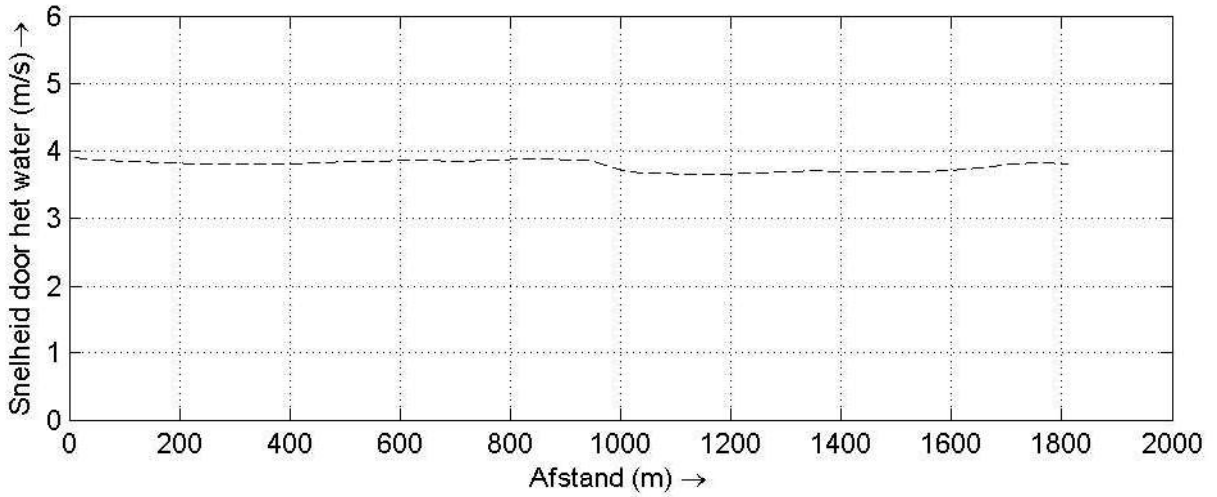
M8 - Groot Rijnschip Run: 5181

Project: 34504

MARIN

SHIPMA 7.4.2

Fig. B



Scheepssnelheid, roerhoek en omwentelingen

M8 - Groot Rijnschip Run: 5181

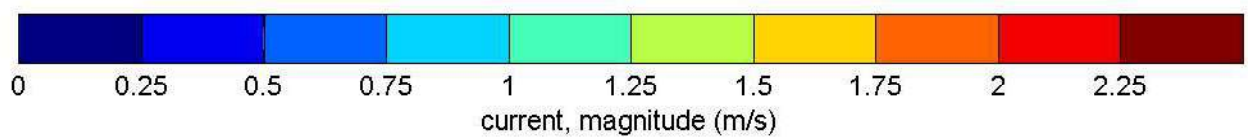
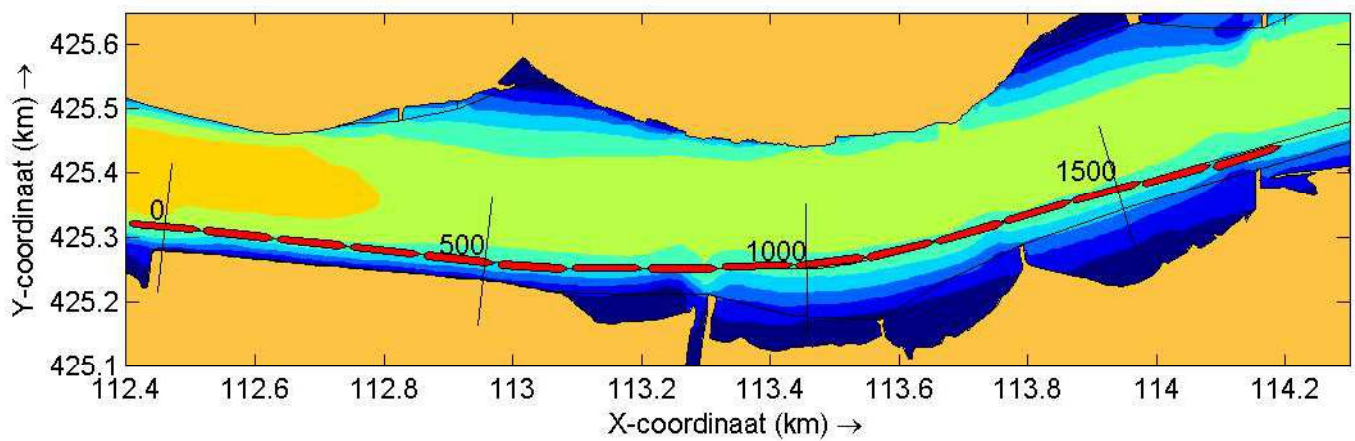
Project: 34504

MARIN

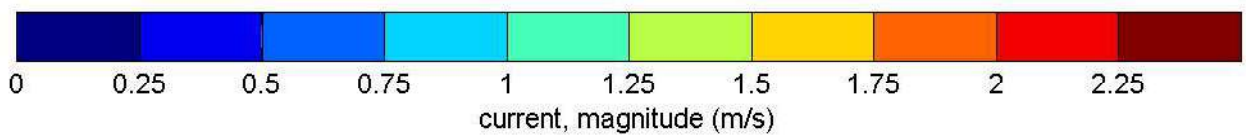
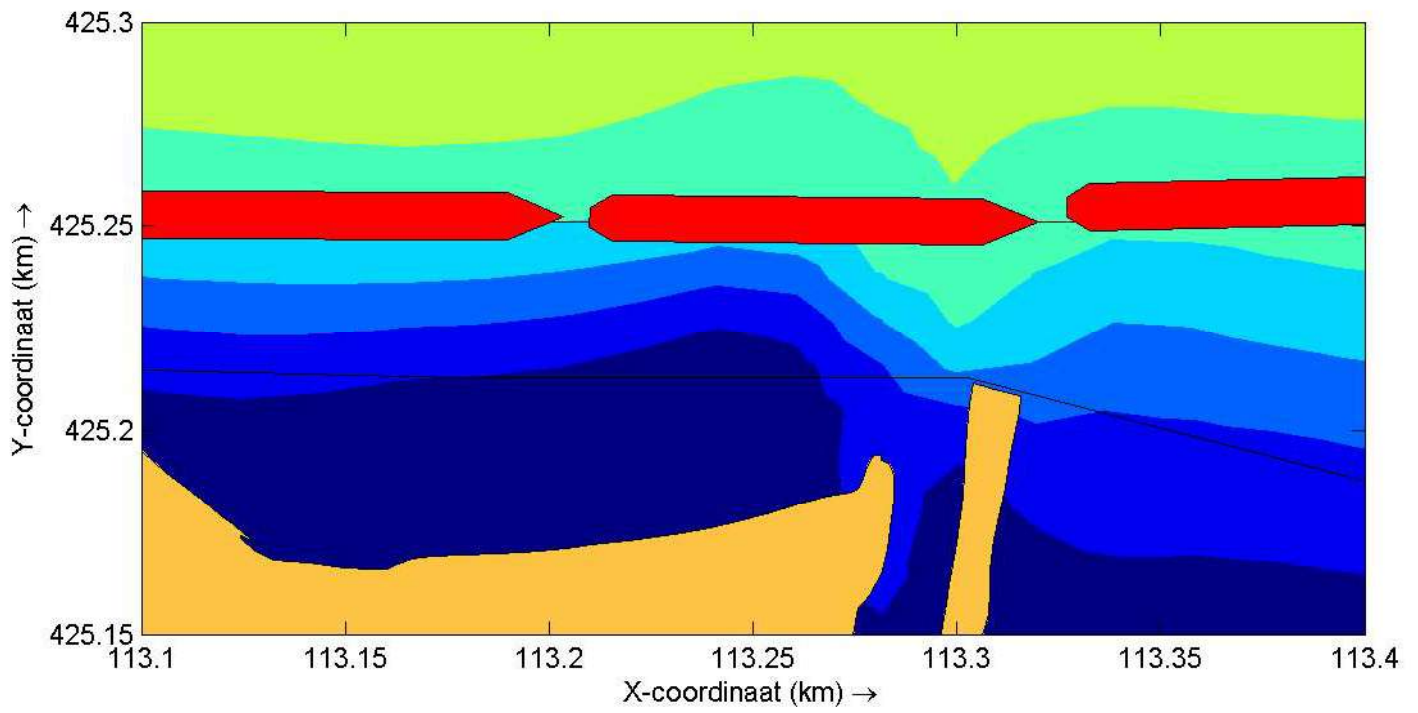
SHIPMA 7.4.2

Fig. C

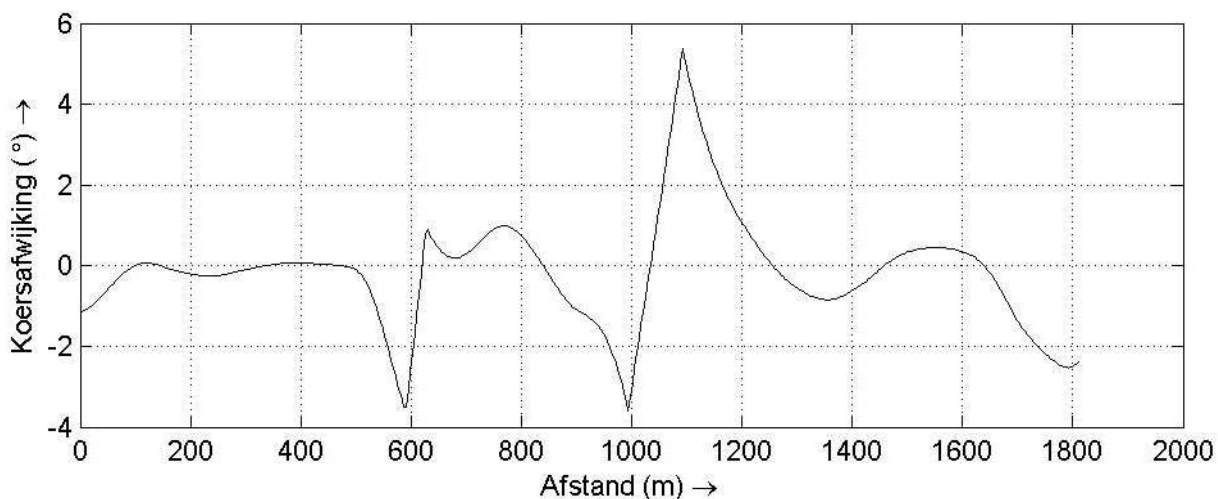
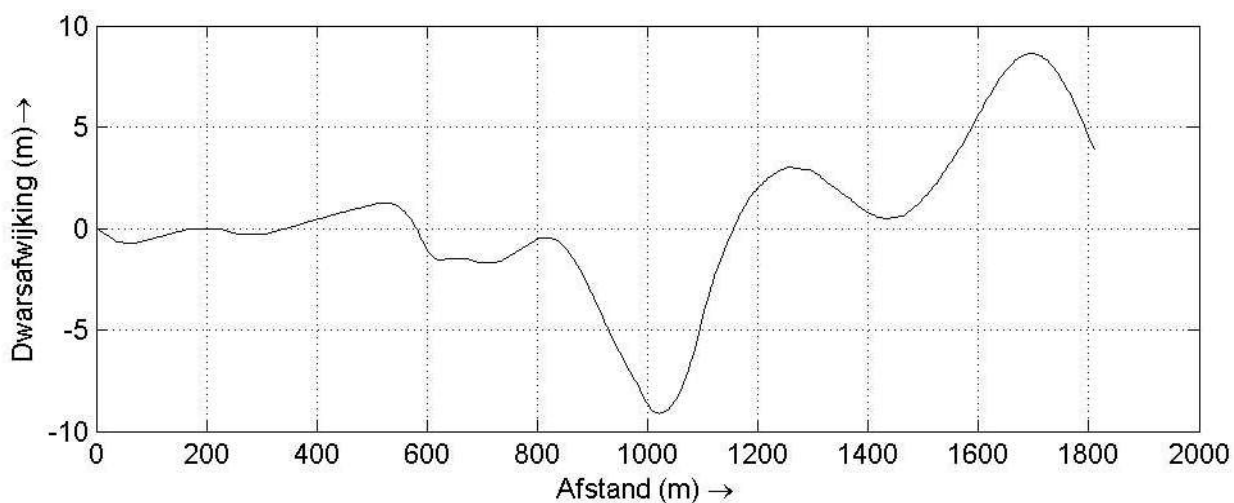
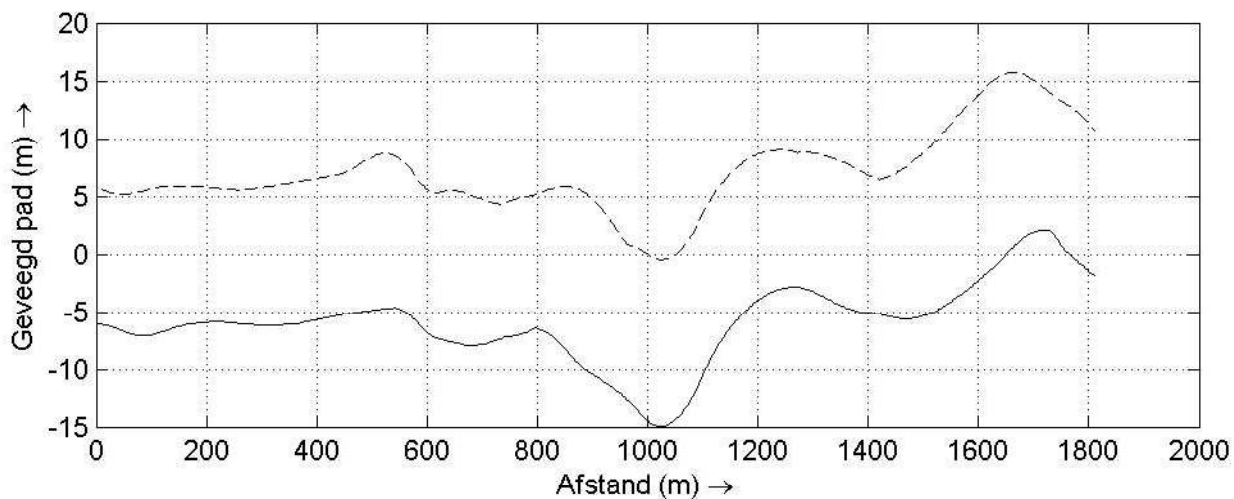
RUN-ID: 5182



Overzichtsplot inclusief route en stroom	M8 - Groot Rijnschip	Run: 5182
	Project: 34504	
MARIN	SHIPMA 7.4.2	Fig. A



Detail trackplot	M8 - Groot Rijnschip	Run: 5182
	Project: 34504	
MARIN	SHIPMA 7.4.2	Fig. A1



Geveegd pad (getrokken: bakboord; streeplijn: stuurboord)

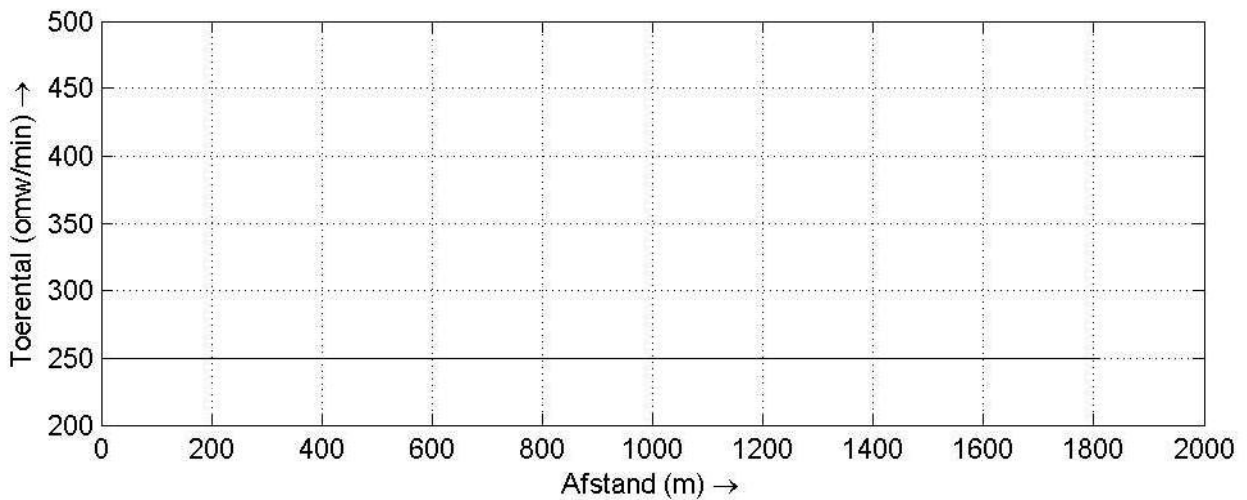
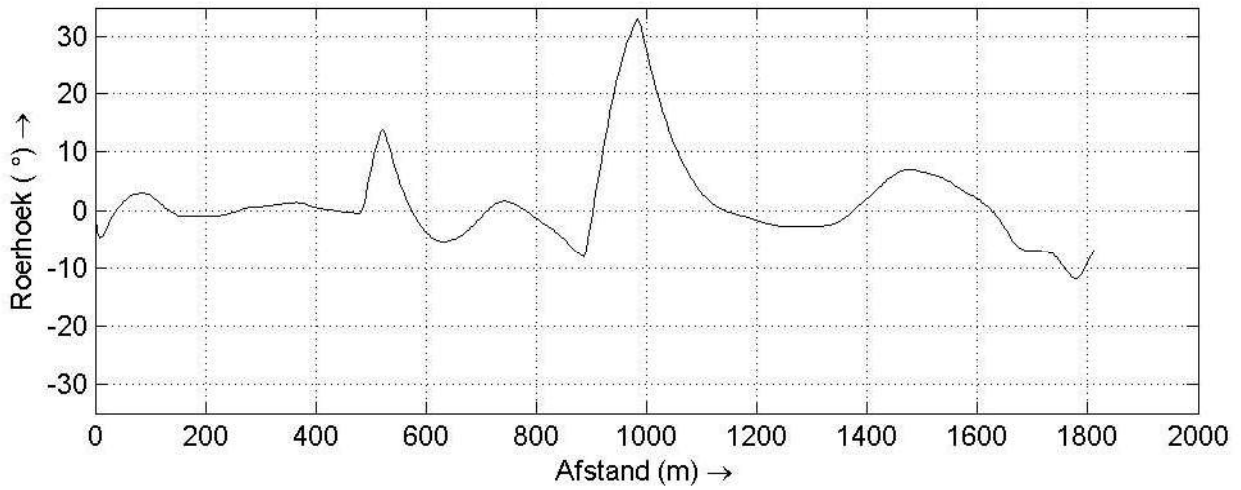
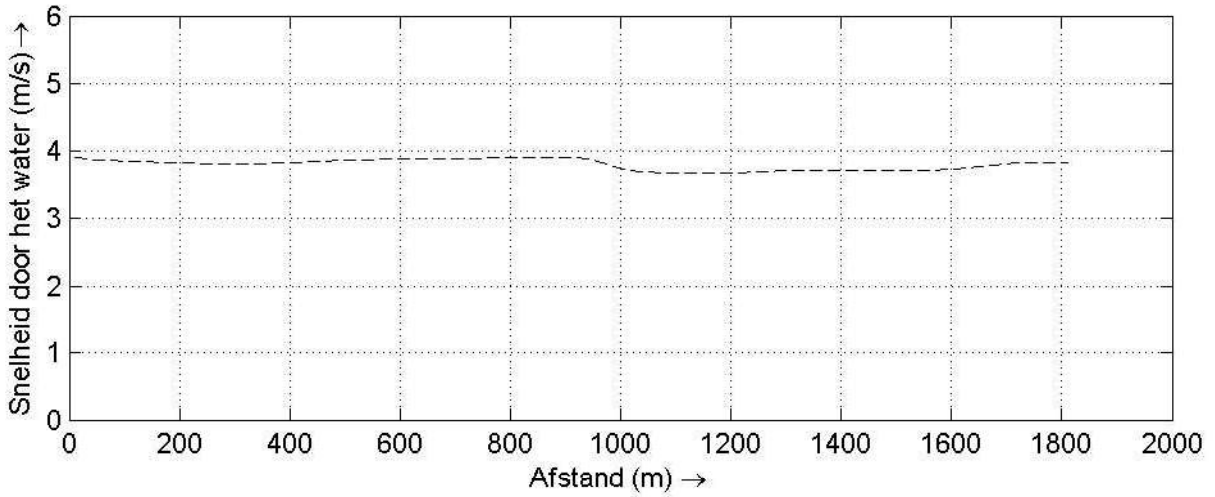
M8 - Groot Rijnschip Run: 5182

Project: 34504

MARIN

SHIPMA 7.4.2

Fig. B



Scheepssnelheid, roerhoek en omwentelingen

M8 - Groot Rijnschip Run: 5182

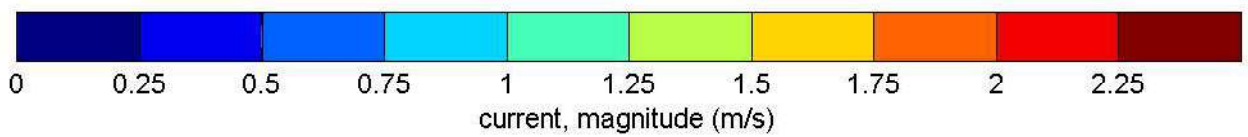
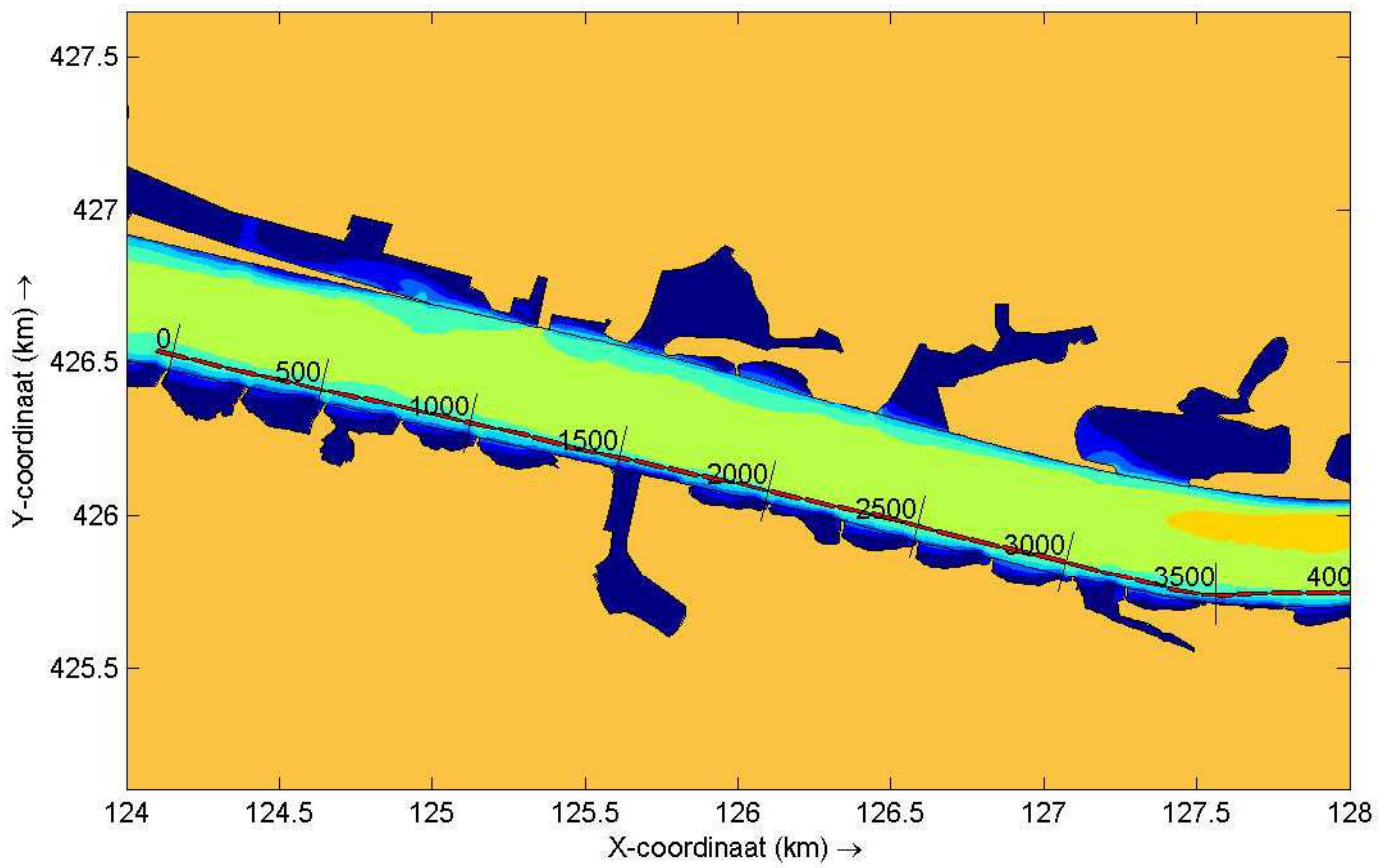
Project: 34504

MARIN

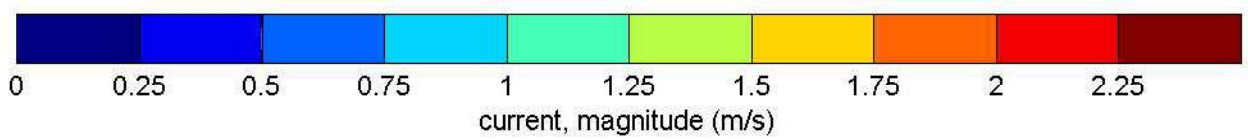
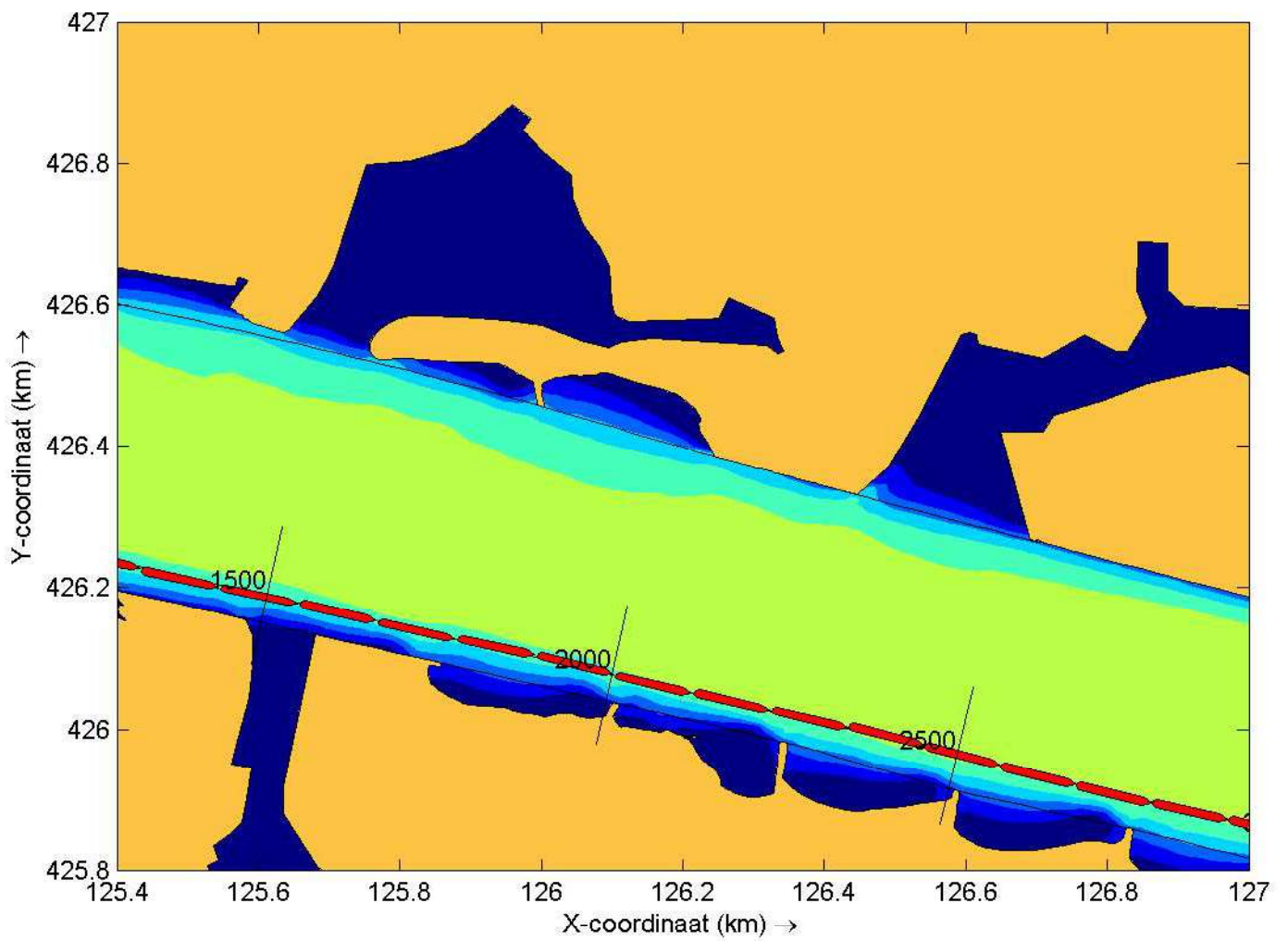
SHIPMA 7.4.2

Fig. C

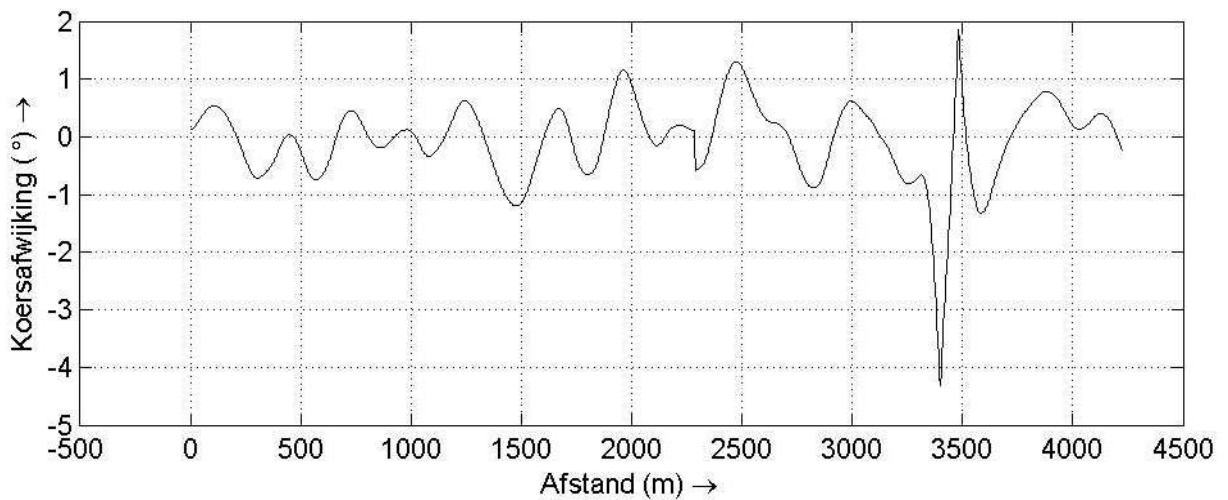
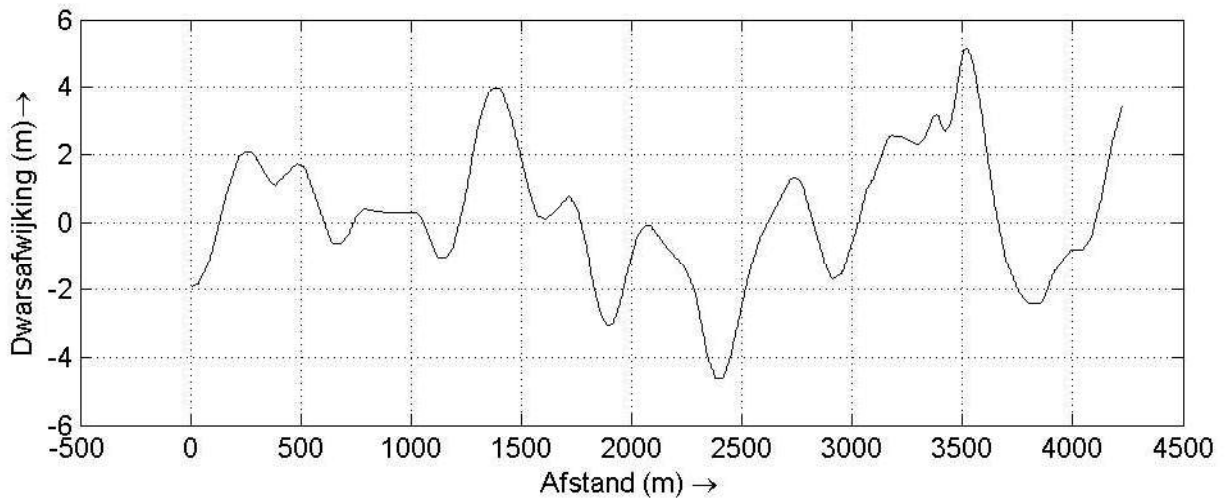
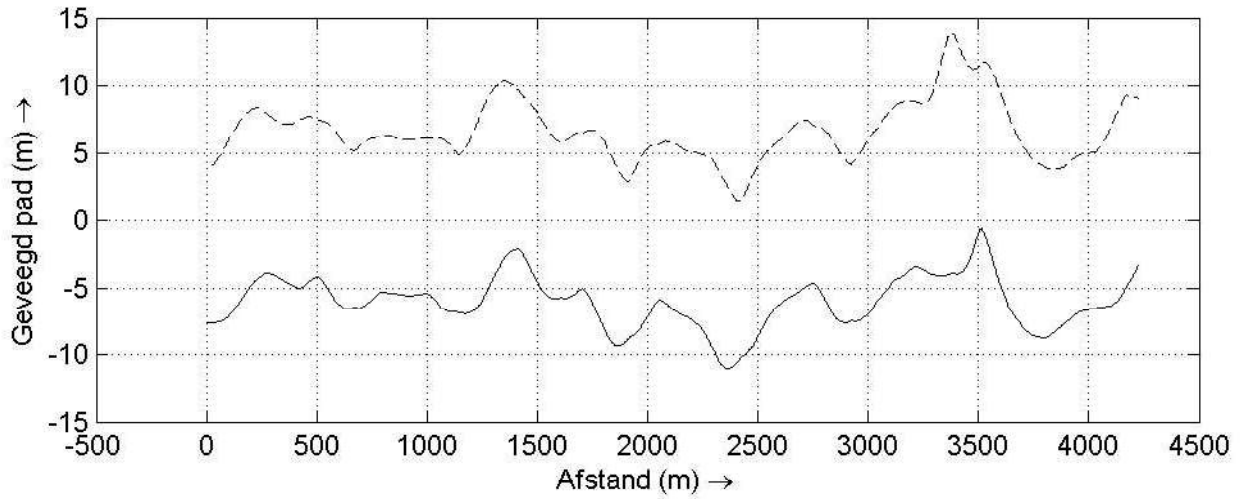
RUN-ID: 5261



Overzichtsplot inclusief route en stroom	M8 - Groot Rijnschip	Run: 5261
	Project: 34504	
MARIN	SHIPMA 7.4.2	Fig. A



Detail trackplot	M8 - Groot Rijnschip	Run: 5261
	Project: 34504	
MARIN	SHIPMA 7.4.2	Fig. A1



Geveegd pad (getrokken: bakboord; streeplijn: stuurboord)

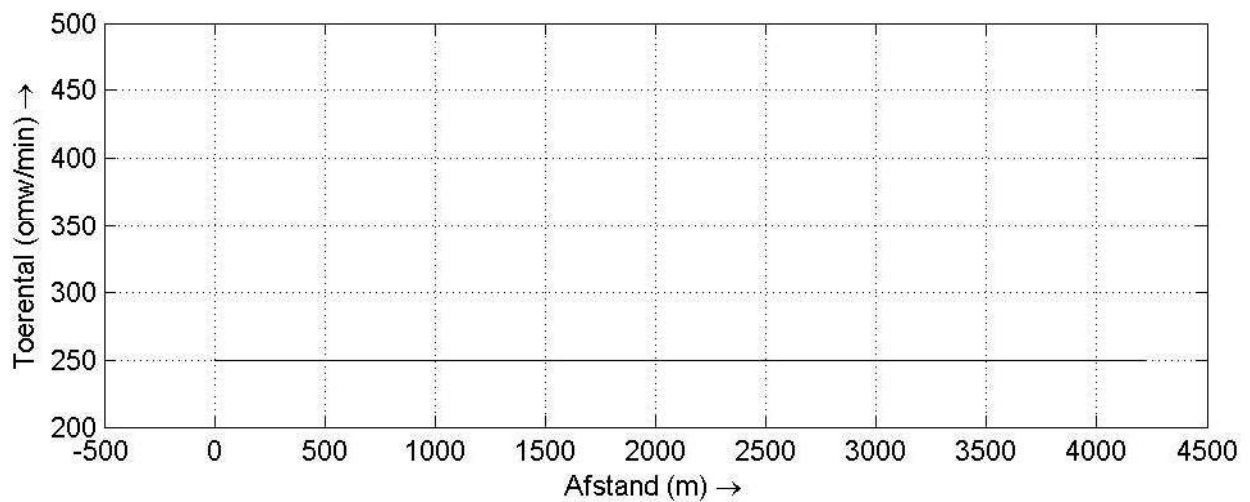
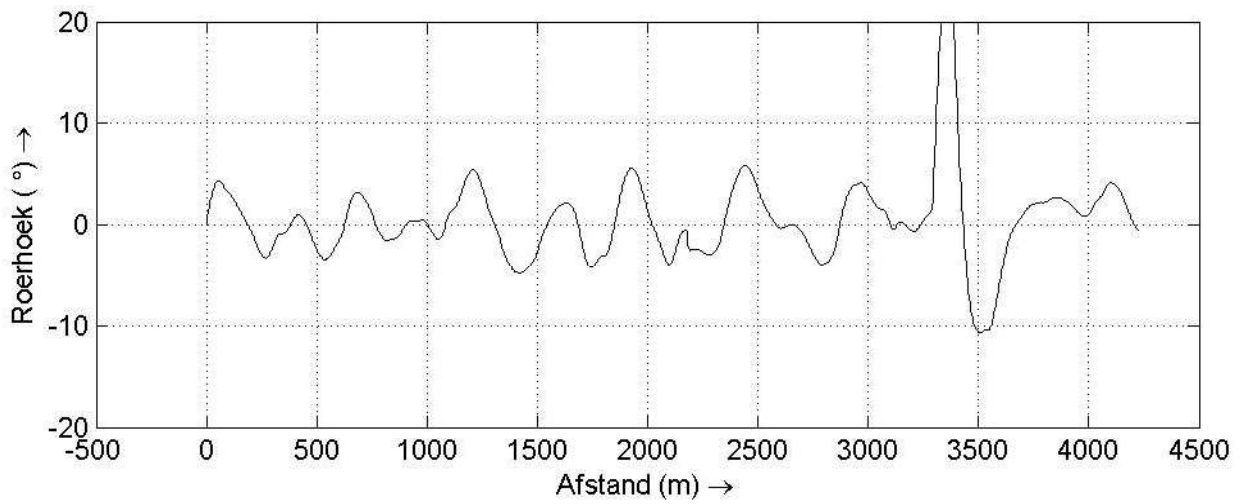
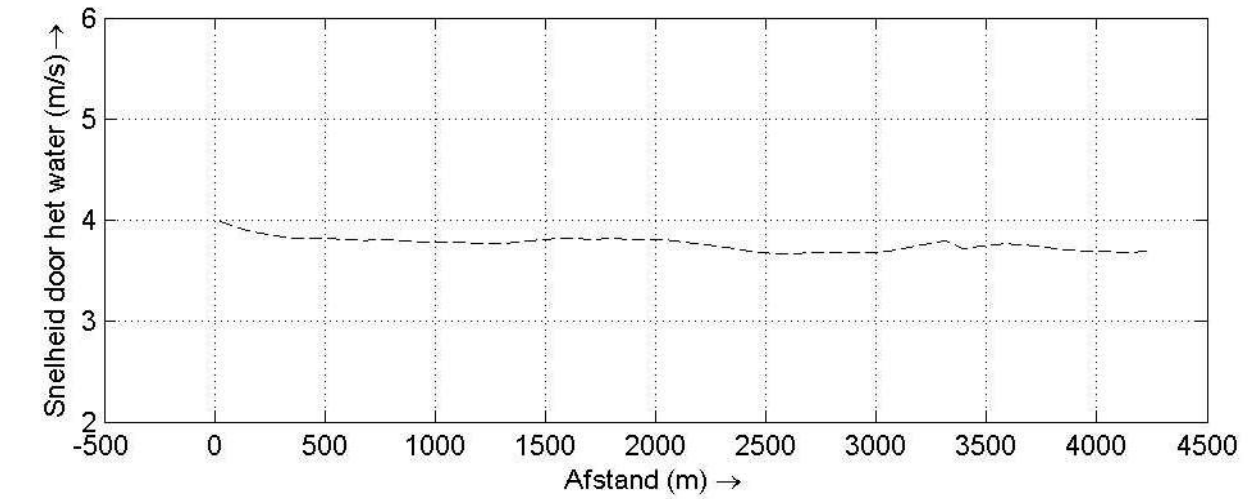
M8 - Groot Rijnschip Run: 5261

Project: 34504

MARIN

SHIPMA 7.4.2

Fig. B



Scheepssnelheid, roerhoek en omwentelingen

M8 - Groot Rijnschip

Run: 5261

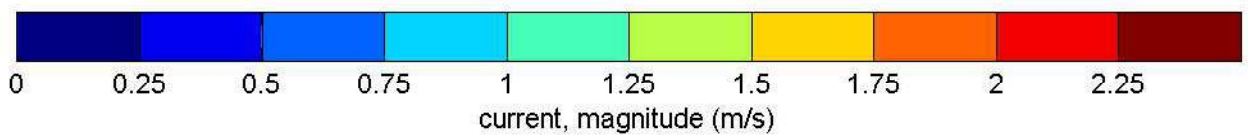
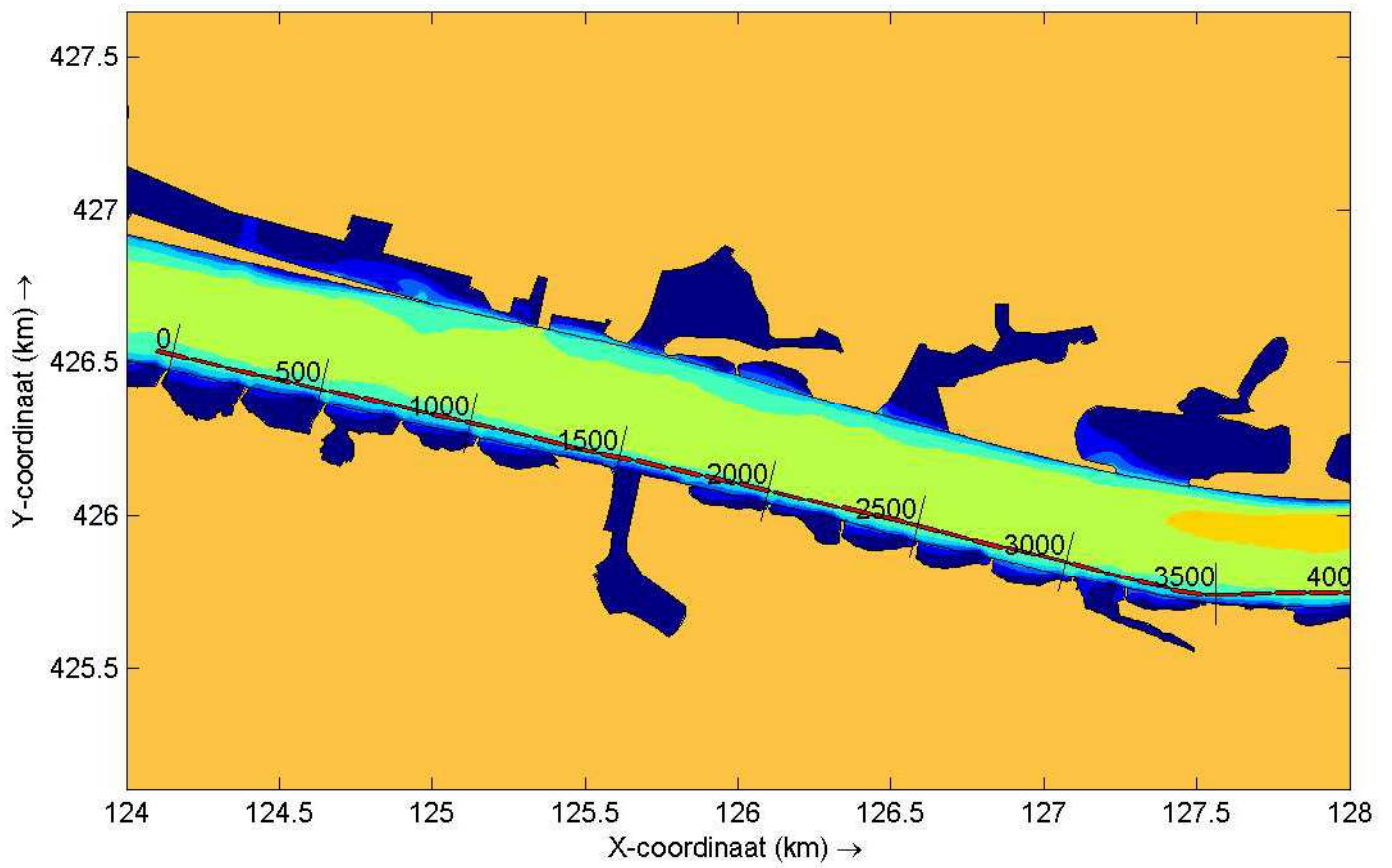
Project: 34504

MARIN

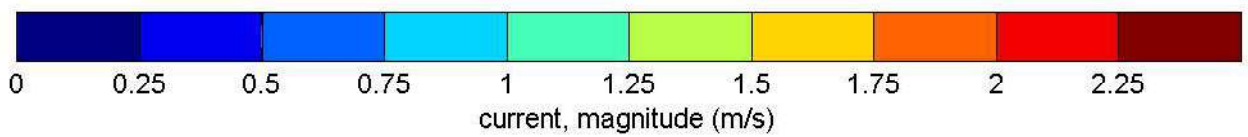
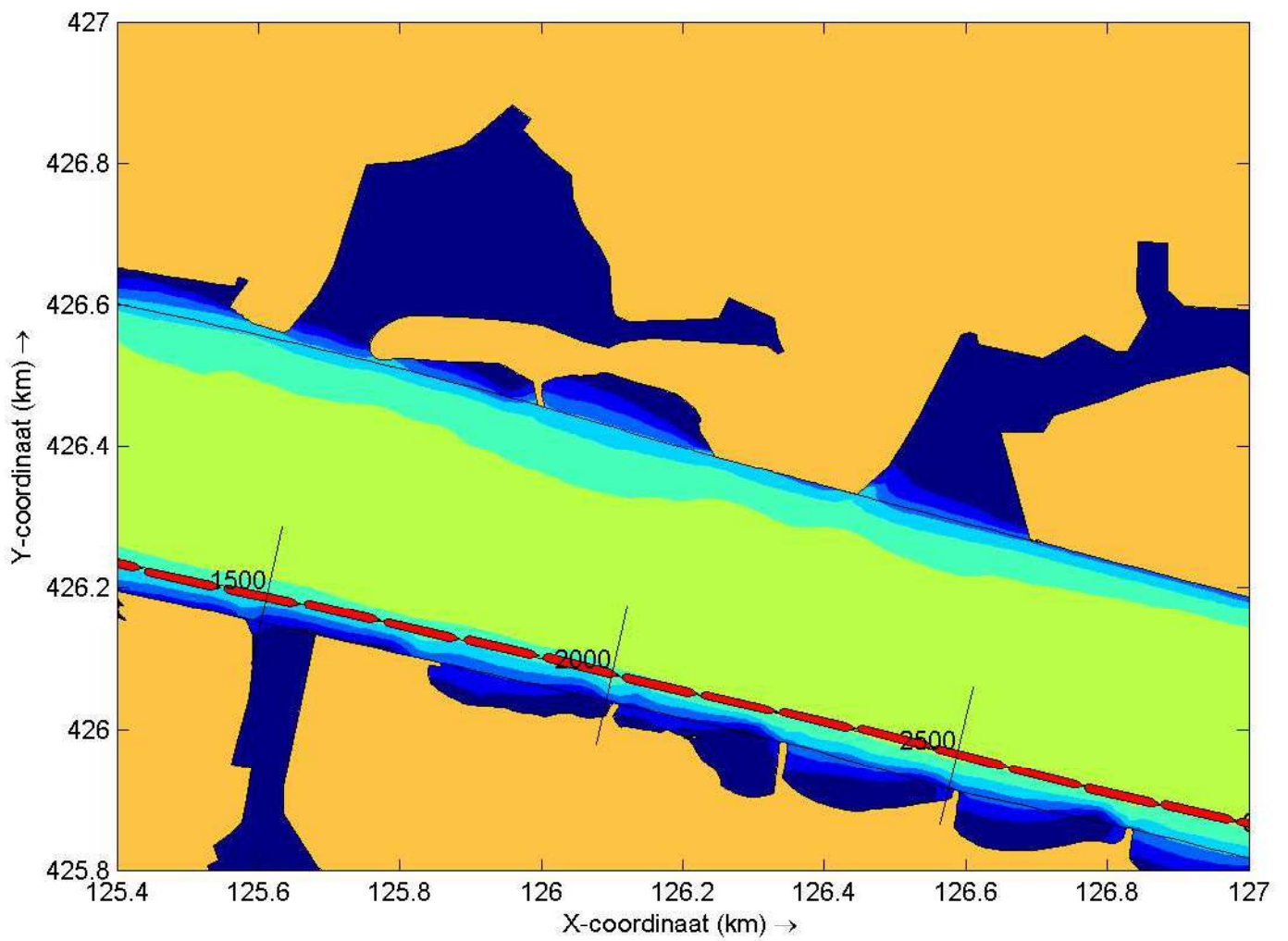
SHIPMA 7.4.2

Fig. C

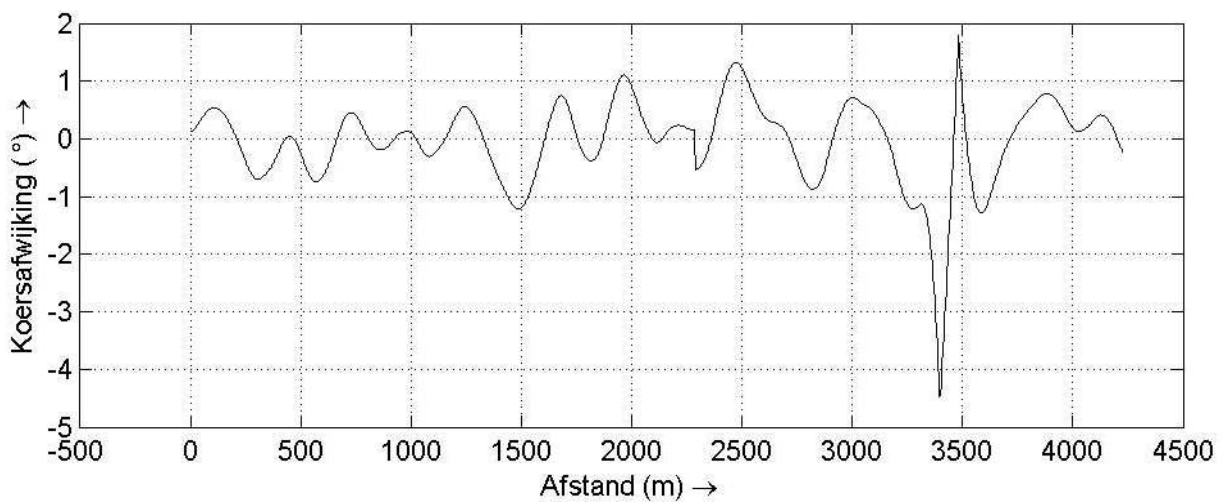
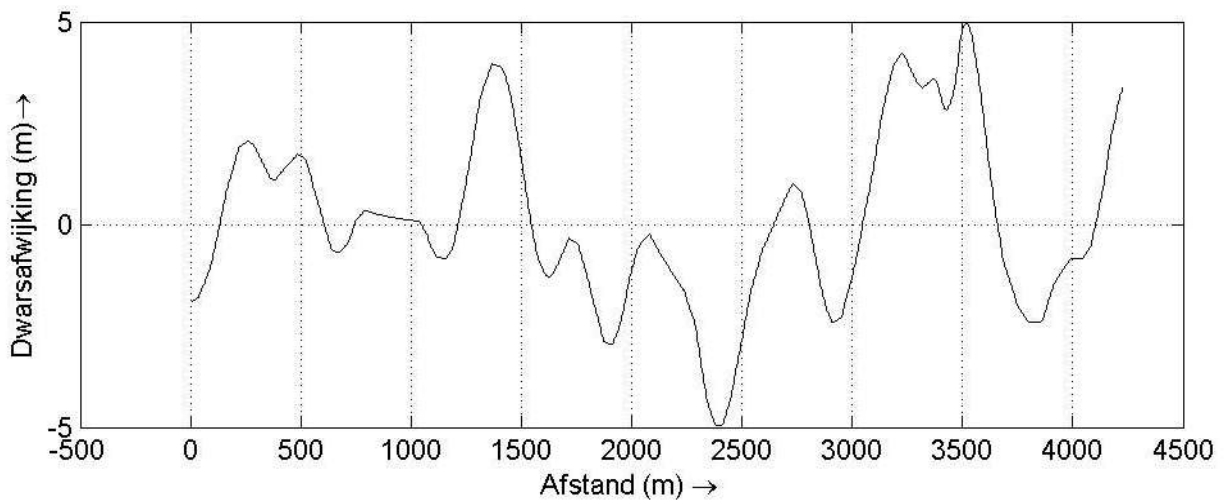
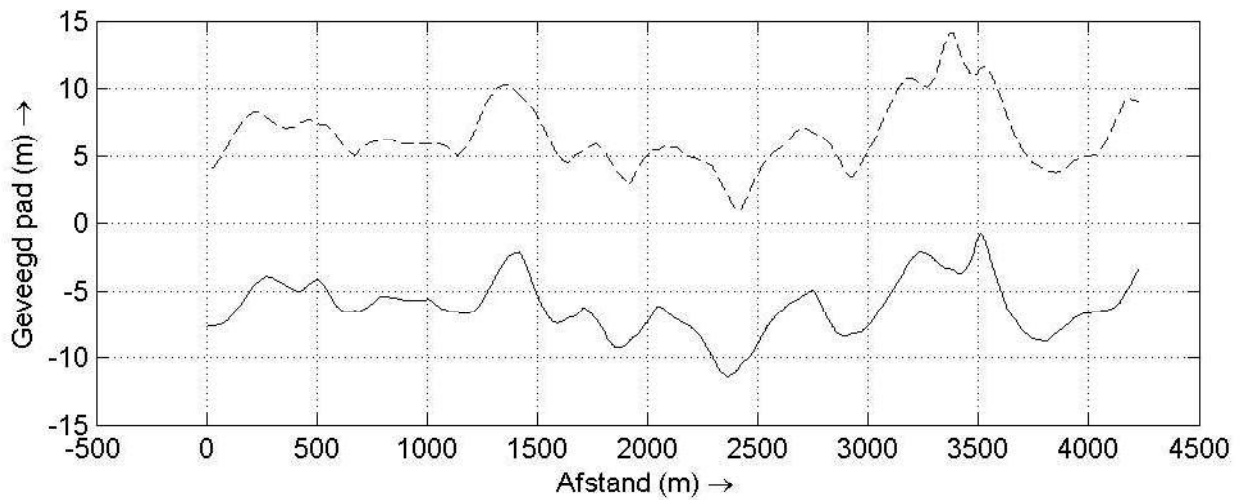
RUN-ID: 5262



Overzichtsplot inclusief route en stroom	M8 - Groot Rijnschip	Run: 5262
	Project: 34504	
MARIN	SHIPMA 7.4.2	Fig. A



Detail trackplot	M8 - Groot Rijnschip	Run: 5262
	Project: 34504	
MARIN	SHIPMA 7.4.2	Fig. A1



Geveegd pad (getrokken: bakboord; streeplijn: stuurboord)

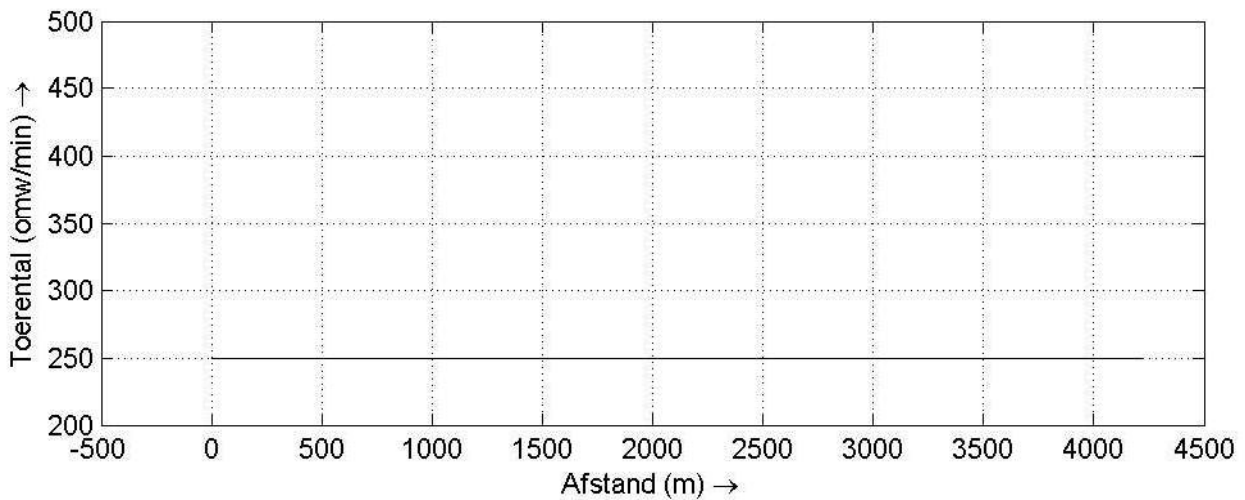
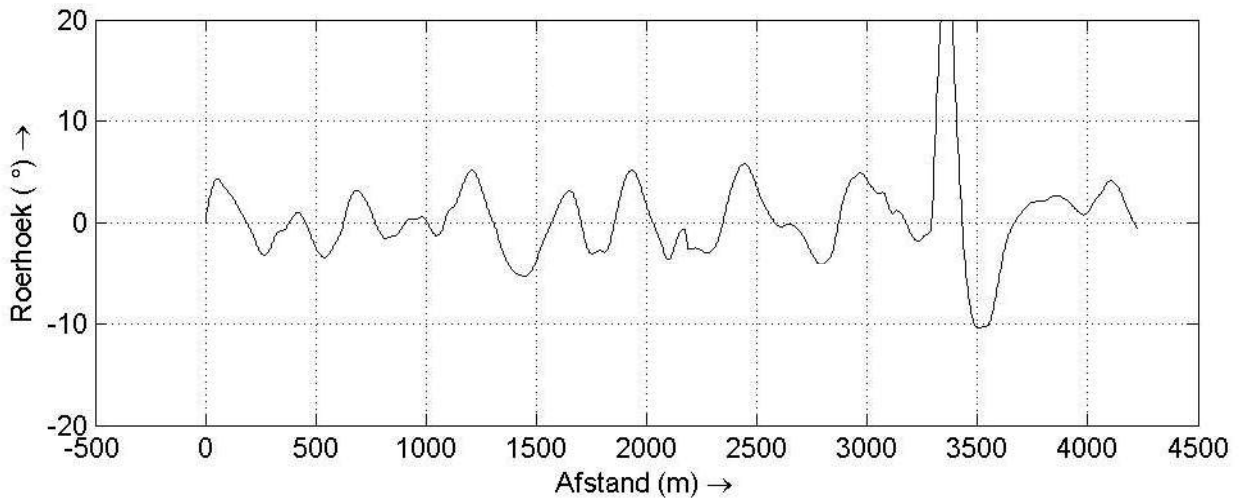
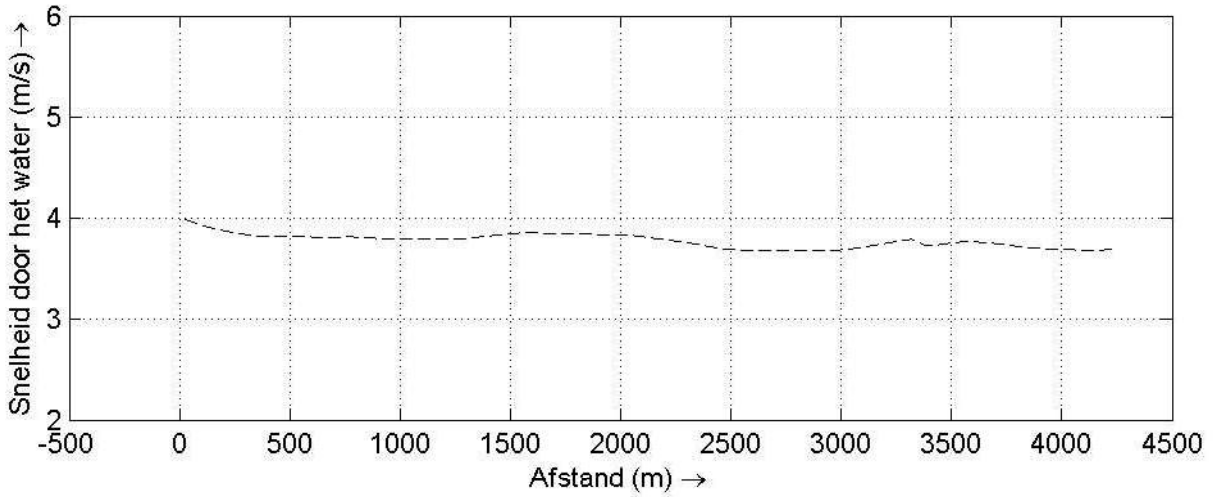
M8 - Groot Rijnschip Run: 5262

Project: 34504

MARIN

SHIPMA 7.4.2

Fig. B



Scheepssnelheid, roerhoek en omwentelingen

M8 - Groot Rijnschip Run: 5262

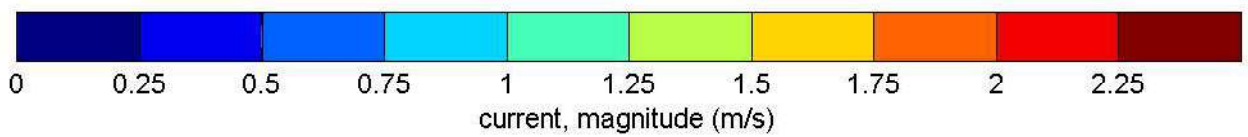
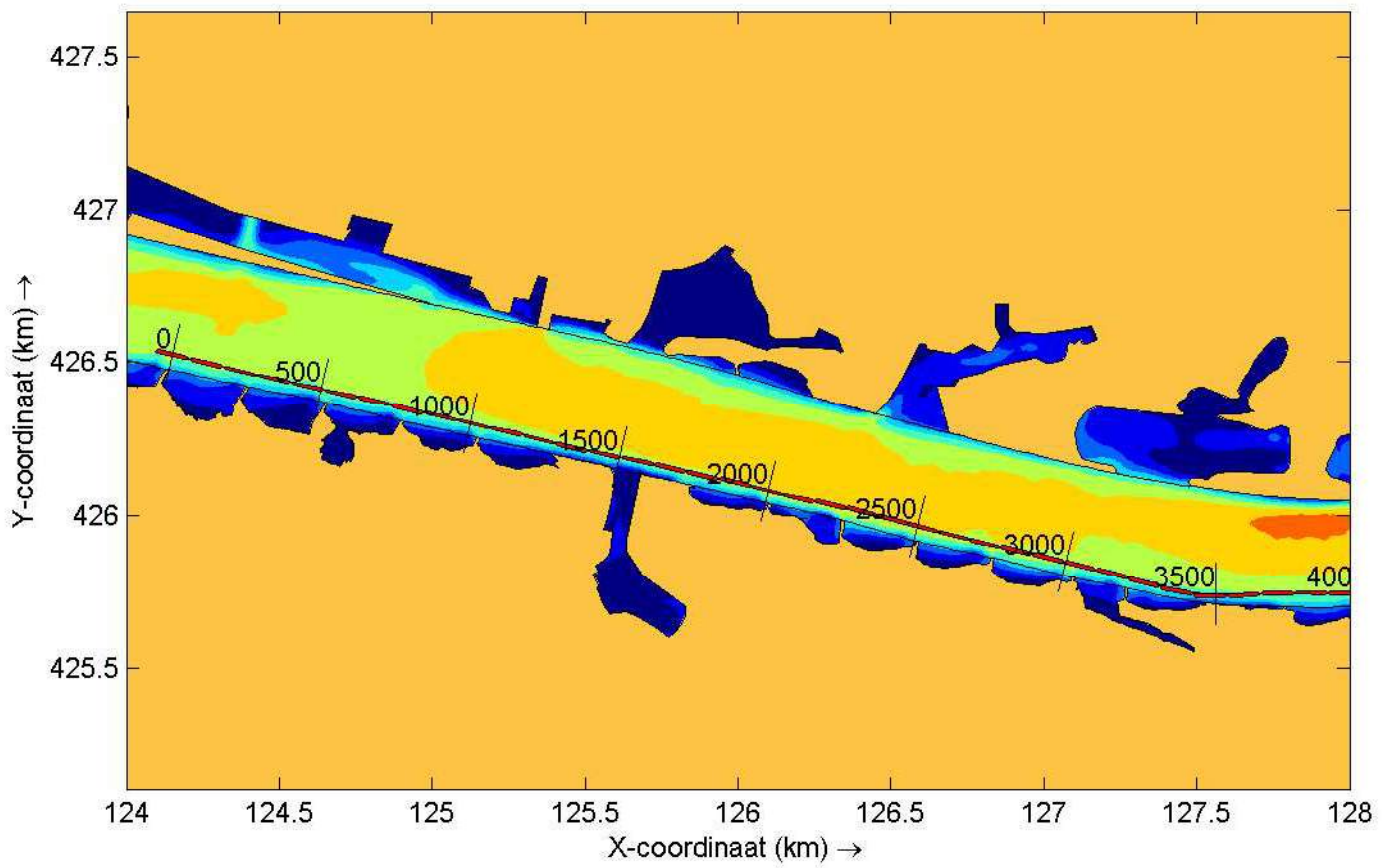
Project: 34504

MARIN

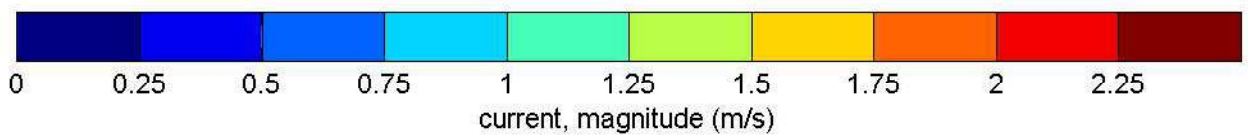
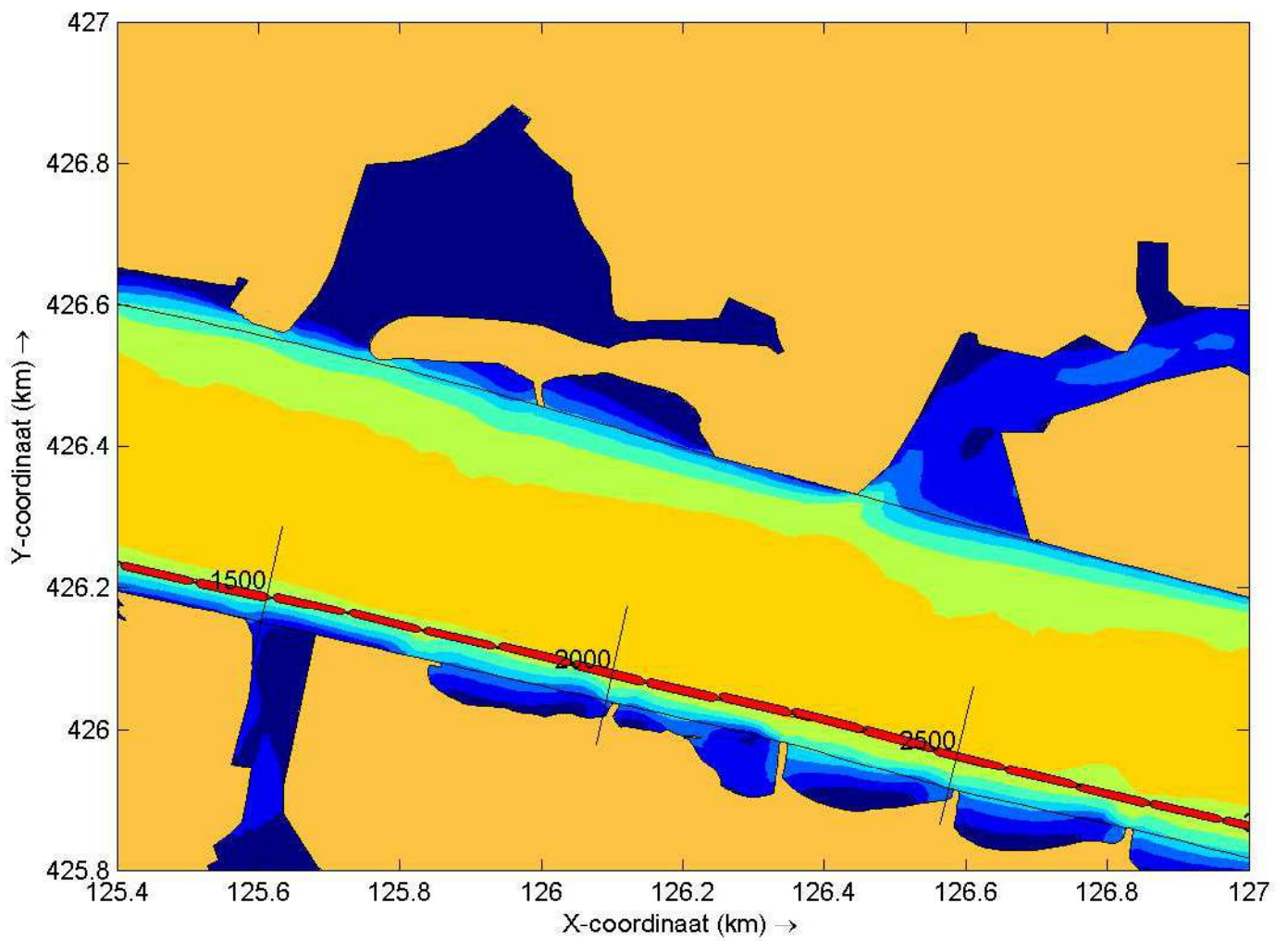
SHIPMA 7.4.2

Fig. C

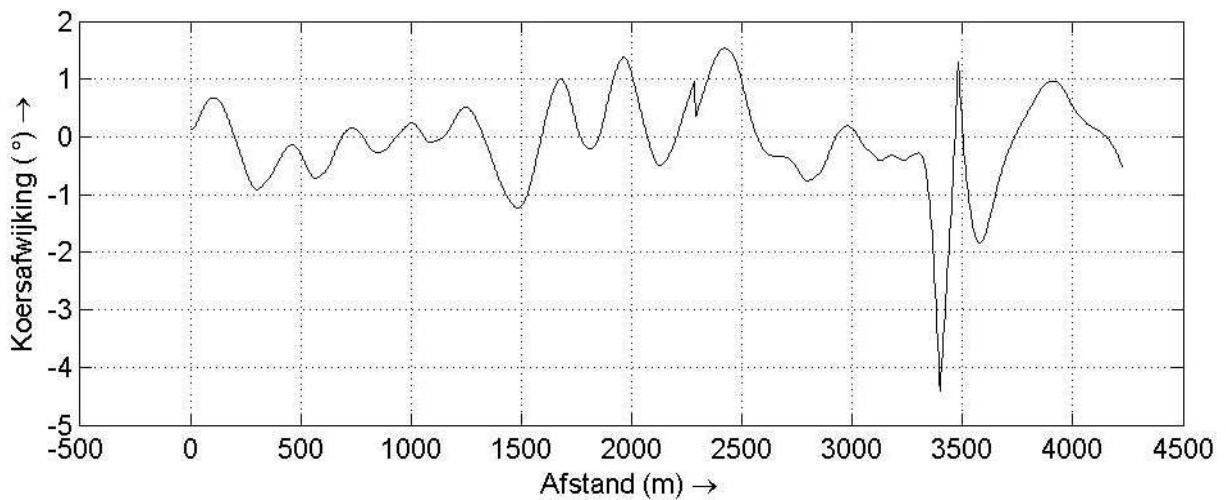
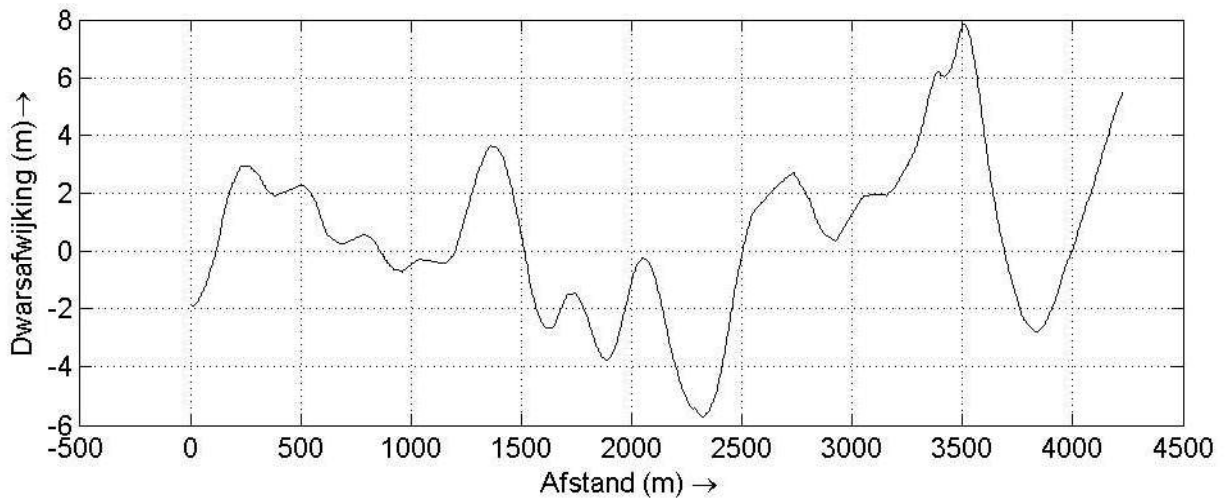
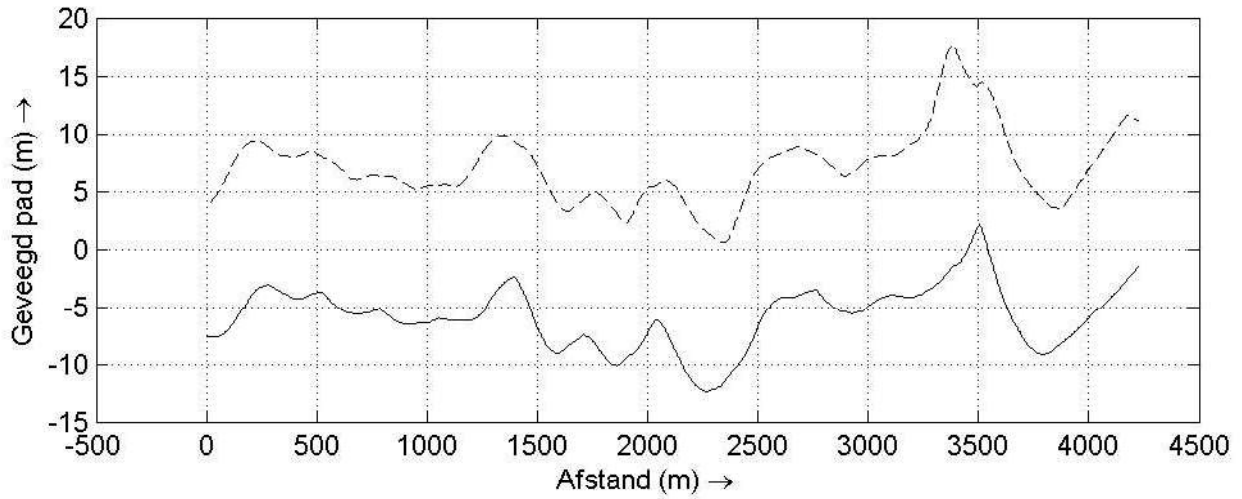
RUN-ID: 5281



Overzichtsplot inclusief route en stroom	M8 - Groot Rijnschip	Run: 5281
	Project: 34504	
MARIN	SHIPMA 7.4.2	Fig. A



Detail trackplot	M8 - Groot Rijnschip	Run: 5281
	Project: 34504	
MARIN	SHIPMA 7.4.2	Fig. A1



Geveegd pad (getrokken: bakboord; streeplijn: stuurboord)

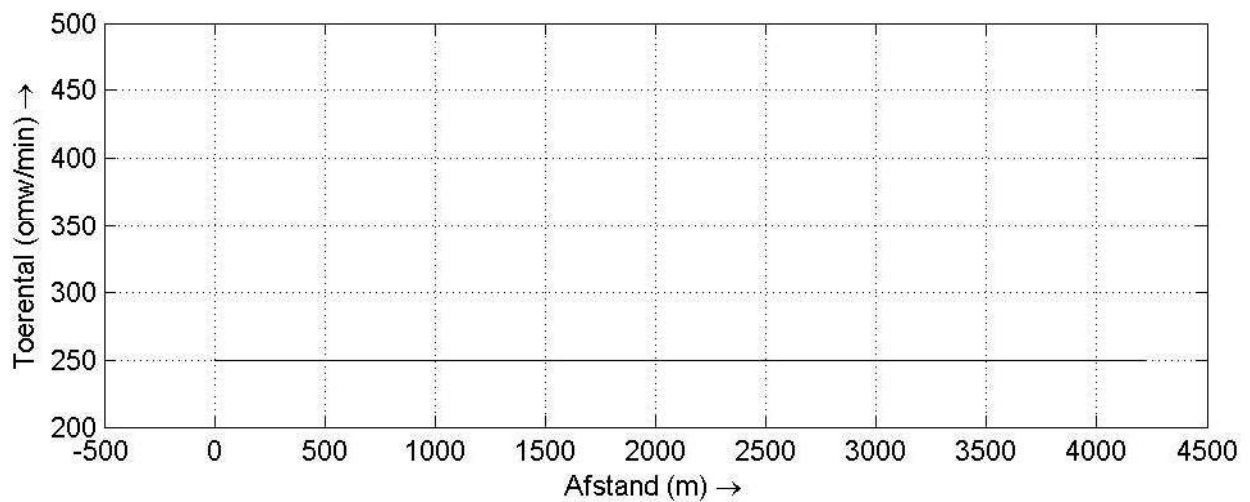
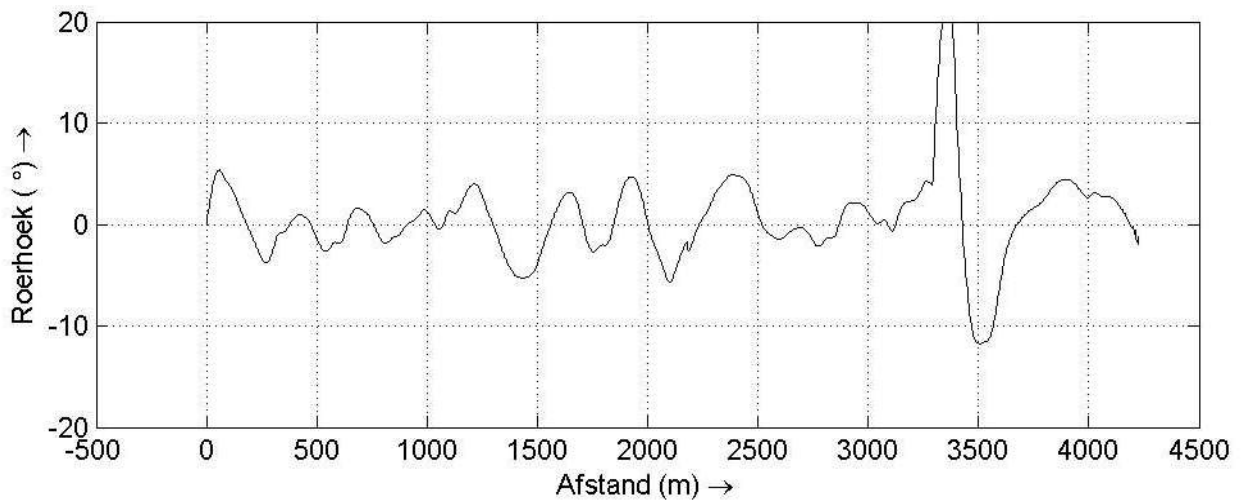
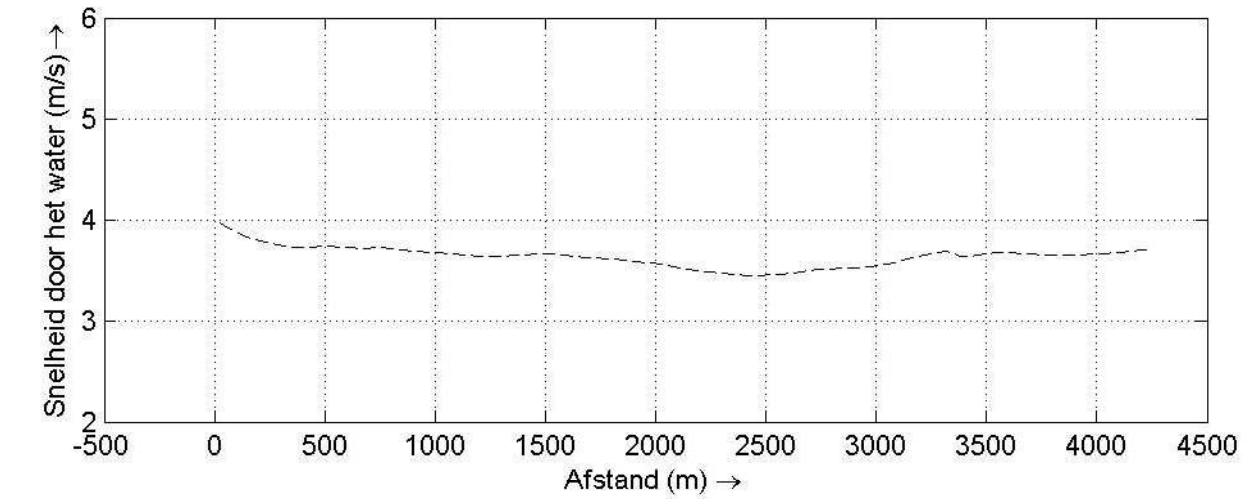
M8 - Groot Rijnschip Run: 5281

Project: 34504

MARIN

SHIPMA 7.4.2

Fig. B



Scheepssnelheid, roerhoek en omwentelingen

M8 - Groot Rijnschip

Run: 5281

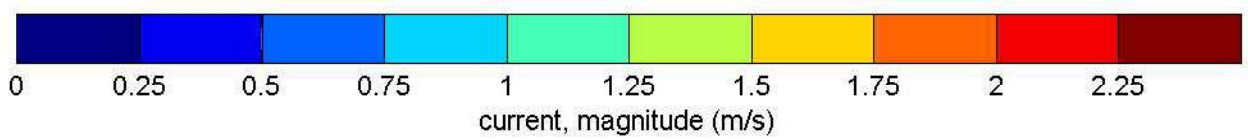
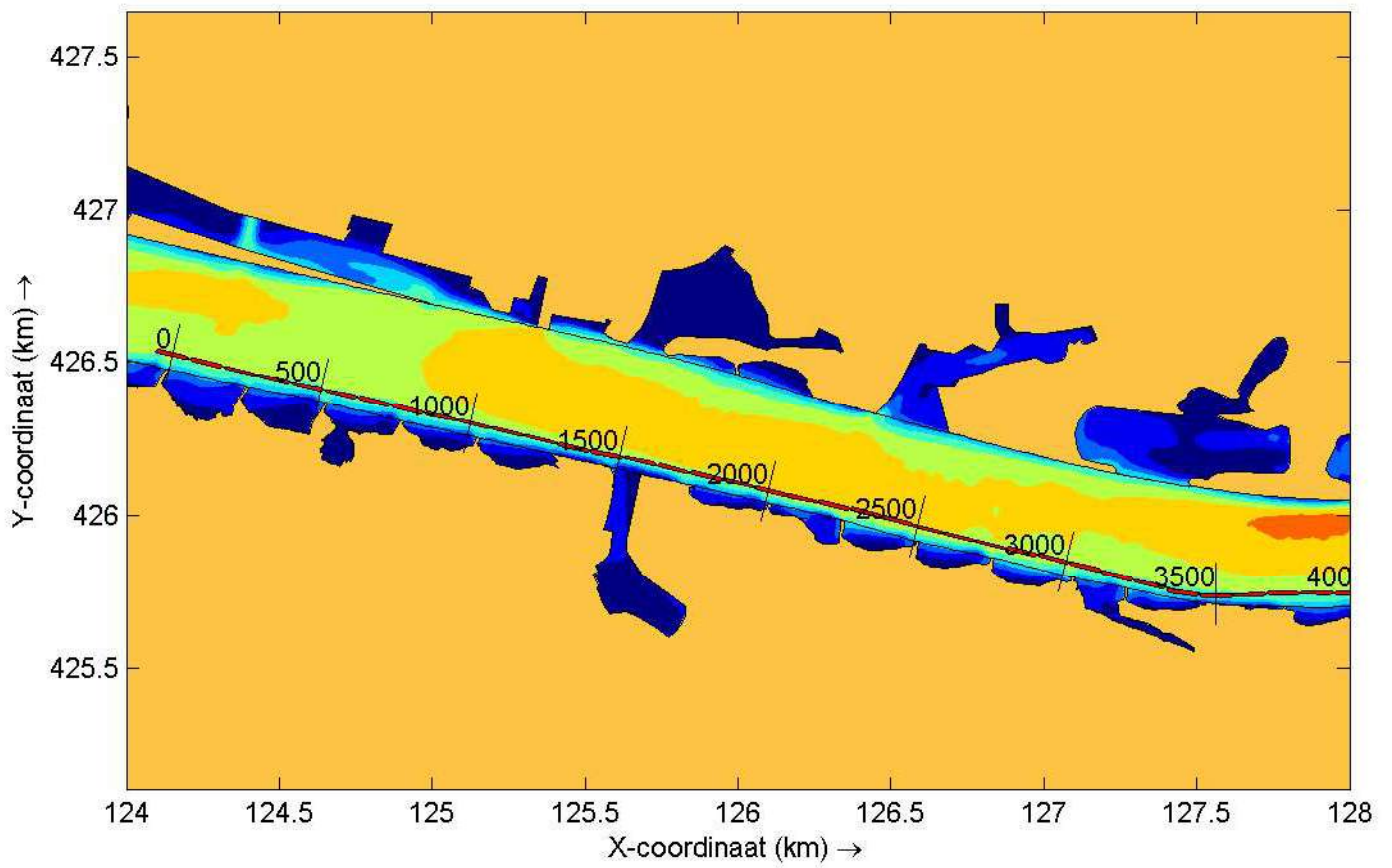
Project: 34504

MARIN

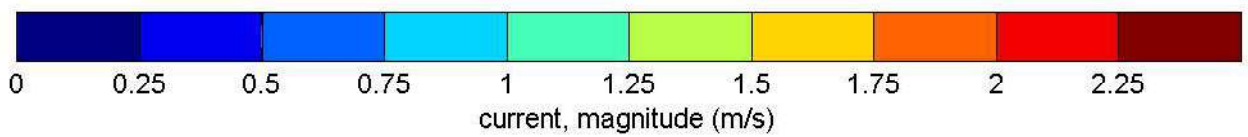
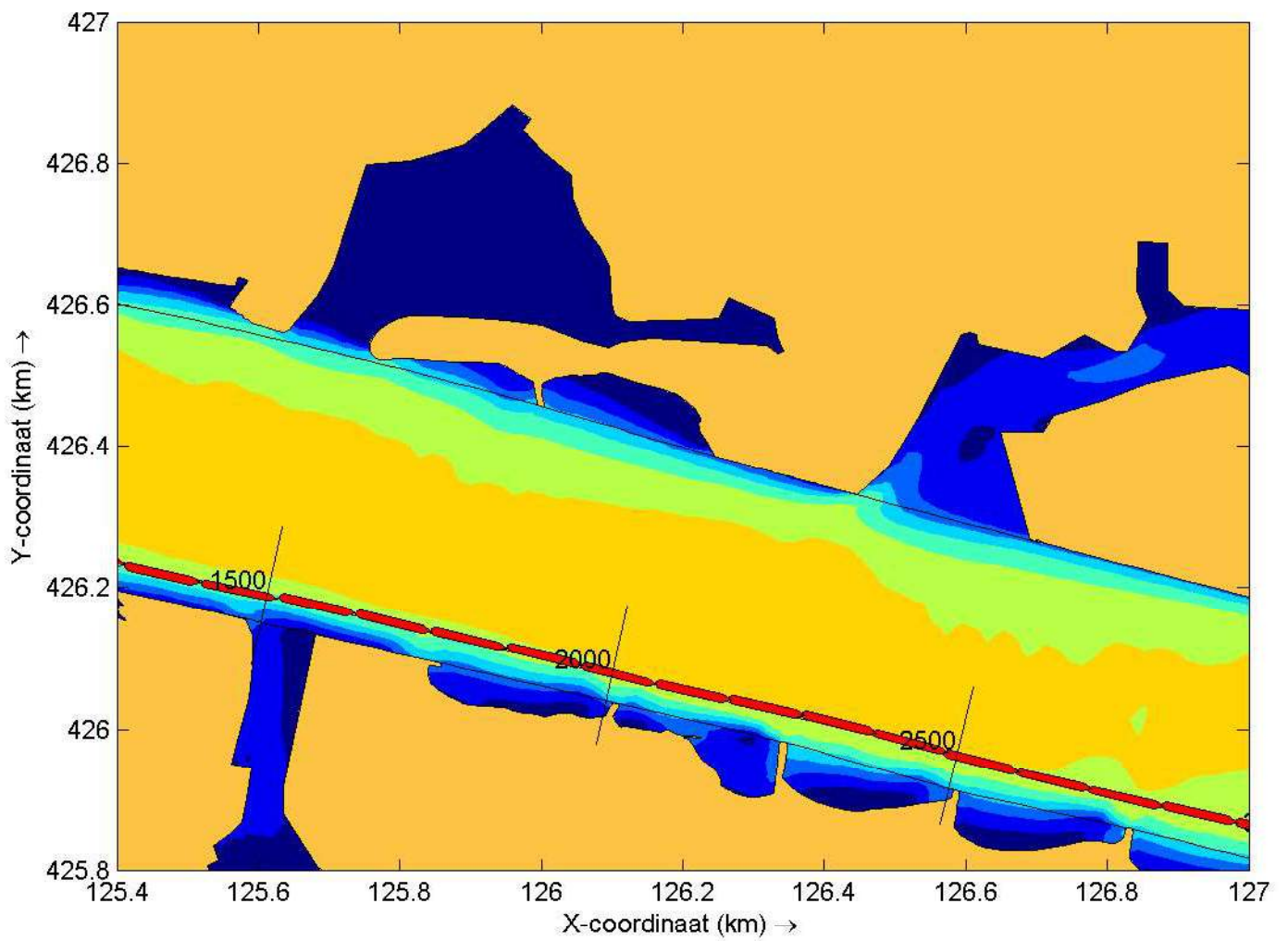
SHIPMA 7.4.2

Fig. C

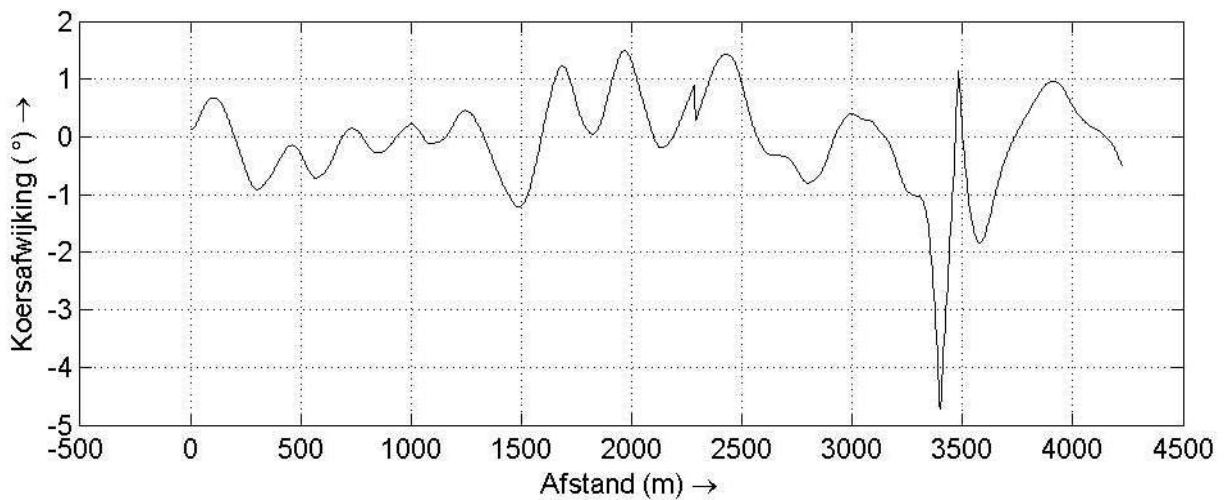
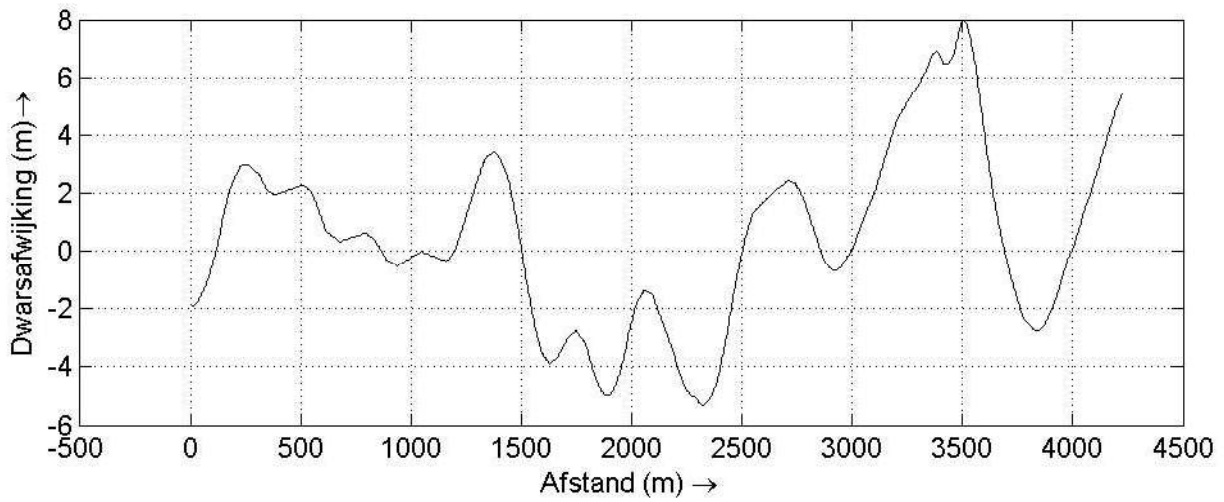
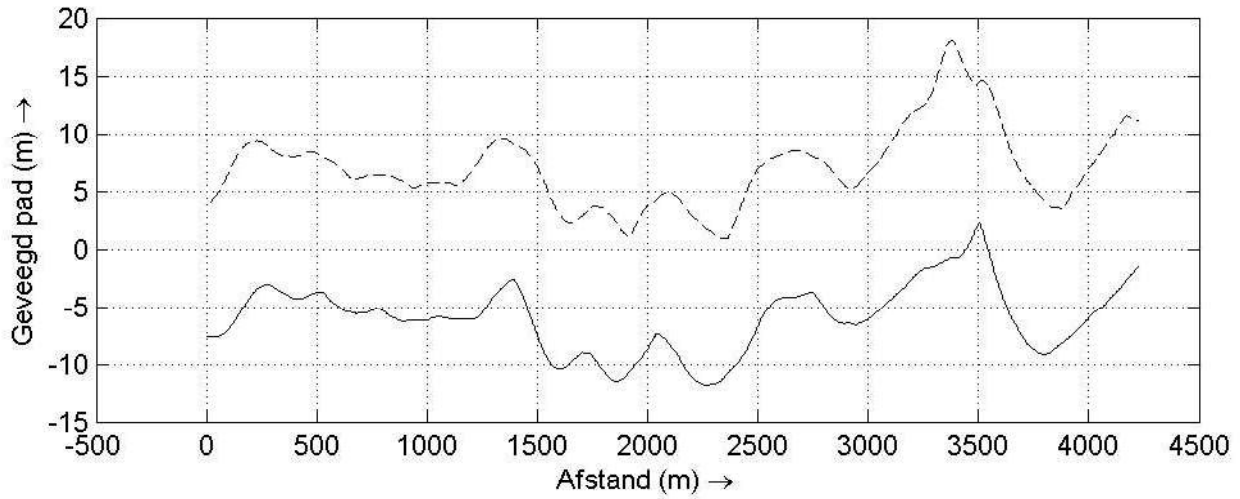
RUN-ID: 5282



Overzichtsplot inclusief route en stroom	M8 - Groot Rijnschip	Run: 5282
	Project: 34504	
MARIN	SHIPMA 7.4.2	Fig. A



Detail trackplot	M8 - Groot Rijnschip	Run: 5282
	Project: 34504	
MARIN	SHIPMA 7.4.2	Fig. A1



Geveegd pad (getrokken: bakboord; streeplijn: stuurboord)

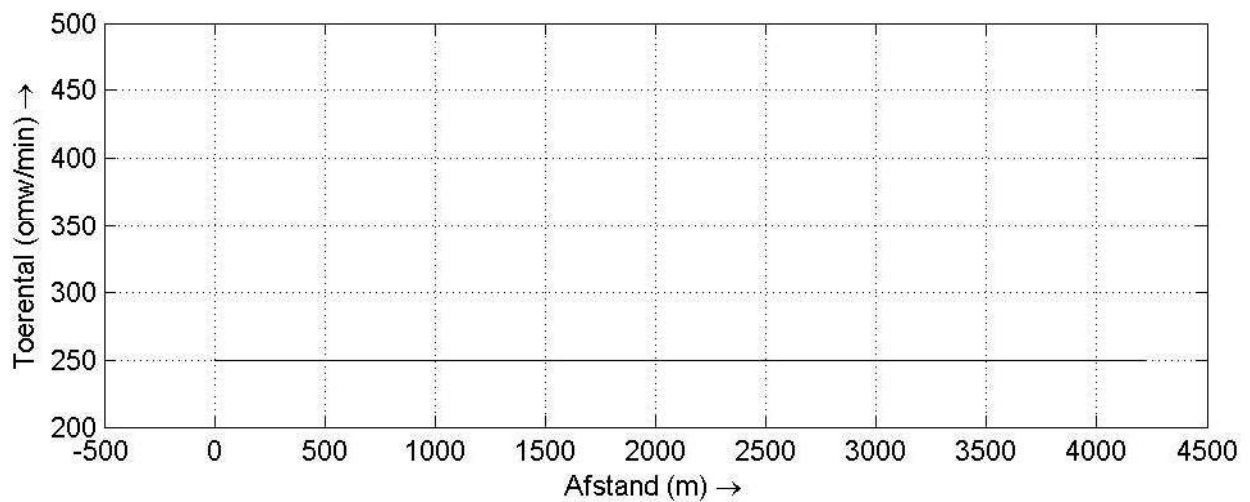
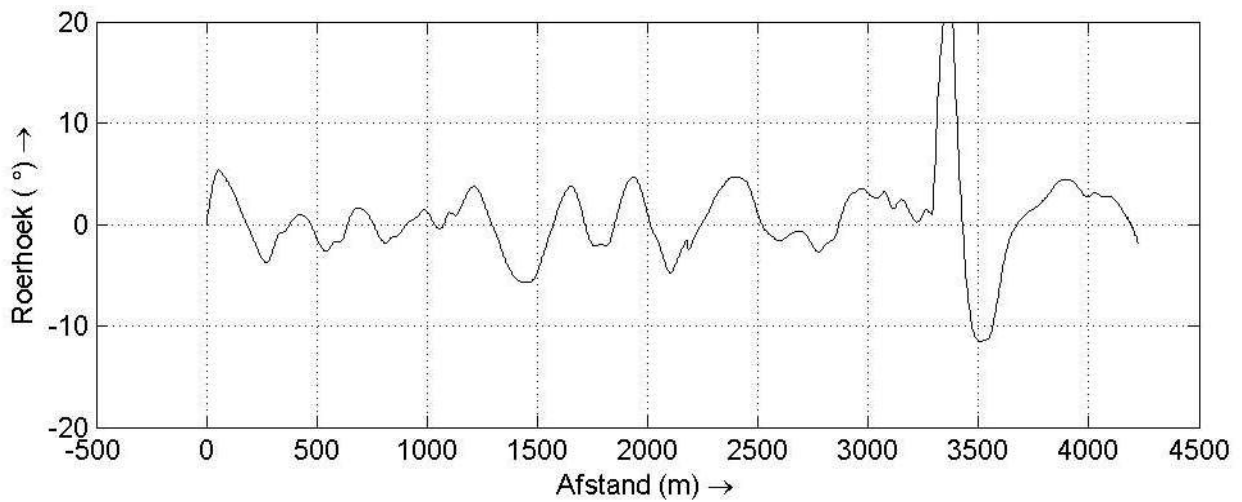
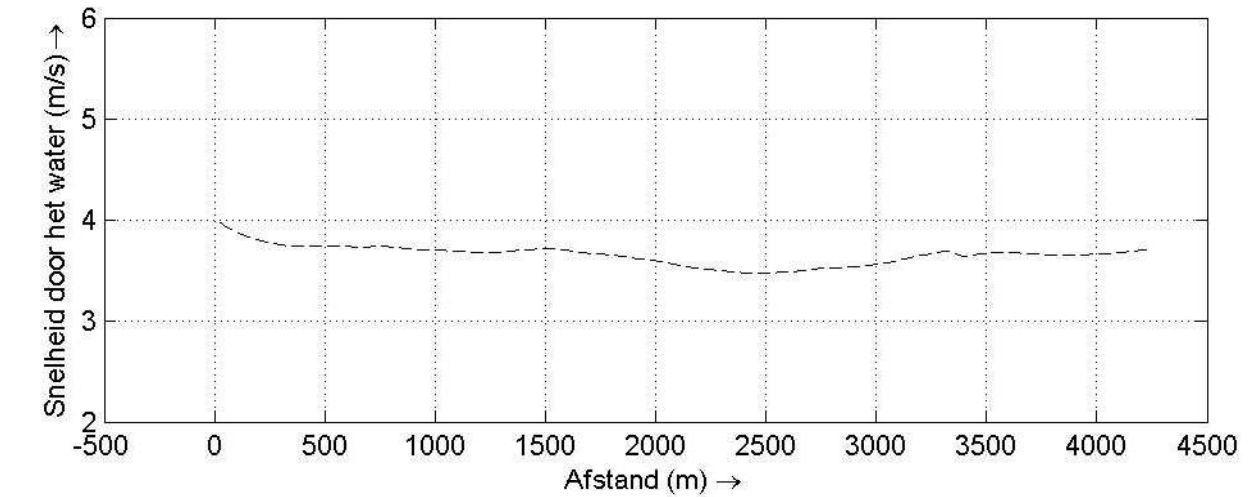
M8 - Groot Rijnschip Run: 5282

Project: 34504

MARIN

SHIPMA 7.4.2

Fig. B



Scheepssnelheid, roerhoek en omwentelingen

M8 - Groot Rijnschip Run: 5282

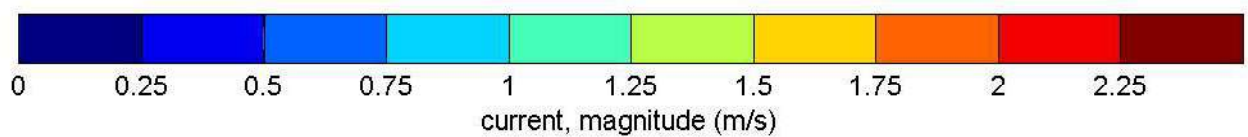
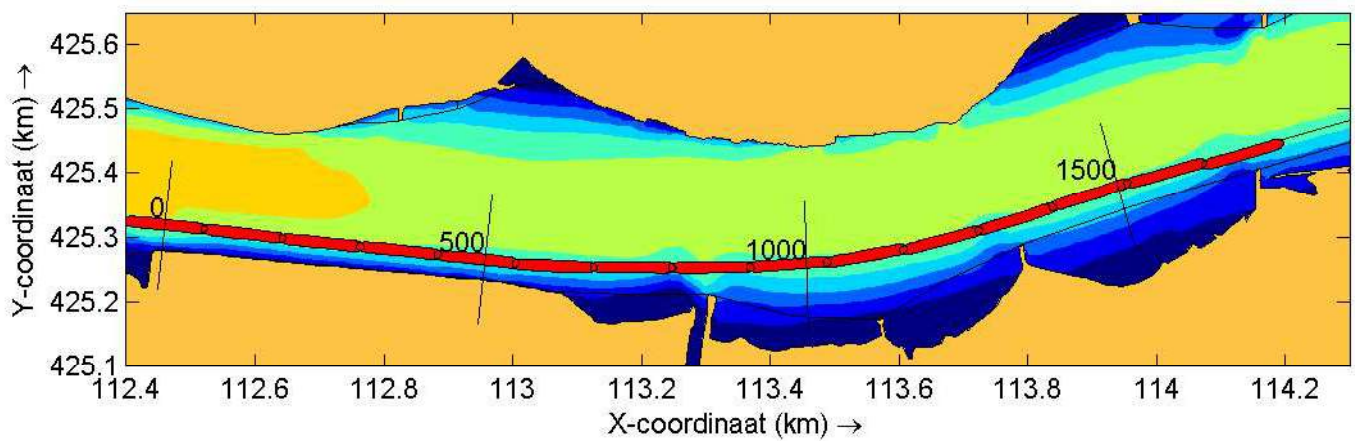
Project: 34504

MARIN

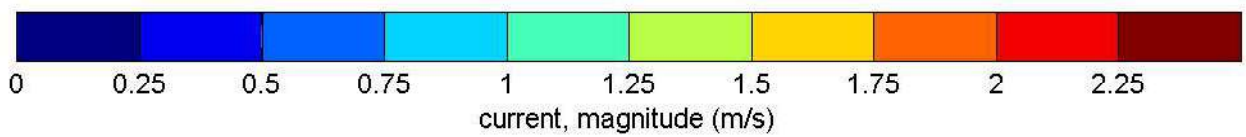
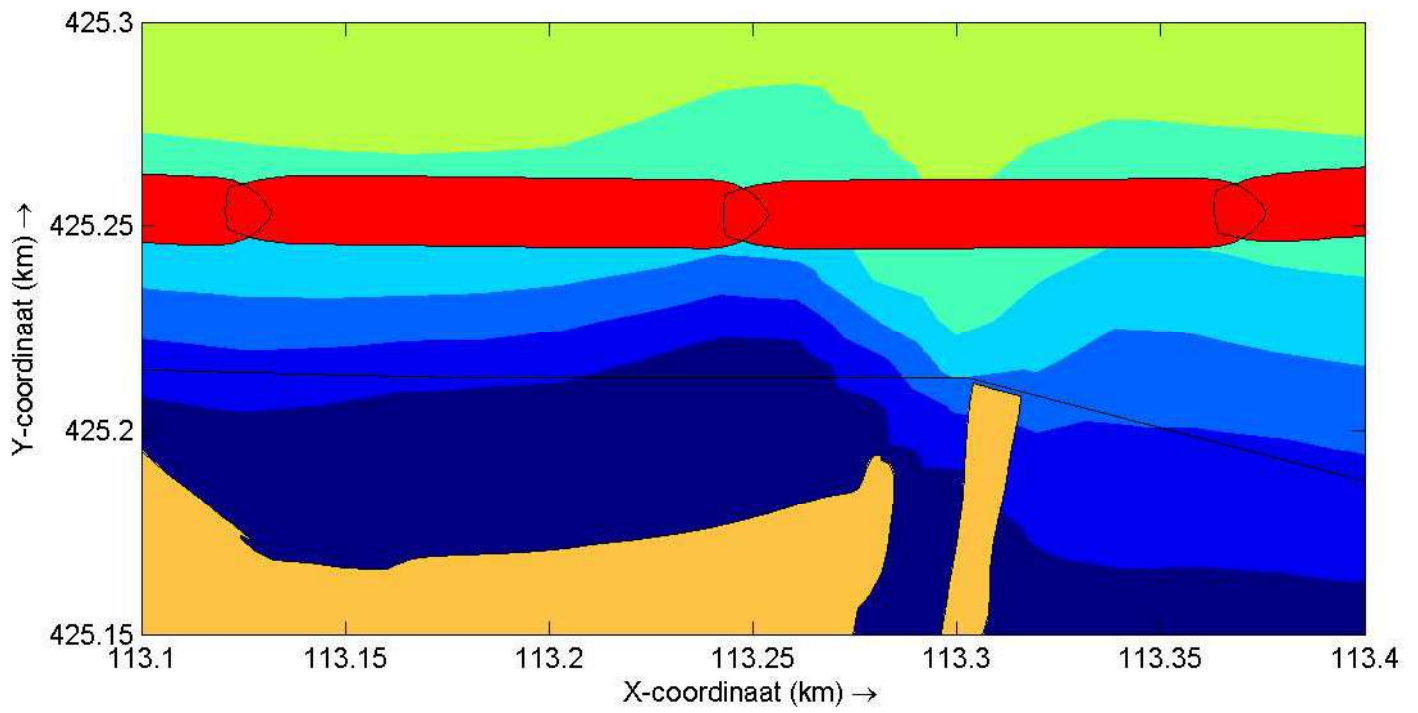
SHIPMA 7.4.2

Fig. C

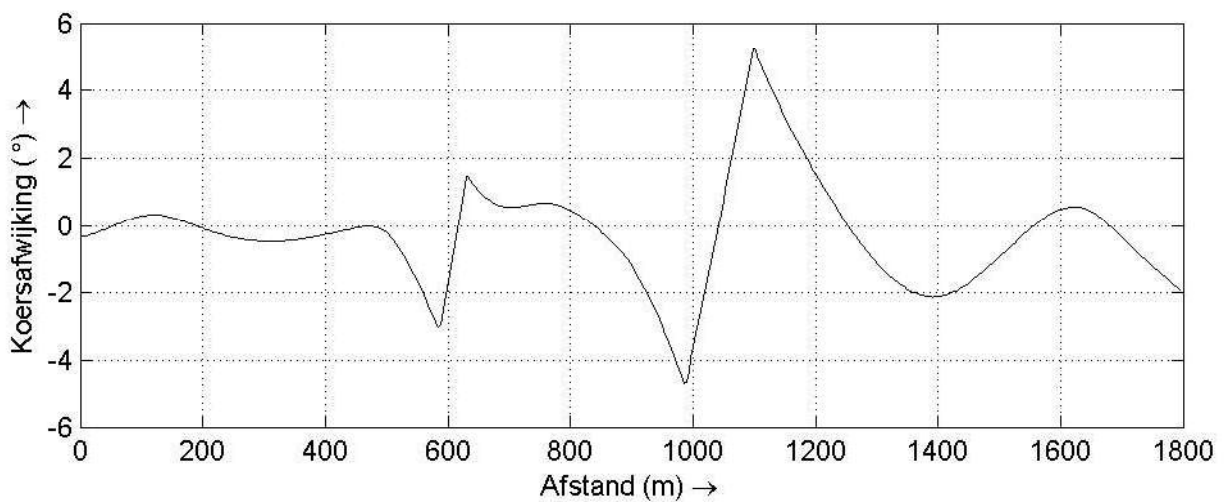
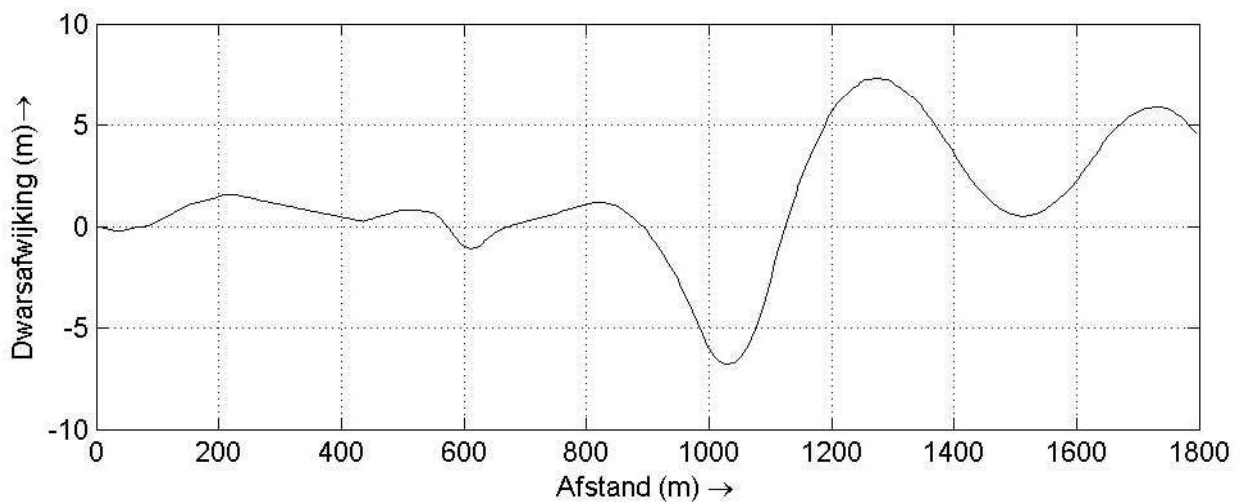
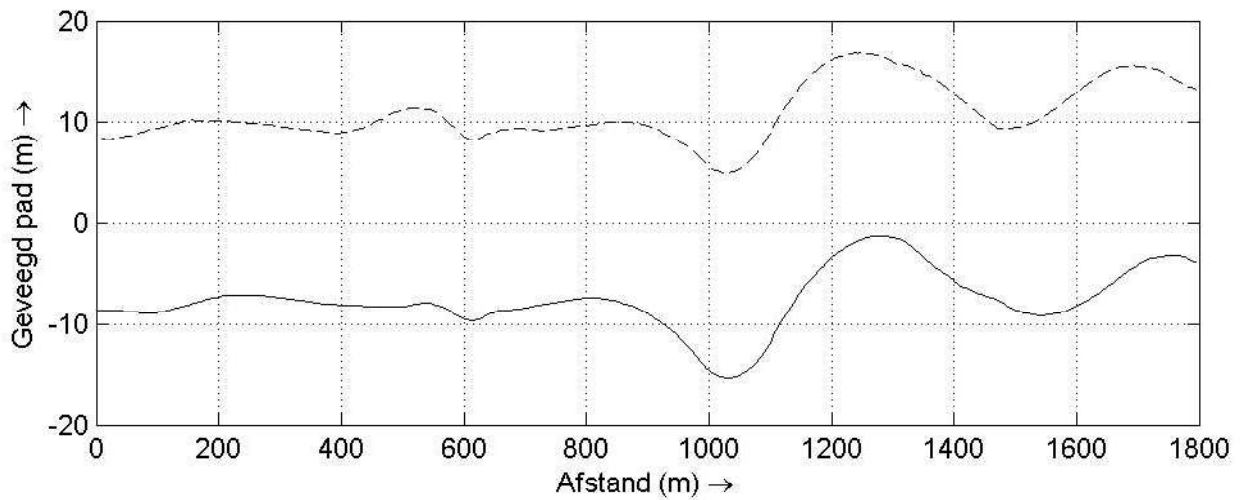
RUN-ID: 6181



Overzichtsplot inclusief route en stroom	M12 - Rijnmax	Run: 6181
	Project: 34504	
MARIN	SHIPMA 7.4.2	Fig. A



Detail trackplot	M12 - Rijnmax	Run: 6181
	Project: 34504	
MARIN	SHIPMA 7.4.2	Fig. A1



Geveegd pad (getrokken: bakboord; streeplijn: stuurboord)

M12 - Rijnmax

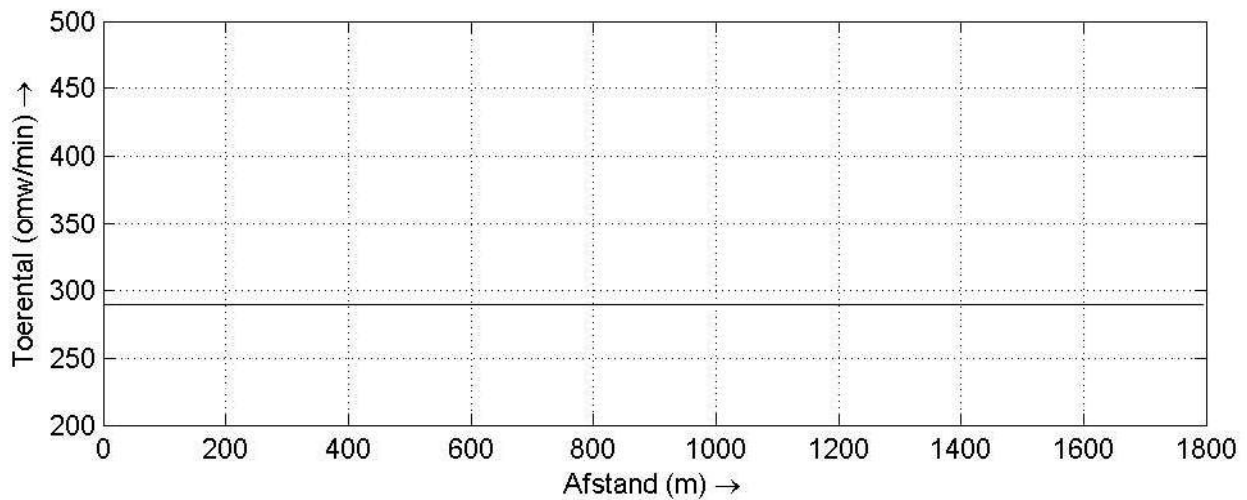
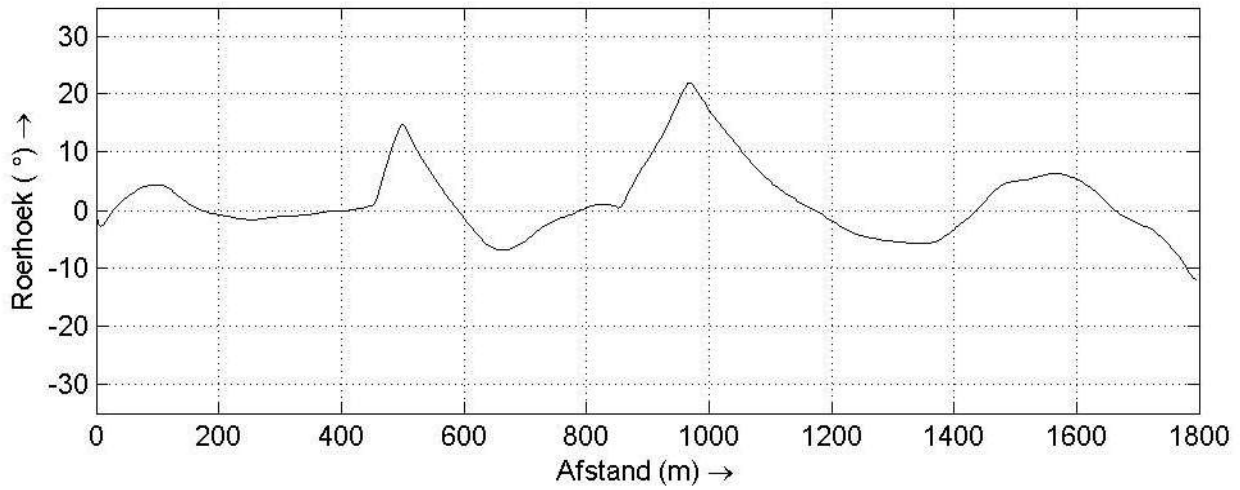
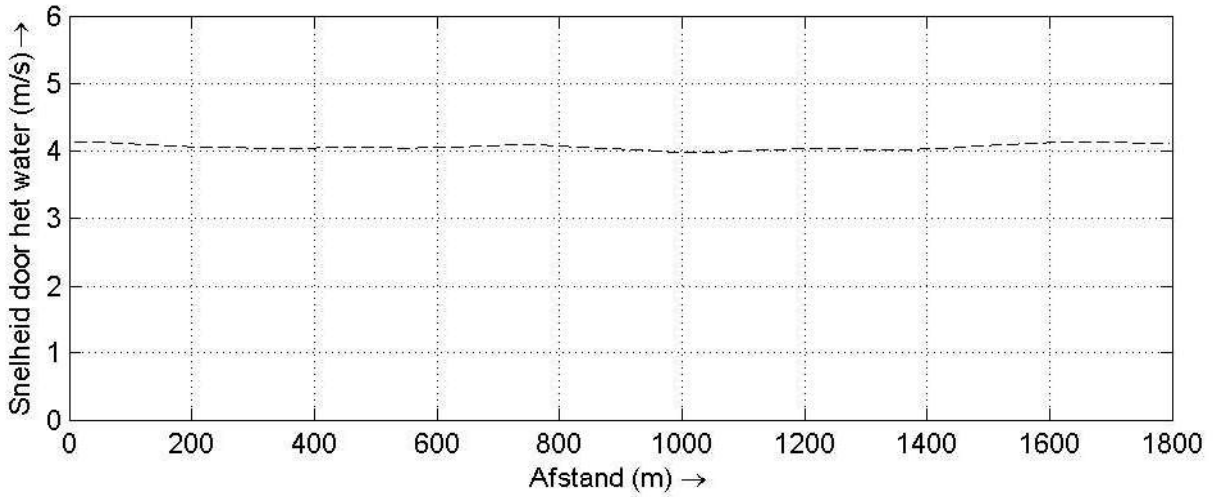
Run: 6181

Project: 34504

MARIN

SHIPMA 7.4.2

Fig. B



Scheepssnelheid, roerhoek en omwentelingen

M12 - Rijnmax

Run: 6181

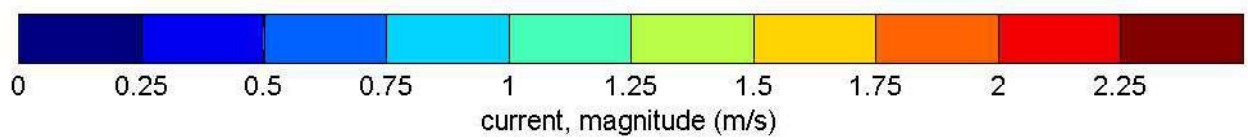
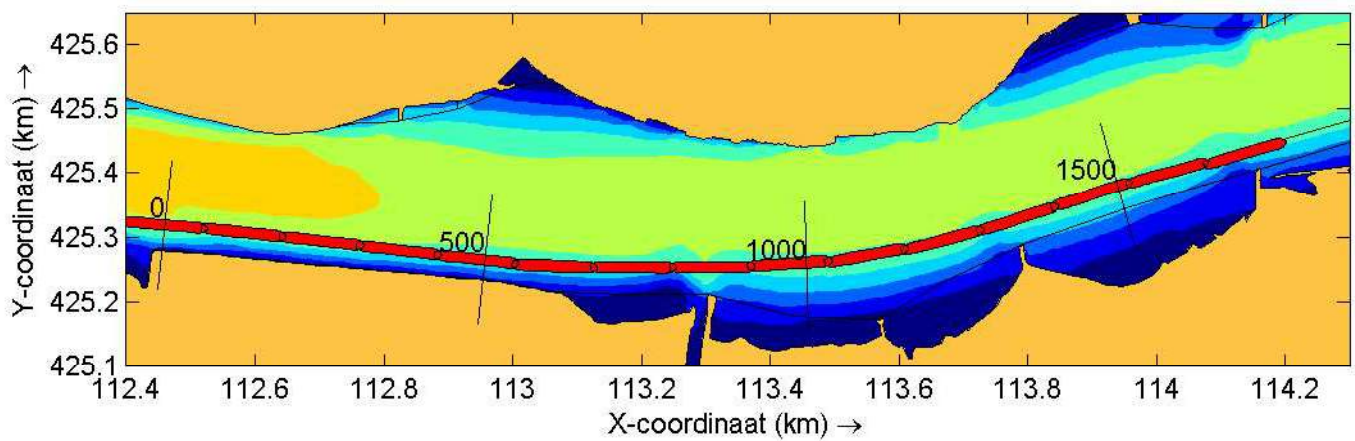
Project: 34504

MARIN

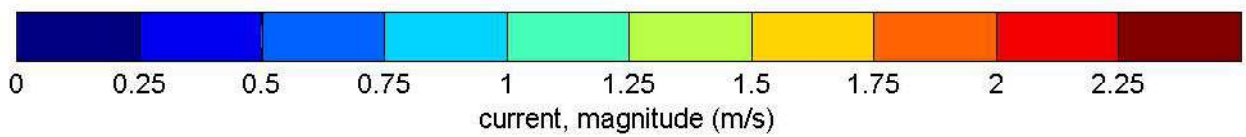
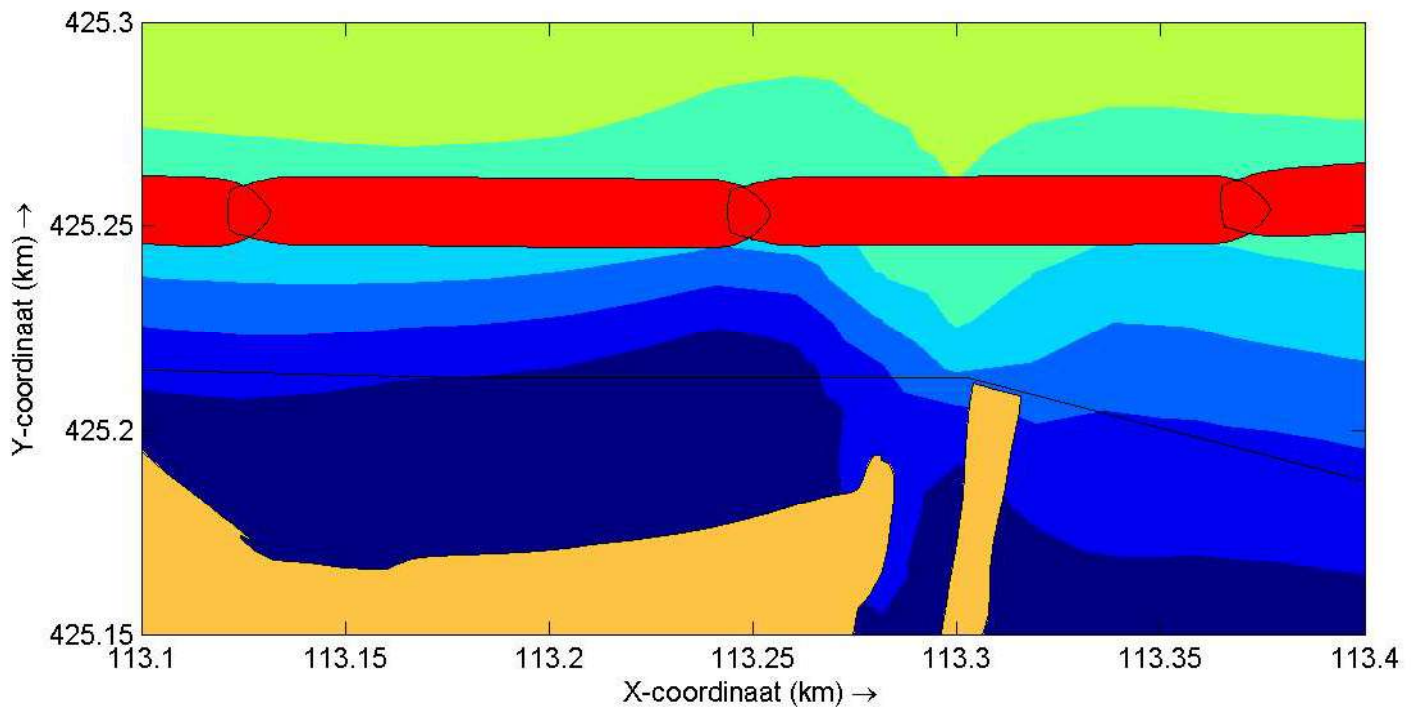
SHIPMA 7.4.2

Fig. C

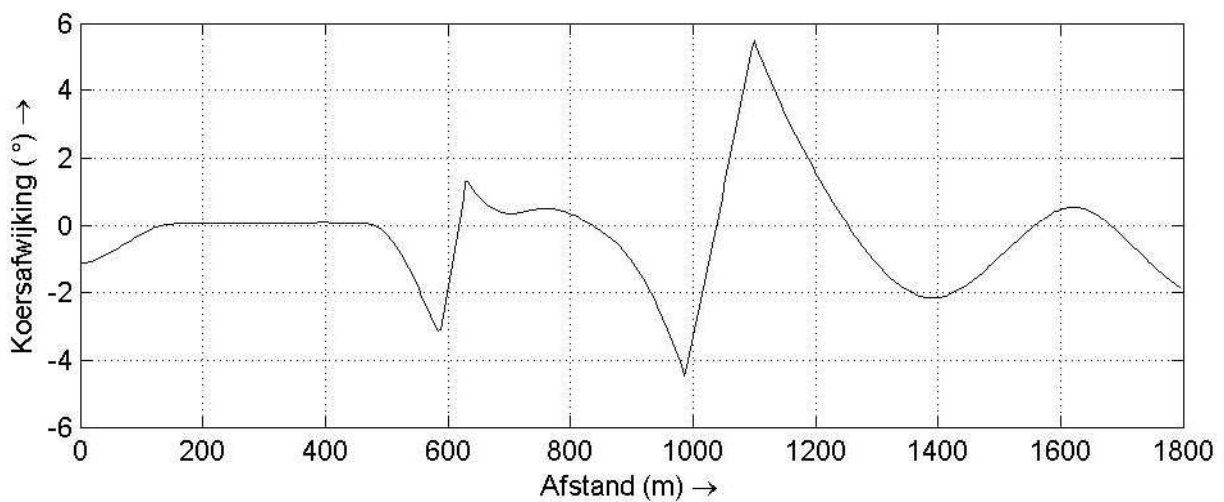
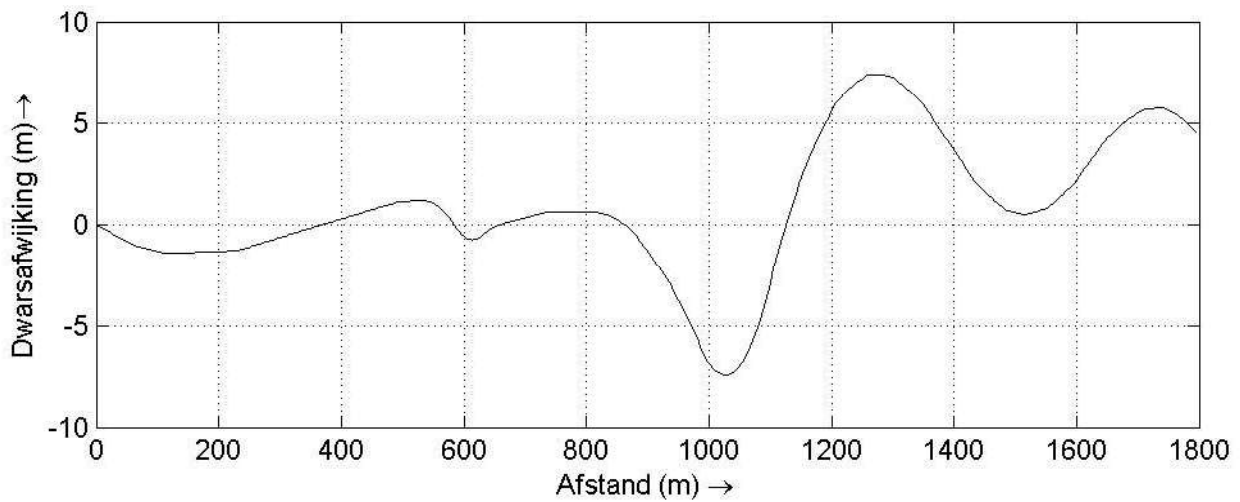
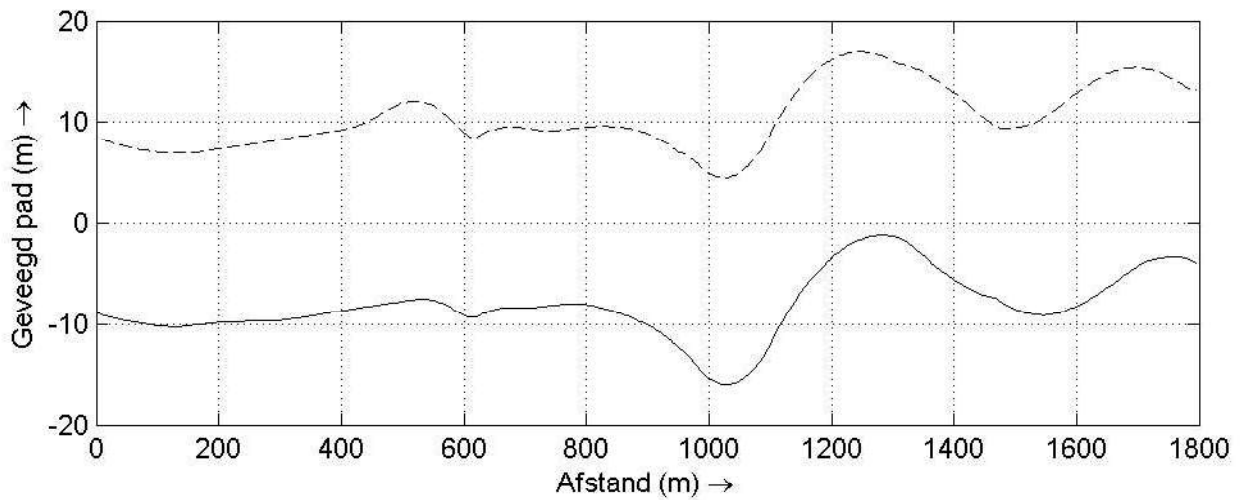
RUN-ID: 6182



Overzichtsplot inclusief route en stroom	M12 - Rijnmax	Run: 6182
	Project: 34504	
MARIN	SHIPMA 7.4.2	Fig. A



Detail trackplot	M12 - Rijnmax	Run: 6182
	Project: 34504	
MARIN	SHIPMA 7.4.2	Fig. A1



Geveegd pad (getrokken: bakboord; streeplijn: stuurboord)

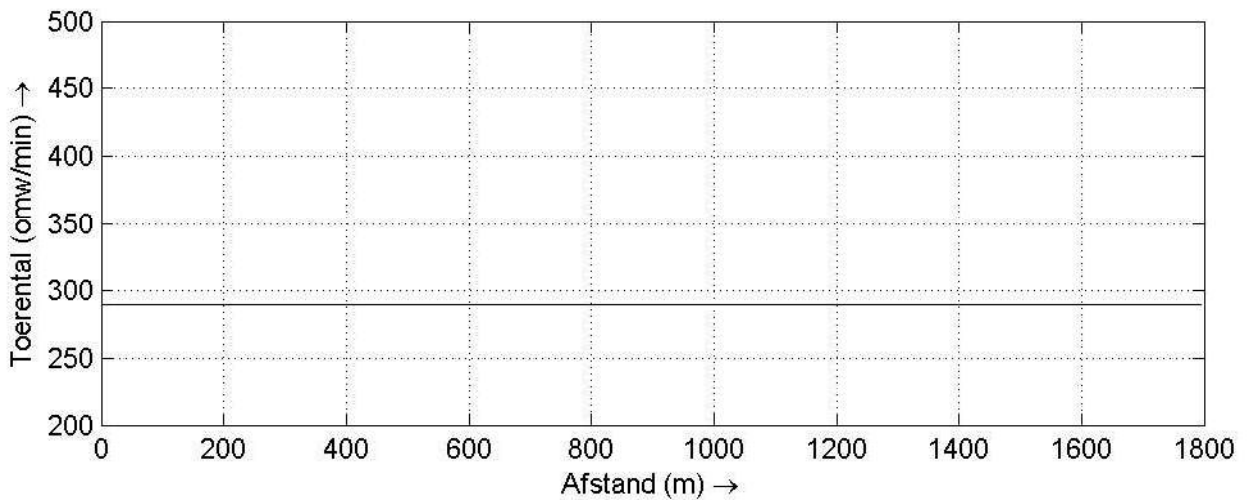
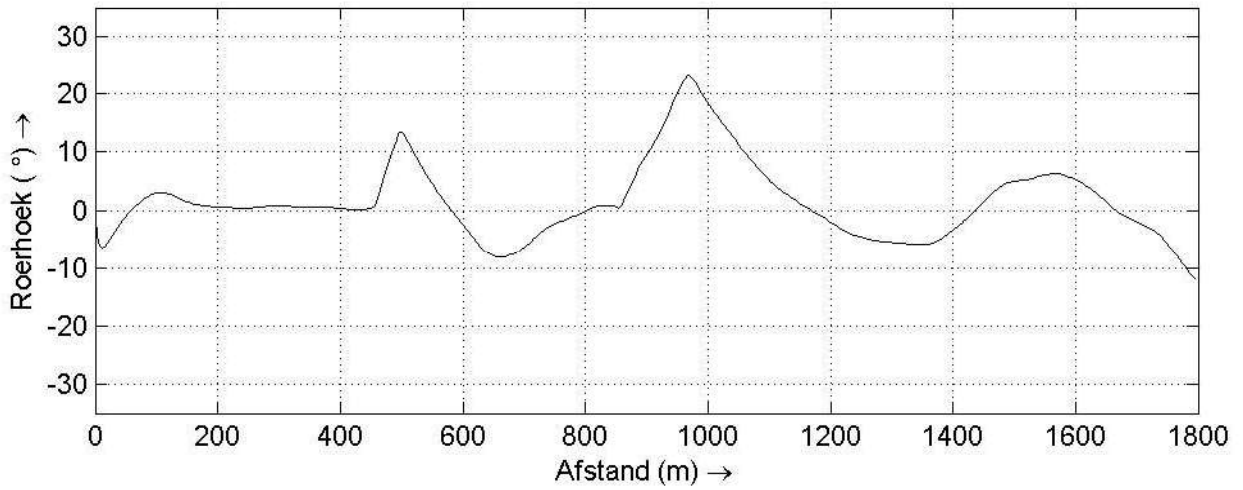
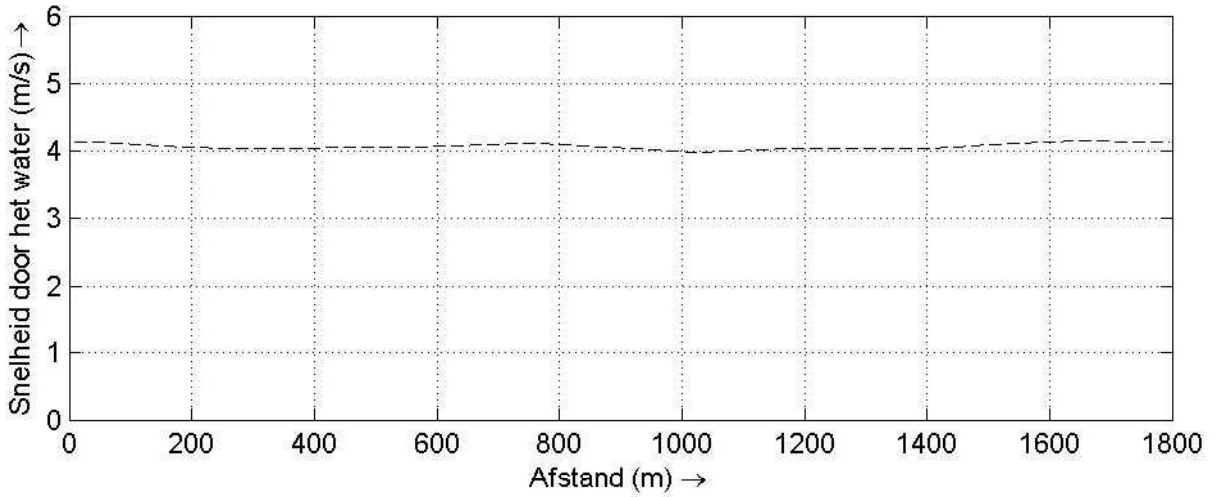
M12 - Rijnmax Run: 6182

Project: 34504

MARIN

SHIPMA 7.4.2

Fig. B



Scheepssnelheid, roerhoek en omwentelingen

M12 - Rijnmax

Run: 6182

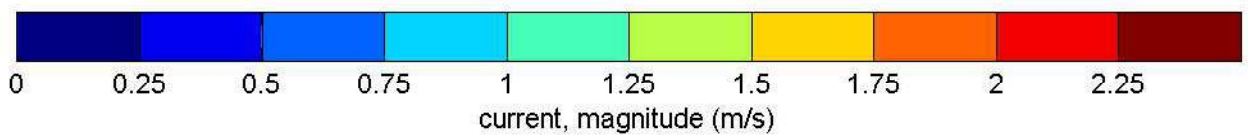
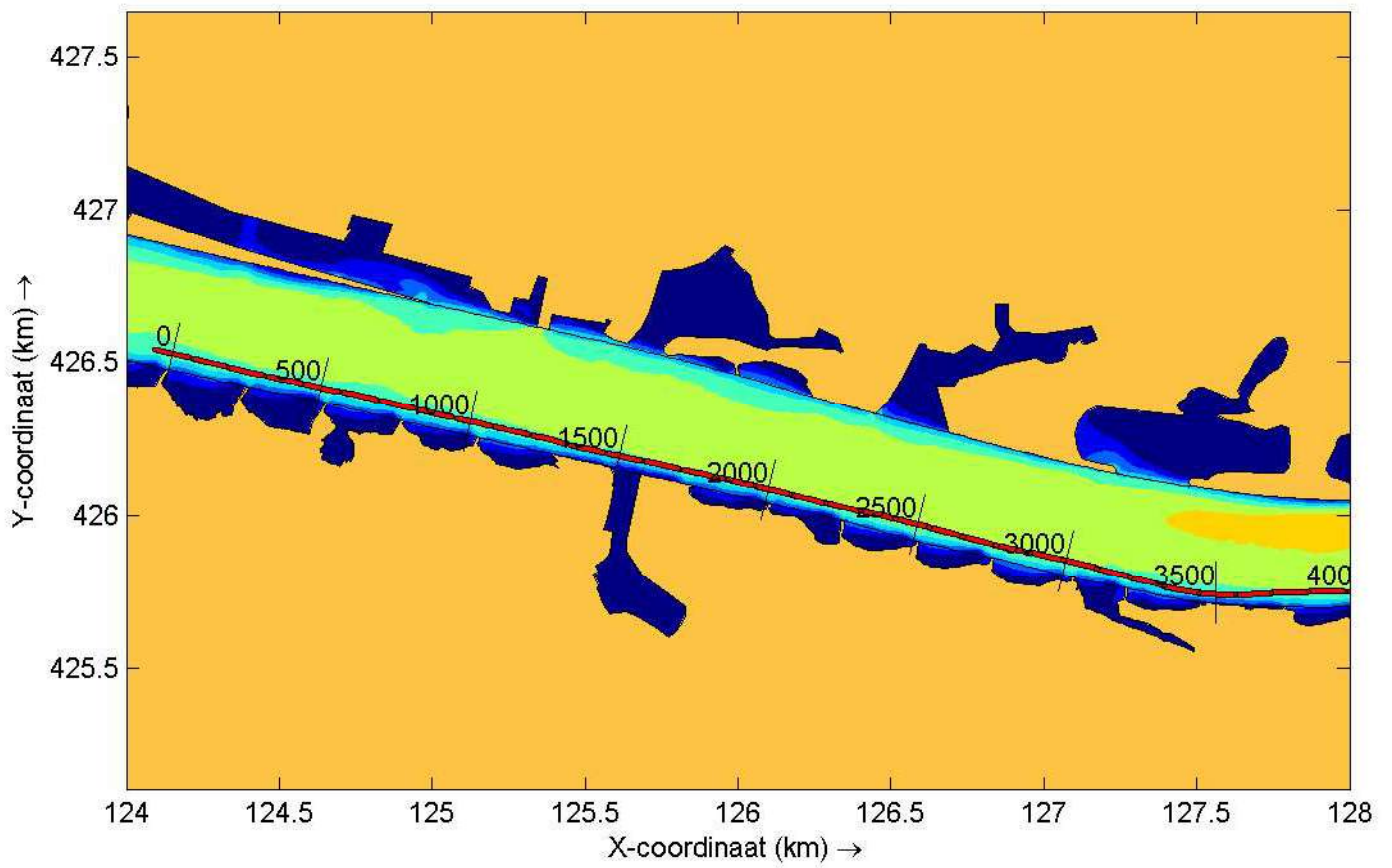
Project: 34504

MARIN

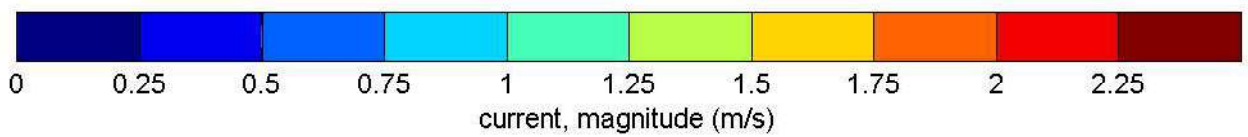
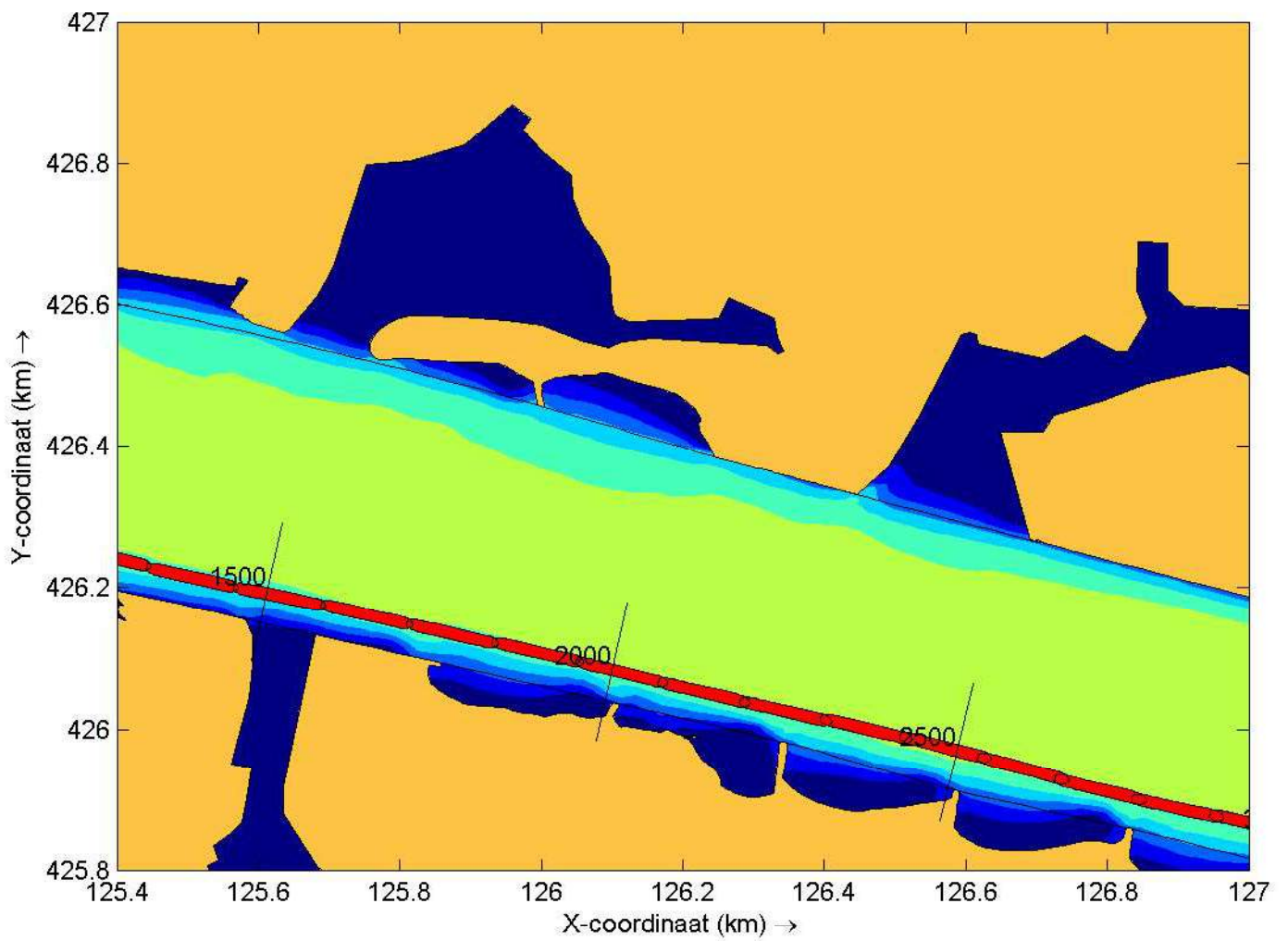
SHIPMA 7.4.2

Fig. C

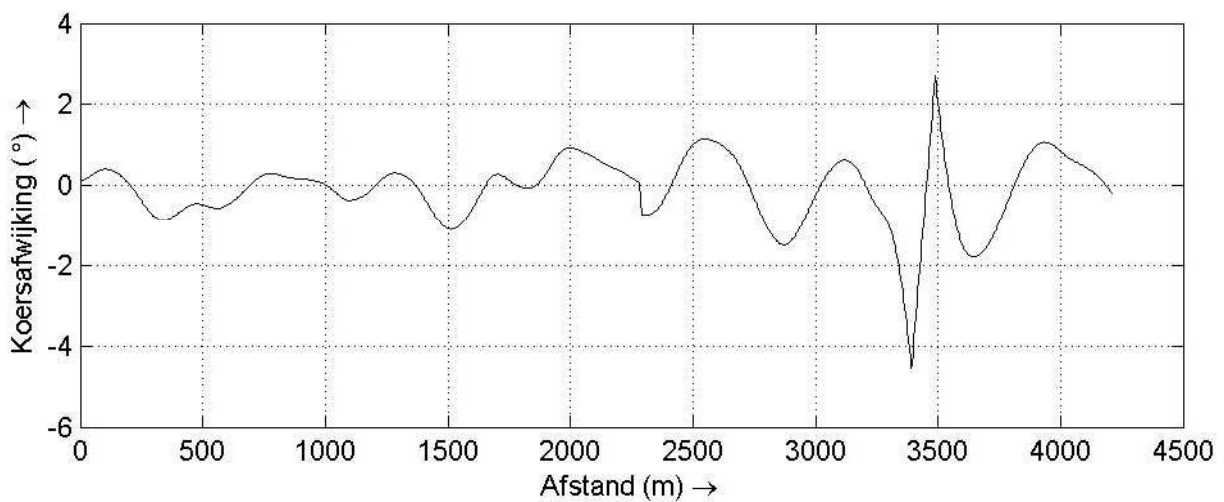
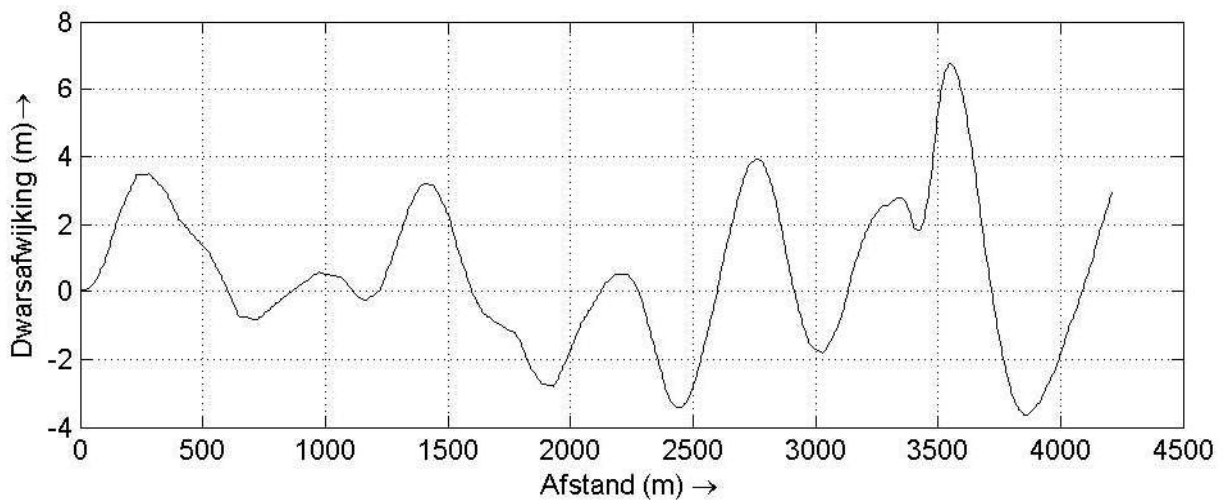
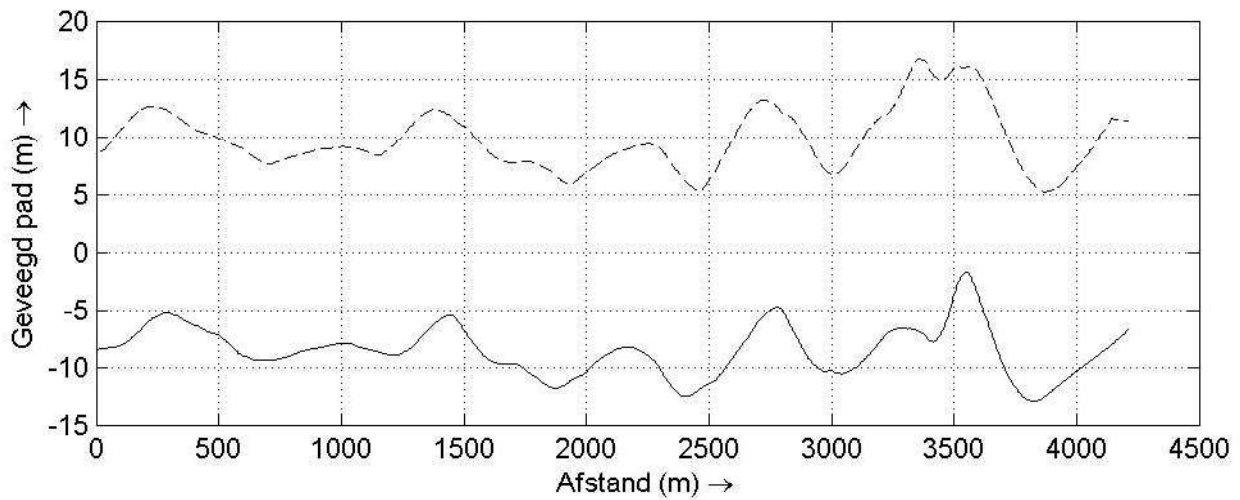
RUN-ID: 6261



Overzichtsplot inclusief route en stroom	M12 - Rijnmax	Run: 6261
	Project: 34504	
MARIN	SHIPMA 7.4.2	Fig. A



Detail trackplot	M12 - Rijnmax	Run: 6261
	Project: 34504	
MARIN	SHIPMA 7.4.2	Fig. A1



Geveegd pad (getrokken: bakboord; streeplijn: stuurboord)

M12 - Rijnmax

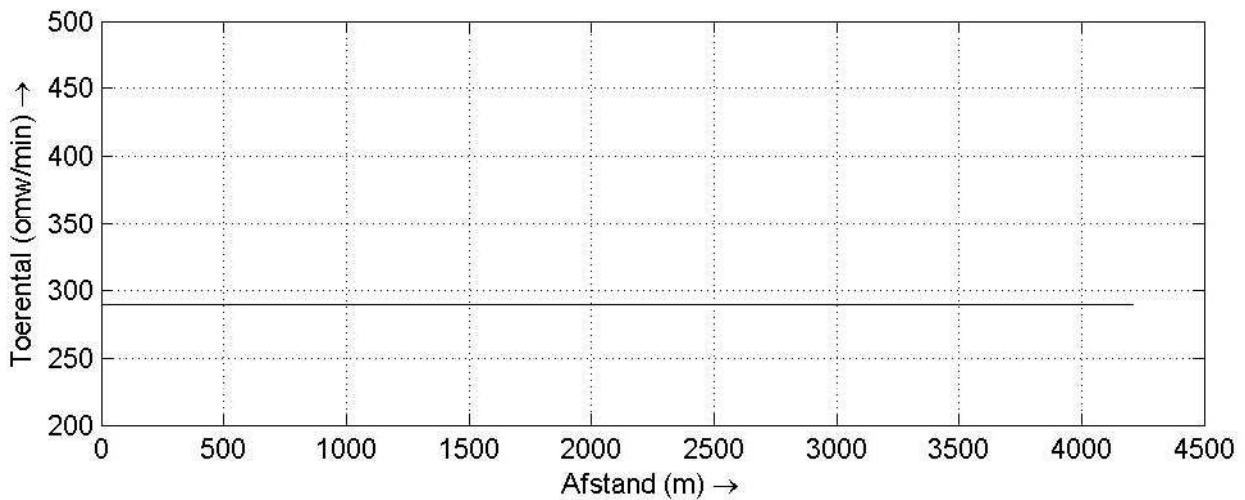
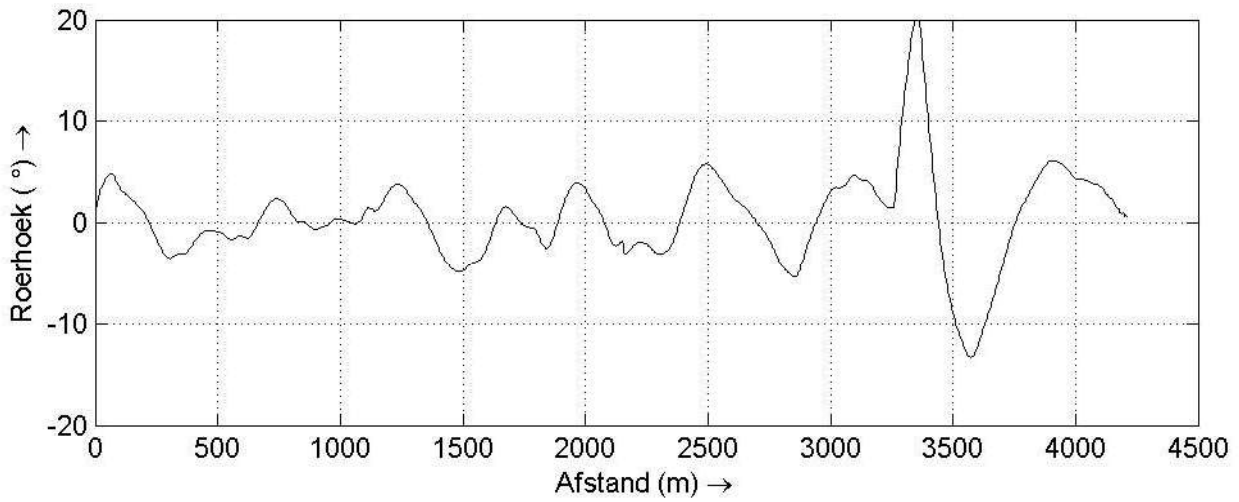
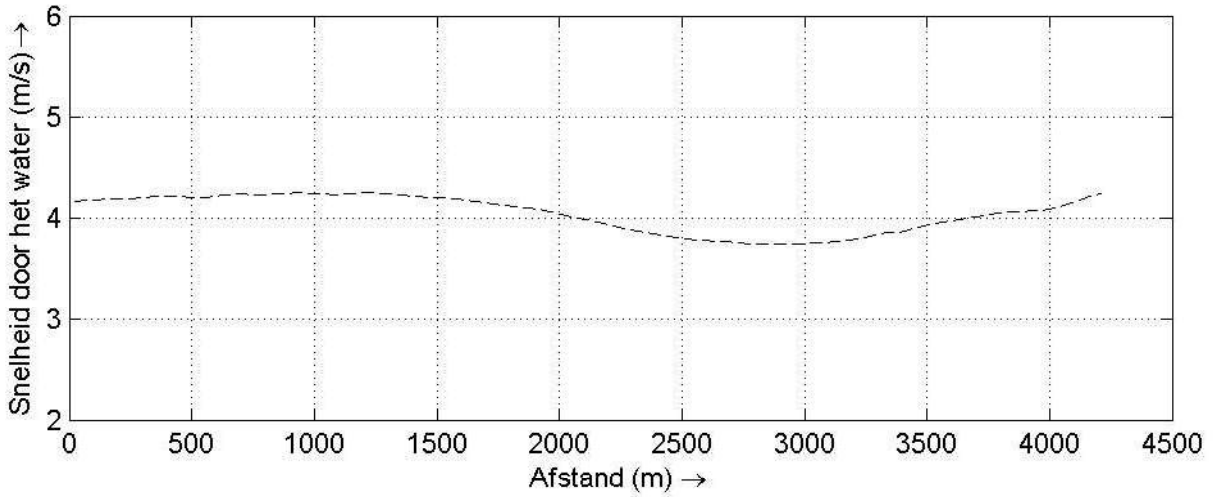
Run: 6261

Project: 34504

MARIN

SHIPMA 7.4.2

Fig. B



Scheepssnelheid, roerhoek en omwentelingen

M12 - Rijnmax

Run: 6261

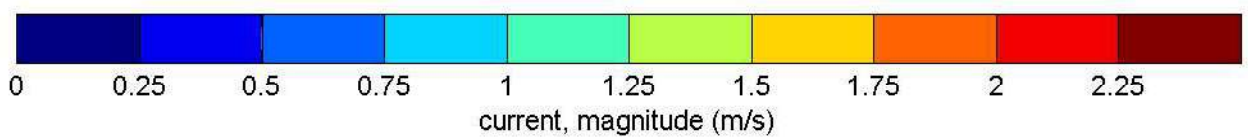
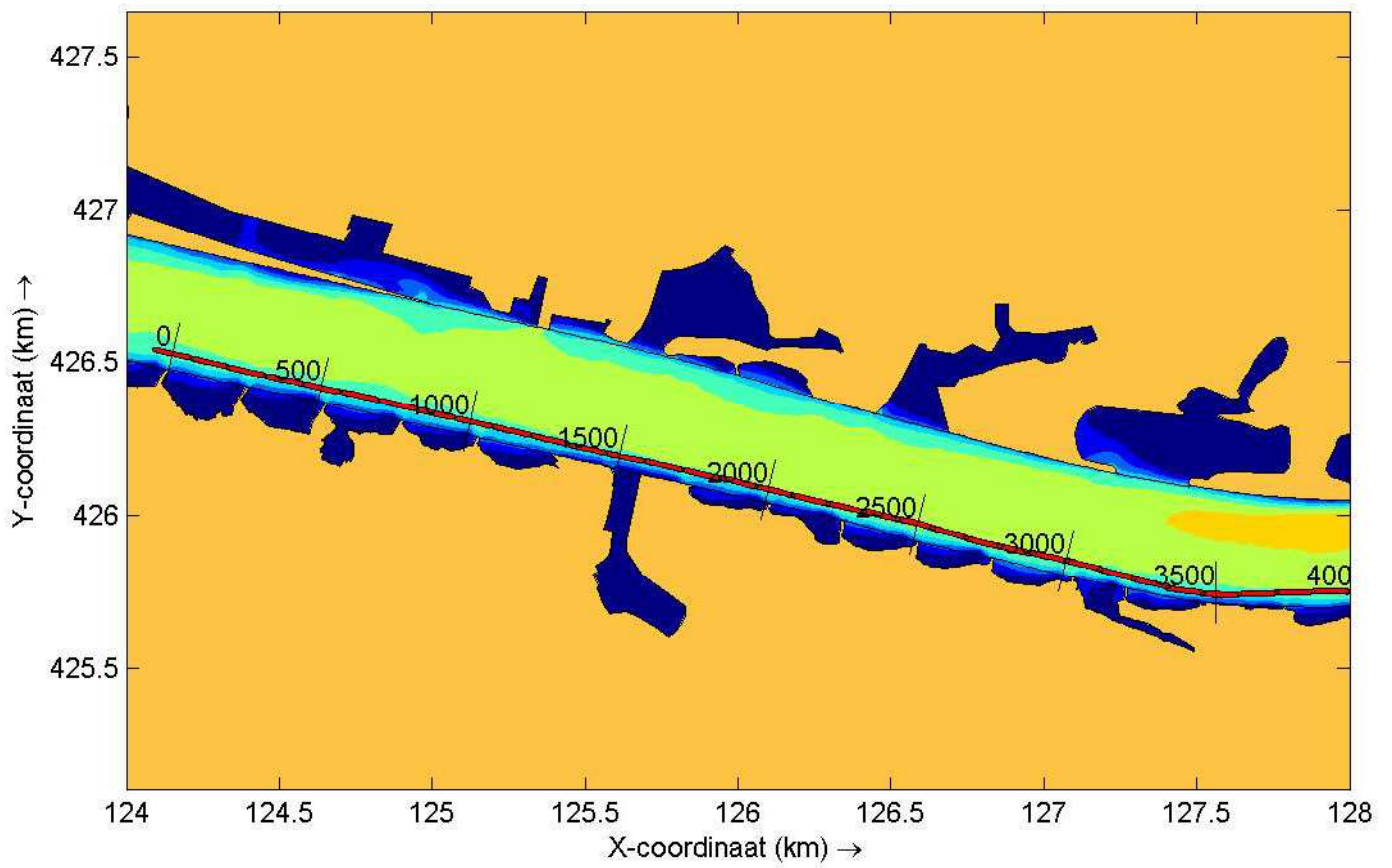
Project: 34504

MARIN

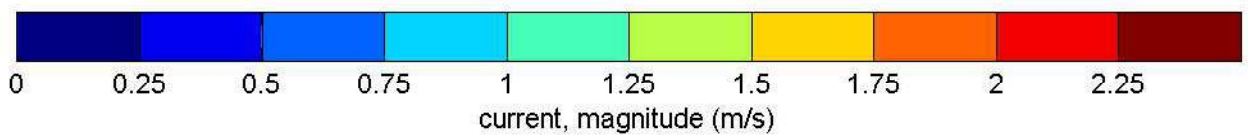
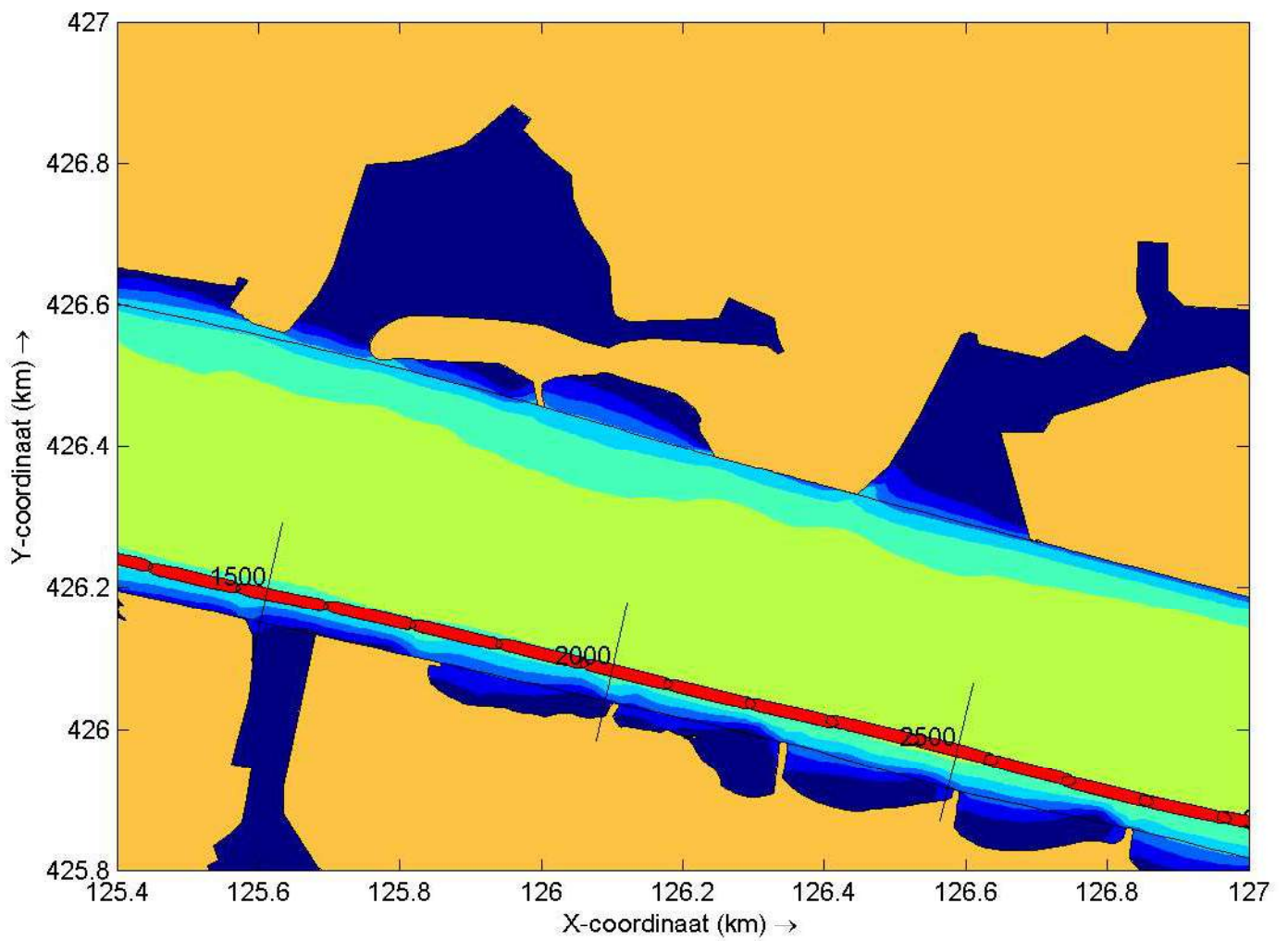
SHIPMA 7.4.2

Fig. C

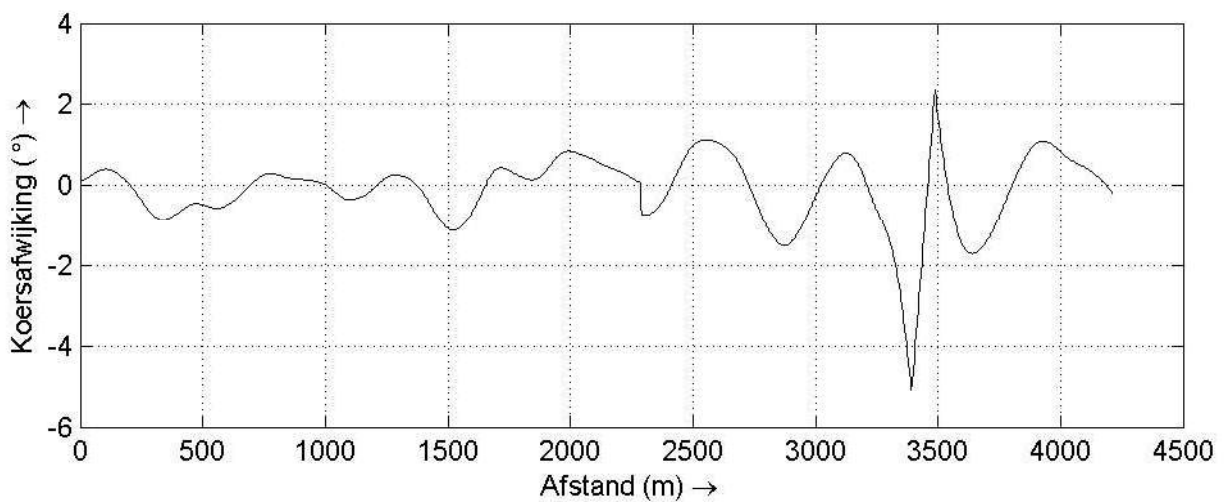
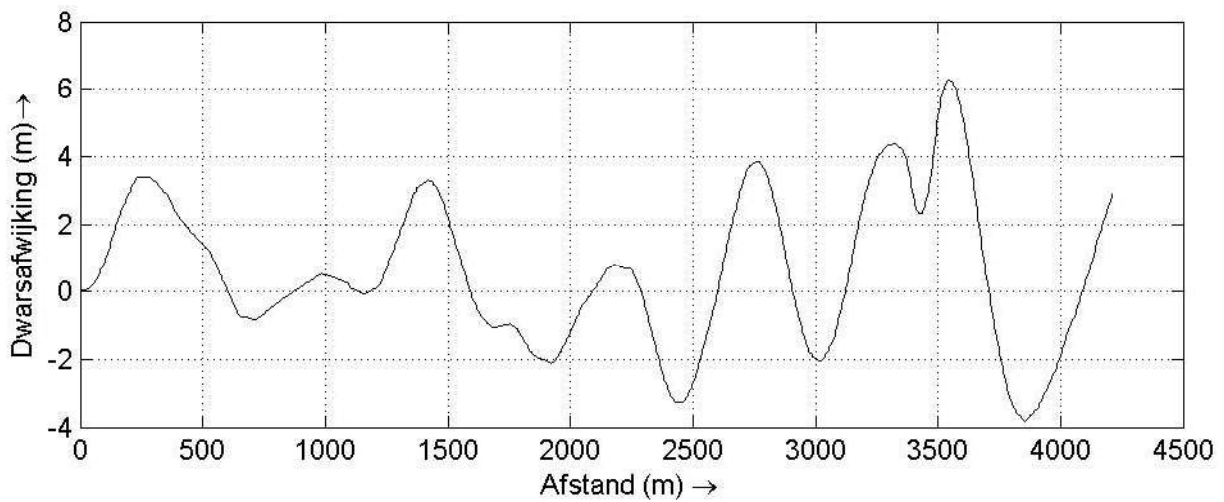
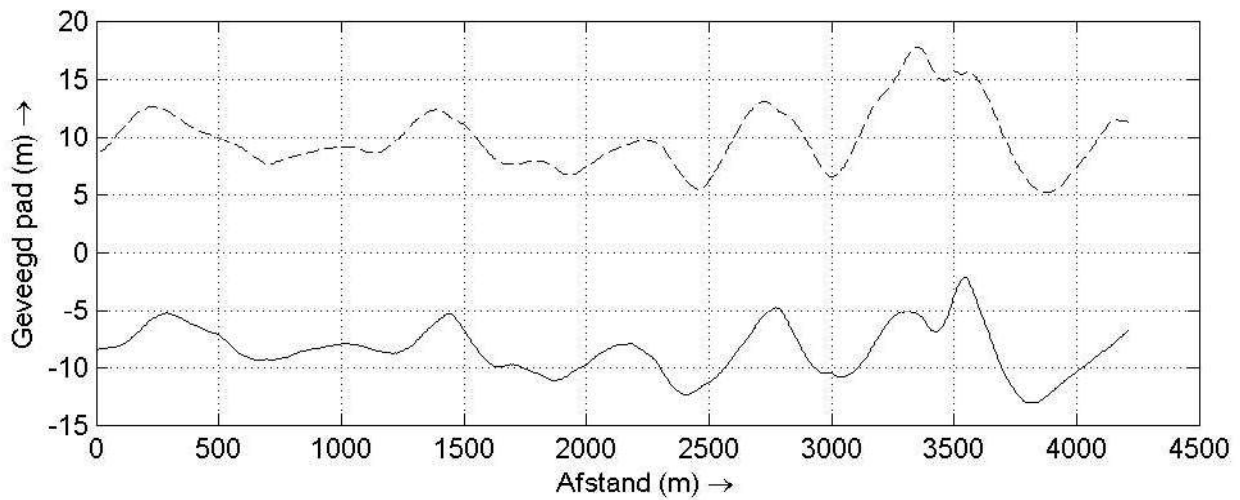
RUN-ID: 6262



Overzichtsplot inclusief route en stroom	M12 - Rijnmax	Run: 6262
	Project: 34504	
MARIN	SHIPMA 7.4.2	Fig. A



Detail trackplot	M12 - Rijnmax	Run: 6262
	Project: 34504	
MARIN	SHIPMA 7.4.2	Fig. A1



Geveegd pad (getrokken: bakboord; streeplijn: stuurboord)

M12 - Rijnmax

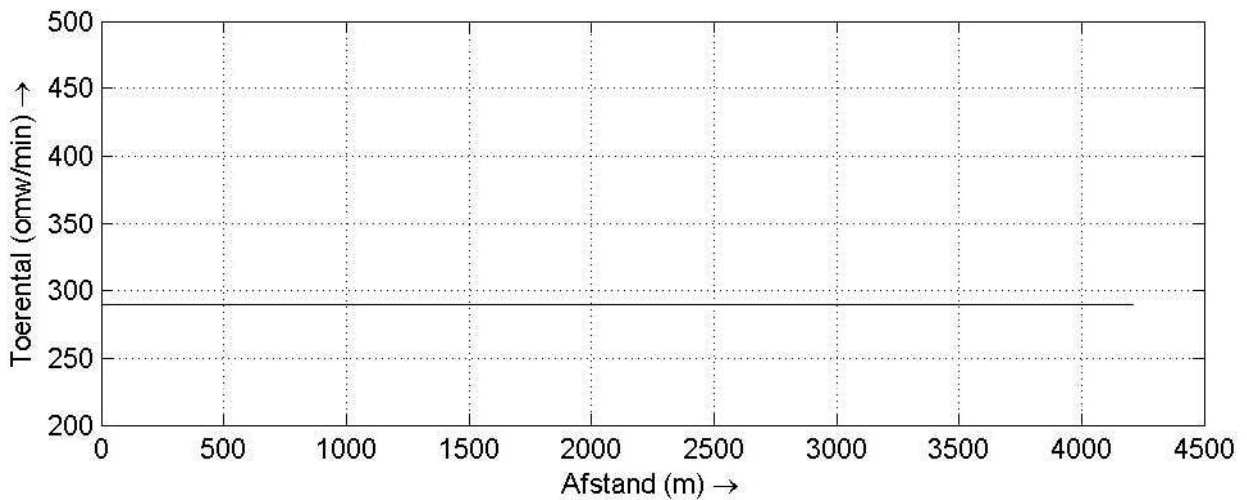
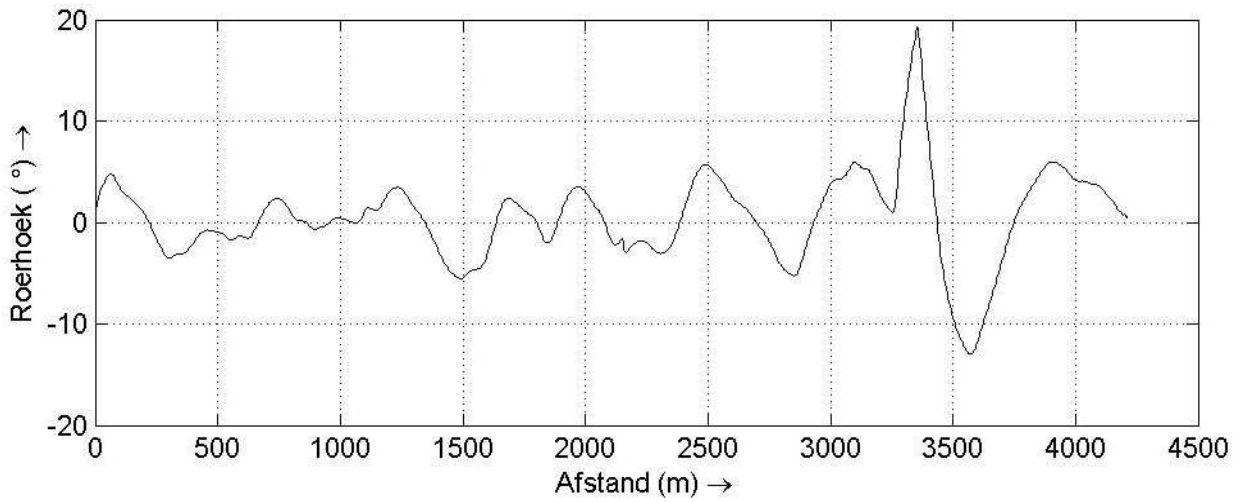
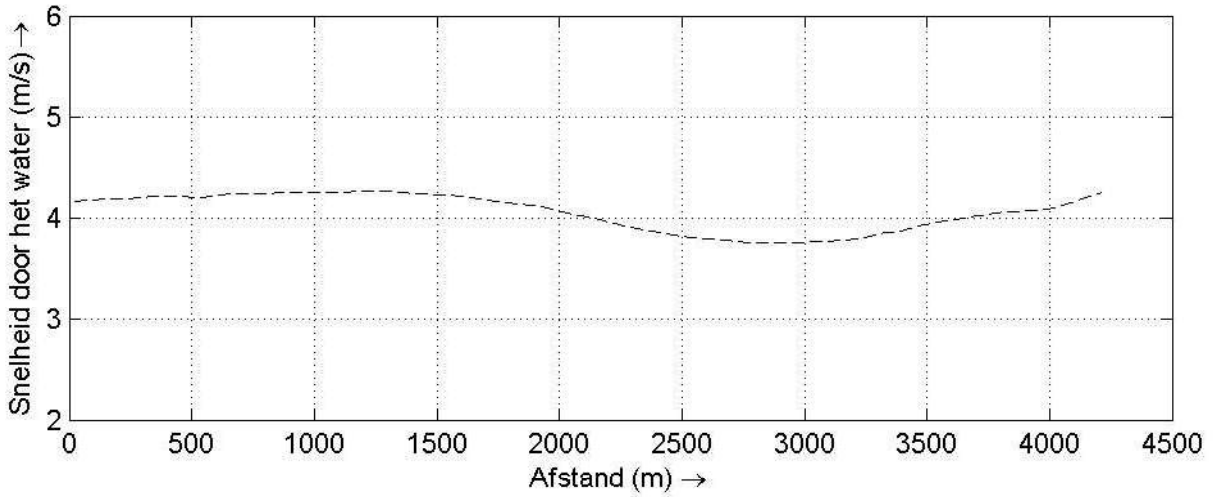
Run: 6262

Project: 34504

MARIN

SHIPMA 7.4.2

Fig. B



Scheepssnelheid, roerhoek en omwentelingen

M12 - Rijnmax

Run: 6262

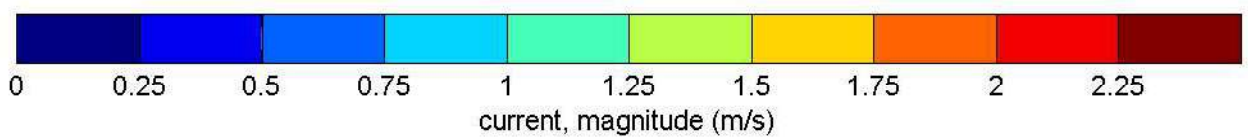
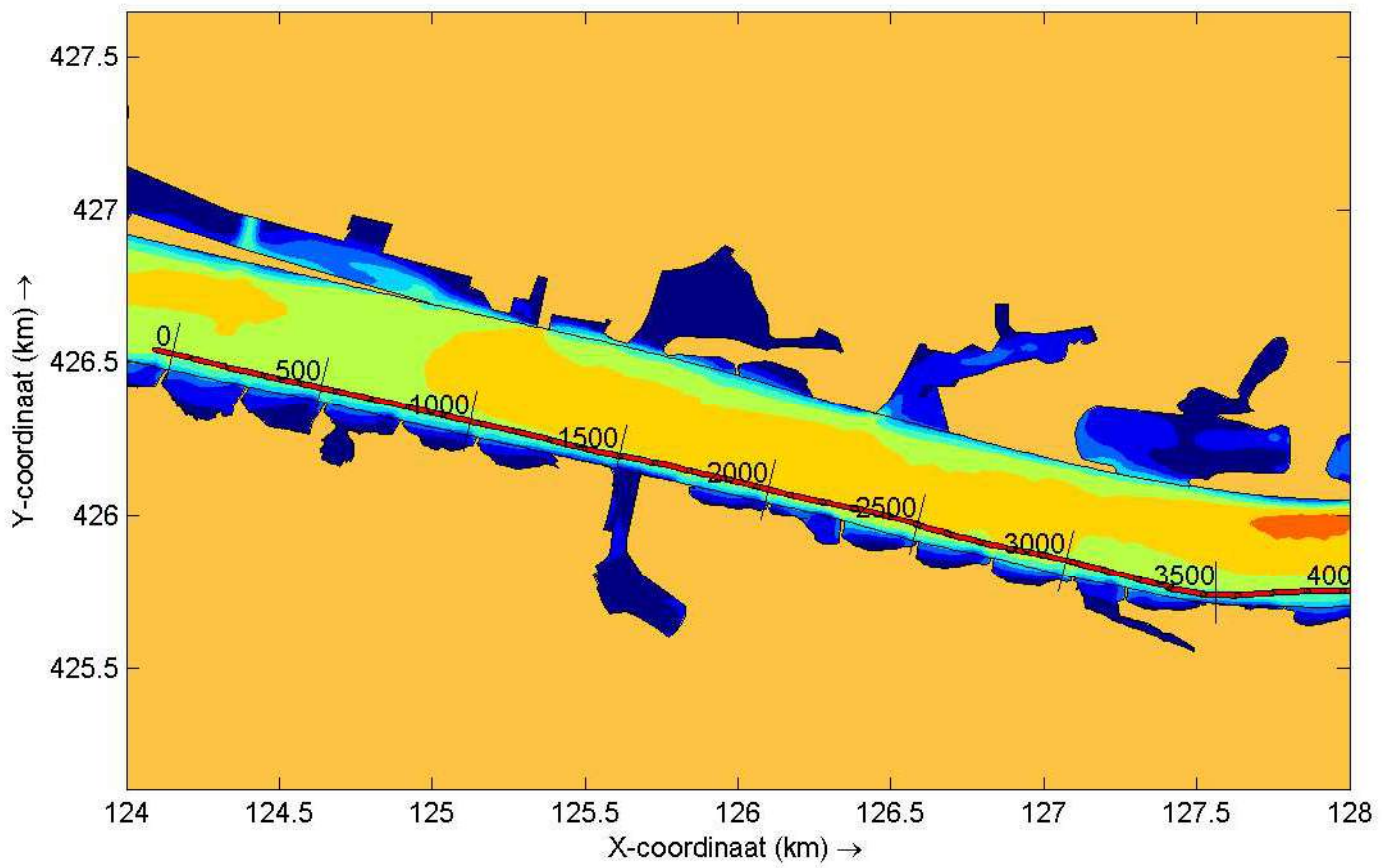
Project: 34504

MARIN

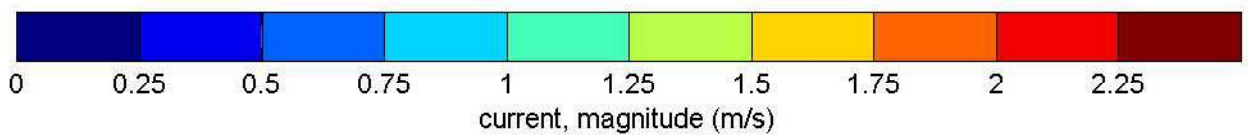
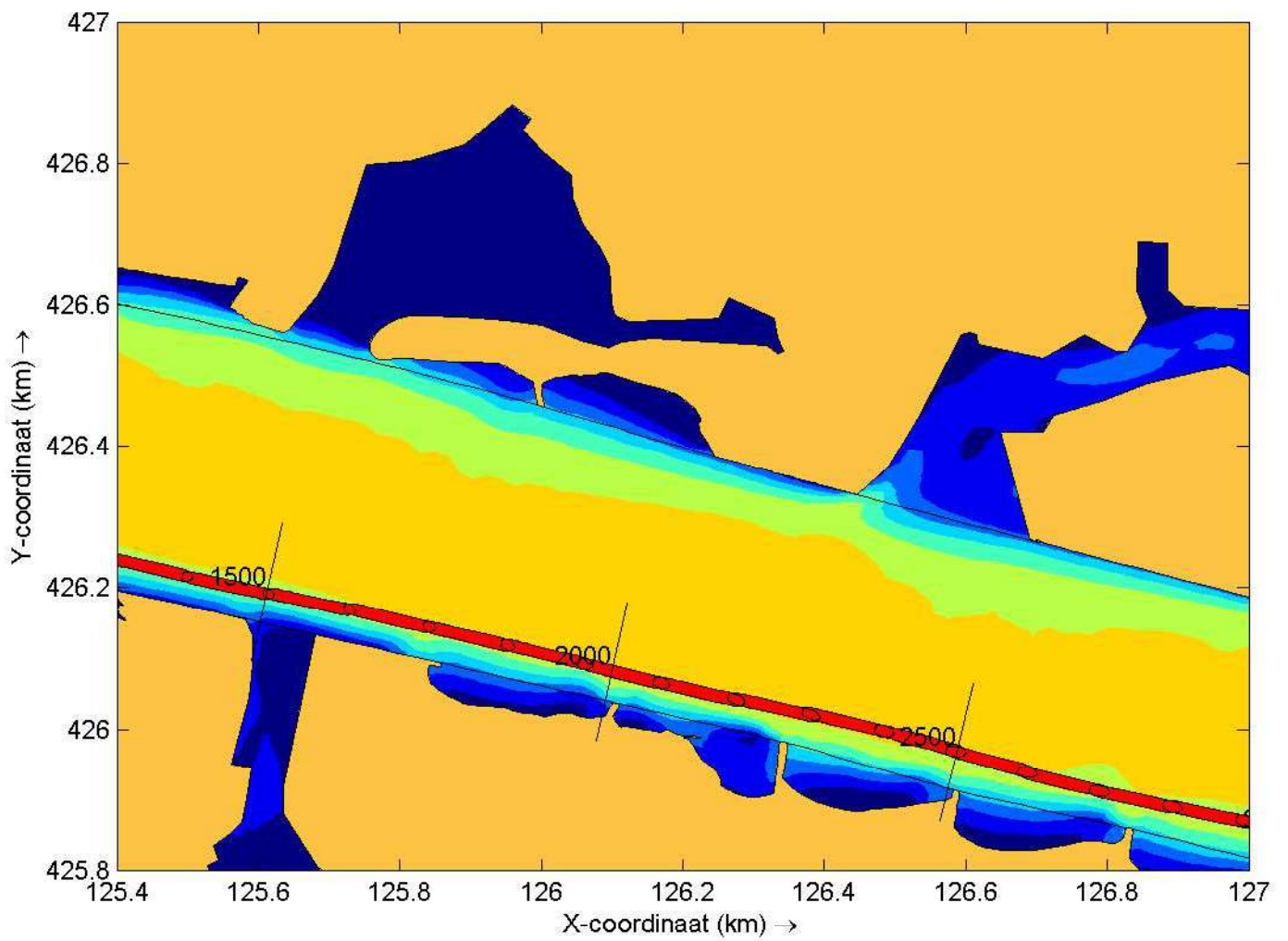
SHIPMA 7.4.2

Fig. C

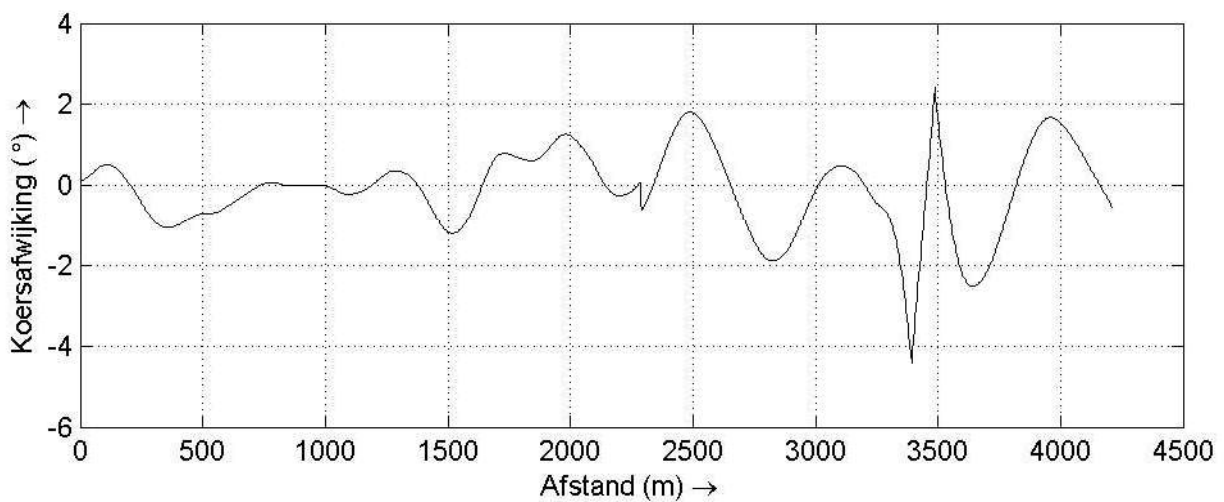
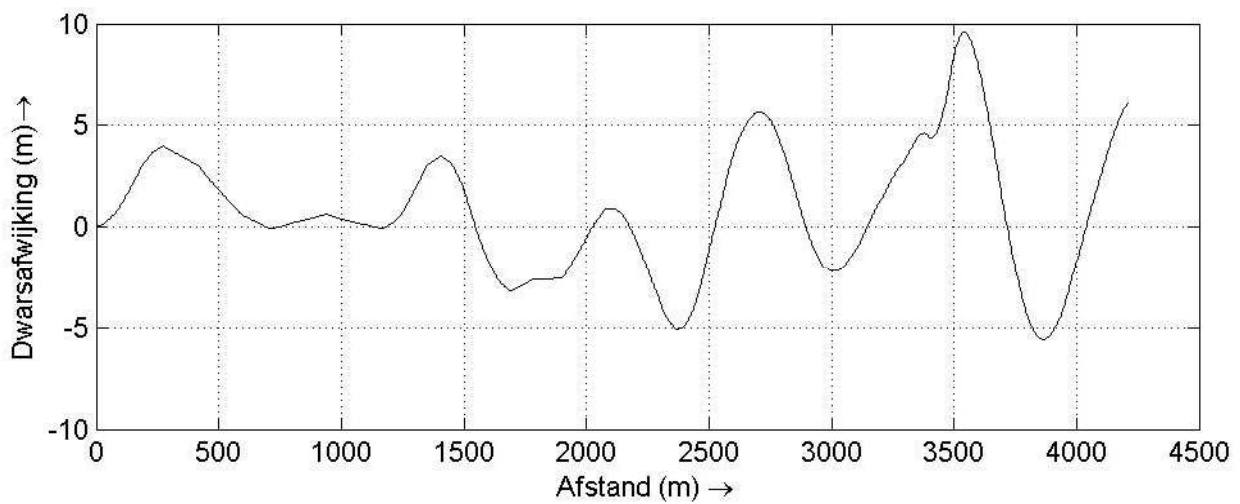
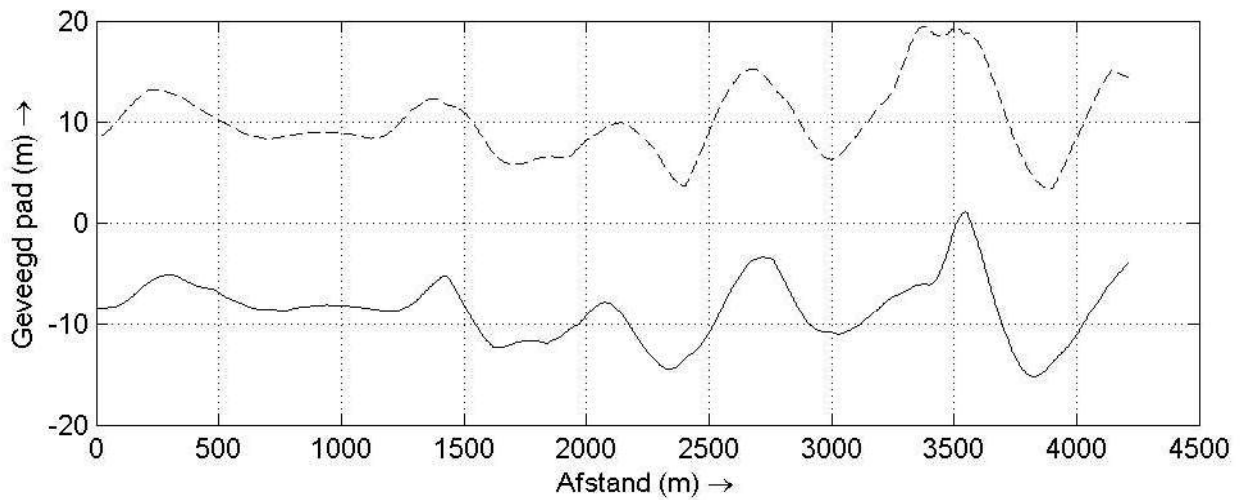
RUN-ID: 6281



Overzichtsplot inclusief route en stroom	M12 - Rijnmax	Run: 6281
	Project: 34504	
MARIN	SHIPMA 7.4.2	Fig. A



Detail trackplot	M12 - Rijnmax	Run: 6281
	Project: 34504	
MARIN	SHIPMA 7.4.2	Fig. A1



Geveegd pad (getrokken: bakboord; streeplijn: stuurboord)

M12 - Rijnmax

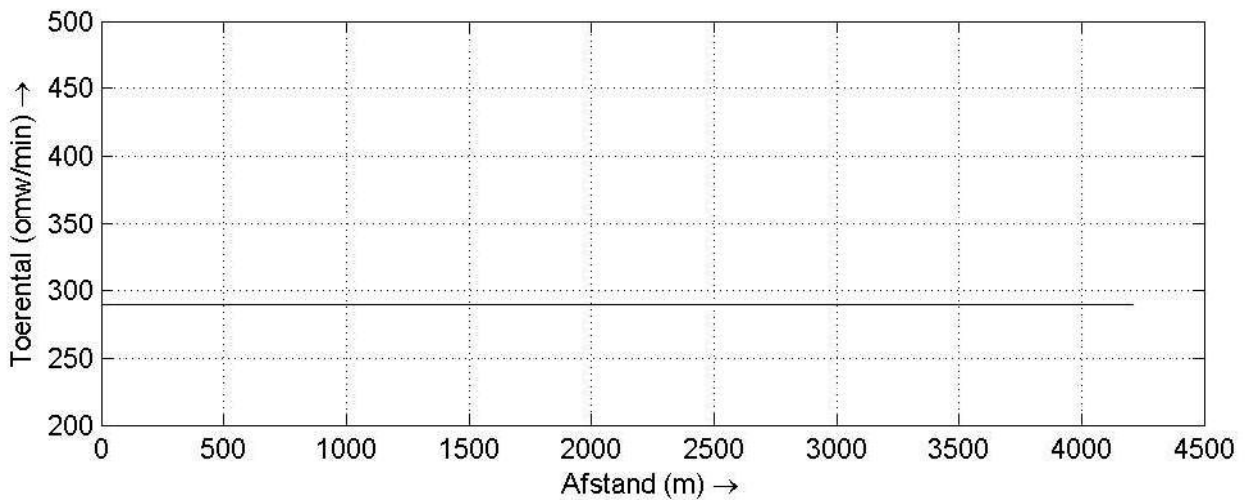
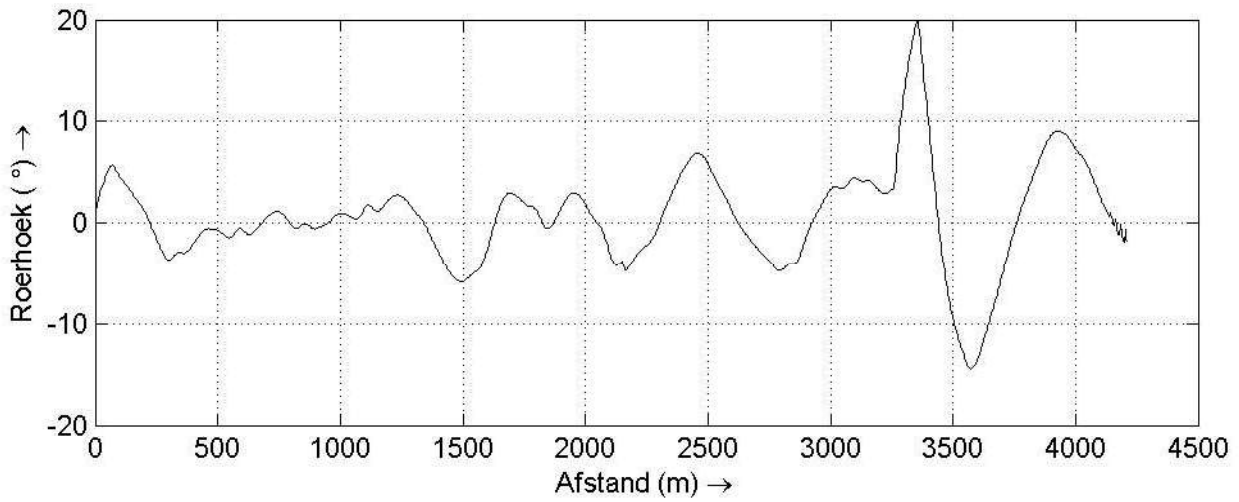
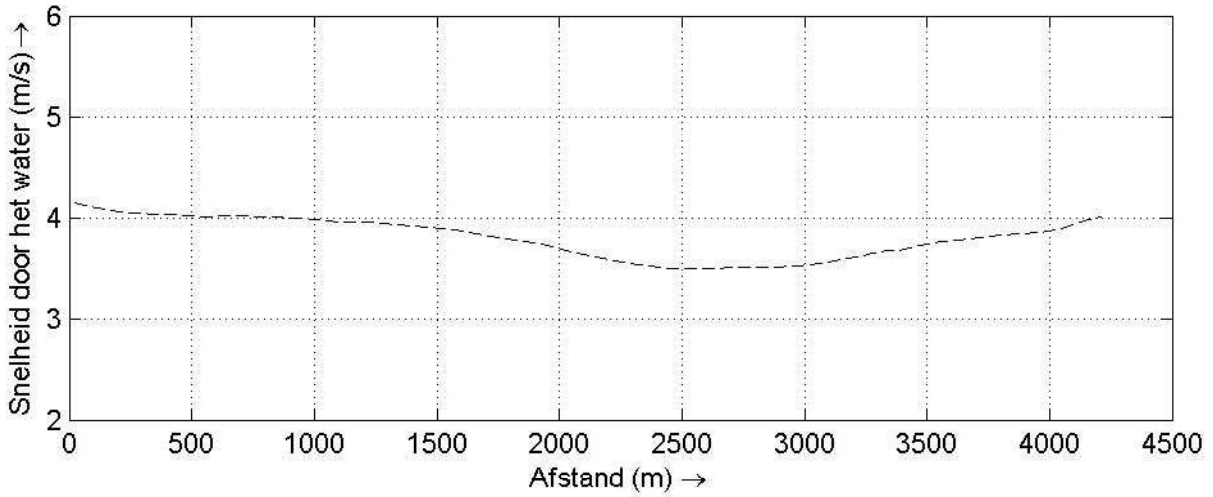
Run: 6281

Project: 34504

MARIN

SHIPMA 7.4.2

Fig. B



Scheepssnelheid, roerhoek en omwentelingen

M12 - Rijnmax

Run: 6281

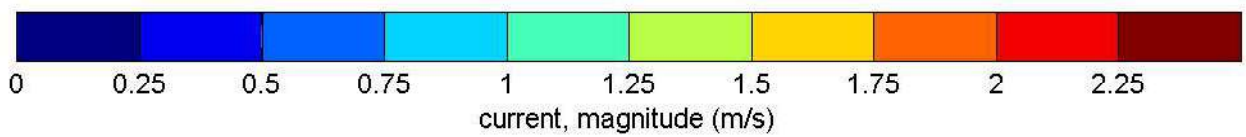
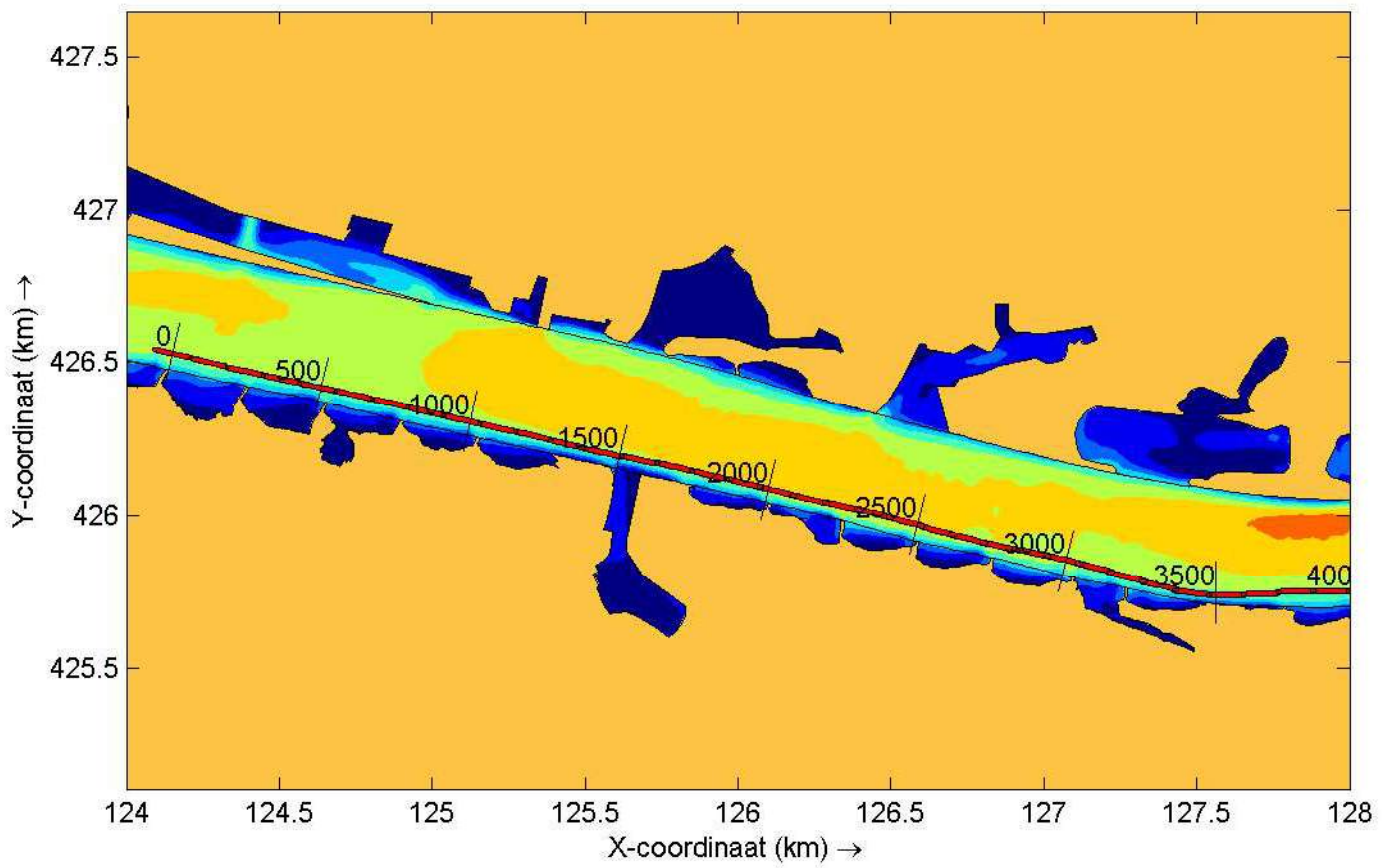
Project: 34504

MARIN

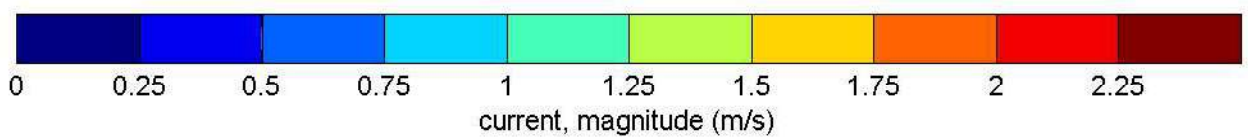
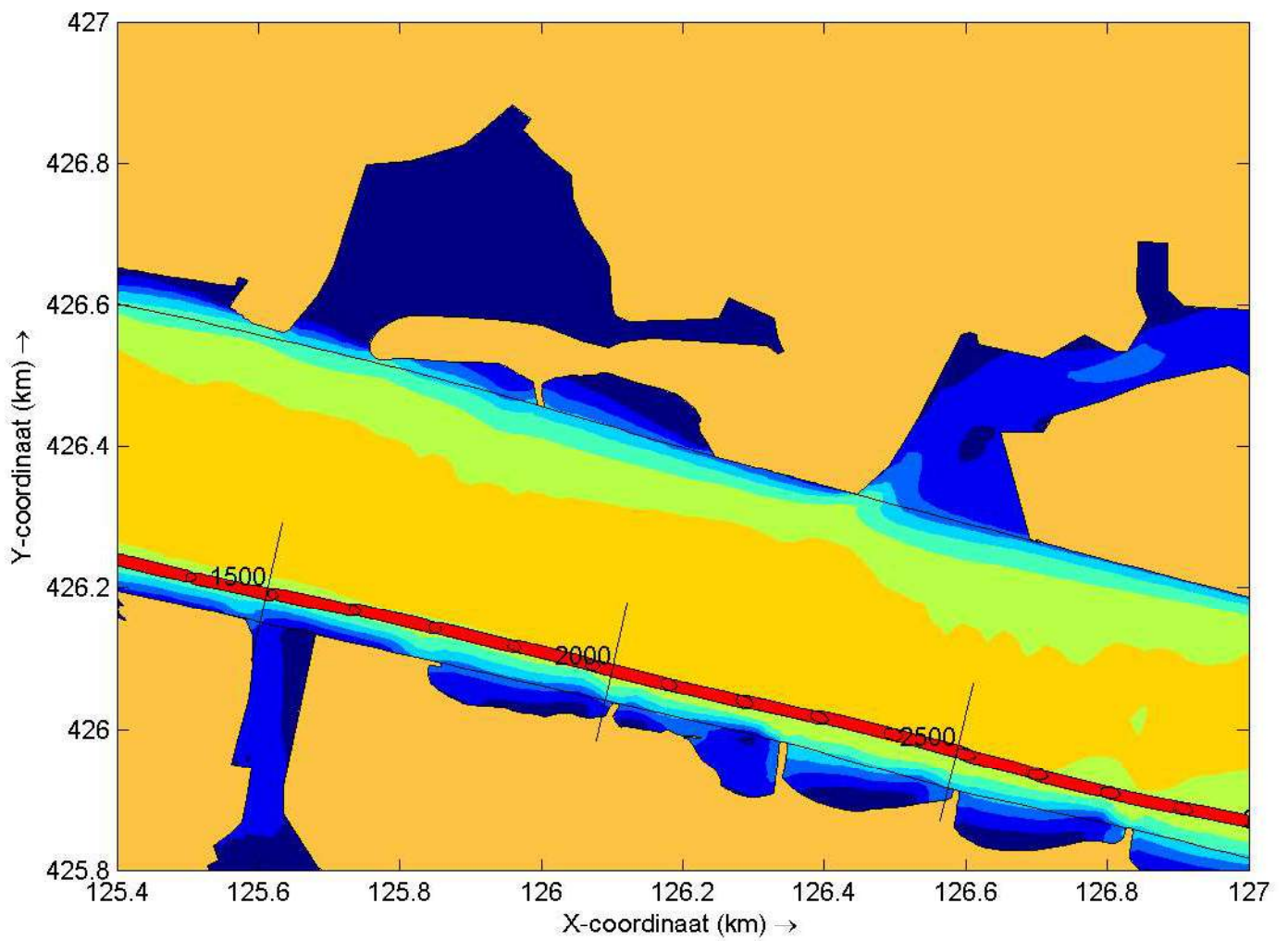
SHIPMA 7.4.2

Fig. C

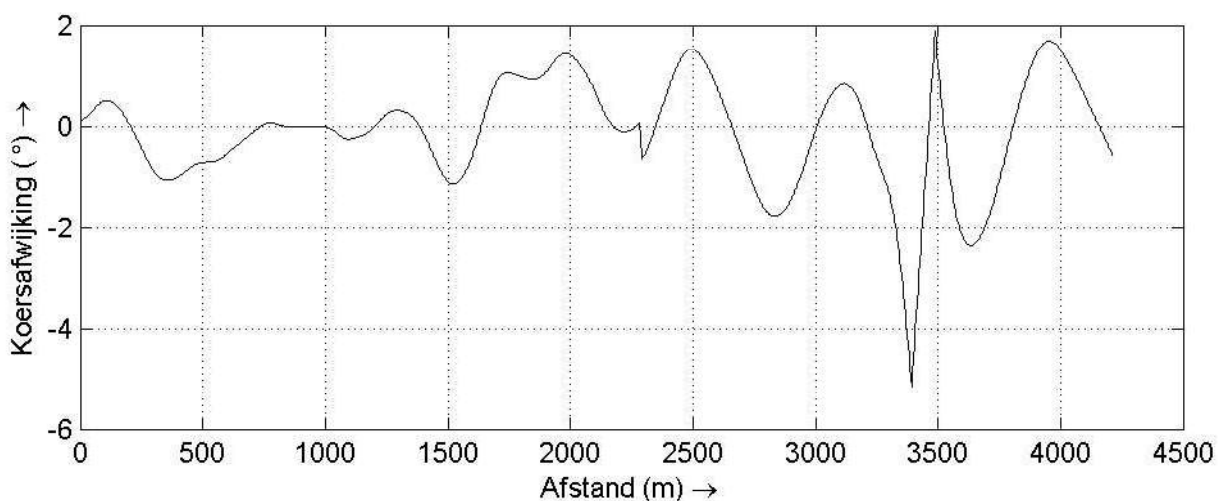
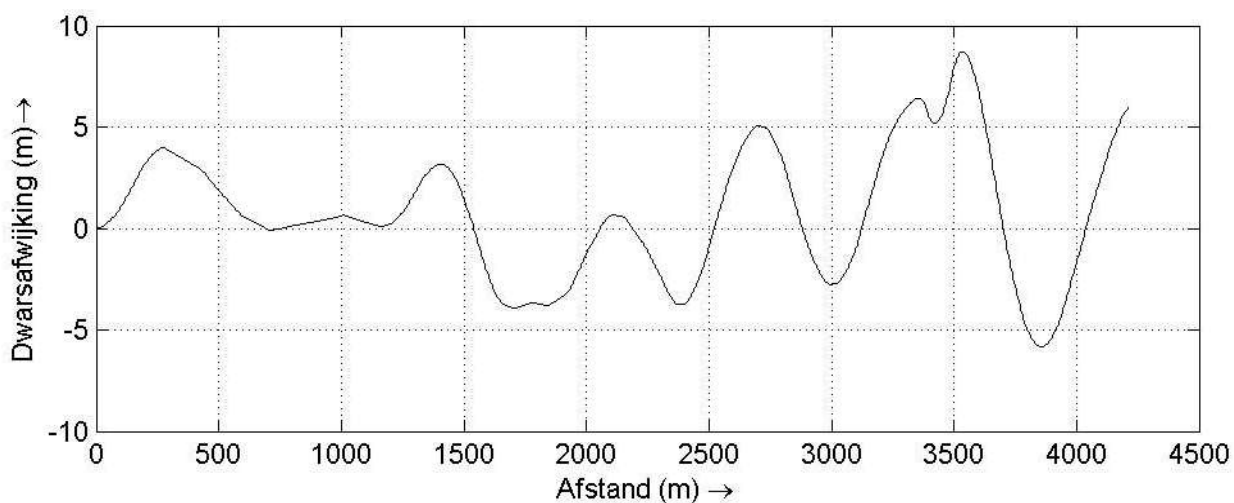
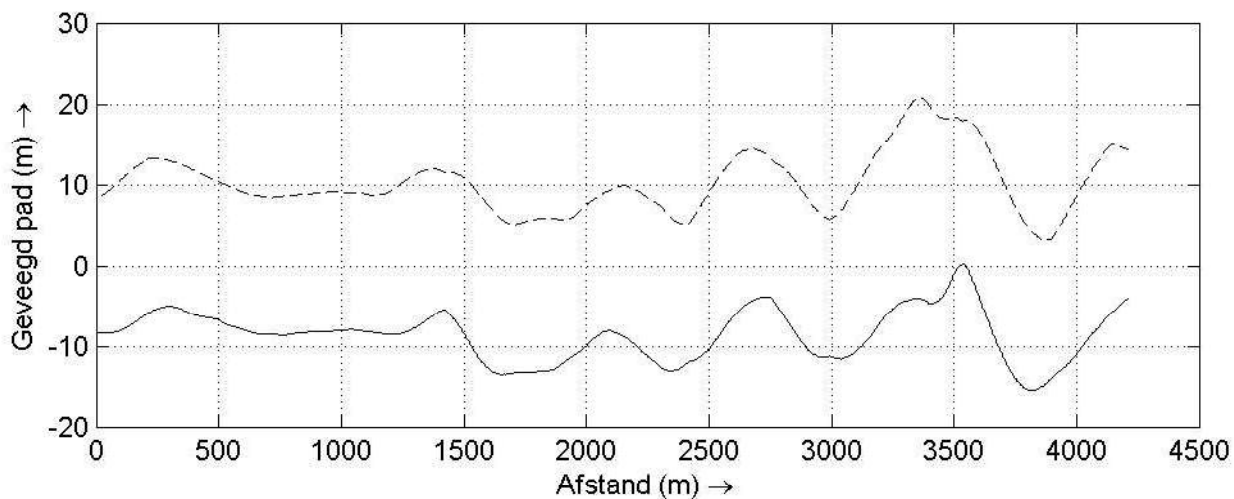
RUN-ID: 6282



Overzichtsplot inclusief route en stroom	M12 - Rijnmax	Run: 6282
	Project: 34504	
MARIN	SHIPMA 7.4.2	Fig. A



Detail trackplot	M12 - Rijnmax	Run: 6282
	Project: 34504	
MARIN	SHIPMA 7.4.2	Fig. A1



Geveegd pad (getrokken: bakboord; streeplijn: stuurboord)

M12 - Rijnmax

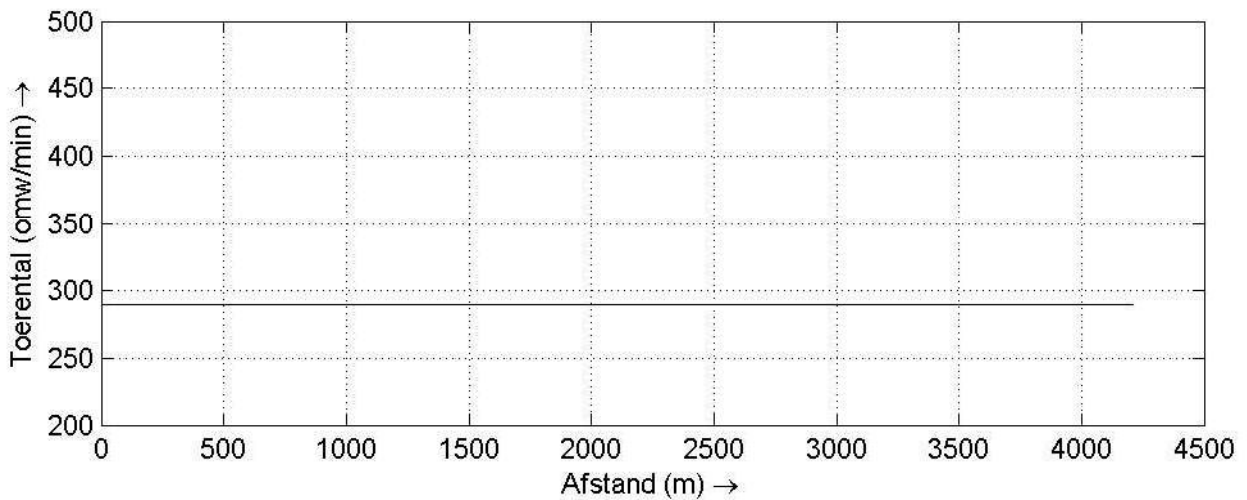
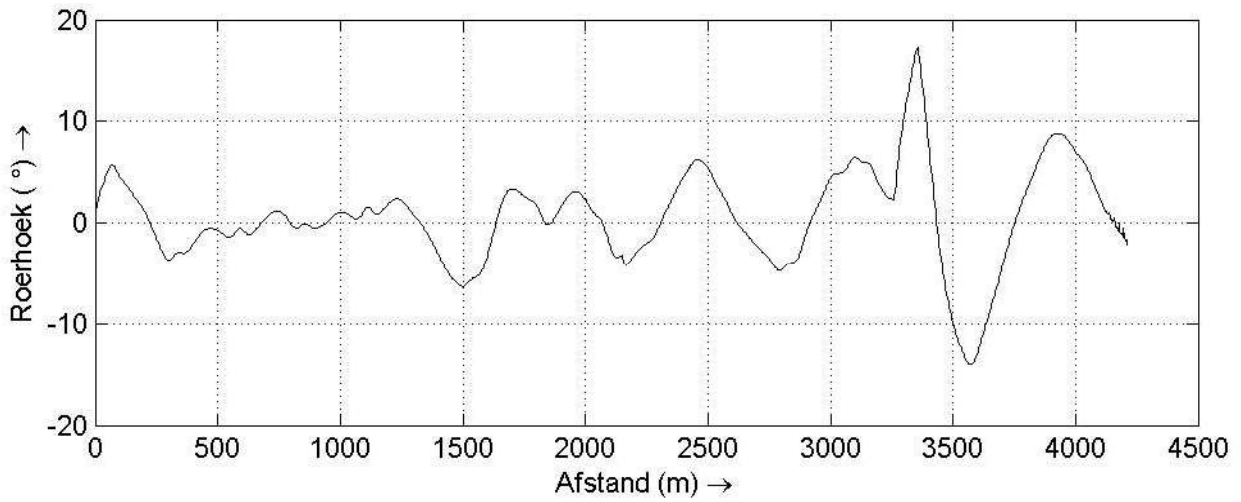
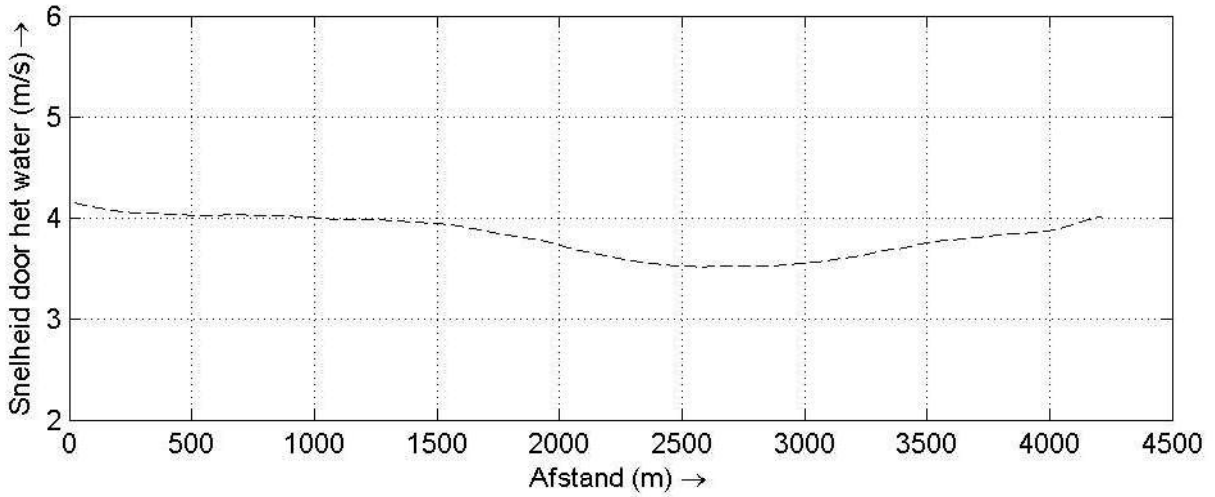
Run: 6282

Project: 34504

MARIN

SHIPMA 7.4.2

Fig. B



Scheepssnelheid, roerhoek en omwentelingen

M12 - Rijnmax

Run: 6282

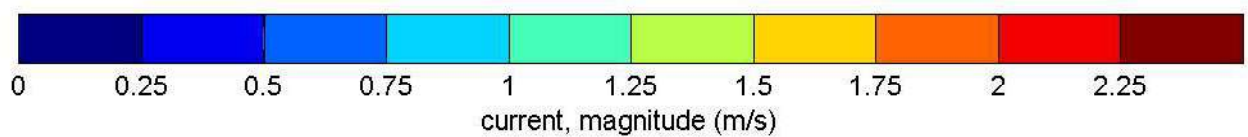
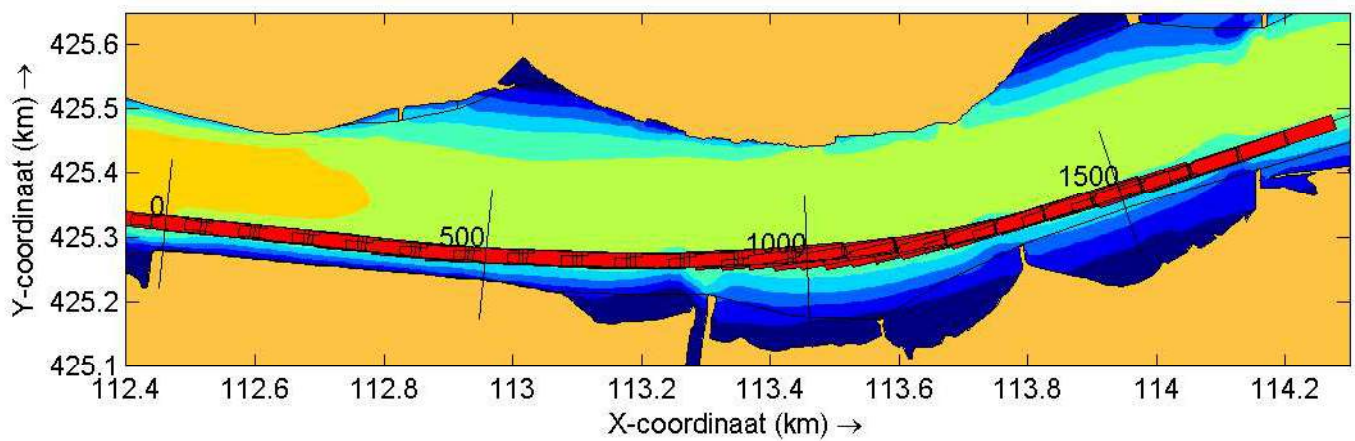
Project: 34504

MARIN

SHIPMA 7.4.2

Fig. C

RUN-ID: 8181



Overzichtsplot inclusief route en stroom

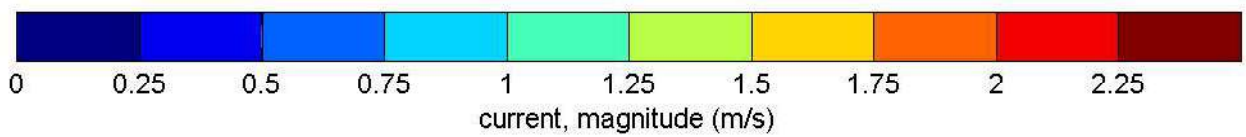
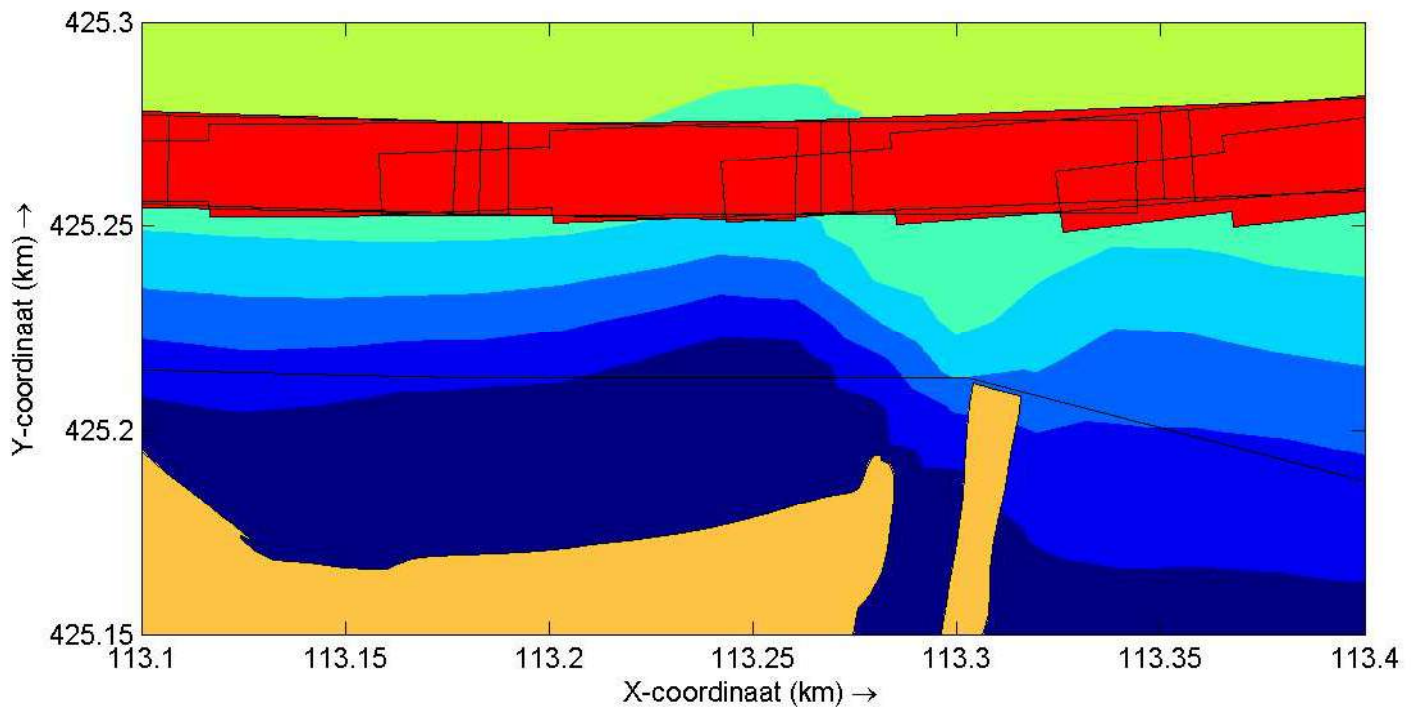
B2-6L - 6baksduwboot langRun: 8181

Project: 34504

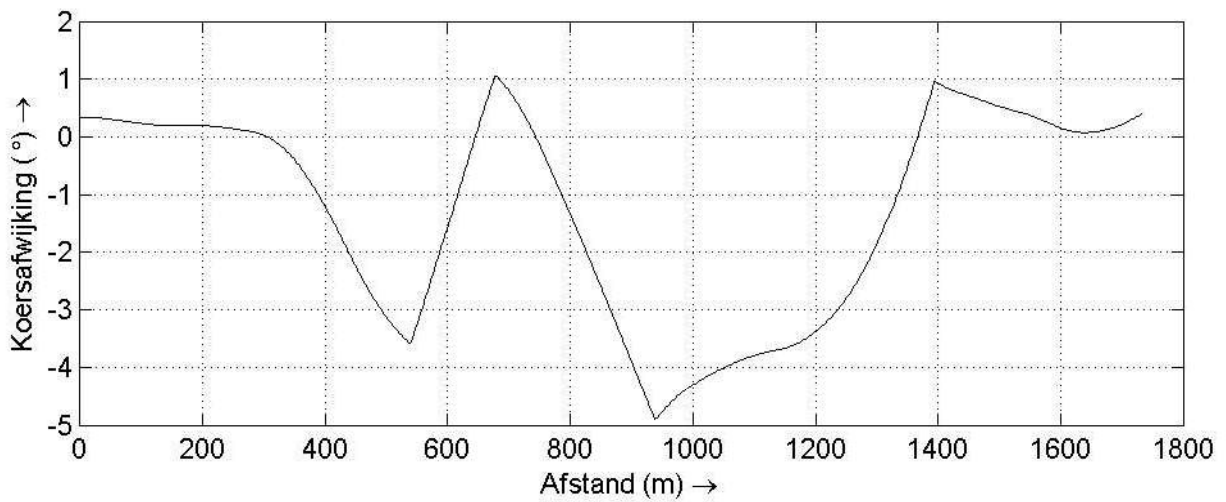
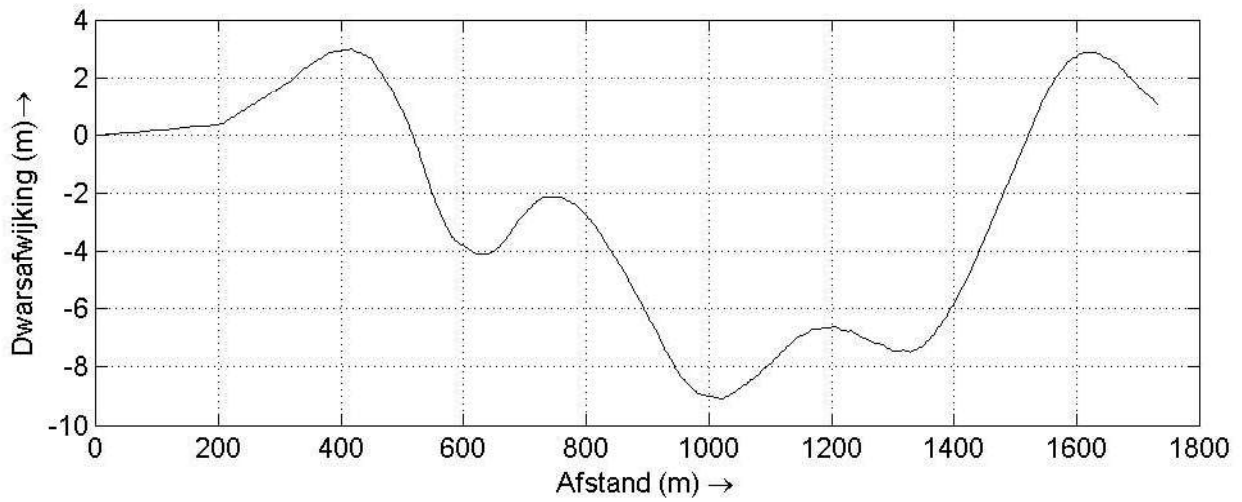
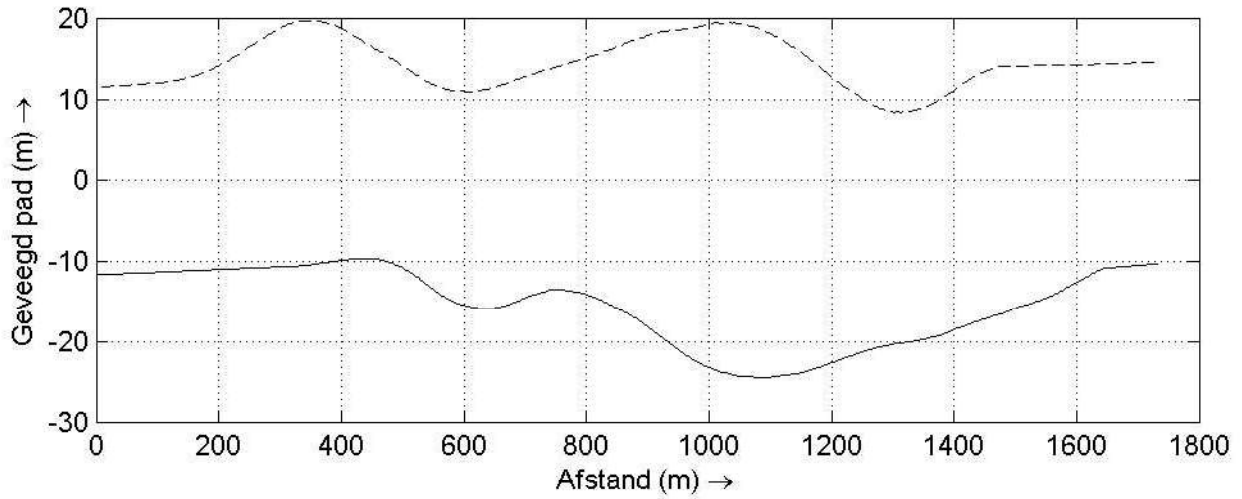
MARIN

SHIPMA 7.4.2

Fig. A



Detail trackplot	B2-6L - 6baksduwboot	langRun: 8181
	Project: 34504	
MARIN	SHIPMA 7.4.2	Fig. A1



Geveegd pad (getrokken: bakboord; streeplijn: stuurboord)

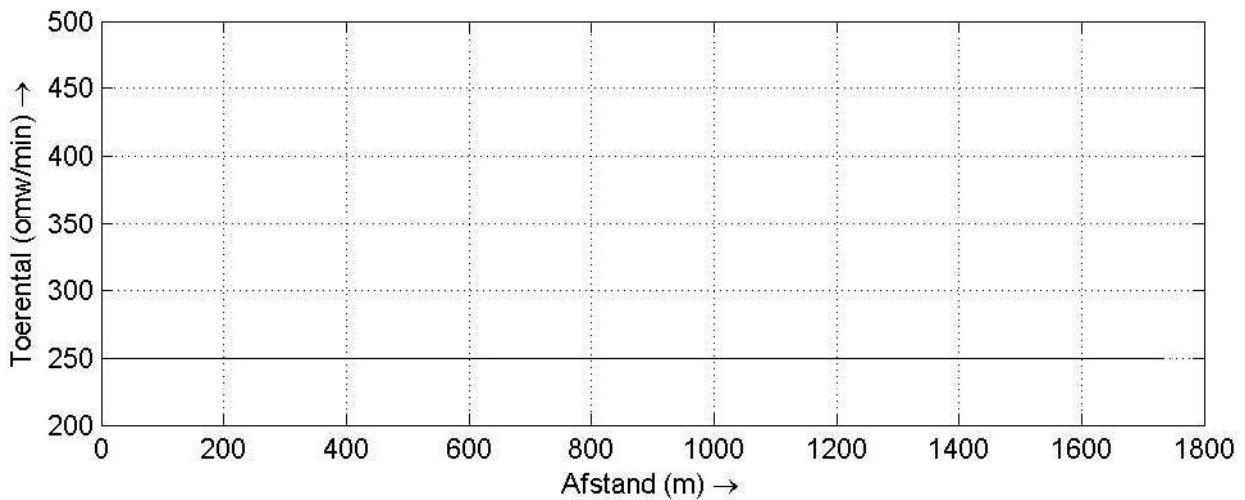
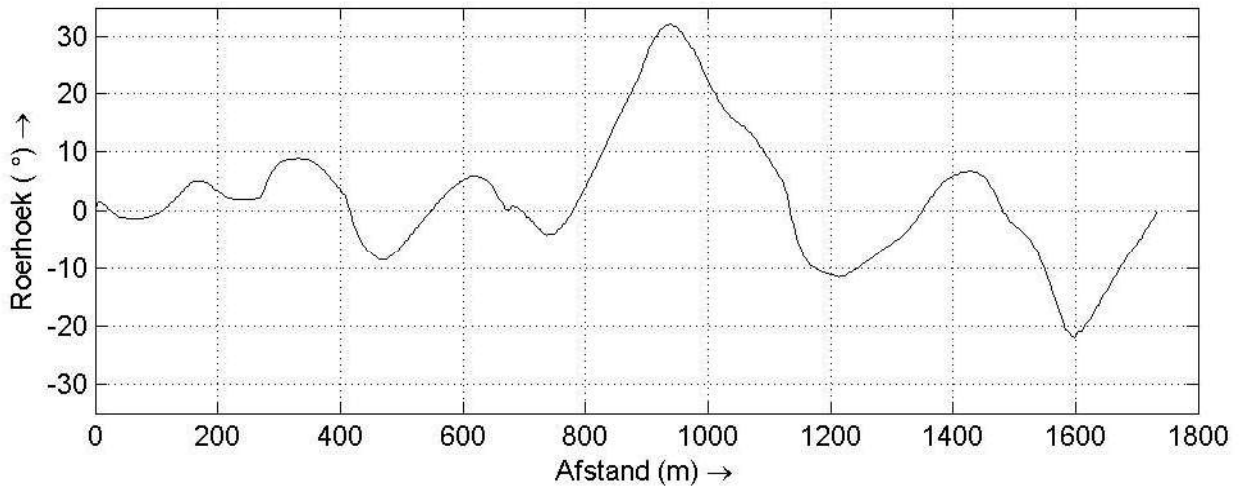
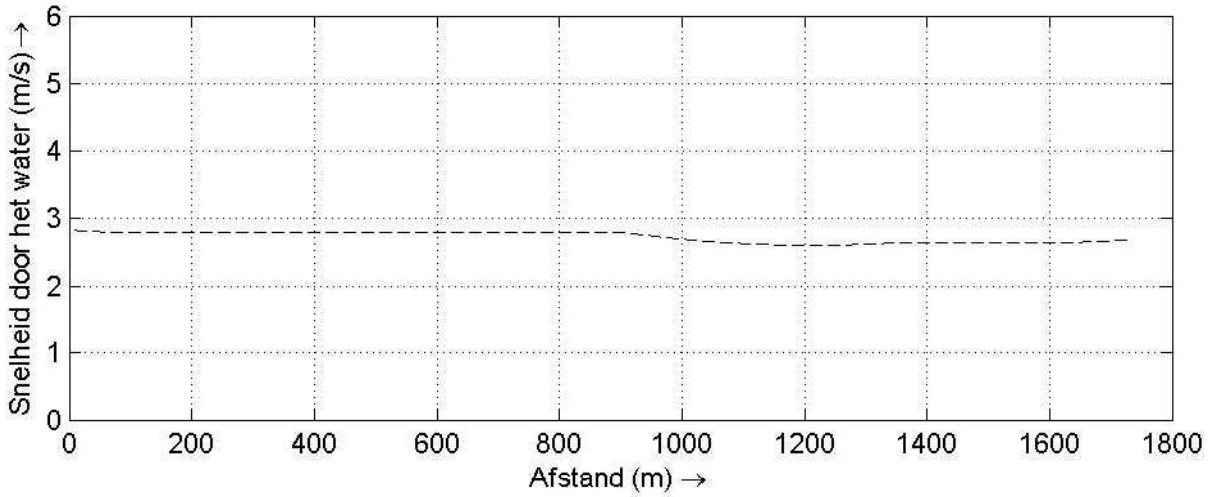
B2-6L - 6baksduwboot langRun: 8181

Project: 34504

MARIN

SHIPMA 7.4.2

Fig. B



Scheepssnelheid, roerhoek en omwentelingen

B2-6L - 6baksduwboot langRun: 8181

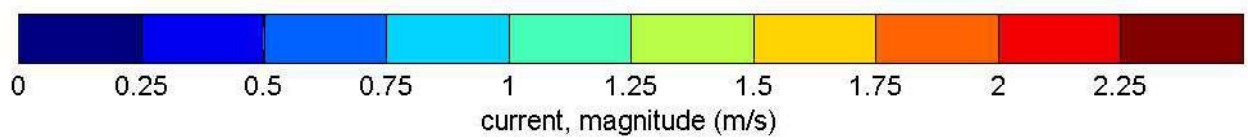
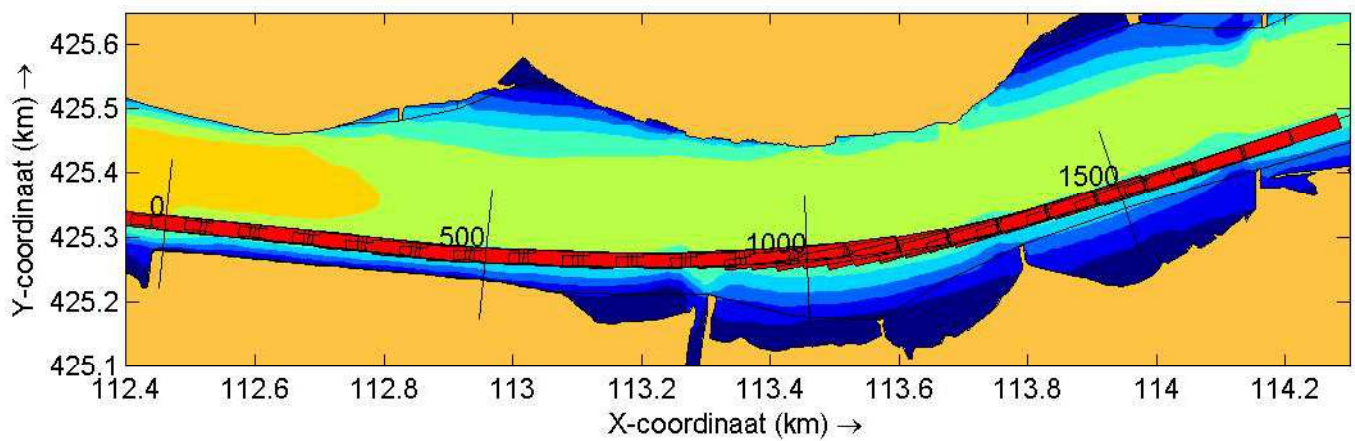
Project: 34504

MARIN

SHIPMA 7.4.2

Fig. C

RUN-ID: 8182



Overzichtsplot inclusief route en stroom

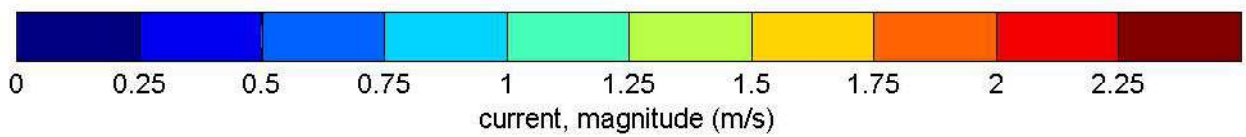
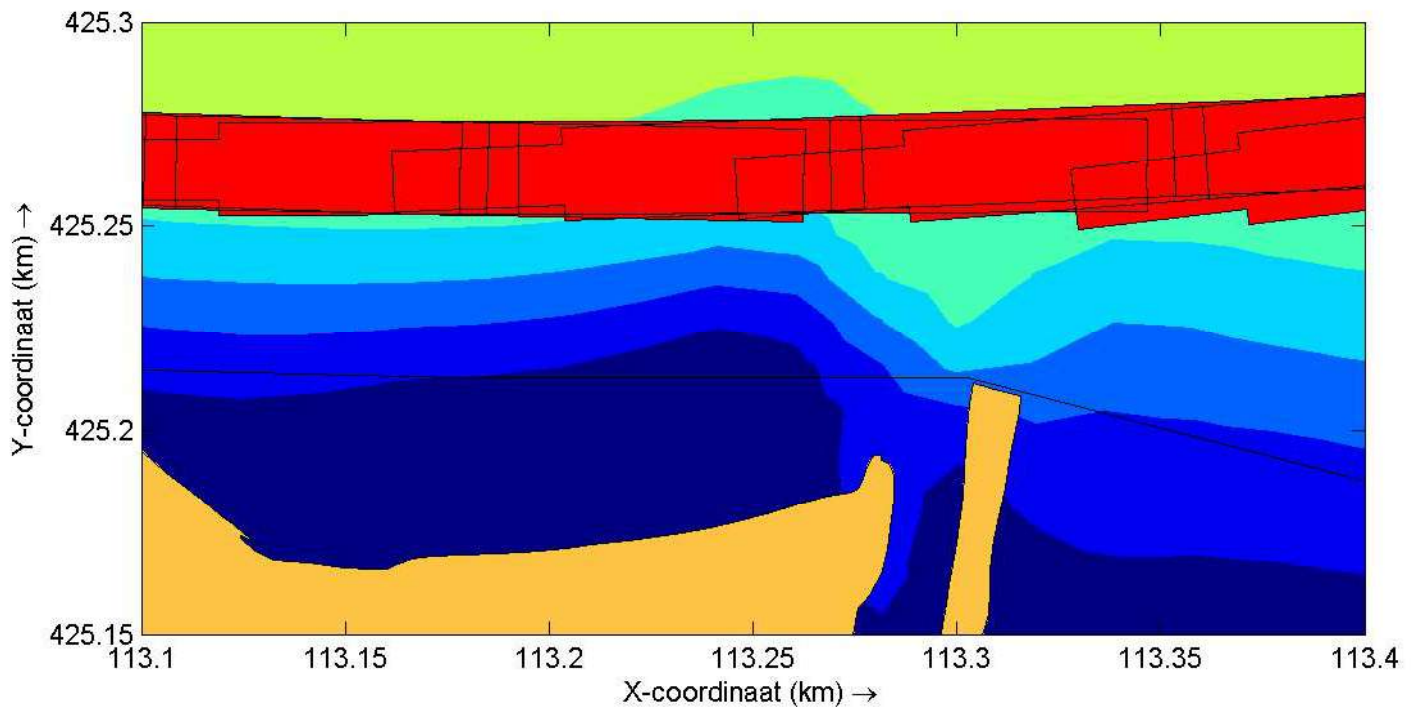
B2-6L - 6baksduwboot langRun: 8182

Project: 34504

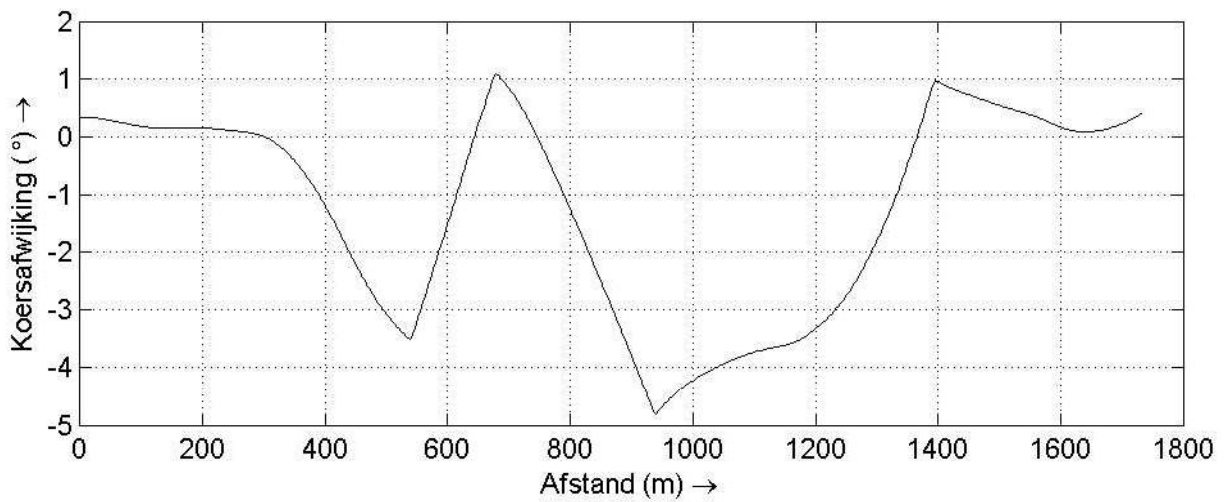
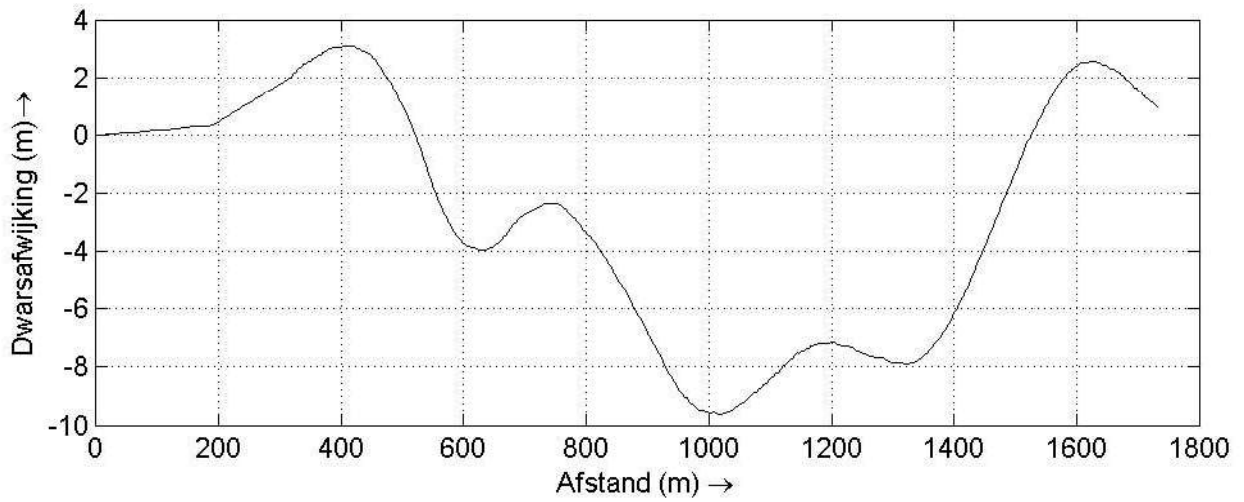
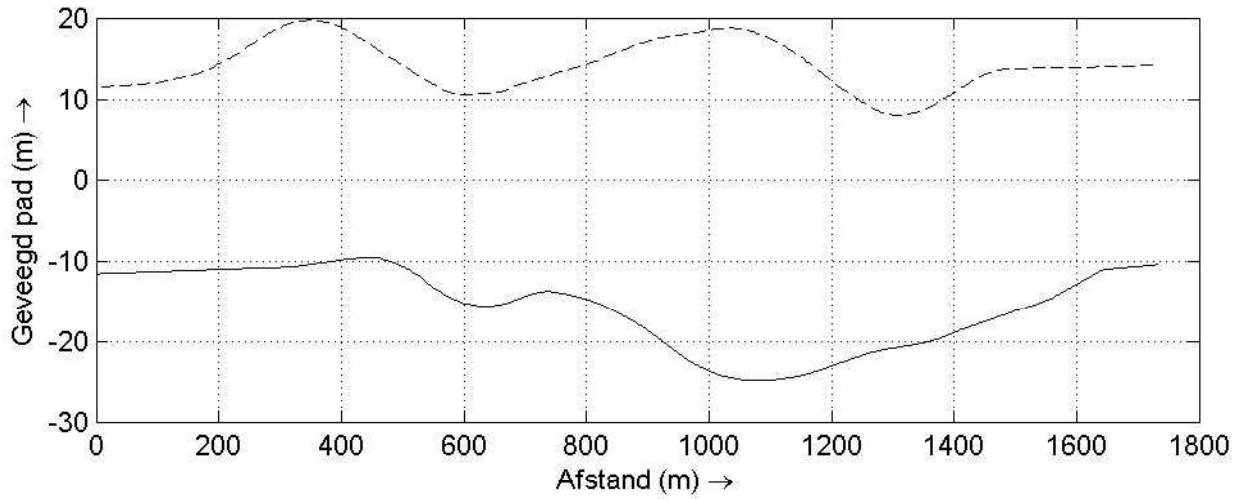
MARIN

SHIPMA 7.4.2

Fig. A



Detail trackplot	B2-6L - 6baksduwboot	langRun: 8182
	Project: 34504	
MARIN	SHIPMA 7.4.2	Fig. A1



Geveegd pad (getrokken: bakboord; streeplijn: stuurboord)

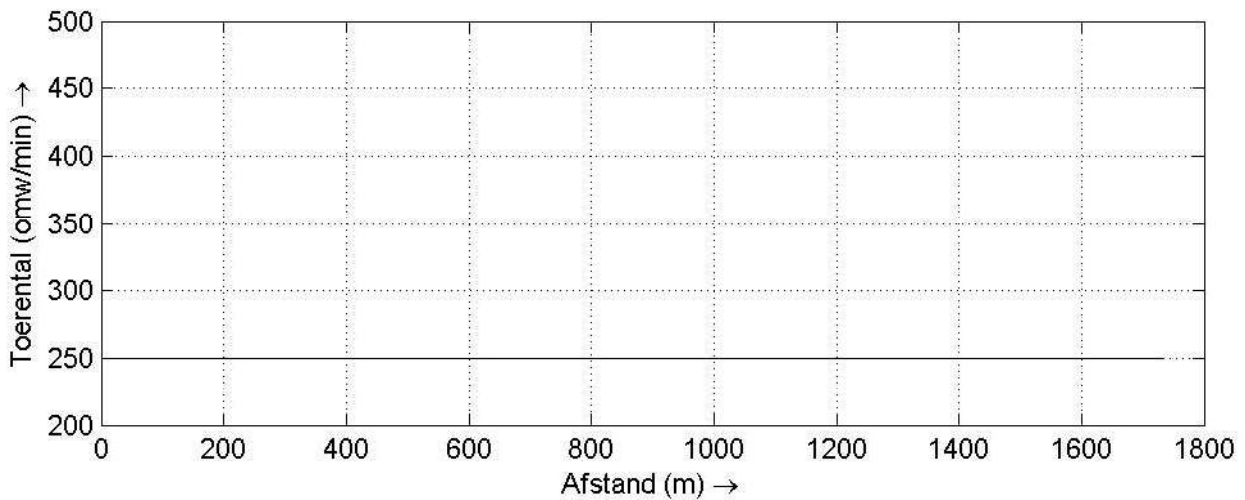
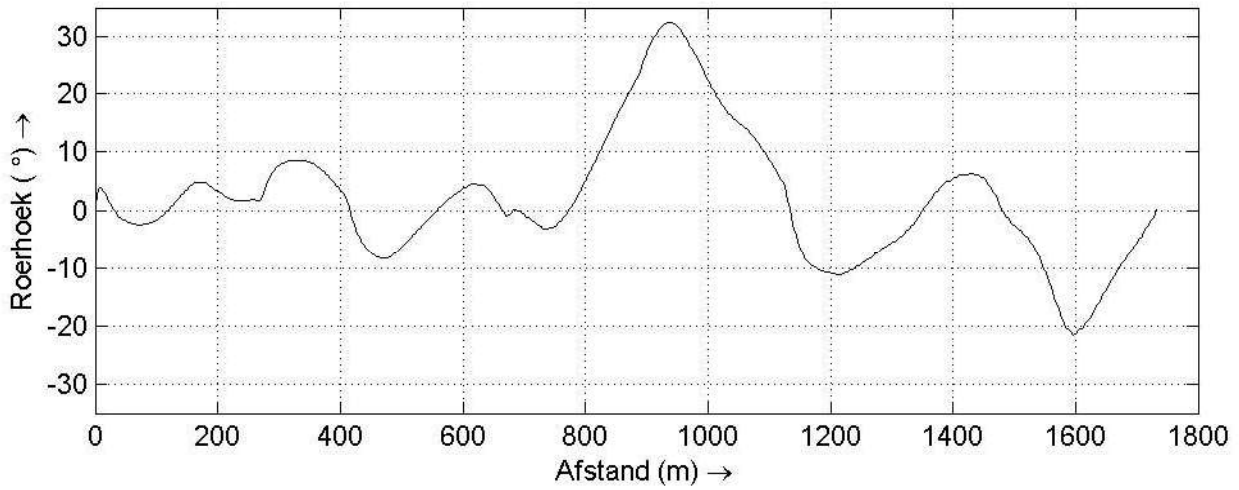
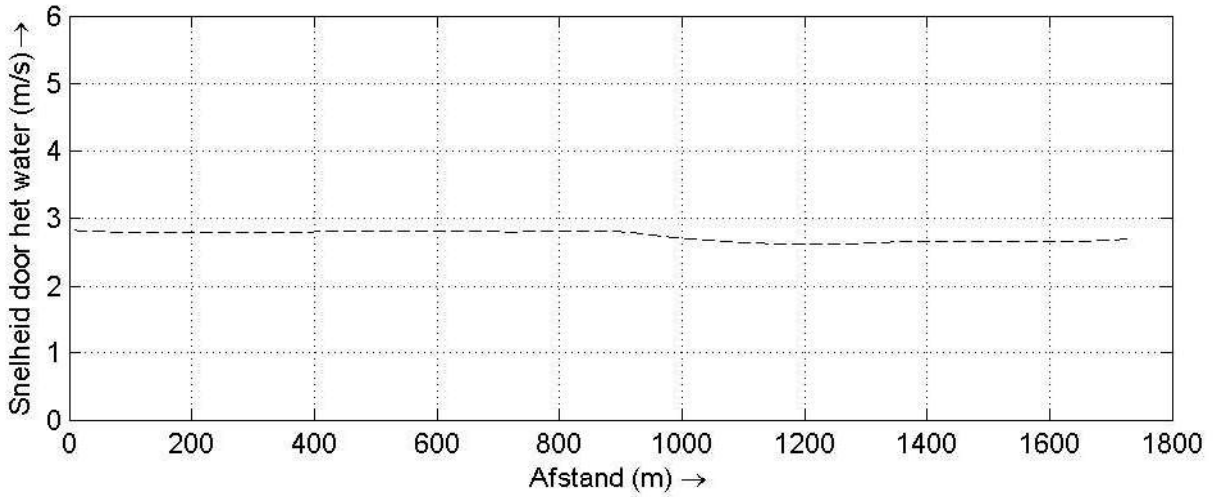
B2-6L - 6baksduwboot langRun: 8182

Project: 34504

MARIN

SHIPMA 7.4.2

Fig. B



Scheepssnelheid, roerhoek en omwentelingen

B2-6L - 6baksduwboot langRun: 8182

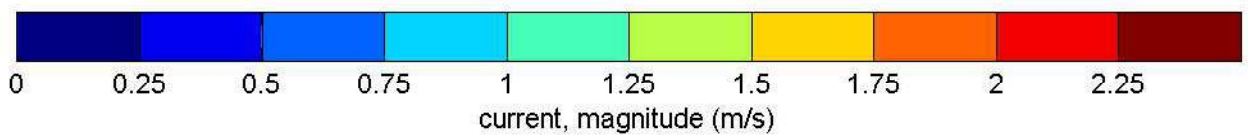
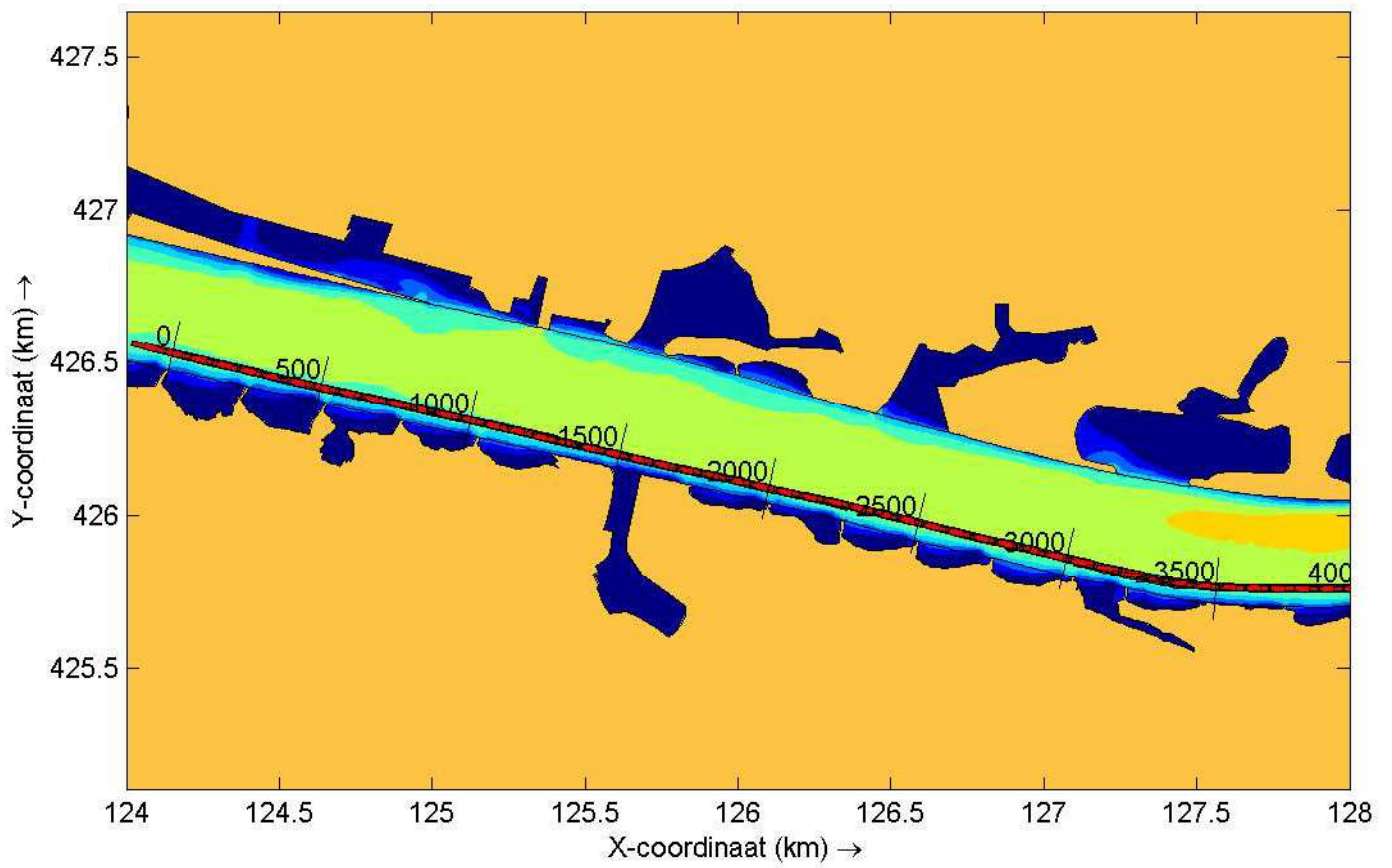
Project: 34504

MARIN

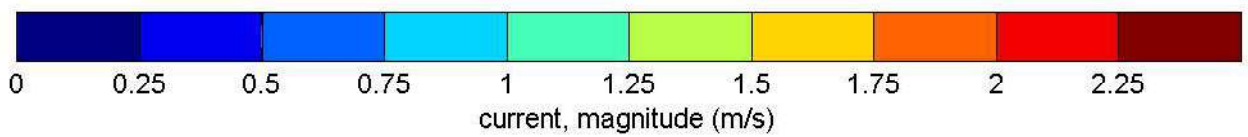
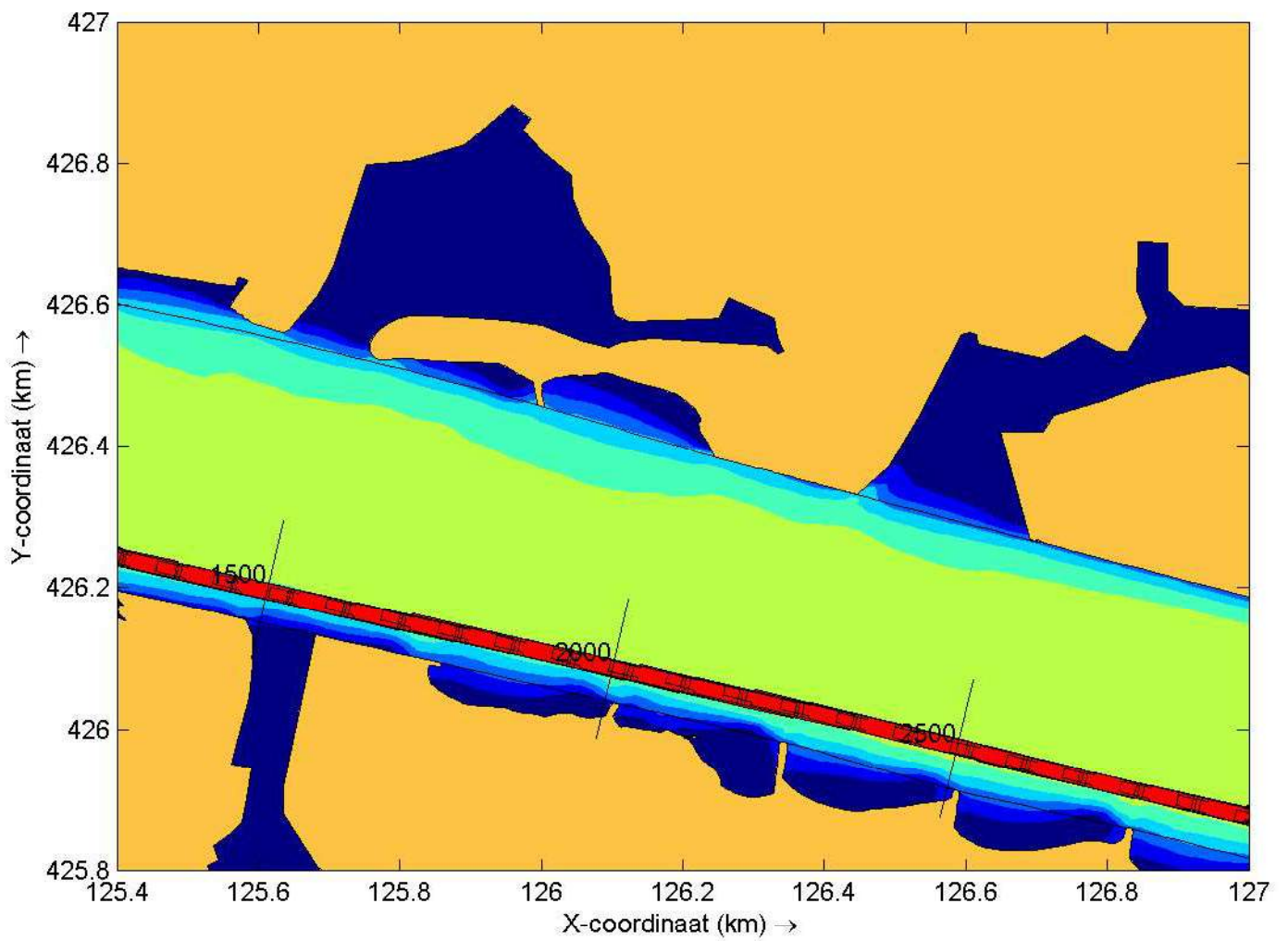
SHIPMA 7.4.2

Fig. C

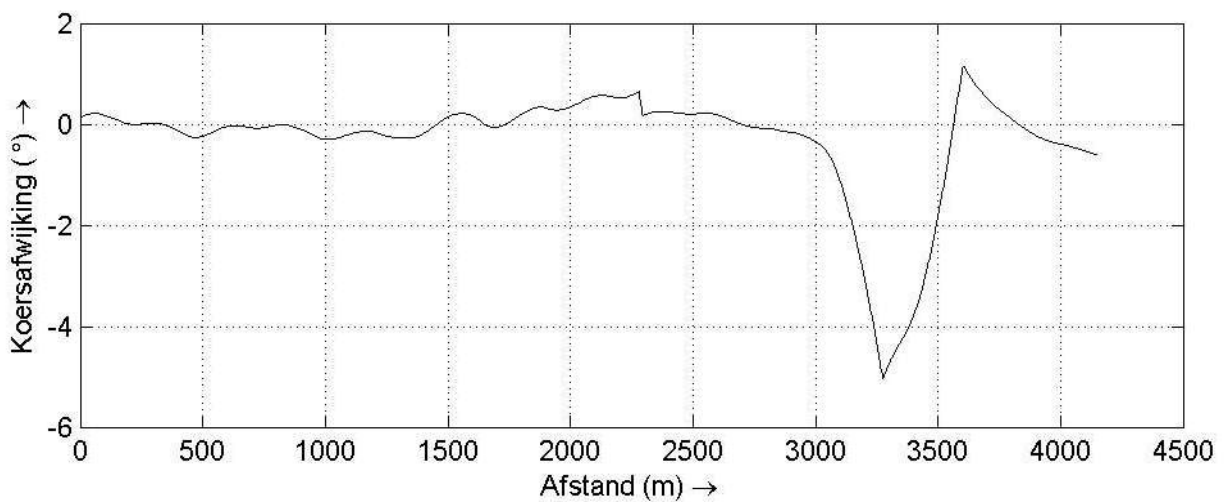
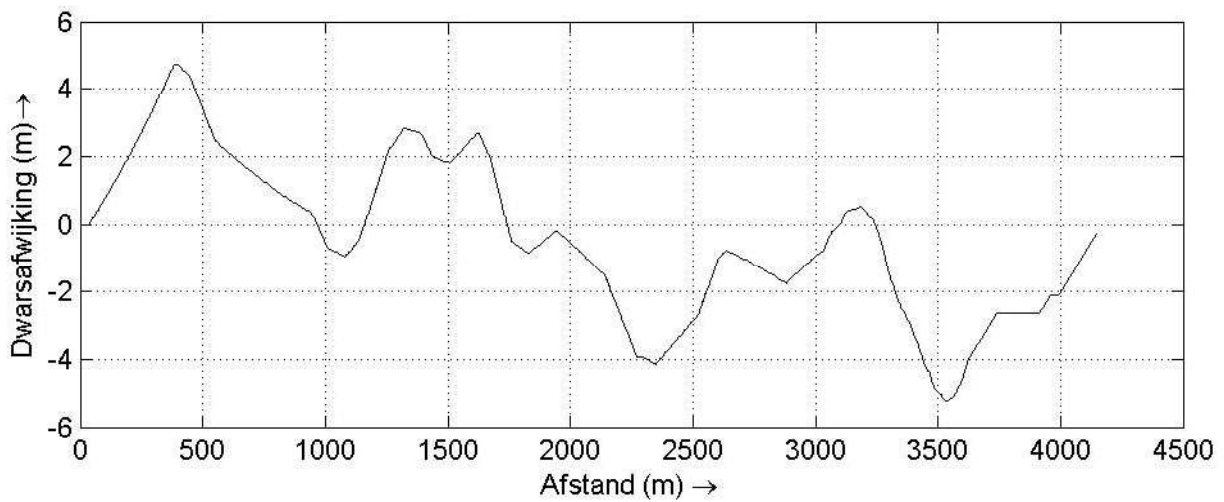
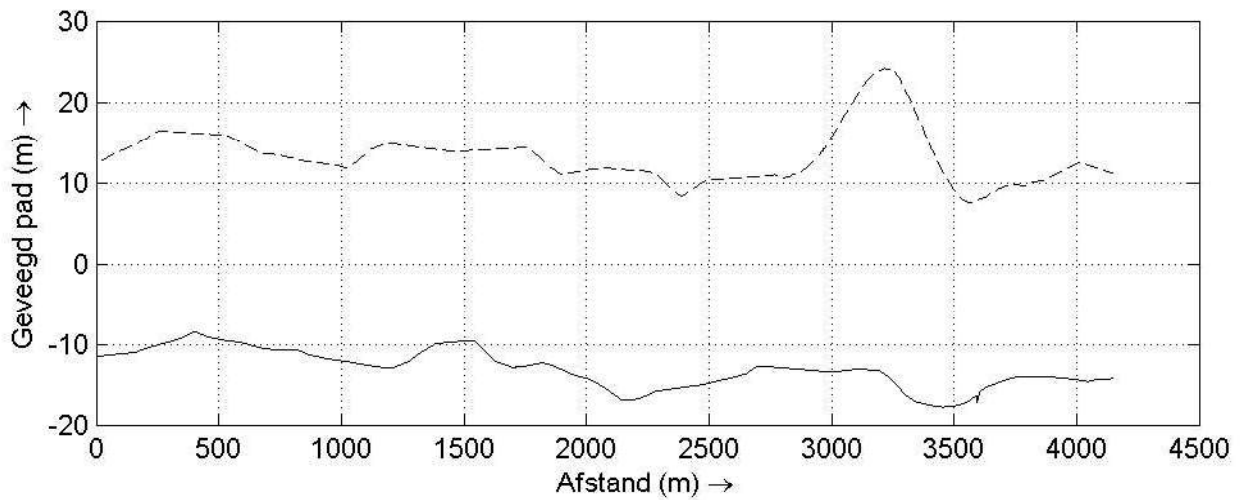
RUN-ID: 8261



Overzichtsplot inclusief route en stroom	B2-6L - 6baksduwboot	langRun: 8261
	Project: 34504	
MARIN	SHIPMA 7.4.2	Fig. A



Detail trackplot	B2-6L - 6baksduwboot	langRun: 8261
	Project: 34504	
MARIN	SHIPMA 7.4.2	Fig. A1



Geveegd pad (getrokken: bakboord; streeplijn: stuurboord)

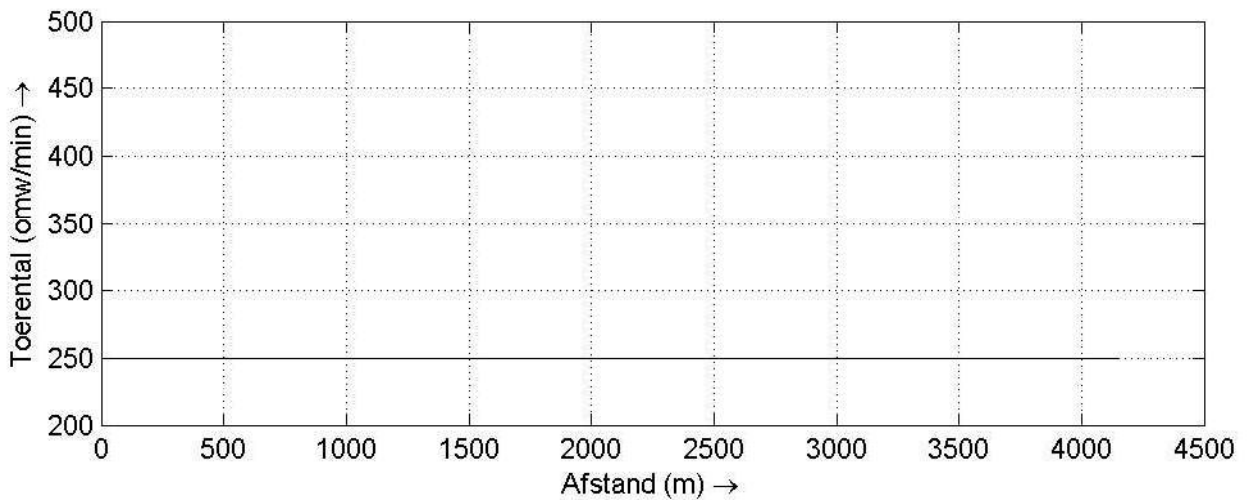
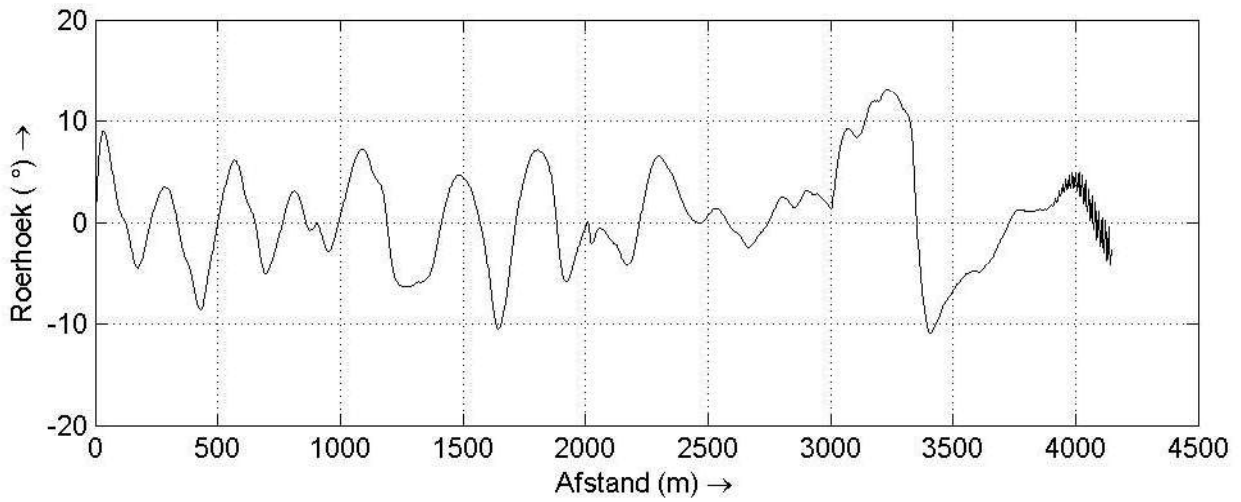
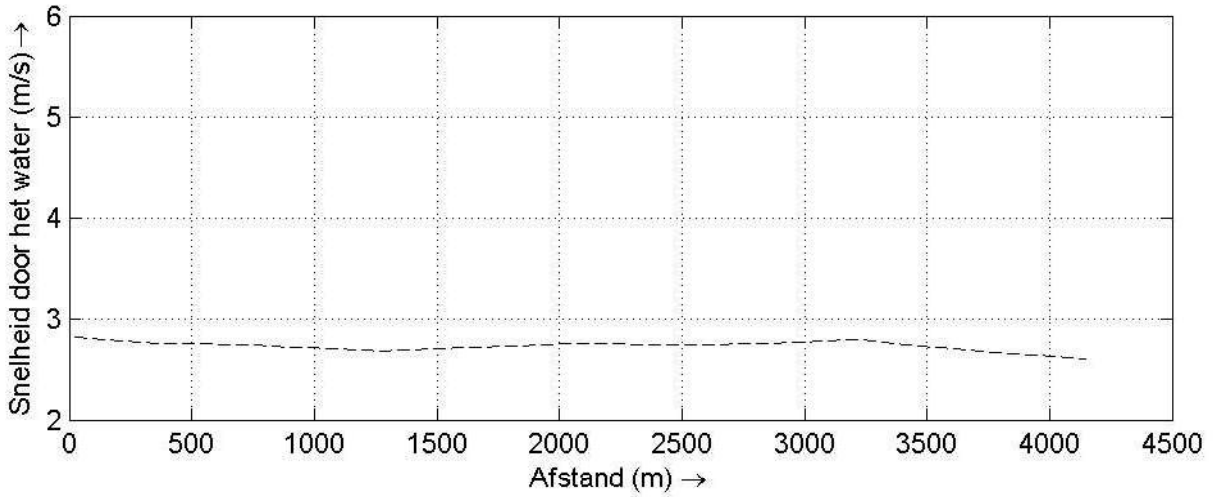
B2-6L - 6baksduwboot langRun: 8261

Project: 34504

MARIN

SHIPMA 7.4.2

Fig. B



Scheepssnelheid, roerhoek en omwentelingen

B2-6L - 6baksduwboot langRun: 8261

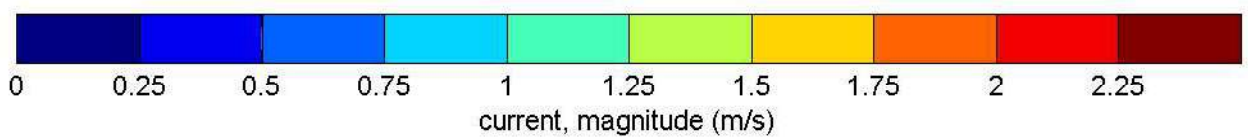
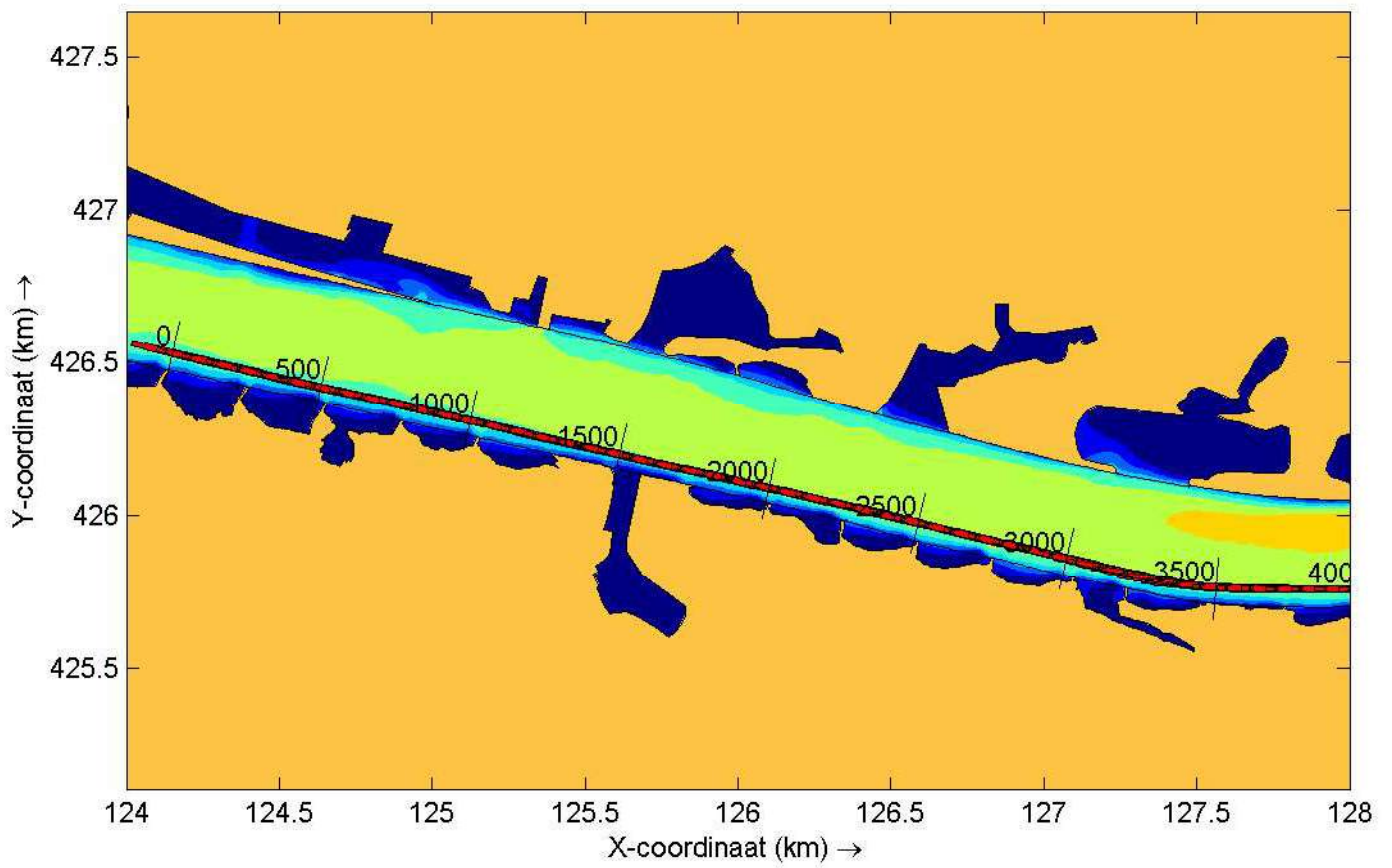
Project: 34504

MARIN

SHIPMA 7.4.2

Fig. C

RUN-ID: 8262



Overzichtsplot inclusief route en stroom

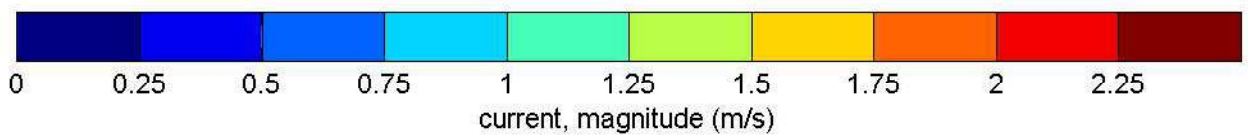
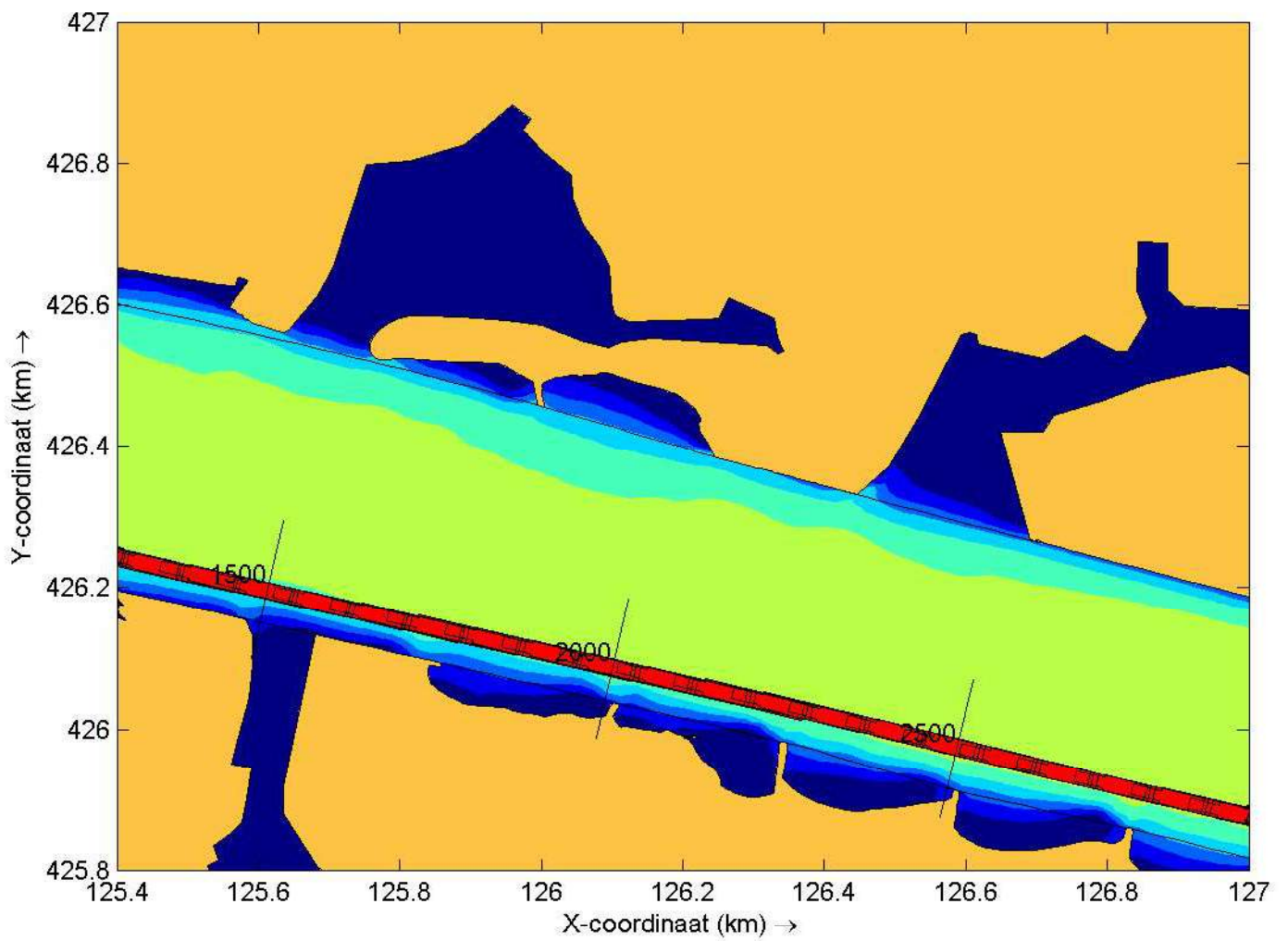
B2-6L - 6baksduwboot langRun: 8262

Project: 34504

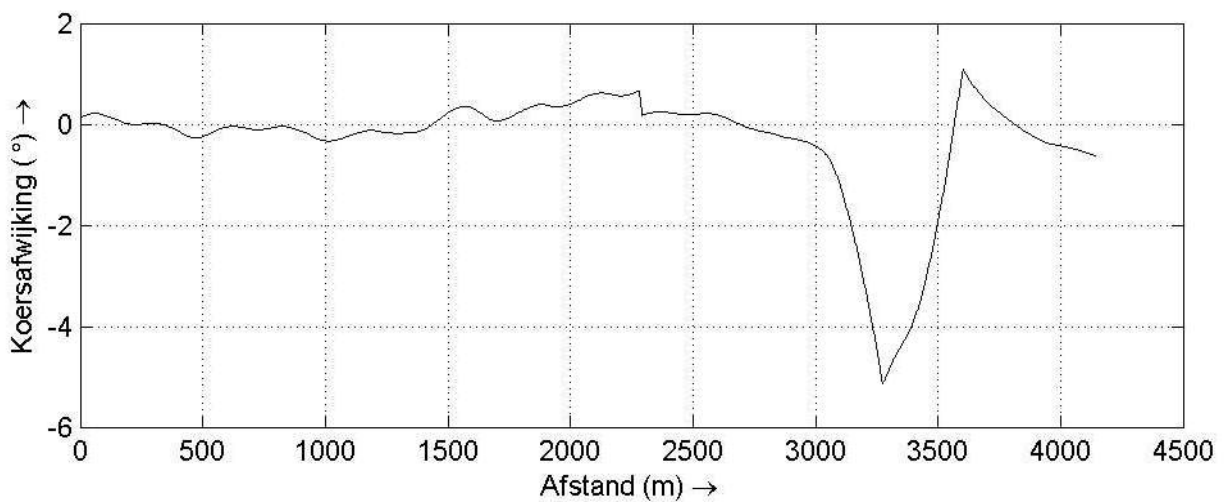
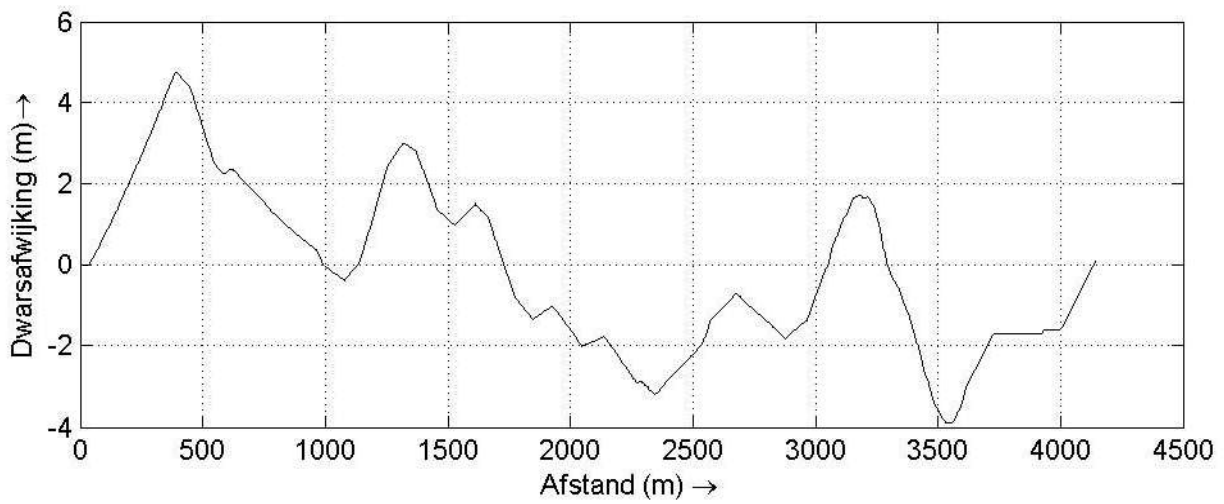
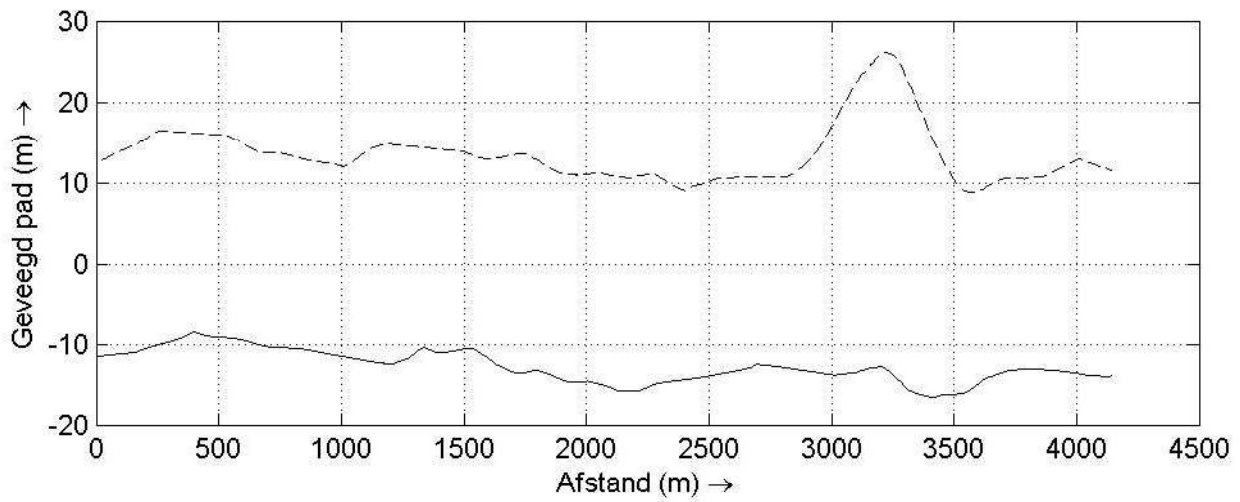
MARIN

SHIPMA 7.4.2

Fig. A



Detail trackplot	B2-6L - 6baksduwboot	langRun: 8262
	Project: 34504	
MARIN	SHIPMA 7.4.2	Fig. A1



Geveegd pad (getrokken: bakboord; streeplijn: stuurboord)

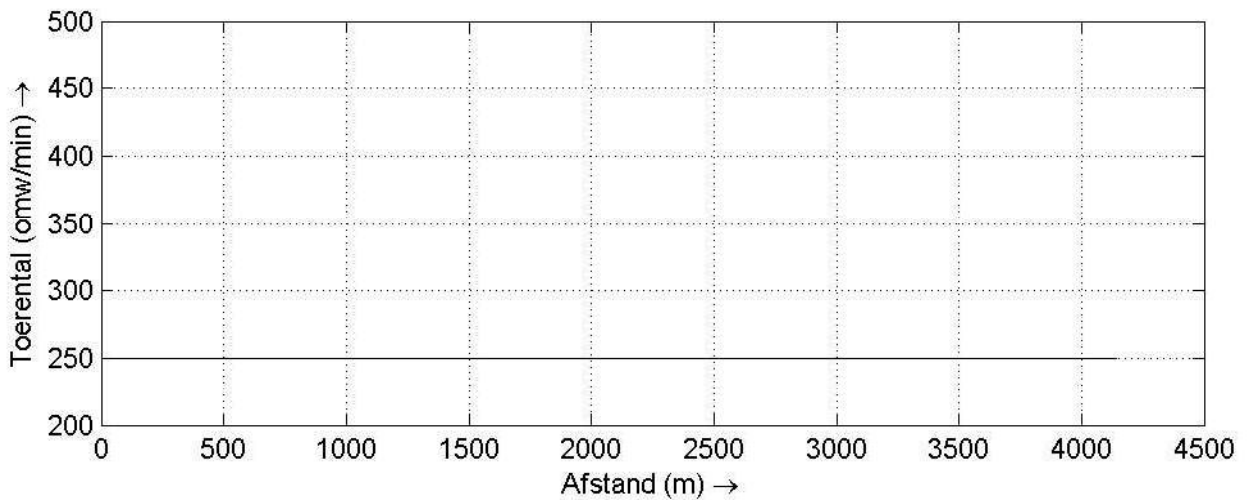
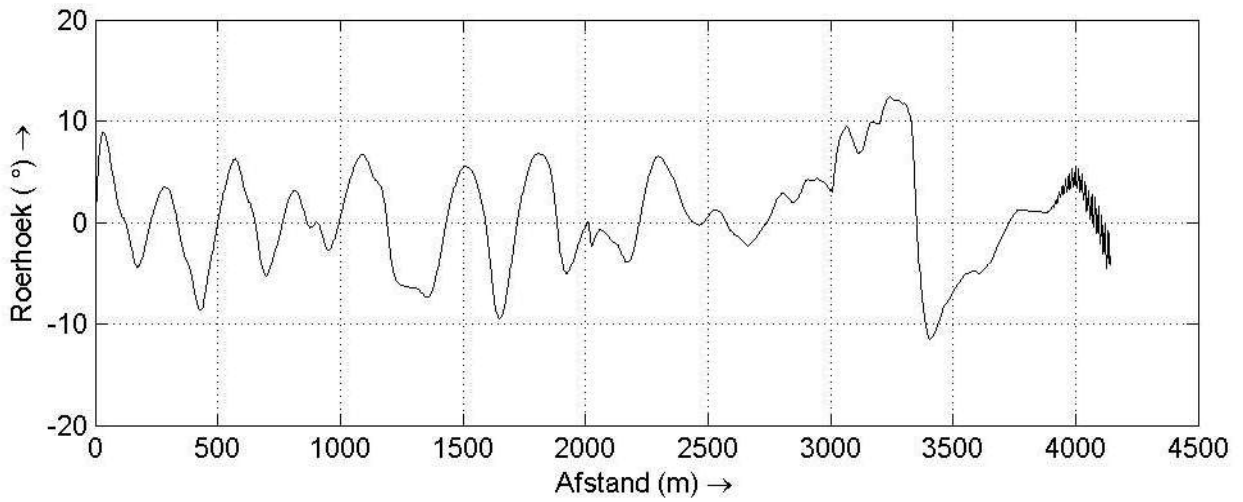
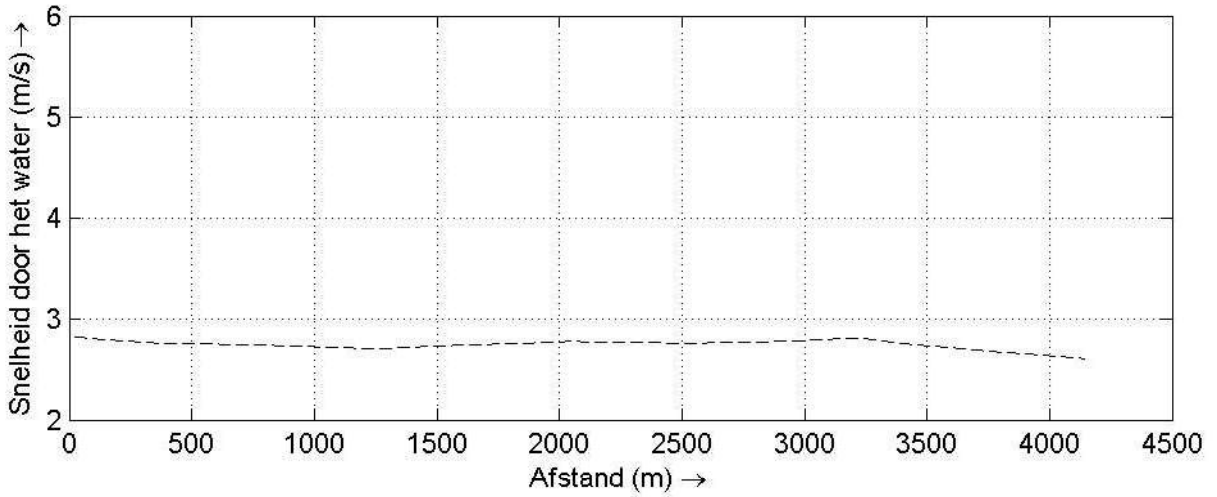
B2-6L - 6baksduwboot langRun: 8262

Project: 34504

MARIN

SHIPMA 7.4.2

Fig. B



Scheepssnelheid, roerhoek en omwentelingen

B2-6L - 6baksduwboot langRun: 8262

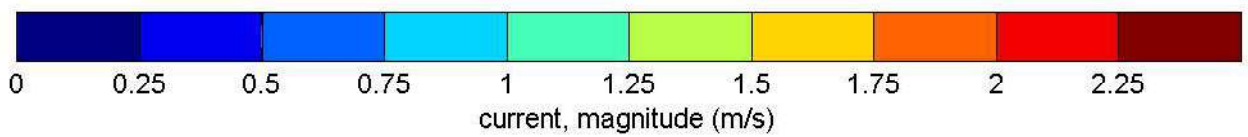
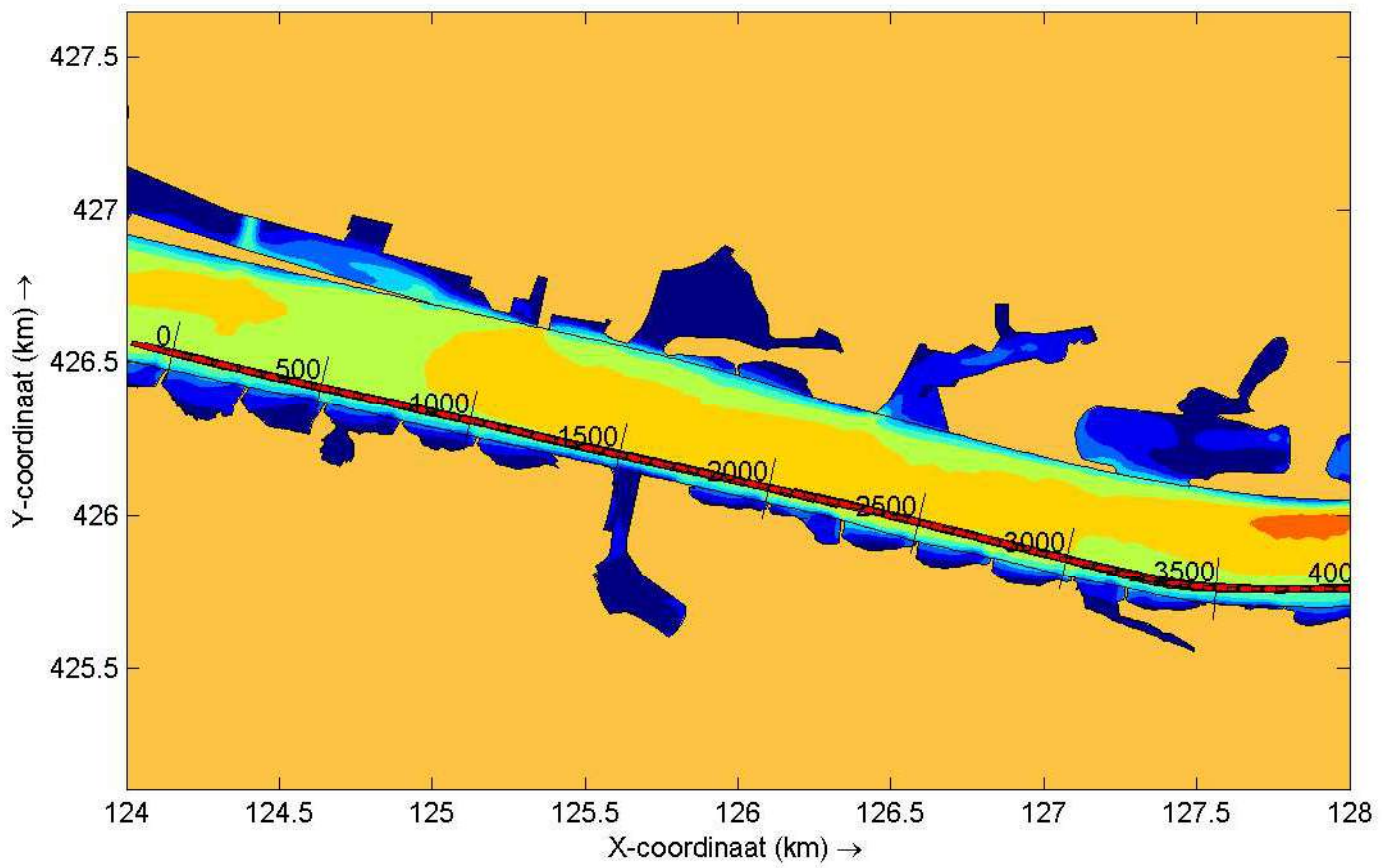
Project: 34504

MARIN

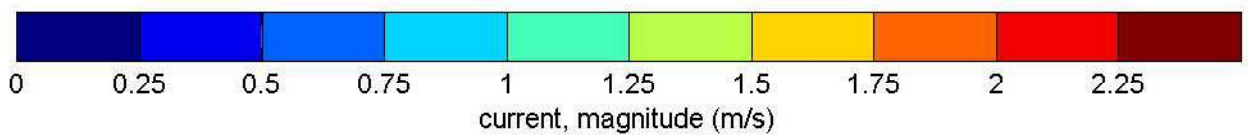
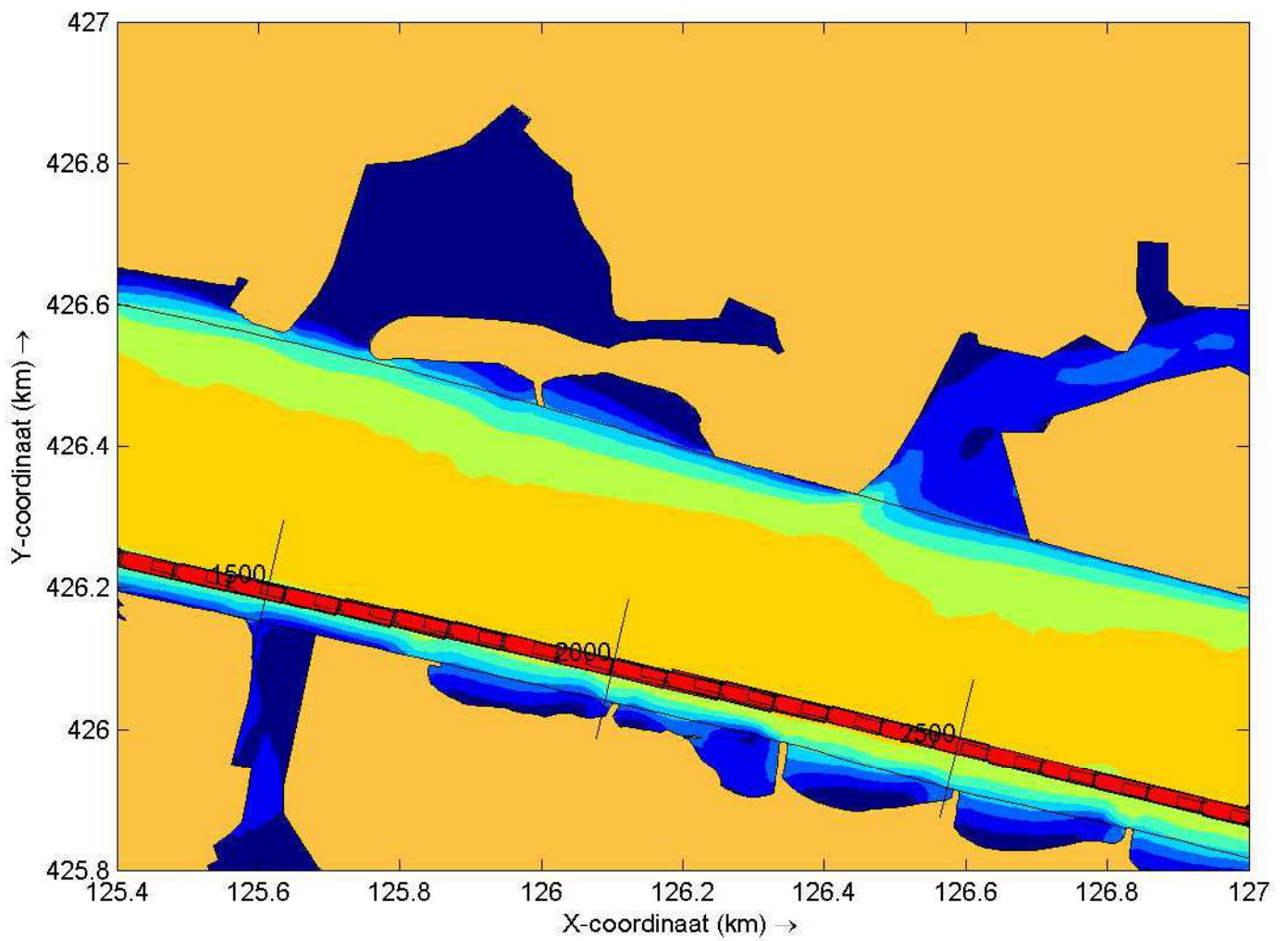
SHIPMA 7.4.2

Fig. C

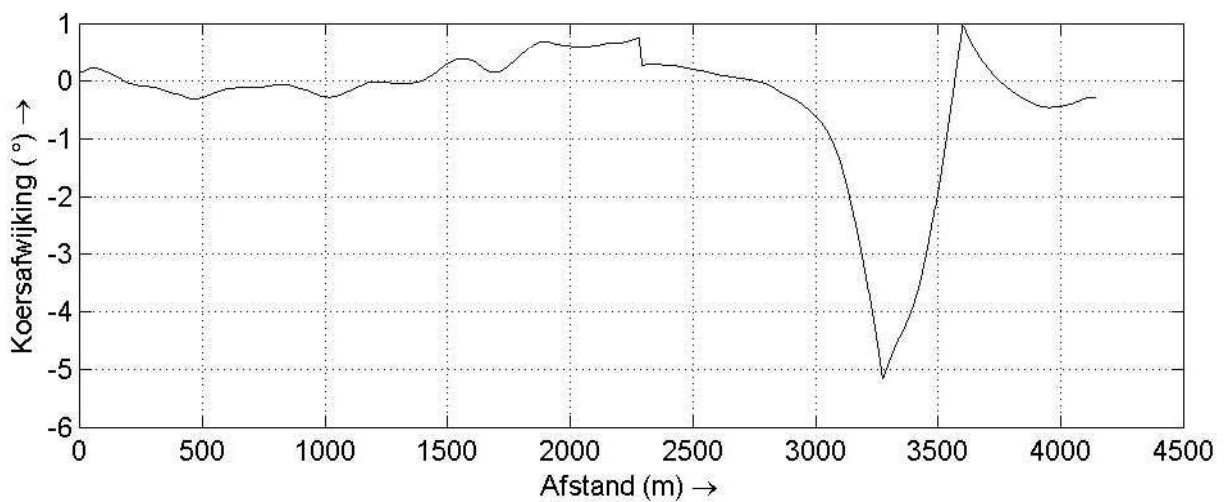
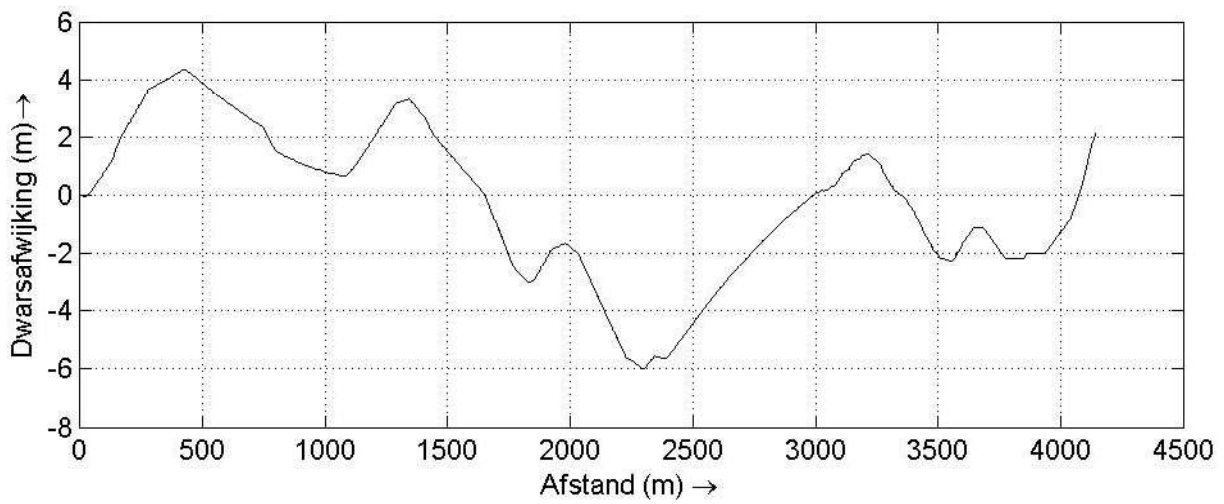
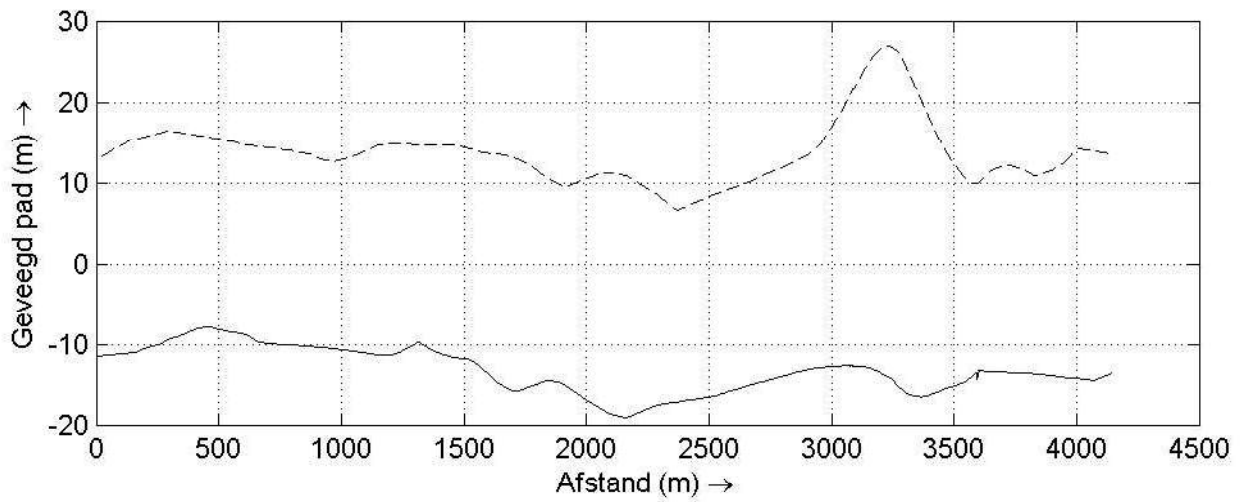
RUN-ID: 8281



Overzichtsplot inclusief route en stroom	B2-6L - 6baksduwboot	langRun: 8281
	Project: 34504	
MARIN	SHIPMA 7.4.2	Fig. A



Detail trackplot	B2-6L - 6baksduwboot	langRun: 8281
	Project: 34504	
MARIN	SHIPMA 7.4.2	Fig. A1



Geveegd pad (getrokken: bakboord; streeplijn: stuurboord)

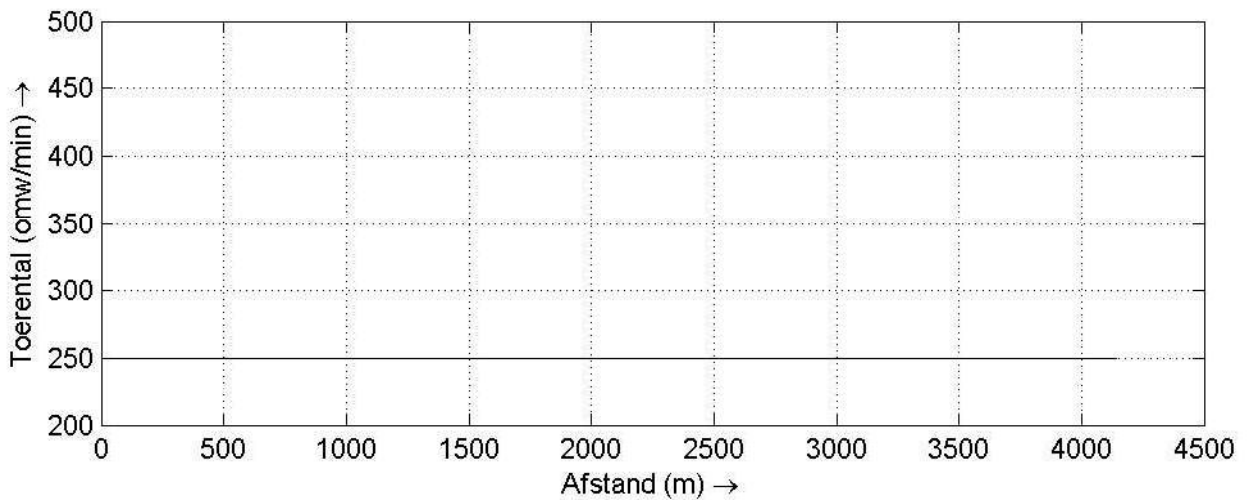
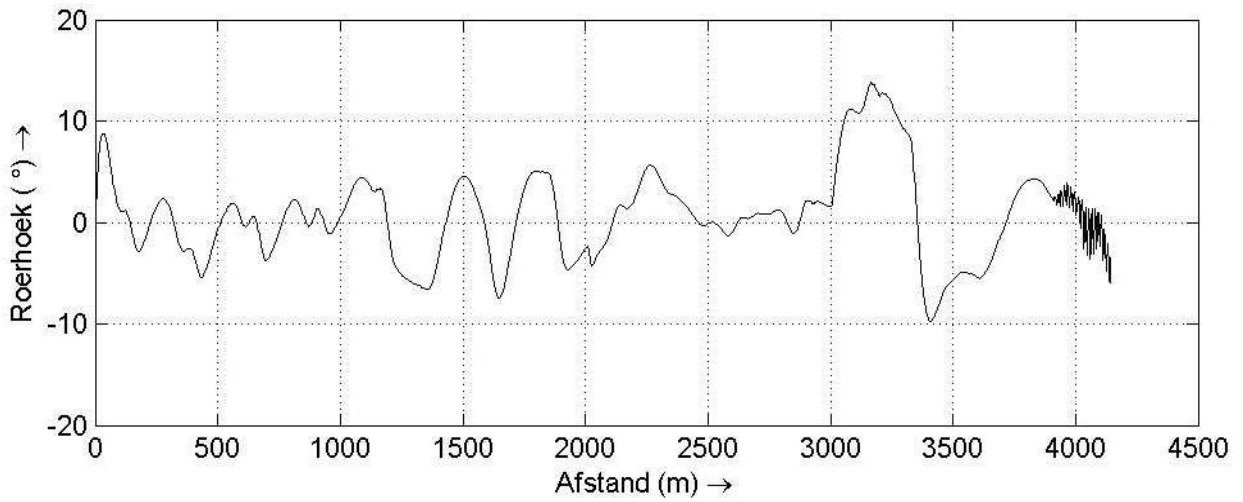
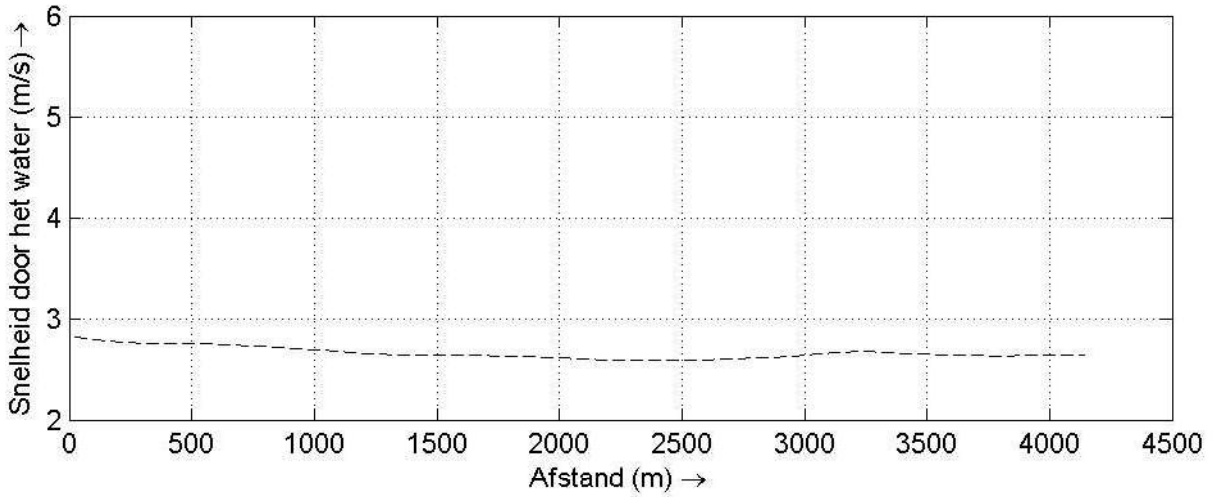
B2-6L - 6baksduwboot | langRun: 8281

Project: 34504

MARIN

SHIPMA 7.4.2

Fig. B



Scheepssnelheid, roerhoek en omwentelingen

B2-6L - 6baksduwboot langRun: 8281

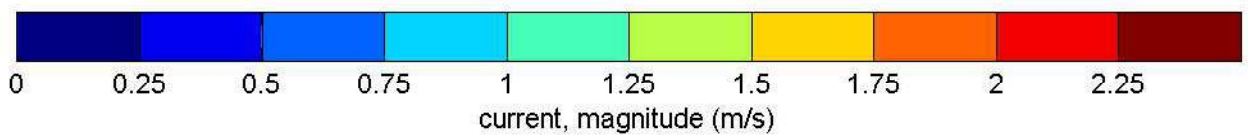
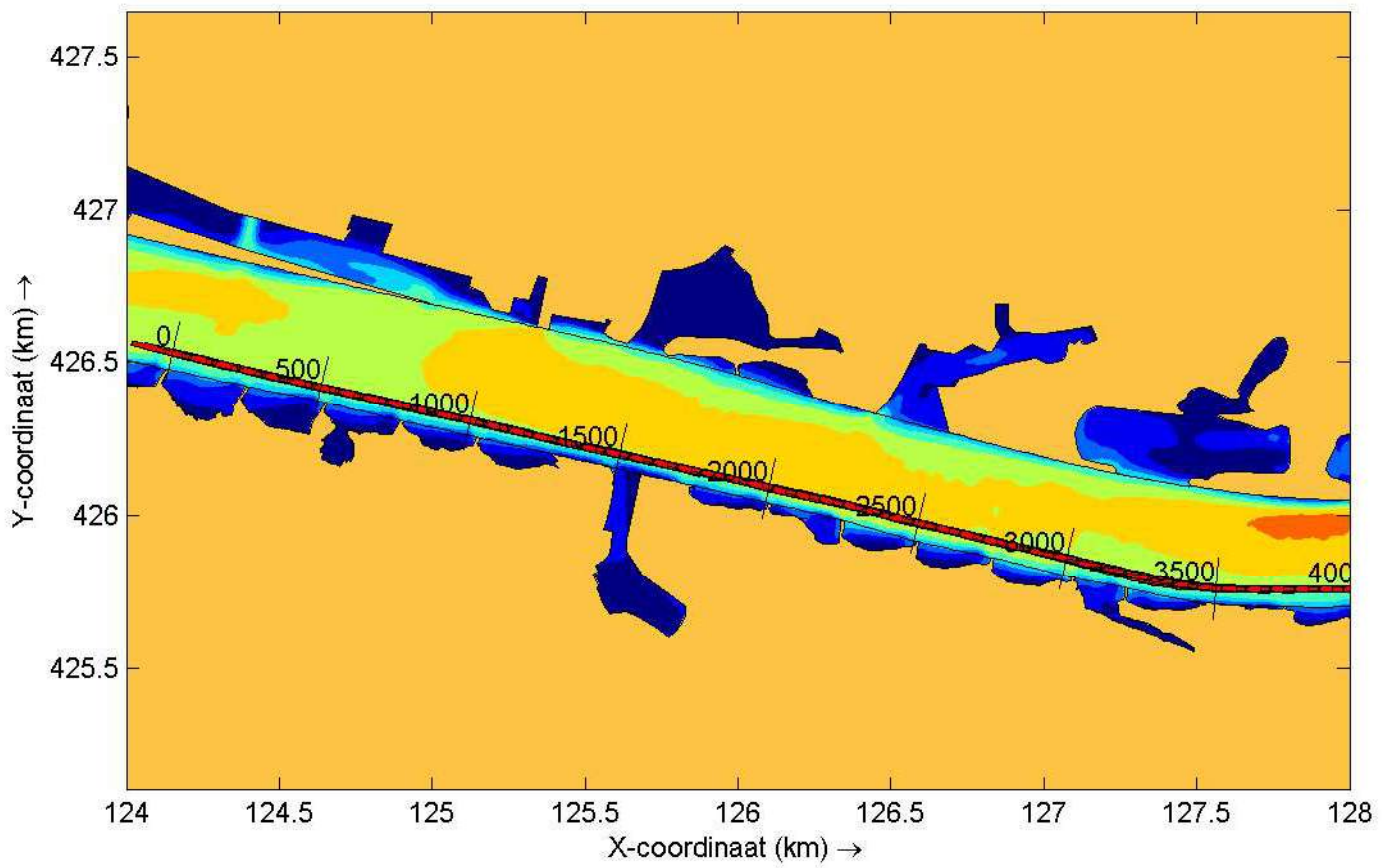
Project: 34504

MARIN

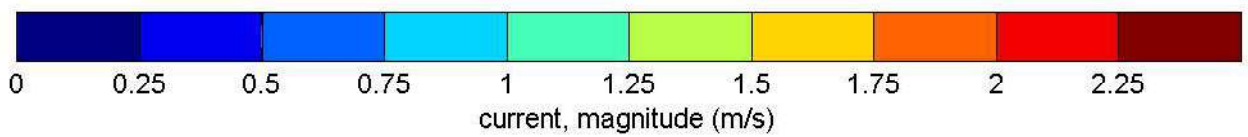
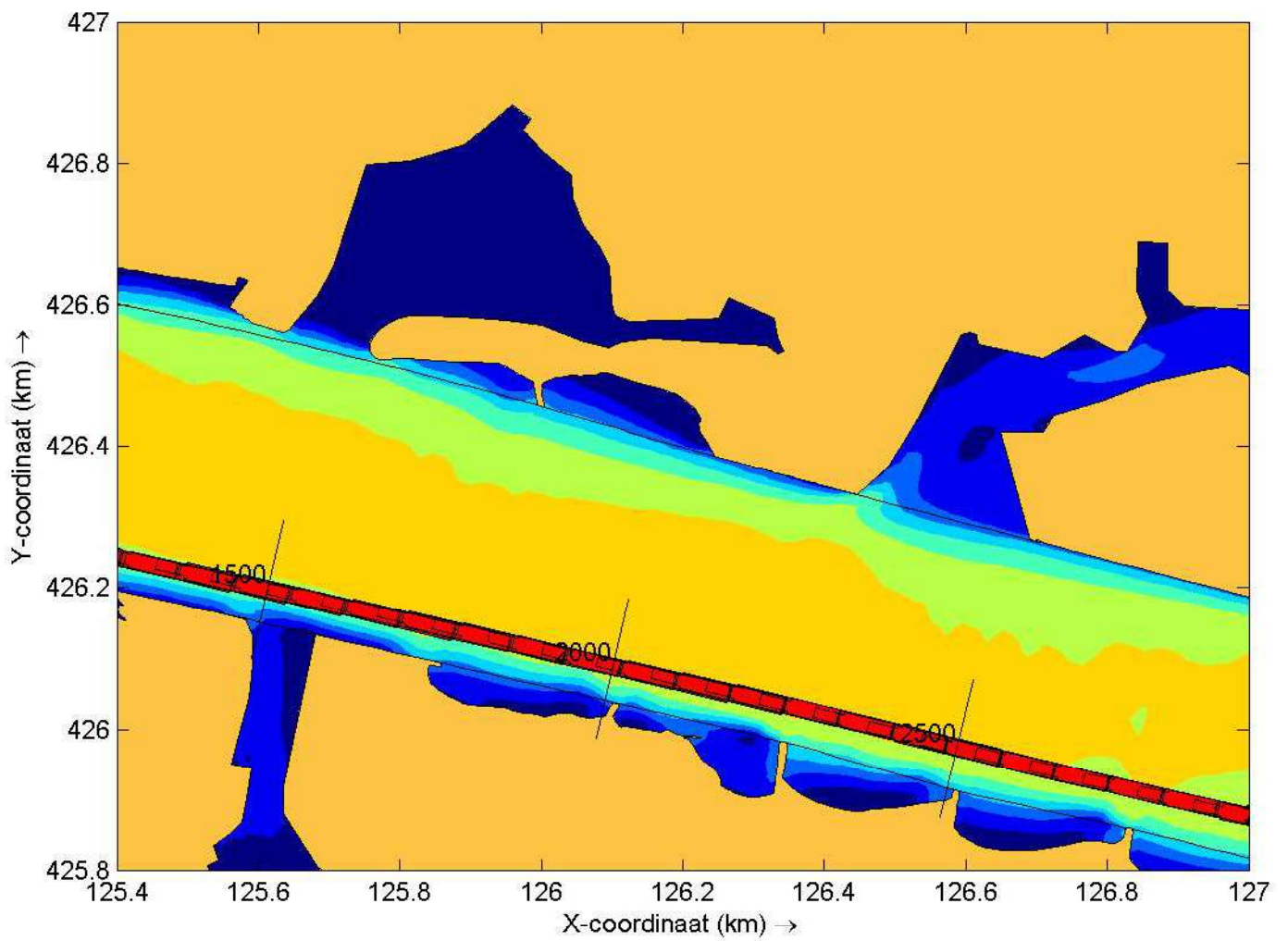
SHIPMA 7.4.2

Fig. C

RUN-ID: 8282



Overzichtsplot inclusief route en stroom	B2-6L - 6baksduwboot langRun: 8282	
	Project: 34504	
MARIN	SHIPMA 7.4.2	Fig. A



Detail trackplot

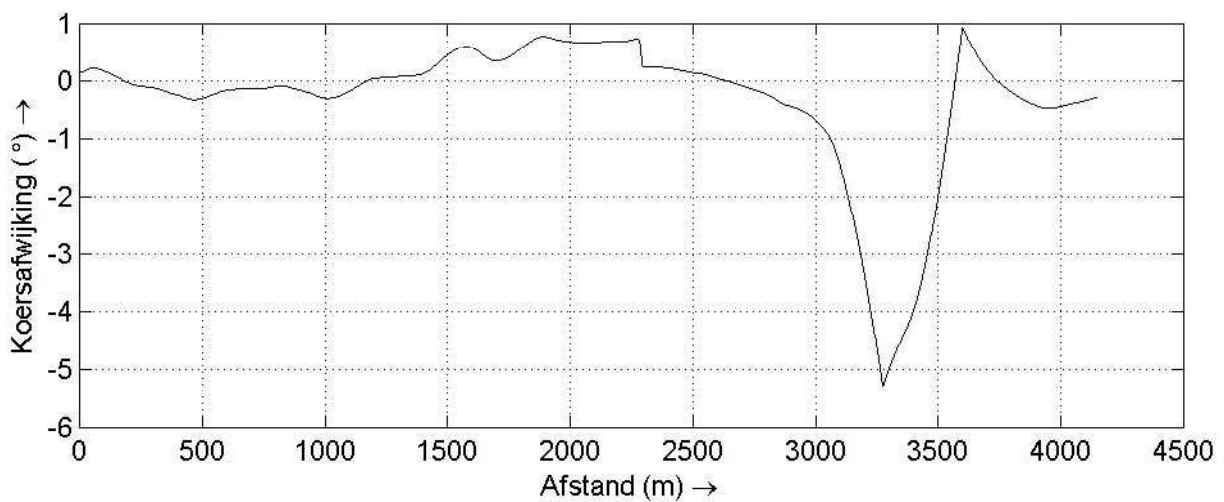
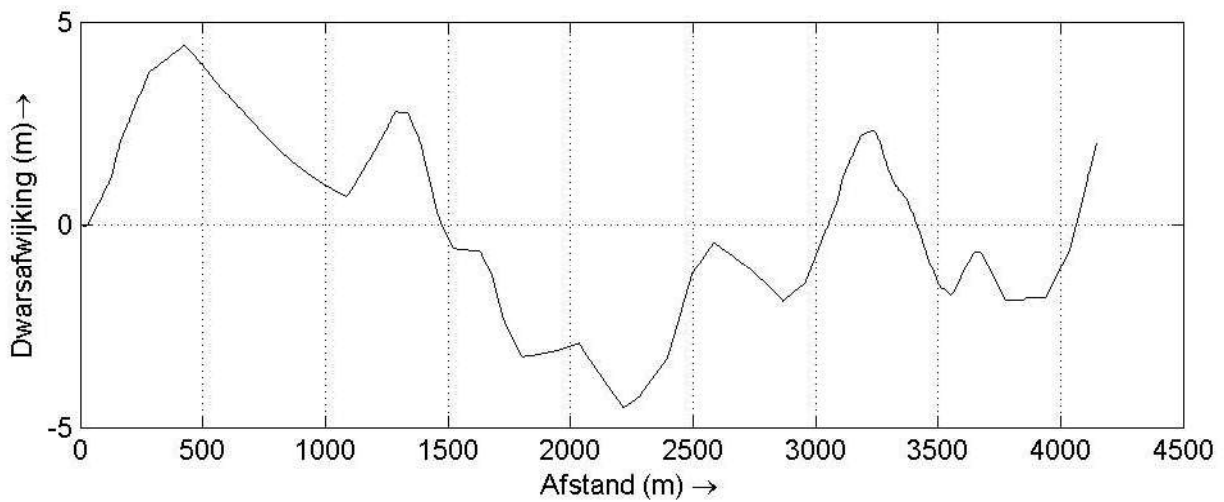
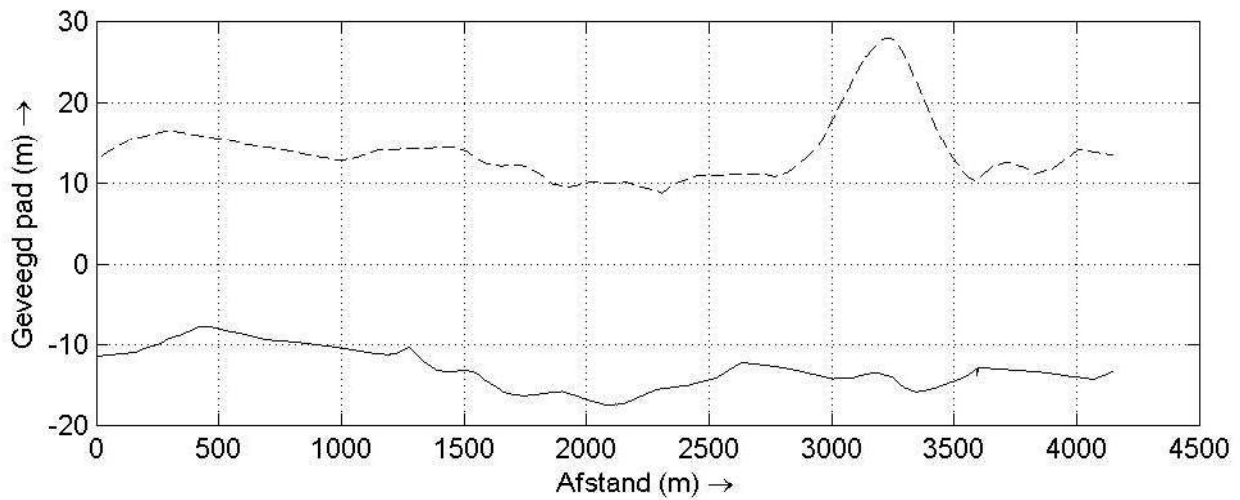
B2-6L - 6baksduwboot langRun: 8282

Project: 34504

MARIN

SHIPMA 7.4.2

Fig. A1



Geveegd pad (getrokken: bakboord; streeplijn: stuurboord)

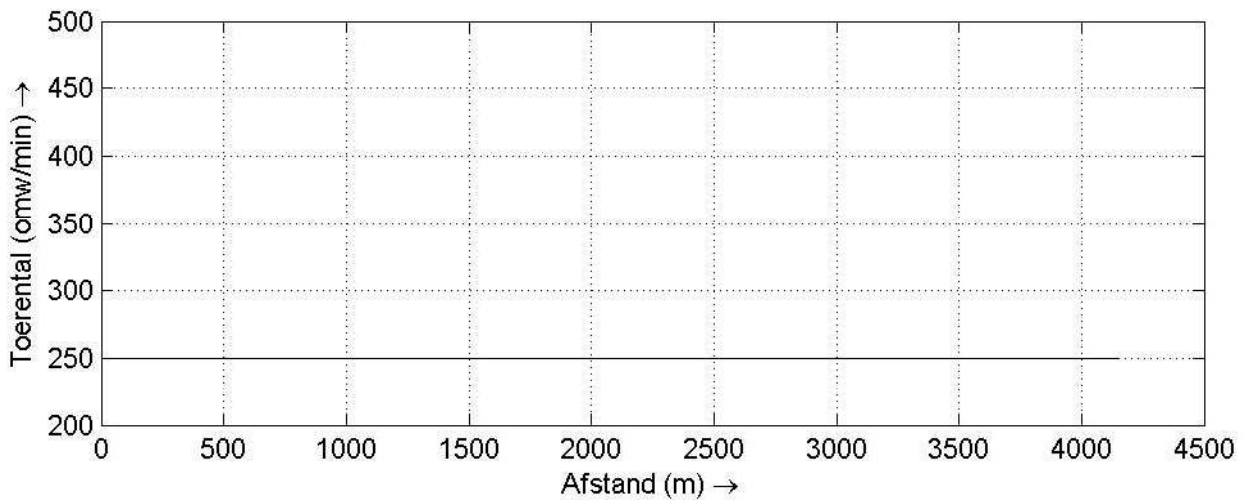
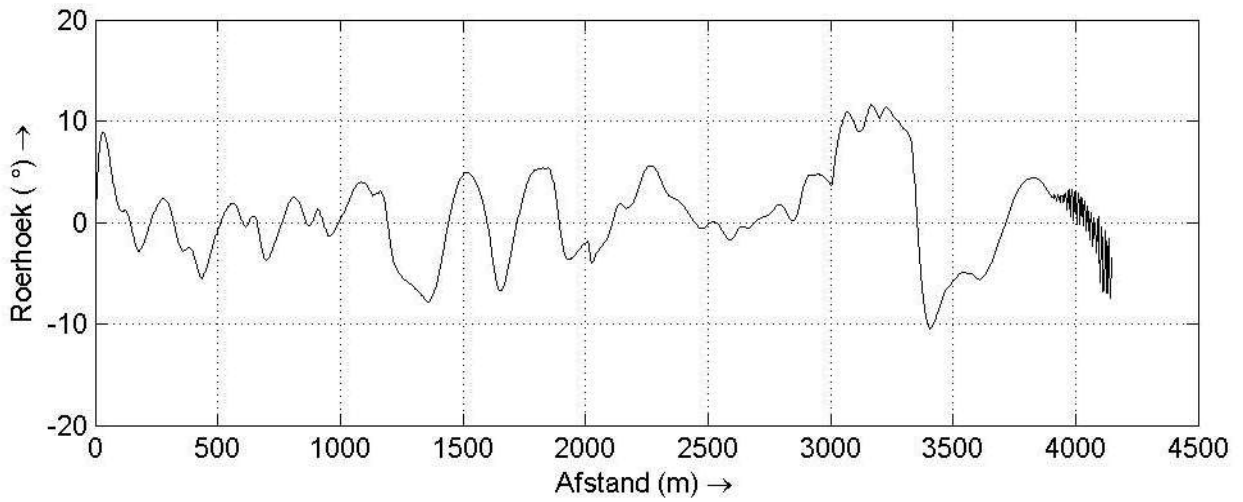
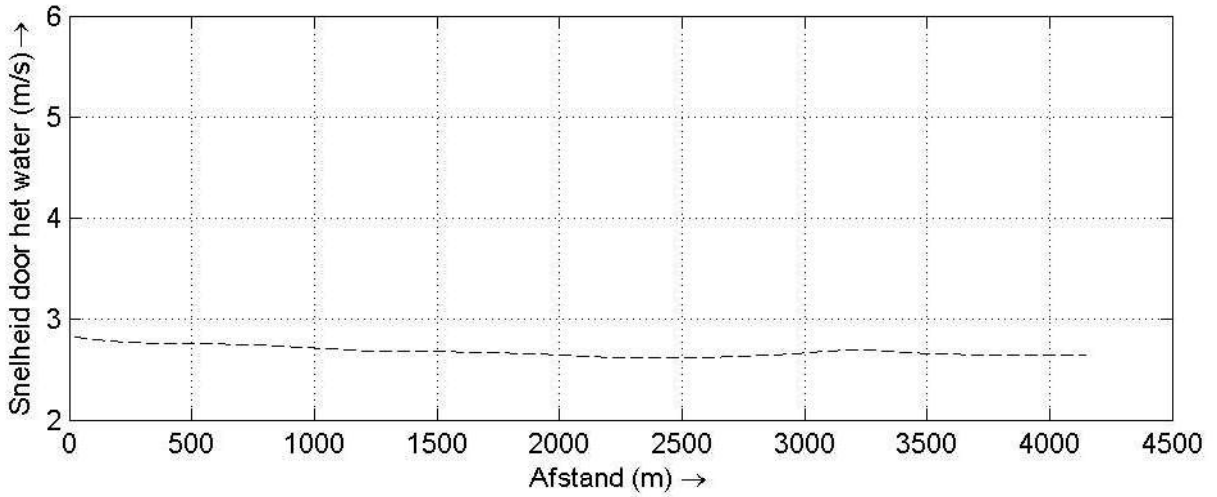
B2-6L - 6baksduwboot | langRun: 8282

Project: 34504

MARIN

SHIPMA 7.4.2

Fig. B



Scheepssnelheid, roerhoek en omwentelingen

B2-6L - 6baksduwboot langRun: 8282

Project: 34504

MARIN

SHIPMA 7.4.2

Fig. C

MARIN
P.O. Box 28

6700 AA Wageningen
The Netherlands

T +31 317 49 39 11
E info@marin.nl

I www.marin.nl
   

