Buitendijks natuurherstel in de Westerschelde

Verkenning naar mogelijke gebieden en maatregelen

Definitief Rapport

GD/08187/1480/C

9 juli 2008

Schiehaven 13G
3024 EC Rotterdam
Postbus 91
3000 AB Rotterdam
Nederland
T +31 - 10 - 467 13 61
F +31 - 10 - 467 45 59
E info@svasek.com
I www.svasek.com

Document titel	Buitendijks natuurherstel in de Westerschelde Verkenning naar mogelijke gebieden en maatregelen
Verkorte Titel	Buitendijks natuurherstel Westerschelde
Status	Definitief Rapport
Datum	9 juli 2008
Project naam	
Project nummer	1480
Opdrachtgever	Provincie Zeeland
Referentie	GD/08187/1480/C

Auteur Gerard Dam (Svašek), Luc Koks (Oranjewoud), Kristof van Stichelen (Soresma)

Gecontroleerd door Bram Bliek (Svašek)

INHOUDSOPGAVE

			Pag.
1	ALGEMEEN		5
	1.1	Introductie	5
	1.2	Doelstelling	5
	1.3	Indeling rapport	7
2	SLIKKEN EN SCHORREN		8
	2.1	Algemeen	8
	2.2	Abiotische 'behoeften' van de verschillende potentiële habitattypes	8
	2.3	Processen op slikken en schorren	8
	2.4	Het ecologisch belang van slikken (en schorren)	9
3	IDENTIFICATIE VAN POTENTIELE GEBIEDEN		11
	3.1	Beoordelingscriteria	11
	3.2	Oeverzones	11
	3.2.1	Bath	12
	3.2.2	Baalhoek	12
	3.2.3	Knuitershoek	12
	3.2.4	Hoofdplaatpolder	12
	3.3	Nevengeulen	13
	3.3.1	Zimmermangeul	13
	3.3.2	Schaar van Ossenisse	13
	3.4	Land van Saeftinge	14
4	HET MORFODYNAMISCH MODEL "FINEL2D"		15
	4.1	FINEL2d	15
	4.2	Het Westerschelde model	15
	4.3	Beschrijving werking zand/slib model binnen FINEL2d	16
	4.4	Gedetailleerde modellering van interessegebieden binnen FINEL2d	17
5	CALIBRATIE VAN MORFODYNAMISCH MODEL "FINEL2D" OP SLIK BIJ WAARDE		18
	5.1	Inleiding	18
	5.2	Uitkomsten calibratie	19
	5.3	Gevonden instellingen bij de calibratie van het FINEL2d model	20
6	PROJECTGEBIED 1: OEVERZONE BIJ BATH		22
	6.1	Huidige situatie	22
	6.2	Voorstel voor ingreep	22
	6.3	Hydrodynamische uitkomsten	23
	6.3.1	Algemeen	23
	6.3.2	Stroming	24
	6.3.3	Oppervlakte hoog/laagdynamisch	24
	6.4	Morfologische uitkomsten	25

	6.4.1	Bodem en slibgehalte ontwikkeling	25
	6.4.2	Areaal ontwikkeling	26
	6.4.3	Modelonzekerheden	26
	6.5	Ecologie	27
	6.6	Kosten	27
	6.7	Conclusie	28
7	PROJECTGEBIED 2: OEVERZONE BIJ BAALHOEK		29
	7.1	Huidige situatie	29
	7.2	Voorstel voor ingreep	29
	7.3	Hydrodynamische uitkomsten	30
	7.3.1	Algemeen	30
	7.3.2	Stroming	30
	7.3.3	Oppervlakte hoog/laagdynamisch	31
	7.4	Morfologische uitkomsten	31
	7.4.1	Bodem en slibgehalte ontwikkeling	31
	7.4.2	Areaal ontwikkeling	32
	7.4.3	Modelonzekerheden	32
	7.5	Ecologie	33
	7.6	Kosten	33
	7.7	Conclusie	34
8	PROJECTGEBIED 3: OEVERZONE BIJ KNUITERSHOEK		35
	8.1	Huidige situatie	35
	8.2	Voorstel voor ingreep	35
	8.3	Hydrodynamische uitkomsten	36
	8.3.1	Algemeen	36
	8.3.2	Stroming	36
	8.3.3	Oppervlakte hoog/laagdynamisch	37
	8.4	Morfologische uitkomsten	38
	8.4.1	Bodem en slibgehalte ontwikkeling	38
	8.4.2	Areaal ontwikkeling	38
	8.4.3	Modelonzekerheden	39
	8.5	Ecologie	39
	8.6	Kosten	40
	8.7	Conclusie	40
9	PROJECTGEBIED 4: OEVERZONE BIJ HOOFDPLAATPOLDER		42
	9.1	Huidige situatie	42
	9.2	Voorstel voor ingreep	42
	9.3	Hydrodynamische uitkomsten	43
	9.3.1	Algemeen	43
	9.3.2	Stroming	43
	9.3.3	Oppervlakte hoog/laagdynamisch	44
	9.4	Morfologische uitkomsten	44
	9.4.1	Bodem en slibgehalte ontwikkeling	44
	9.4.2	Areaal ontwikkeling	45
	9.4.3	Modelonzekerheden	45
	9.5	Ecologie	46
	9.6	Kosten	46

	9.7	Conclusie	47
10	PROJECTGEBIED 5: NEVENGEUL “ZIMMERMAN”		48
	10.1	Huidige situatie	48
	10.2	Voorstel voor ingreep	49
	10.3	Hydrodynamische uitkomsten	49
	10.3.1	Algemeen	49
	10.3.2	Stroming	50
	10.3.3	Oppervlakte hoog/laagdynamisch	50
	10.4	Morfologische uitkomsten	51
	10.4.1	Bodem en slibgehalte ontwikkeling	51
	10.4.2	Areaal ontwikkeling	51
	10.4.3	Modelonzekerheden	52
	10.5	Ecologie	52
	10.6	Kosten	52
	10.7	Conclusie	53
11	PROJECTGEBIED 6: NEVENGEUL “SCHAAR VAN OSSENISSE”		54
	11.1	Huidige situatie	54
	11.2	Voorstel voor ingreep	55
	11.3	Hydrodynamische uitkomsten	56
	11.3.1	Algemeen	56
	11.3.2	Stroming	56
	11.3.3	Oppervlakte hoog/laagdynamisch	56
	11.4	Morfologische uitkomsten	57
	11.4.1	Bodem en slibgehalte ontwikkeling	57
	11.4.2	Areaal ontwikkeling	58
	11.4.3	Modelonzekerheden	58
	11.5	Ecologie	59
	11.6	Kosten	59
	11.7	Conclusie	60
12	PROJECTGEBIED 7: LAND VAN SAEFTINGE		61
	12.1	Algemeen	61
	12.2	Huidige situatie	61
	12.3	Ingreep	61
	12.4	Hydrodynamische uitkomsten	62
	12.4.1	Algemeen	62
	12.4.2	Stroming	62
	12.4.3	Oppervlakte hoog/laagdynamisch	63
	12.5	Morfologische uitkomsten	64
	12.5.1	Bodem en slibgehalte ontwikkeling	64
	12.5.2	Areaal ontwikkeling	64
	12.5.3	Modelonzekerheden	65
	12.6	Ecologie	65
	12.7	Kosten	65
	12.8	Opdracht B: Doortrekken IJskeldergeul naar het Sieperdaschor	66
	12.9	Conclusie	67

13 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN 68
13.1 Conclusies 68
13.2 Aanbevelingen 71

LITERATUUR 72

FIGUREN 74

1 ALGEMEEN

1.1 Introductie

Vanwege discussies in Tweede Kamer, Provinciale Staten en de maatschappelijke weerstand tegen de aanleg van estuariene natuur in Zeeland (via gedwongen ontpolderen) is er sinds medio 2006 gezocht naar meer ruimte in de opdracht voor het project Natuurpakket Westerschelde. Dit heeft in de zomer van 2007 uiteindelijk geleid tot overeenstemming over een alternatief pakket van locaties en maatregelen waarvan verwacht wordt dat deze mogelijk een bijdrage kunnen leveren aan de doelstelling van het Natuurpakket Westerschelde die geldt voor het zogenaamde middengebied.

In de Westerschelde wordt door de Provincie Zeeland een nader onderzoek ingesteld naar de mogelijkheden om in het middengebied van de Westerschelde te komen tot buitendijkse maatregelen voor natuurherstel. Dit onderzoek is gewenst omdat uit recente inzichten blijkt dat estuariene natuur vooral gebaat is bij een duurzame realisatie van laagdynamische gebieden.

In het kader van het project “Verruiming Vaargeul” en “Ontwikkelingsschets Schelde-estuarium 2010” is al naar buitendijkse maatregelen gekeken. In voorliggende rapportage worden een aantal specifieke mogelijkheden nader onderzocht.

Gesteld wordt dat de hoogdynamische gebieden in de Westerschelde ecologisch minder waardevol zijn dan de laagdynamische. In deze laatste zullen zich de gewenste habitats (met name slik en jong schor) kunnen gaan ontwikkelen. Het creëren van meer en/of nieuwe laagdynamische gebieden is dan ook de essentie voor de buitendijkse maatregelen. Dit gebeurt vooral door het afremmen van de stroomsnelheden. Passende maatregelen richten zich dan ook op stroomgeleiding zoals stabilisatie (strekdammen) of opslibbing (specie of natuurlijk proces).

Door de Provincie Zeeland is aan Svašek Hydraulics opdracht verleend om onderzoek te doen naar de mogelijkheden en de uitwerking van buitendijks natuurherstel in de Westerschelde (kenmerk: 08005146, d.d. 13 februari 2008). Dit rapport is de beschrijving van de uitkomsten van dat onderzoek.

De begeleidingsgroep van deze opdracht bestaat uit: Henk van Veen en John Beijersbergen (Provincie Zeeland), Dick de Jong en Gert-Jan Liek (Rijkswaterstaat Dienst Zeeland) en Marten Hemminga (Het Zeeuwse Landschap).

Vanuit Svašek Hydraulics zijn Gerard Dam en Bram Bliek betrokken geweest bij de totstandkoming van dit rapport. De ecologische inbreng in dit rapport is van Luc Koks (Oranjewoud) en Kristof van Stichelen (Soresma).

1.2 Doelstelling

In de offerte-uitvraag wordt het projectdoel als volgt omschreven:

“Het doel is om natuur te realiseren die qua aard en omvang overeenkomt met 295ha estuariene natuur en die mee zorg draagt voor het natuurherstel van de Westerschelde

(de doelstelling van het NPW). Een van de vijf deelprojecten die hier verder uitgewerkt worden zijn de zogenaamde buitendijkse maatregelen.
Het Middengebied is de Westerschelde en aanliggende oevers van Hansweert tot Vlissingen. Voorgesteld wordt wel om voor deze opdracht het onderzoeksgebied niet enkel te beperken tot het Middengebied maar het onderzoeksgebied uit te breiden tot de hele Westerschelde van Nederlandse grens tot mondingsgebied."

De deelopdracht is gericht op het creëren van meer en/of nieuwe laagdynamische gebieden die buitendijks gelegen zijn. Om dit te bereiken is het van belang dat de stroomsnelheden in deze gebieden worden afgeremd. Verlaging van de stroomsnelheden kan bijvoorbeeld bereikt worden door de aanleg van strekdammen, gevolgd door natuurlijke opslibbing, of door speciestortingen.

De totale opdracht is onderverdeeld in drie deelopdrachten en worden als volgt benoemd:

Deelopdracht 1: Veenbanken en oeverzones
Deze deelopdracht betreft het creëren van de gewenste habitats d.m.v. technische maatregelen (strekdammen en eventueel lokaal een kleisuppletie) op ecologisch weinig waardevolle plekken (zoals veenbanken en (erosie)gebieden in de oeverzone).
Uitgangspunten zijn: het behoud van het meergeulenstelsel en het aanbrengen van zo min mogelijk harde maatregelen in de Westerschelde zelf.

In de werkgroep dienen (potentieel) geschikte locaties te worden bepaald, waarvoor vervolgens door middel van morfologische modellering moet worden nagegaan of op de betreffende plaats met de voorgenomen maatregel een duurzaam laagdynamisch habitattype gerealiseerd kan worden. Zowel de initiële natuurwaarden (inclusief de nulsituatie) als de natuurwaarden na verloop van tijd dienen op basis van expert judgement te worden bepaald, uitmondend in antwoorden op de volgende 2 hoofdvragen:
- ⇨ Hoeveel hectare estuariene natuur kan op deze wijze worden gerealiseerd?
- ⇨ Welke risico's zijn hieraan verbonden (morfologisch en ecologisch)?

Deelopdracht 2: Nevengeulen
Bij deelopdracht 2 gaat het om het realiseren van de gewenste habitats in nevengeulen. Het doel is lage stroomsnelheden in geulgebieden te creëren, waardoor er op natuurlijke wijze aangroei van slib en wellicht uiteindelijk schor kan ontstaan.
Uitgangspunt is het behoud van het meergeulenstelsel van de Westerschelde; bij het onderzoek zal rekening gehouden worden met vigerende kortsluitgeul-criteria en effecten op de scheepvaart.

Het gaat in dit onderzoek vooral om die plekken in kleine geulen die slechts een beperkte rol vervullen in het meergeulenstelsel.

Ook in deze deelopdracht zullen de nevengeulen die in aanmerking komen voor deze maatregel worden bepaald in overleg met de werkgroep. Vervolgens zal ook hier een morfologische modellering gedaan worden.

De te beantwoorden hoofdvragen zijn gelijk aan deelopdracht 1:
- ⇨ Hoeveel hectare estuariene natuur kan op deze wijze worden gerealiseerd?

⇨ Welke risico's zijn hieraan verbonden (morfologisch en ecologisch)?

Deelopdracht 3: Ingrepen in Saeftinge
Deelopdracht 3 bestaat uit een dubbele opdracht. Het gaat in essentie om het opwaarderen van de bestaande natuurkwaliteit in Saeftinge door:
A. Verdieping van de bestaande geulen; hierdoor ontstaat er een groter overstromingsgebied en meer dynamiek met name in het zuidelijke deel.
B. Doortrekken van de IJskeldergeul naar het Sieperdaschor; door deze ingreep ontstaat er een groot aaneengesloten gebied met de Hedwige/Prosperpolder.

Bij beide opdrachten in Saeftinge wordt een antwoord gegeven worden op dezelfde hoofdvragen als bij de andere deelopdrachten:
⇨ Hoeveel hectare estuariene natuur kan op deze wijze worden gerealiseerd?
⇨ Welke risico's zijn hieraan verbonden (morfologisch en ecologisch)?

1.3 Indeling rapport

De indeling van het rapport is als volgt: als eerste wordt een analyse gegeven van de processen in slikken en schorren (Hoofdstuk 2). Hierna worden de potentiële gebieden voor natuurherstel geselecteerd (Hoofdstuk 3). Een beschrijving van het gebruikte computermodel FINEL2d is gegeven in Hoofdstuk 4. Calibratie van het model heeft plaatsgevonden op de morfologische ontwikkelingen van het slik bij Waarde na de bouw van de strekdammen in de afgelopen jaren. Hierbij zijn de instellingen van het model zo gekozen dat de waargenomen morfologische ontwikkelingen goed berekend kunnen worden (Hoofdstuk 5).

Vervolgens is per potentieel gebied bekeken welke maatregelen genomen kunnen worden om de gewenste laagdynamische aanslibbingsgebieden te creëren. Met het FINEL2d model wordt vervolgens iedere ingreep doorgerekend voor 10 jaar. De beschrijving van de ingrepen, de modeluitkomsten, kosten van aanleg en conclusies ten aanzien van morfologische en ecologische ontwikkelingen worden per deelgebied in even zovele Hoofdstukken beschreven (Hoofdstuk 6 tot en met 12). Tenslotte worden in Hoofdstuk 13 de conclusies en aanbevelingen samengevat.

2 SLIKKEN EN SCHORREN

2.1 Algemeen

In dit onderzoek wordt in het algemene geval gestreefd naar hoogdynamische gebieden om te vormen tot laagdynamische gebieden. In de laagdynamische gebieden zullen gewenste habitats zich kunnen gaan ontwikkelen. Dit betreft dan met name de habitats slik en jong schor. In dit hoofdstuk zal ingegaan worden op deze habitats.

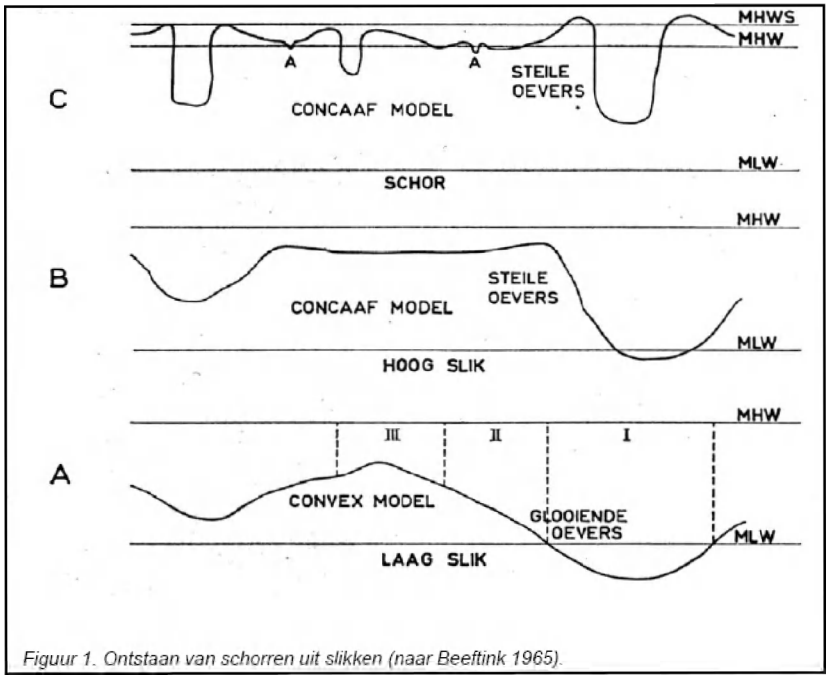
2.2 Abiotische 'behoeften' van de verschillende potentiële habitattypes

Op elke plaats in het estuarium zorgen de verschillende gradiënten voor een specifieke combinatie van abiotische omstandigheden die bepaalt welk habitattype er ontstaat en welke plant- en diersoorten er kunnen leven. De rivier en oeverzones vormen een rust-, foerageer-, broed- en verblijfplaats voor verblijvende en trekkende populaties en vervullen een corridorfunctie voor de flux van soorten. Naast de gradiënten is ook de ruimtelijke verdeling van de arealen slikken, schorren, ondiepwatergebied en platen bepalend voor het voorkomen van fauna en flora. De ondiepwatergebieden in de Westerschelde herbergen typisch estuariene en mariene vissoorten zoals haring, sprot, bot en wijting, een voedselbron voor de zeehonden die rustgebied vinden op de uitgestrekte slikken en platen. Deze zijn ook rust- en foerageergebied voor overwinterende en doortrekkende steltlopers, ganzen en eenden.

2.3 Processen op slikken en schorren

Het voorkomen van slikplaten is gerelateerd aan een reeks van processen zoals getij-assymetrie tussen eb- en vloedstromen, cohesief sedimenttransport en kenmerken en beschikbaarheid van slib (Beeftink 1965, Ysebaert 2000). Gedifferentieerd materiaaltransport, samenhangend met de stroomsnelheid en erosie en sedimentatie, leidt tot een gedifferentieerde toestand van de bodem, met name verschillende slib- en zandgehaltes en een niveauverschil van de bodem. Aanvankelijk is het zich ontwikkelende systeem instabiel, relatief eenvoudig samengesteld en grofkorrelig, waarbij de slik- en zandplaten een convex model hebben en de geulen glooiende oevers. Naarmate de getijstromen afnemen en de opslibbing verdergaat neemt de dikte van de waterlaag die het terrein bij hoogwater bedekt, de stroomsnelheid en de afstand waarover materiaal getransporteerd wordt af. Dit leidt tot omvorming van de platen van een convex naar een concaaf model waarbij slib voornamelijk afgezet wordt aan de randen (oeverwalvorming), terwijl de oevers van de kreken zich modificeren van zachtglooiend naar steil. In een nog verder stadium van opslibbing splitsen de kreken zich steeds verder en dringen zij door terugschrijdende erosie door in de platen zodat deze laatste in steeds kleinere eenheden uiteenvallen. Deze processen leiden tot een toenemende ruimtelijke differentiatie in de opslibbings- en erosieconcentratie en er wordt een oeverwal-kom systeem gevormd. Bij hoogwater komt het water via de kreken op de komgrond en door de afname van de stroomsnelheid gaat het fijn slib bezinken. Het oeverwallen-komsysteem slibt vanuit twee richtingen op: via transport van voornamelijk slib door de kleinste vertakkingen van de kreken in de kommen (apicale sedimentatie) en via transport van zandig materiaal door het buiten de oevers treden van de kreken over de oeverwallen (laterale sedimentatie). Het bestaan van twee sedimentatieprocessen betekent dat verschuivingen in de intensiteit van beide ten opzichte van elkaar tot verschillen in het bodemreliëf leiden. Daar waar grotendeels fijn materiaal aangevoerd wordt is het niveauverschil tussen kom en oeverwal gering. In

gebieden waar relatief veel zand en weinig slib in het water aanwezig is, is het niveauverschil tussen kom en oeverwal groot.



Figuur 1. Ontstaan van schorren uit slikken (naar Beeftink 1965).

2.4 Het ecologisch belang van slikken (en schorren)

Slikken en schorren spelen een belangrijke rol in de estuariene processen. Hun hydraulische weerstand bevordert sedimentatie, vermindert troebelheid en schept betere mogelijkheden voor primaire productie. Enerzijds vormen zij door hun hoge productiecapaciteit een bron van voedsel voor vele organismen. Anderzijds leveren ze een grote bijdrage aan de filterfunctie van het estuarium. Slibgebonden stoffen bezinken, organisch materiaal wordt gemineraliseerd en de resulterende elementen worden samen met aangevoerde nutriënten opgenomen in de voedselketen of uit het systeem verwijderd door respiratie of denitrificatie.

De belangrijkste ecologische factoren die de aanwezigheid van flora en vegetatie en de successie op slikken en schorren bepalen zijn overstromingsdynamiek (frequentie, –duur en -hoogte), zoutgehalte, bodemtextuur en de daaraan gekoppelde zuurstofhuishouding, verzanding, stikstofgehalte in de bodem en huidig en historisch beheer. Ook de graad van weekheid van het sediment lijkt een belangrijke ecologische factor voor de vegetatie (Beeftink 1965). Successie op de schorren kan in twee parallelle series verlopen: één in de kom en één op de oeverwal. Deze series ontstaan door divergentie uit de slikserie, na de zeekraalvegetaties (Salicornietum dolichostachyae). Deze situatie hangt samen met het ontstaan van slikken en schorren (Beeftink 1965).

Wanneer slikken niet meer dagelijks overstroomd worden, waardoor er dus periodiek minder dynamische omstandigheden heersen, wordt (permanente) plantengroei mogelijk. Zodra het daarbij gaat om overblijvende hogere plantensoorten, die "actief" bijdragen tot de aanslibbing van bodemmateriaal, worden ze “schorren” genoemd. Praktisch worden schorren meestal gedefinieerd als die intergetijde gebieden die in

meer of mindere mate begroeid zijn met hogere (overblijvende) planten. De relatieve hoogteligging is sterk afhankelijk van de sedimentconcentratie in het water, golfwerking en de stroomsnelheid. Zo kunnen schorren in sommige streken reeds optreden ver beneden de gemiddelde hoogwaterlijn.

De grootste differentiatie binnen de slikken en schorren is gebaseerd op het zoutgehalte van het water. Het zoutgehalte heeft een ingrijpende invloed op de samenstelling van flora en (bodem- en waterbewonende) fauna. Iedere soort is fysiologisch beperkt tot een bepaalde range in zoutgehalte en de fluctuaties daarin. Bij sommige soorten ligt dit veel gevoeliger dan bij andere. Met de saliniteitsgradiënt hangen een aantal andere fysische en chemische gradiënten samen (de troebelheid bijvoorbeeld), die op hun beurt mee de biologische processen, zoals de primaire productie sturen.

3 IDENTIFICATIE VAN POTENTIELE GEBIEDEN

3.1 Beoordelingscriteria

Bij het bepalen van potentiële gebieden voor buitendijks natuurherstel worden de volgende criteria toegepast:

- Grootte van het gebied: Er wordt een minimale grootte van een gebied gehanteerd van 15 hectare om eventuele maatregelen kosteneffectief te kunnen uitvoeren.
- Kansen: De condities die ontstaan na de ingreep moeten zo zijn dat er kans op sedimentatie is en dat hierdoor slikken en schorren kunnen ontstaan. Bij de identificatie van potentiële gebieden is dit op basis van expert judgement gebeurd.
- Huidige natuurwaarde: moet relatief laag zijn, dus ruimte voor verbetering. Hierbij wordt ook rekening gehouden met de uitstraling van de ingreep naar de rest van de omgeving.
- Bijkomende aspecten zoals de aanwezigheid van mogelijke verstoringen (bijvoorbeeld recreatiedruk)
- Alleen gebieden op Nederlands grondgebied.

3.2 Oeverzones

Langs de Westerschelde is een aantal zones aanwezig waar een harde veenlaag aan het oppervlak zit. De stroomsnelheden ter plaatse zijn zo groot dat het sediment tot op de harde veenlaag geërodeerd is. Het gebied hier is dan ook hoogdynamisch. In dit type gebieden is potentie aanwezig voor de ontwikkeling van natuurwaarden die, in vergelijking met de natuurwaarden op de veenlaag, hoger worden gewaardeerd. De huidige natuurwaarde van veenbanken wordt gekenmerkt als schuilplekken voor kreeften, bepaalde mosselen en substraat voor anemomen.
De doelstelling van deze deelopdracht is om te kijken of door middel van maatregelen laagdynamisch gebied kan worden gerealiseerd, zondanig dat hier sedimentatie kan plaatsvinden en slikken en schorren kunnen gaan ontstaan.

Tijdens een gezamenlijke workshop van het projectteam en de werkgroep zijn de volgende oeverzones aangewezen die in aanmerking komen om te ontwikkelen tot laagdynamische slikken:

1. Bath
2. Baalhoek
3. Knuitershoek
4. Hoofdplaatpolder

Zie voor een overzicht van de gebieden Figuur 3.1 en voor een verdere beschrijving Paragraaf 3.3.1 tot en met 3.3.4.

In de rest van de Westerschelde zijn geen gebieden gevonden die voldoen aan bovengenoemde criteria en waarbij tevens een significante natuurwinst te behalen valt.

Ten westen van Breskens kan men niet meer spreken van laagdynamische oeverzones, behalve op plaatsen waar de dijk teruggetrokken is (bijvoorbeeld Verdronken Zwarte Polder en Zwin). Voor het overige is sprake van Noordzeekust met grote golfaanval. In de "Hydraulische Randvoorwaarden 2006" worden hier golfhoogten (1/4000 jaar) van

4,5 à 5 meter aangegeven. Door de hoge golfaanval bestaat de Noordzeekust (alles ten westen van Breskens) uit een hoogdynamisch zandstrand met laag slibgehalte. Wil men hier toch laagdynamische slikken realiseren dan zal eerst gezorgd moeten worden voor dissipatie van de grote golfenergie. Vervolgens kan daarachter iets van een luwtegebied kan worden gemaakt. Vanwege de te nemen maatregelen wordt deze optie erg kostbaar en niet realistisch. Ter vergelijking: de 4 geselecteerde gebieden hebben volgens HR2006 een 1/4000 jaar golfhoogte van 1.5 tot 2.0 meter.

3.2.1 Bath

Bij Bath is een harde veenlaag aanwezig direct ten noorden van de vaargeul. In de loop der jaren is het sediment geërodeerd tot op deze harde laag door het uitbochtingsproces van de hoofdgeul. Dit ging zo ver dat het noodzakelijk was om een geulwandverdediging aan te brengen. Sediment heeft in de huidige toestand geen kans om neer te slaan door de hoge stroomsnelheden op het kale veen. Hoger in het intergetijdengebied is wel sediment neergeslagen en is een ecologisch gezien interessant gebied gevormd. Nog hoger in het intergetijdengebied tegen de dijk aan is schor aanwezig. Het doel van dit projectgebied is om sedimentatie te bewerkstelligen op het kale veen. De grootte van het gebied is ongeveer 25 ha. In Hoofdstuk 6 worden de uitkomsten van het projectgebied “Bath” behandeld.

3.2.2 Baalhoek

Ook bij Baalhoek is een groot gebied aanwezig dat geërodeerd is tot op het kale veen. De vooroever is verdedigd om de uitschurende werking van het Zuidergat tegen te gaan. Het oppervlak van het gebied is ongeveer 75 ha. De verwachting is dat door middel van strekdammen het gebied om te vormen is tot laagdynamisch gebied waar kansen zijn voor sedimentatie en slik- en of schorontwikkeling. Zie Hoofdstuk 7 voor de verdere uitwerking van het projectgebied “Baalhoek” .

3.2.3 Knuitershoek

Ook bij Knuitershoek is een gebied aanwezig waar de bodem geërodeerd is tot op de harde veenlaag. Ook hier is de vooroever verdedigd tegen verder uitbochten van de geul. In het gebied zijn reeds laaggelegen strekdammen aanwezig die vanuit de dijk naar de geul lopen en die overstromen bij opkomend getij. Het gebied biedt kansen door middel van ophoging van de (bestaande) strekdammen. De grootte van het gebied bedraagt ongeveer 25 hectare. Het projectgebied “Knuitershoek” wordt verder behandeld in Hoofdstuk 8.

3.2.4 Hoofdplaatpolder

Het gebied direct grenzend aan de dijk aan de oostzijde van de Hoofdplaatpolder is een reeds bestaand slik dat ligt aan de nevengeul “Vaarwater langs Hoofdplaat”. Bij de oude havendam van Hoofdplaat is sprake van enige schorvorming. Door middel van strekdammen is het oppervlak van het ecologisch waardevolle gebied uit te breiden, waarbij potentieel extra schorontwikkeling kan plaatsvinden. De grootte van het gebied is ongeveer 75 hectare. In Hoofdstuk 9 wordt het projectgebied “Hoofdplaatpolder” verder behandeld.

3.3 Nevengeulen

In de Westerschelde zijn enkele kleine nevengeulen aanwezig die voor de grootschalige waterbeweging in het estuarium niet belangrijk zijn. Er is in het algemeen sprake van hoogdynamische gebieden die daardoor ecologisch minder waardevol zijn. Doelstelling van deze deelopdracht is om te kijken of door middel van maatregelen het hoogdynamische gebied veranderd kan worden in een laagdynamisch gebied.

Tijdens genoemde workshop is geconcludeerd dat de volgende nevengeulen in aanmerking zouden kunnen komen voor een dergelijke verbeterslag:

1. Zimmermangeul (Paragraaf 3.4.1)
2. Schaar van Ossenisse (Paragraaf 3.4.2)

Zie Figuur 3.1 voor de locatie van de gebieden.

In eerste instantie komt het geultje bij de Plaat van Baarland ook in aanmerking. Dit alternatief is in het verleden al bekeken en geconcludeerd is dat een leidam aanleggen geen meerwaarde heeft (Rijkswaterstaat, 2001). Hierom zal dit alternatief niet verder beschouwd worden.

3.3.1 Zimmermangeul

De Zimmermangeul is een kortsluitgeul tussen de Schaar van Waarde en de Overloop van Valkenisse. De geul vertoonde de afgelopen jaren een sedimenterende trend, maar recente gegevens wijzen weer op een erosie, mogelijk is dit een reactie op de aanleg van twee strekdammen bij het slik bij Waarde (zie ook Hoofdstuk 5). De omvang van de geul is zo klein dat deze een zeer beperkte taak heeft in de globale waterbeweging van de totale Westerschelde. Door de Zimmermangeul zuidwaarts te verschuiven kan langs de bestaande dijk een laagdynamische oeverzone gecreëerd worden met potentie voor slik- en schorontwikkeling. Het intergetijdengebied aan de zuidzijde dat hierdoor verloren gaat is hoogdynamisch, zodat door deze ingreep een verschuiving plaatsvindt van hoogdynamisch naar laagdynamisch gebied. Het gebied van de geul en bijbehorende gebieden aan de dijk hebben een oppervlak van ongeveer 150 hectare. Zie Hoofdstuk 10 voor de uitwerking van het projectgebied “Zimmermangeul”.

3.3.2 Schaar van Ossenisse

De Schaar van Ossenisse is een kortsluitgeul tussen het Zuidergat en de Overloop van Hansweert. De geul ligt tegen de dijk aan. Door middel van een aantal strekdammen die aangelegd zijn in de 19^{e} eeuw is de geul op afstand van de dijk gehouden. Door de Schaar van Ossenisse naar het noorden te verschuiven kan langs de bestaande dijk een laagdynamische oeverzone gecreëerd worden met potentie voor slik- en schorontwikkeling. Het intergetijdengebied dat aan de noordzijde verloren gaat is hoogdynamisch, zodat door deze ingreep een verschuiving plaatsvindt van hoogdynamisch naar laagdynamisch gebied.

De grootte van het gebied is ongeveer 125 hectare. Het projectgebied “Ossenisse” wordt verder behandeld in Hoofdstuk 11.

3.4 Land van Saeftinge

De 3e deelopdracht omhelst een tweetal maatregelen in Saeftinge. Deze maatregelen worden expliciet in de vraagstelling omschreven en betreffen:

1. Verdieping van de bestaande geulen; hierdoor ontstaat er een groter overstromingsgebied en meer dynamiek met name in het zuidelijke deel.
2. Doortrekken van de IJskeldergeul naar het Sieperdaschor; door deze ingreep ontstaat er een groot aaneengesloten gebied tussen het Land van Saeftinge en de Hedwige/Prosperpolder.

In Hoofdstuk 12 wordt het projectgebied “Saeftinge” verder behandeld.

4 HET MORFODYNAMISCH MODEL “FINEL2D”

4.1 FINEL2d

De morfologische berekeningen in deze studie worden uitgevoerd met FINEL2d. Dit is het 2-dimensionale stromingsmodel in het door Svašek Hydraulics ontwikkelde FINEL pakket. Aan het stromingsmodel zijn morfologische modules gekoppeld.

FINEL2d is een numeriek stromingsmodel gebaseerd op de Finite Elements methode en rekent met ongestructureerde roosters in de vorm van driehoeken. De driehoekige elementen kunnen variëren in grootte en vorm. Het grote voordeel is dat men hierdoor vrij is om in de interessegebieden de resolutie te verhogen. Hierdoor vindt de grootste rekeninspanning plaats in de interesse gebieden. Daarnaast kunnen speciale karakteristieken, zoals bijvoorbeeld een strekdam of kustlijn door het flexibele roosterschematisatie proces eenvoudig en exact op de goede positie in het model aangebracht worden.

Zie voor een nadere beschrijving van FINEL2d Appendix A.

4.2 Het Westerschelde model

De basis voor deze studie is het bestaande morfologisch FINEL2d model van de Westerschelde. In Dam (2006) is beschreven hoe dit model is opgezet, gecalibreerd en gevalideerd. Hier volgt een korte samenvatting.

Als eerste stap in het opzetten van het model is uitgebreid gekeken naar de waterbeweging. Hierbij is het ruwheidsveld van het model zodanig geoptimaliseerd dat de waterstanden in de Westerschelde vrijwel overal binnen 10 cm nauwkeurig berekend kunnen worden. Ook is gekeken naar de debietverdelingen binnen de geulen, waarbij geconcludeerd werd dat het model deze goed berekent. Verder is gekeken naar stroomsnelheden op slikken. Uit metingen op de slikken Baarland, Zuidgors, Waarde en Bath blijkt dat het model deze stroomsnelheden redelijk goed weergeeft.

Als tweede stap is het model gecalibreerd op de morfologische ontwikkelingen in de periode 1995-2002. Hierbij zijn de instellingen van het model zodanig gekozen dat de morfologische ontwikkelingen in deze periode zo goed mogelijk gereproduceerd worden. Uit de calibratie blijkt dat het model in staat is om de globale ontwikkelingen van het estuarium te reproduceren. Als calibratie parameters zijn onder andere bodemruwheid en spiraalstroming gebruikt. Het effect van baggeren en storten is in detail meegenomen in het model.

In de derde stap is een validatie van het model uitgevoerd over de periode 1965- 2002, een periode van 37 jaar. Hierbij zijn de modelinstellingen zoals gevonden in de calibratie gebruikt. Ook over deze lange periode vertonen de modelresultaten over het algemeen een redelijke tot goede overeenstemming met de opgetreden morfologische ontwikkelingen in de Westerschelde.

Zie Appendix C voor een artikel dat over het model verschenen is (Dam et al., 2007), waarbij verder ingegaan wordt op de calibratie en validatie van het model.

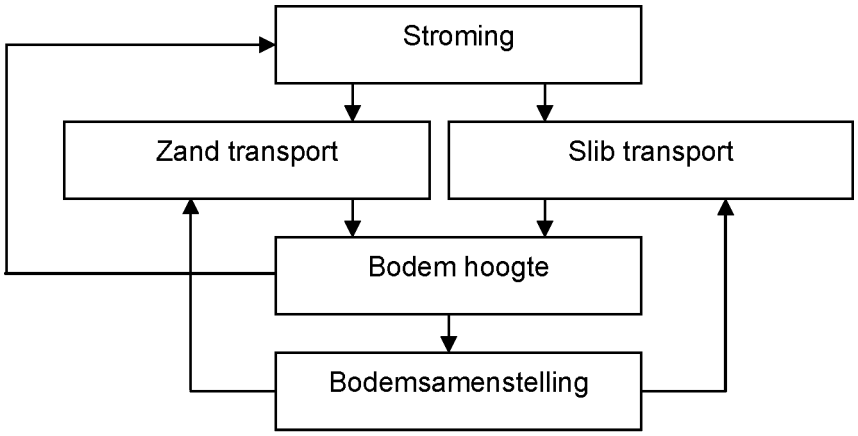
In dit onderzoek wordt als vertrekpunt het bestaande morfologische FINEL2d model van de Westerschelde gebruikt. Dit bestaande model rekent echter alleen met de zand fractie. In de interesse gebieden waar potentieel slikken en schorren ontstaan is slib ook een belangrijke factor, waardoor niet alleen met de zand fractie volstaan kan worden. Daarom wordt er gebruik gemaakt van de zand/slib module binnen FINEL2d. In de volgende Paragraaf wordt deze module beschreven.

4.3 Beschrijving werking zand/slib model binnen FINEL2d

Vrijwel alle bestaande proces gebaseerde morfologische modellen rekenen met òf alleen zand òf alleen slib. Nadeel van deze modellen is dat ruimtelijke verdeling van zand en slib en de interactie tussen de fracties niet meegenomen wordt.

Van Ledden heeft tijdens zijn promotie een model ontwikkeld (Van Ledden, 2003) waarin de interactie tussen zand en slib meegenomen kan worden. Er zijn drie belangrijke uitbreidingen ten opzichte van de meeste bestaande morfologische modellen. Ten eerste dragen zowel zand als slib bij tot een bodemverandering in het model. Ten tweede worden bodemsamenstellingsvariaties in tijd en ruimte meegenomen. Ten derde is de uitwisseling van sediment tussen de bodem en de waterkolom afhankelijk van de sedimentsamenstelling van het bodemoppervlak. Het is bijvoorbeeld bekend dat de erodeerbaarheid van zand afneemt als slib toegevoegd wordt.
Daarom is het FINEL2d pakket uitgebreid met een zand-slib module volgens van Ledden (2003). Ervaringen met dit zand-slib model zijn onder andere opgedaan in de Haringvlietmonding (Dam, 2004). In Paarlberg et al (2005) is een vergelijkbaar zand-slib model toegepast op de Paulinapolder in de Westerschelde.

In Afbeelding 4.1 is de werking van de zand/slib module schematisch weergegeven.



Afbeelding 4.1 : Opzet van het zand-slib model volgens Van Ledden, 2003

Zand-slib interactie is belangrijk voor de intergetijdengebieden in de Westerschelde omdat op die plekken een sterke afwisseling van niet-cohesief en cohesief materiaal aanwezig is. In de diepe geulen zit relatief veel zand in de bodem, terwijl de ondiepe delen langs de dijk slibrijk zijn. Deze afwisseling impliceert dat beide sedimentfracties in

rekening gebracht moeten worden om de morfologische ontwikkeling van deze gebieden goed te kunnen voorspellen. Daarnaast speelt voor het ecologisch functioneren van het systeem de zand-slibverhouding in de bodem een essentiële rol. Afhankelijk van de zand/slibverhouding kunnen bepaalde vegetatie en organismen juist wel of niet voorkomen. Veranderingen daarin kunnen dus sterke gevolgen hebben voor het ecosysteem.
Samenvattend: een zand/slibmodel brengt beide fracties in rekening en zal dus beter aansluiten bij de morfologische veranderingen dan een één-fractiemodel. Verder kan zo'n model ook een uitspraak doen over de te verwachten zand/slibverhouding wat van belang is voor de ecologie.

De toegepaste formuleringen van het zand/slib model zijn in dit geval de Engelund-Hansen sedimenttransportformule voor zand (Engelund & Hansen, 1967) en de Krone (1962) en Partheniadis (1965) formulering voor depositie en erosie van slib. In het model wordt bijgehouden welk percentage slib op welke hoogte in de bodem aanwezig is. Er wordt een mengingscoëfficiënt gedefinieerd die ervoor zorgt dat de sedimentfracties door de bodemlagen heen kunnen bewegen. Dit gebeurt in werkelijkheid o.a. door bioturbatie en de invloed van bedvormen.

Indien het slibpercentage van de toplaag van de bodem boven een bepaald percentage komt dan vindt een overgang plaats van niet-cohesief naar cohesief gedrag van sediment in het model. In de meeste Nederlandse estuaria ligt dit rond een percentage van 30% (van Ledden, 2003). Het suspensie transport van zand in de cohesieve fase is afhankelijk van kritische schuifspanningen volgens dezelfde formuleringen als Krone en Partheniadis. Voor zand en slib gelden dan dezelfde kritische schuifspanningen. Hoeveel zand en slib er in suspensie gebracht wordt in het model als de kritische schuifspanning voor erosie wordt overschreden is vervolgens weer afhankelijk van het zand/slibpercentage in de toplaag.

Zie Appendix A voor een verdere beschrijving van het zand/slib model.

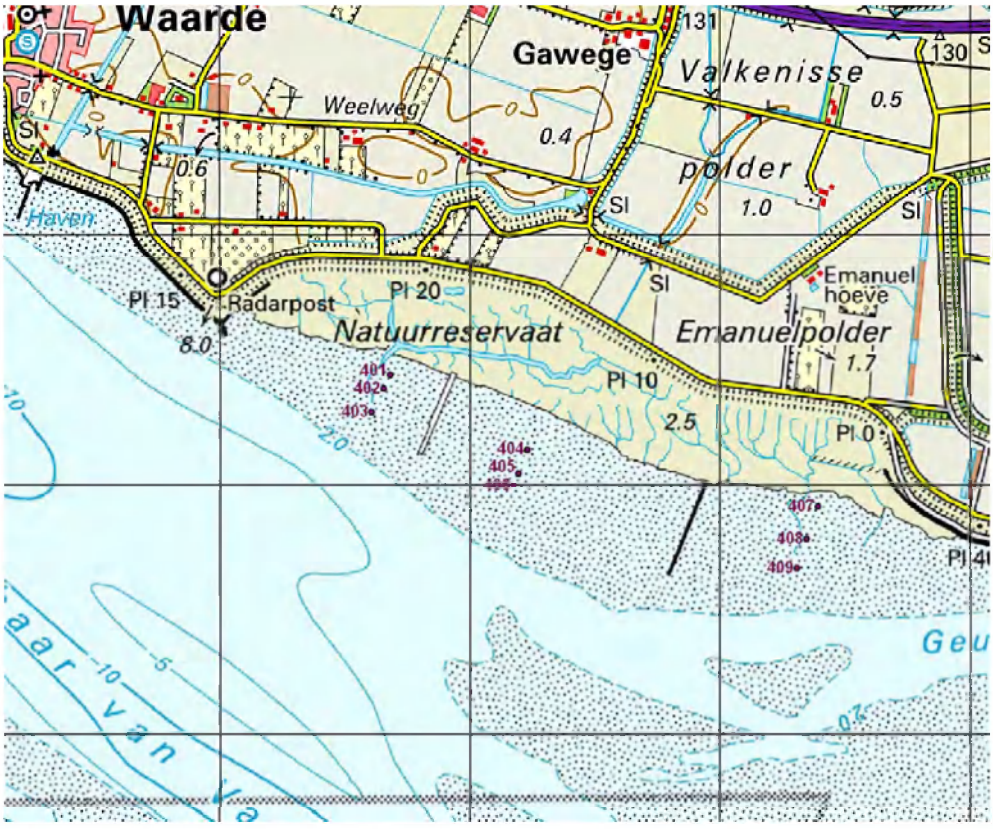
4.4 Gedetailleerde modellering van interessegebieden binnen FINEL2d

Een groot voordeel van FINEL2d is de toepasbaarheid in interessegebieden waarbij het rooster sterk verfijnd is zoals in deze opdracht. Het nesten van modellen is hierdoor niet nodig. Er gelden geen numerieke criteria voor het verfijnen van roosters. De tijdstap van het numerieke model wordt wel kleiner naarmate de roosters fijner zijn, maar door de automatische tijdstap bepaling van dit model is dit ondervangen, zodat stabiliteit van het model gewaarborgd is.

5 CALIBRATIE VAN MORFODYNAMISCH MODEL "FINEL2D" OP SLIK BIJ WAARDE

5.1 Inleiding

Door de aanleg van twee strekdammen op het slik bij Waarde in 2002 heeft er een sterke opslibbing van het gebied tussen de strekdammen plaatsgevonden. De bodem is 1 tot 1.5 m hoger komen te liggen vier jaar na aanleg van de dammen. Op drie locaties tussen de strekdammen zijn bodemhoogte metingen genomen (punt 404, 405 en 406), zie Afbeelding 5.1. De metingen op de drie locaties worden gebruikt als calibratie van het model.



Afbeelding 5.1: Meetlocaties op het slik bij Waarde

Als uitgangspunt gelden de gevonden calibratie constanten zoals gevonden in een eerdere studie van de Westerschelde met het FINEL2d model (Dam, 2006). In de eerdere studie is alleen de zandfractie meegenomen. In deze studie wordt ook de slibfractie meegenomen, evenals de interactie van zand en slib. Met behulp van de waargenomen aanslibbing van het gebied bij Waarde is de zand/slib module afgeregeld.

5.2 Uitkomsten calibratie

Met het FINEL2d model zijn diverse calibratie berekeningen gedaan. Hier worden de uiteindelijke resultaten beschreven. In de figuren 5.1 t/m 5.3 zijn de uitkomsten van het model op de drie locaties getoond (zie Afbeelding 5.1 voor de ligging). Figuur 5.4 toont de initiële en de uiteindelijke bodemligging van het model na 4 jaar. Figuur 5.5 toont de bodemontwikkeling (eindbodem minus beginbodem) en de slibpercentages in de toplaag van de bodem 4 jaar na aanleg van de dammen.

Uit de figuren 5.1 en 5.2 blijkt dat in de twee meest noordelijke punten (punt 404 en 405) aanslibbing plaats vindt, maar dat deze aanslibbing te hoog is in het model. Punt 406 hoogt in eerste instantie op in het model (Figuur 5.3), maar de sedimentatie verdwijnt doordat een klein geultje ontwikkelt in het gebied dat het meest oostelijk deel van het gebied moet afwateren. Punt 406 slibt met ruim een meter aan in werkelijkheid. In werkelijkheid is dit geultje ook te zien in Google Earth, zie de pijlen in Afbeelding 5.2. Het geultje ligt iets verschoven ten opzichte van de modeluitkomsten, waardoor de modeluitkomsten een vertekend beeld geeft.



Afbeelding 5.2: Slik bij Waarde; Bron: Google Earth

De algemene conclusie van de calibratie van het model op de slikken van Waarde is dat de berekende trend van het model correct is. Er vindt een (te) sterke aanslibbing plaats van het gebied tussen de strekdammen, zie Figuur 5.4 en 5.5. Een kanttekening hierbij is dat in werkelijkheid de sliblaag onderhevig zal zijn aan een geleidelijk toenemende graad van consolidatie, waardoor in de loop van de tijd meer droge stof in een kubieke meter sediment zit. Het model rekent met een vaste dichtheid van het slib van 500

kg/m^3. Een snellere aangroei in het model ten opzichte van de werkelijkheid is dus te verwachten.

Het tweede plaatje van Figuur 5.5 toont de slibpercentages in de toplaag van de bodem. Het gebied tussen de strekdammen blijkt na 4 jaar vrijwel geheel uit slib te bestaan. In werkelijkheid komen dergelijke slibpercentages in de bodem naar alle waarschijnlijkheid niet voor, hoewel in veldrapporten wel sprake is van zeer slibrijk (ontoegankelijk) terrein in de eerste twee jaar na aanleg van de dammen. Toch is er altijd wel een zandfractie aanwezig. De verwachting is daarom dat het model de slibpercentages in de bodem overschat.

Een mogelijke oorzaak is dat het model rekent met een zandfractie die representatief is voor de gehele Westerschelde. Hierdoor is het niet mogelijk om fijn zand mee te nemen in de berekening. In de berekening is het zand al volledig uitgezakt uit de waterkolom voordat het achter in het gebied tussen de strekdammen kan komen. Het is de waarschijnlijk dat met name fijn zand zich gaat mengen met slib omdat de uitzaksnelheid lager is waardoor het verder in het gebied kan komen.

Een andere factor waarom het model de opmenging van zand met slib onderschat is de golfwerking. Door golven wordt sediment in suspensie gebracht en door (golfgedreven en getij) stroming kan dit sediment verplaatst worden. Alhoewel de golven hier in het algemeen niet groot zijn zal naar alle waarschijnlijkheid de golfwerking wel groot genoeg zijn om slib in een lichte mate van consolidatie weer op te woelen. Door de afwijkende stromingscondities tijdens storm zal dit vrijkomende slib zich sterk afwijkend gedragen ten opzichte van dagelijkse omstandigheden. Ook kan (fijn) zand zich verder het gebied in verspreiden. Hierdoor neemt het zandaandeel in de sedimentatie toe en het slibaandeel af, zodat een betere menging van zand en slib ontstaat.

Tussen de koppen van de strekdammen berekent het model wel een goede verhouding tussen zand en slib. In het model is een afzetting van zand te zien (Figuur 5.5), overeenkomstig met de werkelijkheid (zie Afbeelding 5.1). Het geultje dat door het gebied loopt in het model blijft zandig omdat de stroomsnelheden hier te groot zijn om slib af te zetten.

Door een verdere calibratie van het model kunnen de uitkomsten naar verwachting verder verbeteren. Dit betreft dan met name de te snelle opslibbing, en de zand/slib verhouding. Voor de huidige verkennende studie is de afregeling afdoende omdat de ruimtelijke patronen door het model in de huidige staat vrij realistisch worden weergegeven. De instellingen gevonden tijdens de calibratie worden ook toegepast op de scenario berekeningen. Hierbij dient in het achterhoofd gehouden te worden dat de opslibbing van gebieden waarschijnlijk te snel plaatsvindt en dat de slibpercentages in de bodem waarschijnlijk overschat worden.

5.3 Gevonden instellingen bij de calibratie van het FINEL2d model

Bij de calibratie zijn de volgende instellingen gevonden:

In Tabel 5.1 staan de instellingen voor de zandfractie:

Modelparameter	Waarde
Sedimenttransport formule	Engelund – Hansen
Ruwheid (White Colebrook)	Volgens hydraulische ruwheid
d_{50}	150 µm
Porositeit	0.4
Valsnelheid zand	0.015 m/s

Tabel 5.1: Instellingen van de zandfractie

Het is noodzakelijk om een achtergrondconcentratie van slib op te geven. Deze bedraagt voor de Westerschelde gemiddeld ongeveer 40mg/l. Deze waarde wordt als zodanig opgelegd in het model.

In Tabel 5.2 zijn de instellingen voor de slibfractie gegeven:

Modelparameter	Waarde
τ_s : kritische schuifspanning voor depositie	0.5 Pa
Achtergrondconcentratie c	40 mg/l
Dichtheid slib	500 kg/m^3 (geen consolidatie)
Valsnelheid slib w_s	0.0015 m/s

Tabel 5.2: Instellingen van de slibfractie

Tabel 5.3 geeft de instellingen voor de interactie tussen zand en slib plus de instellingen voor de bodemmodule:

Modelparameter	Waarde
Laagdikte bodemmodule	0.25 m
Aantal lagen	5
Mengingscoëfficiënt bodem	0.000005 m^2/s
Kritisch slibpercentage voor cohesief gedrag $p_{m,crit}$	30 %
Kritische schuifspanning voor erosie, cohesieve bodem, τ_c	0.75
Kritische schuifspanning voor erosie, niet-cohesieve bodem, τ_{nc}	0.2
Erosie parameter cohesieve bodem, M_c	0.0001 kg/m^2/s
Erosie parameter niet-cohesieve bodem M_{nc}	0.001 kg/m^2/s

Tabel 5.3: Instellingen zand-slib interactie

Deze instellingen worden toegepast in de scenario berekeningen in de volgende Hoofdstukken.

6 PROJECTGEBIED 1: OEVERZONE BIJ BATH

6.1 Huidige situatie

De oeverzone bij Bath ligt ten noorden van de vaargeul naar Antwerpen in het oostelijk deel van de Westerschelde, zie Figuur 3.1 en Afbeelding 6.1. De afgelopen decennia heeft de uitschurende werking van de geul gezorgd voor een steeds verdere erosie van de oeverzone. Door middel van een geulwandbestorting is deze geulmigratie gestopt. In de droogvallende delen direct naast de geul gelegen is erosie opgetreden tot op de harde veenlaag. De grootte van de veenlaag bedraagt 17 hectare (zie Tabel 6.1) De stroomsnelheden zijn hier dusdanig groot dat er geen sedimentatie kan optreden. Deze lager gelegen delen van het intergetijdengebied waar de harde veenlaag dagzoomt worden als ecologisch minder waardevol beschouwd, in vergelijking met soortenrijkere milieus van voedselrijke slikken en schorren. Op de iets hoger gelegen delen zijn slikken aanwezig en zijn de natuurwaarden groter. Schorren zijn aanwezig op de nog hoger gelegen delen tegen de dijk aan. Bij dit projectgebied is het doel om de lager gelegen veenlagen direct naast de geul gelegen te transformeren naar een laagdynamisch gebied waar door middel van sedimentatie een ecologisch waardevol gebied kan ontstaan.

Van het voorliggende plangebied is ongeveer de helft reeds laagdynamische natuur, van een wisselende samenstelling, zie Tabel 6.1. In het licht van de doelstelling is het goed om de ingreep zodanig op maat te maken dat niet op grote schaal eenvormigheid in het laagdynamische milieu ontstaat, bijvoorbeeld door versnelde doorgroei van slik of jong schor naar door strandkweek gedomineerde schorren.

Geomorfologische eenheid	hoog/laagdynamisch	Beddingvorm	oppervlakte (ha)
Schor	laagdynamisch		46
Plaat/slik	laagdynamisch	zand	25
Plaat/slik	laagdynamisch	slib/zand	14
Plaat/slik	laagdynamisch	slib	112
Plaat/slik	hoogdynamisch	2D megaribbels	4
Plaat/slik	hoogdynamisch	3D megaribbels	6
Plaat/slik	hoogdynamisch	vlak	63
Veen (Hard substraat)	hoogdynamisch		17

Tabel 6.1: Geomorfologische indeling van het intergetijdengebied bij Bath

6.2 Voorstel voor ingreep

Bij het definiëren van maatregelen om het laaggelegen intergetijdengebied te transformeren van een gebied met hoge stroomsnelheden naar een laagdynamisch gebied is gezocht naar manieren om de stroming te verminderen.



Afbeelding 6.1: Projectgebied Bath met voorstel voor ingreep (geel). Bron: Google Earth

De enige logische oplossing bestaat uit het aanleggen van strekdammen gemaakt van niet erodeerbaar materiaal om de gebieden stroomluw te maken. Om dit te bereiken zijn twee strekdammen loodrecht op de dijk voorzien, zie Afbeelding 6.1. Het is noodzakelijk de strekdammen door te zetten naar de dijk toe om achterloopsheid te voorkomen. De meest oostelijke dam is reeds aanwezig, maar ligt gedeeltelijk onder het maaiveld. Deze dam wordt opgehoogd en voorzien van een T gedeelte langs de geul om extra luwte te creëren op het kale veen waardoor sedimentatie van zand en slib kan plaatsvinden. De westelijke dam is nog niet aanwezig en dient in zijn geheel aangelegd te worden. De hoogte van de strekdammen is bij de modelsimulaties op een dusdanige hoogte geplaatst dat deze niet zullen overstromen. Op deze wijze wordt het maximale resultaat voor wat betreft het stroomluw maken van de gebieden gecreëerd. In een ontwerptraject kan de hoogte van de dammen verder geoptimaliseerd worden.

6.3 Hydrodynamische uitkomsten

6.3.1 Algemeen

Met behulp van het morfodynamische model FINEL2d zijn de voorgestelde ingrepen doorgerekend. In het projectgebied is een verfijning van het bestaande rekenrooster van de Westerschelde gemaakt tot een roostergrootte van 10 –20m (zie Figuur 6.1). Alle invoerbestanden, zoals de bodemhoogte, ruwheid en harde lagen zijn specifiek gemaakt voor dit lokaal verfijnde rooster. Zie Appendix B voor een uitgebreide beschrijving van de invoerfiles.

6.3.2 Stroming

De belangrijkste sturende factor voor de morfologische ontwikkelingen in de Westerschelde is de stroming. Daarom zijn de stroombeelden van het model tijdens een maximum vloed en een maximum eb situatie getoond voor de referentie en ingreep situatie in de figuren 6.2a en 6.2b. Figuur 6.2c toont de verschilstroomsnelheden.

Maximum vloed stroming

Tijdens maximum vloedsnelheden stroomt het in de referentie situatie rond de 1 m/s in de hoofdgeul, zie Figuur 6.2a. Op het talud naar het intergetijdengebied toe neemt de stroomsnelheid af naar ongeveer 0.5 m/s. De stroomrichting is met de hoofdstroming mee. Hoger in het intergetijdengebied is een verdere afname te zien van de stroomsnelheid tot enkele decimeters per seconde. Op de hoogst gelegen natte delen wordt de stroming afgebogen richting de dijk om water te bergen in de hoogst gelegen delen.

Door het aanleggen van de strekdammen wordt de aanvoer van water vanuit de Zimmermangeul geblokkeerd. Het water moet om de westelijke strekdam heen stromen. In de directe nabijheid van de strekdammen vindt een duidelijke stroomverlamming plaats. Op de locaties direct naast de hoofdgeul, de zogenaamde harde veenlagen, is in eerste instantie geen afname van de stroming te zien. In het gedeelte tussen beide strekdammen is zelfs een verhoging van de stroming te zien. De stroming wordt hier met name bepaald door de stroming in de hoofdgeul.

Maximum eb stroming

De maximum eb stroming is ongeveer 0.6 m/s bij de hoofdgeul, zie Figuur 6.2b. In de referentiesituatie neemt de stroming in het intergetijdengebied toe van oost (enkele dm/s) naar west (0.6 m/s) doordat de stroming de Zimmermangeul ingetrokken wordt.

De invloed van de voorgestelde strekdammen laten een vergelijkbaar beeld zien als tijdens de maximum vloed stroming: in de directe nabijheid van de strekdammen is een duidelijke stroomverlamming te zien, maar de invloed blijft beperkt. Bij de westelijke strekdam is rond de kop een stroomcontractie te zien. De stroming in de richting van de Zimmermangeul wordt hier geblokkeerd, het water zoekt een weg om de kop van de strekdam om dan alsnog richting de Zimmermangeul te stromen.

6.3.3 Oppervlakte hoog/laagdynamisch

Een manier om het initiële effect van de ingreep te bepalen is het laagdynamisch oppervlak te bepalen met en zonder de ingreep.

Deze term hoog- en laagdynamisch heeft hier betrekking op de mate van bodembeweging als gevolg van de dagelijkse getijinvloeden en golven, incl golven tijdens zware stormen. Het komt tot uiting in de mate waarin de bodem van dag tot dag in beweging is, mate van beweging, diepte. Een plaatdeel wordt hoogdynamisch genoemd indien de bodem zodanig in beweging is dat er voor bodemdieren weinig leefmogelijkheden zijn. De belangrijkste voorbeelden zijn megaribbels en hoogdynamische vlakke delen langs plaatranden (de Jong, 2006).

Door de bestaande geomorfologische kartering van de Westerschelde te vergelijken met de maximale stroomsnelheden uit de figuren 6.2a en b (bestaande situatie) is een schatting te maken bij welke stroomsnelheid de overgang plaatsvindt van een hoog- naar laagdynamisch gebied. In Figuur 6.3 is de geomorfologische kartering getoond voor de huidige situatie bij Bath met daarin de maximum stroomsnelheidscontouren gedurende een getij. Op de scheiding in het figuur van rood naar blauw vindt de overgang plaats van hoog- naar laagdynamisch gebied. Te zien is dat bij een stroomsnelheid van ongeveer 0.4 m/s de overgang plaatsvindt. Het initiële effect van de ingreep is nu te bepalen door het oppervlak hoog- en laagdynamisch gebied voor zowel de referentie als de ingreep situatie te berekenen, zie Tabel 6.2. De oppervlaktes zijn bepaald binnen een contour die het gehele projectgebied omvat.

	Hoogdynamisch (>0.4 m/s)	Laagdynamisch (<0.4 m/s)
Huidige situatie	180	174
Ingreep situatie	122	232
Verschil:	-58	58

Tabel 6.2: Verschil oppervlakte hoog/laagdynamisch (hectare) direct na aanleg

Uit Tabel 6.2 blijkt dat er direct na de ingreep 58 hectare laagdynamisch gebied extra gecreëerd wordt door de ingreep. Of dit gebied daadwerkelijk zal aanslibben en ophogen moet blijken uit de morfologische berekening in de volgende paragraaf.

6.4 Morfologische uitkomsten

6.4.1 Bodem en slibgehalte ontwikkeling

De morfologische ontwikkelingen in het gebied worden berekend voor twee situaties: de referentie situatie (zonder ingreep) en de ingreep situatie voor een periode van 10 jaar.

Figuur 6.4 toont de begin en eind bodem van de ingreep situatie. Te zien is hoe het model berekent dat de gebieden tussen de strekdammen sterk gesedimenteerd zijn. In het oostelijk deel van het projectgebied ontstaat een geultje (X-coördinaat: km 72) dat het gebied achter de sedimentatierand ontwatert.

Figuur 6.5 laat het absolute slibpercentage zien van de toplaag in het model. De zone langs de hoofdgeul slibt sterk aan.

De relatieve verandering in bodemligging en slibgehalte (ingreep – referentie) is te zien in Figuur 6.6. De relatieve verandering laat zien wat het effect is van de ingreep (dus de autonome ontwikkeling wordt niet meegenomen). Hieruit blijkt dat er inderdaad extra sedimentatie plaatsvindt als gevolg van de aanleg van de strekdammen.
Uit de figuur blijkt tevens dat er mogelijk erosie optreedt bij de kop van de westelijke strekdam tot voorbij de geulwandbestorting. Dit wordt veroorzaakt door de contractie van de ebstroming, zie Figuur 6.2b en 6.2c (de geulwandbestorting is als harde laag in het model ingebracht, zie Appendix B). In de uitloop van de Zimmermangeul in de hoofdgeul is een erosie te zien als gevolg van de ingreep. De Zimmermangeul neemt dus in omvang toe. Hierdoor kunnen hinderlijke dwarsstromingen ontstaan voor de scheepvaart.

Op een aantal locaties zijn dwarsprofielen gemaakt. Deze zijn getoond in Figuur 6.7. Voor de huidige situatie is bekend dat de harde veenlaag niet sedimenteert, hooguit in het hoger gelegen intergetijdengebied vindt enige morfologische ontwikkeling plaats. Dwarsdoorsnede A en B laten inderdaad zien dat de referentie situatie na 10 jaar min of meer op dezelfde hoogte blijft liggen. Dwarsdoorsnede C en D laten echter zien dat hier ook al een sterke sedimentatie plaatsvindt in de referentie situatie. Uit de stroomsnelheden (Figuur 6.2) bleek al dat hier lage stroomsnelheden door het model uitgerekend worden, waardoor slib zich kan gaan afzetten, zelfs in de huidige situatie. Een mogelijke oorzaak is dat de stroomsnelheden in het model lager zijn dan in werkelijkheid.

6.4.2 Areaal ontwikkeling

De ontwikkeling van de bodem van het projectgebied is in Figuur 6.8 samengevat in een hypsometrische kromme, dit is een kromme van de gesorteerde bodemhoogtes uitgezet tegen de gecumuleerde oppervlaktes. Deze kromme geeft inzicht in hoe de bodemligging van het gehele gebied ontwikkelt en hoeveel oppervlakte op welke hoogte voorkomt. Een hypsometrische kromme kan gezien worden als een soort representatieve dwarsdoorsnede van het gehele gebied. Te zien is hoe met name het areaal tussen de +1 en +2m NAP sterk toeneemt. Dit gaat ten koste van het lager gelegen intergetijdengebied tussen de –2 en de 0m NAP. De simpele verklaring is dat het intergetijdengebied sterk sedimenteert.

Ongeveer 120 hectare in het projectgebied zal extra sedimenteren. Deze 120 hectare is bepaald door het oppervlak van de sedimentatie in Figuur 6.6 te bepalen. Deze 120 hectare kan toegeschreven worden aan het effect van de ingreep met deze berekening. Bij een verdere calibratie en verbetering van het model kan dit getal hoger uitvallen doordat de referentie berekening nu nog te veel sedimentatie laat zien.

Door de ingreep is initieel 58 hectare laagdynamisch gebied gerealiseerd, bepaald op basis van stroomsnelheden (Paragraaf 6.3.2). Dit gebied valt binnen deze 120 hectare. Het effect van de ingreep is dus groter dan alleen het extra laagdynamische gebied zoals dat is begrensd op basis van stroomsnelheden. Het betekent dat een deel van de bestaande slikken versneld ophoogt. De mate waarin dit tevens leidt tot beginnende schorvorming, is afhankelijk van de werkelijke snelheid van sedimentatie, in combinatie met stroomsnelheid en de daarvan deels afhankelijke vestiging van plantengroei.

6.4.3 Modelonzekerheden

Uit de huidige situatie is bekend dat de harde veenlaag niet sedimenteert. In de referentie situatie zonder strekdammen komt echter naar voren dat met name het oostelijk deel van het gebied ook zonder de strekdammen sedimenteert.
Uit de figuren van de stroomsnelheden (Figuur 6.2a tot 6.2c) blijkt al dat het effect van de strekdammen beperkt blijft tot de directe omgeving. Het effect is dat de sedimentatie van met name het oostelijk deel van het gebied in zowel de referentie als de ingreep situatie ongeveer even snel verloopt. Omdat bekend is dat in werkelijkheid in de referentie situatie (vrijwel) geen sedimentatie plaatsvindt, moet geconcludeerd worden dat de modeluitkomsten onzeker zijn in het oostelijk deel.

In het westelijk deel berekent het model in de referentie situatie dat het gebied niet sedimenteert (raai B in Figuur 6.7). De sedimentatie als gevolg van de ingreep kan hier dan ook met meer zekerheid vastgesteld worden.

Een proces dat niet meegenomen wordt in de modellering is golfwerking. Golfwerking zorgt voor opwoeling van sediment. Dit gebied ligt open voor golven uit het zuiden, waar regelmatig wind en dus golven vandaan komen. Hierom dienen de uitkomsten met de nodige voorzichtigheid behandeld te worden.

6.5 Ecologie

Als gevolg van de ingreep ontstaat na een korte periode van eenvormigheid als gevolg van de opslibbing in voornamelijk laaggelegen voedselrijk slik. De aanwezige helling in het slik zal verflauwen. In het slik ontstaan kleine erosie-stroomgeultjes. Door de vlakkere ligging ontstaan naar verwachting vestigingsmogelijkheden voor Zeekraal. Na een 5-tal jaar ontstaan lokaal pioniervegetaties met Zeekraal. Nabij de strekdammen en ten westen kan Zeekraal dominant aanwezig zijn.

In de daarop volgende jaren, beginnend vanaf de hogere delen, zal de vestiging van slijkgras leiden tot schorvorming. Door versnelde invang van zand kan plaatselijk een snelle evolutie naar Atlantisch schor plaatsvinden. Deze ontwikkeling vindt ten dele plaats op bestaand slik. In die situatie is er dus sprake van *verandering* van habitat, zonder dat die direct als verhoging van natuurwaarden moet worden beschouwd. Voedselrijk slik blijft aanwezig in de overgangszone naar de geulrand.

Het voedselrijk slik biedt ruime foerageermogelijkheden voor steltlopers en eenden. In combinatie met het al aanwezige schor en de voortschrijdende schorontwikkeling, blijft het gebied een complete functie houden voor foeragerende en overtijende steltlopers. Het schor vormt op termijn geschikt broedbiotoop voor soorten als Kluut, Blauwborst en andere vogelsoorten.

Het oostelijk deel van de planlocatie kent mogelijk een aanzienlijke golfwerking dat de reden kan zijn dat de voorspelde autonome opslibbing niet plaatsvindt. Deze golfwerking kan er in dit deel toe leiden dat de aangroei van slik in een pionierstadium blijft steken. Door golfwerking is de mogelijkheid aanwezig voor cyclische successie. Bij een storm kan een flinke hoeveelheid van het opgebouwde slik afslaan en de opbouw van het slik opnieuw beginnen. Het gebied ligt open voor de dominante windrichting en dus golfwerking. Cyclische successie wordt vanuit een ecologisch perspectief als positief ervaren omdat jonge slikken en schorren als meer waardevol worden beschouwd dan volgroeide successie stadia.

6.6 Kosten

Voor de aanleg van de strekdammen wordt uitgegaan van een stenen dam op een kraagstuk. De kruinhoogte van de dam wordt aangenomen op 2 meter boven het bestaande maaiveld, en de kruinbreedte eveneens op 2 meter. Let op dat het model uitgaat van strekdammen tot boven hoogwater, bij de berekening van de kosten is geanticipeerd op een lagere hoogteligging van de dammen.

De totale steenbehoefte van een nieuw aan te leggen strekdam wordt daarmee geraamd op ongeveer 12m^3/m'. Voor de ophoging van de bestaande strekdam is vermoedelijk wat minder steen nodig. De kostenraming voor deze dam is gebaseerd op een steenvolume van 10m^3/m'.

Er is gerekend met eenheidsprijzen voor een kraagstuk (met geotextiel maar exclusief stortsteen) van EUR 20/m^2. Voor stortsteen, in het werk aangebracht, wordt gerekend met een prijs van EUR 50/m^3 (inclusief alle bijkomende kosten), zodat de totale kosten op deze wijze worden geraamd op EUR 1.100.000.

6.7 Conclusie

Geconcludeerd kan worden dat door de aanleg van twee strekdammen bij Bath sedimentatie op zal treden op de harde veenlaag. De modeluitkomsten in het oostelijk deel van het gebied zijn echter onzeker, omdat hier ook al in de referentie situatie sedimentatie wordt berekend, hetgeen in werkelijkheid niet gebeurt. Daarom is de conclusie dat sedimentatie zal optreden op de veenlaag voor het oostelijke deel minder stellig dan voor het westelijke deel van de slikken van Bath. Er bestaat een risico voor schade aan de bestaande geulwandverdediging door de erosiekuil die gaat ontstaan voor de strekdammen. Golfwerking is niet meegenomen is de modellering, hierdoor is de berekende sedimentatie wellicht te positief. Daarnaast kan golfwerking tijdens stormen ook zorgen voor een cyclische successie.

Door de strekdammen te optimaliseren zijn de hoogteligging tussen de dammen en de negatieve effecten zoals de erosiekuil te verbeteren.

De aanlegkosten worden geschat rond de 1.1 miljoen euro. Initieel is 58 hectare laagdynamisch gebied gecreëerd door aanleg van de strekdammen. Sedimentatie als gevolg van de ingreep vindt plaats over ongeveer 120 hectare na 10 jaar. Het morfologische effect van de ingreep is dus groter dan de 58 hectare die laagdynamsch geworden is.

7 PROJECTGEBIED 2: OEVERZONE BIJ BAALHOEK

7.1 Huidige situatie

De oeverzone bij Baalhoek ligt aan de zuidkant van de Westerschelde, zie Figuur 3.1. Het gebied ligt ten zuiden van de geul het “Zuidergat”, zie Afbeelding 7.1. Het intergetijdengebied wordt gekenmerkt door 41 hectare veen aan de geulrand, zie Tabel 7.1. De stroming over deze harde veenlaag is dusdanig groot dat van sedimentatie geen sprake is. De ecologische waarde van de hoogdynamische harde veenlaag is beperkt, vanwege het geringe aantal dier- en plantensoorten. Hoger in het intergetijdengebied is slik aanwezig. Als gevolg van de hoge dynamiek vindt nauwelijks of geen slikaangroei plaats. Over 6 hectare tegen de dijk aan is beginnende schorontwikkeling te zien (Tabel 7.1).

Geomorfologische eenheid	hoog/laagdynamisch	Beddingvorm	oppervlakte (ha)
Schor	laagdynamisch		6
Kreek			2
Plaat/slik	laagdynamisch	zand	14
Plaat/slik	laagdynamisch	slib/zand	28
Plaat/slik	laagdynamisch	slib	34
Plaat/slik	hoogdynamisch	2D megaribbels	1
Plaat/slik	hoogdynamisch	vlak	25
Plaat/slik	hoogdynamisch	ruggen	0,2
Veen (Hard substraat)	hoogdynamisch		41

Tabel 7.1: Geomorfologische indeling van het intergetijdengebied bij Baalhoek

Het Zuidergat is in de afgelopen decennia door uitbochtingsprocessen verder naar het zuiden komen te liggen. Om verdere erosie tegen te gaan is de zuidelijke geulwand van het Zuidergat in de jaren ’90 verdedigd. Deze bestorting is te zien als zwarte lijn op de overgang van de geul naar het intergetijdengebied in Afbeelding 7.1.

7.2 Voorstel voor ingreep

Doelstelling bij het projectgebied Baalhoek is om de harde veenlaag te laten sedimenteren, zodat ecologisch een meer interessant gebied kan ontstaan. Het beste middel om het doel te bereiken bestaat uit het aanleggen van strekdammen, loodrecht op de dijk. Hierdoor wordt de stroming op de harde veenlaag belemmerd en zal een meer stroomluw gebied ontstaan. Bij Baalhoek worden 2 strekdammen voorzien vanaf de dijk die doorlopen tot de bestaande geulwandverdediging, zie Afbeelding 7.1. Deze strekdammen zijn eenvoudig aan te leggen tegen relatief geringe kosten. De meest oostelijke strekdam is reeds aanwezig, maar de hoogte hiervan is zodanig dat deze tijdens hoogwater onderloopt. De hoogte van de strekdammen wordt vooralsnog verondersteld tot boven hoogwater te liggen, zodat deze nooit zullen overstromen. In een verder ontwerpproces kan de hoogte en de ligging van de strekdammen verder geoptimaliseerd worden. De ingreep zoals hier besproken wordt met behulp van het morfodynamisch model FINEL2d doorgerekend en de resultaten worden besproken in de volgende paragraven.



Afbeelding 7.1: Projectgebied Baalhoek met voorstel voor ingreep (geel); Bron: Google Earth

7.3 Hydrodynamische uitkomsten

7.3.1 Algemeen

Aan de hand van het bestaande model van de Westerschelde (zie Hoofdstuk 4 en 5) is het rekenrooster rond Baalhoek verfijnd tot een roostermaat van rond de 10 meter. (zie Figuur 7.1). Alle invoerbestanden, zoals de bodemhoogte, ruwheid en harde lagen zijn specifiek aangepast voor dit rooster. Zie Appendix B voor een uitgebreide beschrijving van de invoerfiles.

7.3.2 Stroming

De stroomsnelheden van het FINEL2d model tijdens maximum vloed- en ebstroming zijn gegeven in Figuur 7.2a en 7.2b. De verschilsnelheden zijn gegeven in Figuur 7.2c.

Maximum vloed stroming

Tijdens maximum vloed is de stroming in het Zuidergat in de referentie situatie meer dan 1 m/s (Figuur 7.2.a). Op de ondiepe intergetijdengebieden vlak naast de vaargeul vindt slechts een kleine afname plaats van deze snelheid in de referentie situatie: het stroomt veelal boven de 0.6 m/s. Pas op de hoger gelegen delen vlak tegen de dijk aan neemt de stroomsnelheid af tot een paar dm/s.

Door het creëren van twee strekdammen vindt er een sterke stroomverlamming plaats tijdens vloed. Vrijwel het gehele intergetijdengebied laat een grote afname van de stroomsnelheden zien. Ook ontstaat er als gevolg van loslating van de stroming rond de koppen van de strekdammen neervorming direct stroomafwaarts van de dammen.

Tijdens vloed is een sterke dwarsstroming bij de strekdammen richting de hoofdgeul te zien van ongeveer 1 m/s. Mogelijk heeft dit nadelige nautische effecten. Bij een verdere uitwerking van dit alternatief in een volgende fase moet onderzocht worden of dit daadwerkelijk nadelige effecten voor scheepvaart heeft.

Maximum eb stroming

In de referentie situatie is de maximum eb stroming rond de 0.8 m/s in het Zuidergat (Figuur 7.2.b). Ook hier geldt, net zoals bij de vloed stroming, dat het intergetijdengebied sterk meestroomt met de stroming in de hoofdgeul in de referentiesituatie. De stroomsnelheden zijn boven de 0.4 m/s.

De invloed van de voorgestelde strekdammen is zodanig dat tijdens maximum ebstroming de stroomsnelheden in het interessegebied sterk afnemen met een aantal dm/s. Ook hier is neervorming te zien stroomafwaarts van de strekdammen, maar minder sterk als bij de vloedstroming.

7.3.3 Oppervlakte hoog/laagdynamisch

De geomorfologische kartering van het gebied is te zien in Figuur 7.3. Door de maximum stroomsnelheden tijdens een getij over de geomorfologische kartering van het gebied te plotten kan afgeleid worden dat de overgang van hoog naar laagdynamisch gebied (overgang rood/blauw) plaatsvindt bij ongeveer 0.6 m/s in dit gebied. Een eerste voorwaarde voor het ontstaan van slikken is laagdynamische omstandigheden. Het initiële effect van de ingreep is nu uit te drukken in het verschil in oppervlak hoog/laagdynamisch gebied, zie Tabel 7.2. De oppervlaktes zijn bepaald binnen een contour die het gehele projectgebied omvat.

	Hoogdynamisch (>0.6 m/s)	Laagdynamisch (<0.6 m/s)
Huidige situatie	136	68
Ingreep situatie	75	129
Verschil:	-61	61

Tabel 7.2: Verschil oppervlakte hoog/laagdynamisch (hectare) direct na aanleg

Uit Tabel 7.2 blijkt dat er direct na de ingreep 61 hectare extra laagdynamisch gebied gecreëerd wordt door de ingreep. Of dit gebied daadwerkelijk zal aanslibben en ophogen moet blijken uit de morfologische berekening in de volgende paragraaf.

7.4 Morfologische uitkomsten

7.4.1 Bodem en slibgehalte ontwikkeling

Met het FINEL2d model zijn de ontwikkelingen voor zowel de referentie situatie als de ingreep situatie doorgerekend. De ingreep situatie laat een sterke sedimentatie zien op

het intergetijdengebied (Figuur 7.4). Het gebied tussen de dammen en ten oosten en westen ervan wordt sterk opgehoogd. In Figuur 7.5 wordt duidelijk dat direct naast de geul een sterke sedimentatie van slib plaatsvindt. In de eindsituatie ontstaan geultjes die het gebied achter de rug met slib afwateren. De relatieve bodem en slibgehalte ontwikkelingen zijn te zien in Figuur 7.6. Hieruit blijkt duidelijk dat de ingreep een sterke sedimentatie tot gevolg heeft. Op de Plaat van Walsoorden treedt erosie op als gevolg van de bouw van de dammen volgens het model. Ook in de hoofdgeul is een erosiekuil te zien. In de referentie situatie blijft een groot deel van het intergetijdengebied vrij van sedimentatie, hetgeen in overeenstemming is met de werkelijkheid, zie hiervoor Figuur 7.7 waar een aantal dwarsprofielen geplot zijn.

Uit de ontwikkeling komt een beeld dat in overeenstemming is met de theoretische beschouwingen in Hoofdstuk 2: in eerste instantie ontstaat een rug van slib langs de hoofdgeul in het model, hetgeen in overeenstemming is met de zogenaamde oeverwalvorming uit Hoofdstuk 2. Achter de oeverwal ontstaat hierdoor een kom. In een nog verder stadium ontstaan geultjes die het komsysteem afwateren op de hoofdgeul. Het feit dat het model ontwikkelingen laat zien die met een theoretische beschouwing verwacht mogen worden geeft vertrouwen in de modeluitkomsten.

7.4.2 Areaal ontwikkeling

De hypsometrische kromme van het projectgebied Baalhoek is gegeven in Figuur 7.8. Te zien is hoe laag intergetijdengebied (tussen de –3 en +1m NAP) plaats moet maken voor hoger gelegen intergetijdengebied, met name tussen de 1 en 3m + NAP.

Ongeveer 75 hectare in het projectgebied zal extra sedimenteren. Deze 75 hectare is bepaald door het oppervlak van de sedimentatie in Figuur 7.6 te bepalen.

Door de ingreep is initieel 61 hectare laagdynamisch gebied gerealiseerd, beoordeeld op basis van stroomsnelheden (Paragraaf 7.3.2). Dit gebied valt binnen deze 75 hectare. Het gesedimenteerde oppervlak is iets groter dan alleen het extra laagdynamische gebied zoals dat is begrensd op basis van stroomsnelheden.

7.4.3 Modelonzekerheden

Doordat het model in de referentie situatie goed berekent dat het gebied op de veenlaag grotendeels gevrijwaard blijft van sedimentatie is er een basis voor vertrouwen in het model. Ook het feit dat de bodemontwikkelingen theoretisch gezien kloppen (oeverwal, komvorming en ontstaan geulen) geeft vertrouwen in de modeluitkomsten.

In Hoofdstuk 5 is gebleken dat de aanslibbing van het model te snel plaatsvindt. Dit wordt waarschijnlijk grotendeels veroorzaakt door het feit dat er geen consolidatie van slib meegenomen wordt in het model. Dit zal er waarschijnlijk voor zorgen dat de ontwikkelingen te snel berekend worden.

Geconcludeerd kan worden dat vertrouwd kan worden op de ontwikkelingen die het model berekent, maar de berekende eindsituatie van 10 jaar zal waarschijnlijk later optreden.

7.5 Ecologie

Door de voorgestelde ingrepen in projectgebied Baalhoek vindt aan beide zijden van de strekdammen aanzienlijke ophoging van de bodem plaats zodat periodiek droogvallend gebied ontstaat. Het slibgehalte is aanvankelijk hoog. In het proces van ophoging ontstaan mogelijk eb- en vloedgeultjes. Door de ontwikkeling naar een vlakkere bodem ontstaan naar verwachting mogelijkheden voor de vestiging van Zeekraal. Als de bodem tot 0 NAP is opgeslibt start de ontwikkeling van voedselrijk slik. Het voedselrijke slik heeft een belangrijke functie als foerageergebied voor steltlopers en eenden. Na een periode van naar schatting 5 jaar wordt de ontwikkeling van slijkgrasbulten verwacht, die de aanzet tot beginnende schorontwikkeling mogelijk maakt. Het op deze wijze uitgebreide schor zal een belangrijk leefgebied worden voor broedende en overtijende vogels. Op termijn van circa tien jaar zijn naar verwachting alle genoemde habitats aanwezig: schor langs de randen, slijkgras als lappendeken, met eb- en vloedgeultjes en slik ertussen. De voorste band langs de geul blijft slik.

De geschetste ontwikkelingen doen zich ten dele ook voor in de autonome situatie zonder ingreep. Het betreft met name de verdere ontwikkeling van slikken langs de dijk, deze gebieden zullen na de eerste vestiging van plantengroei versneld opslibben en jong schor vormen. Het eerste moment van vestiging van plantengroei is bepalend voor het tempo waarin schorren zullen ontstaan.

Hoewel de werkelijke snelheid van opslibbing door de ingreep nog onzeker is, lijkt een minder snelle ontwikkeling in het gebied wenselijk met het oog op een evenwichtiger verdeling van de verschillende typen aan laagdynamische milieus. Met andere woorden: een minder snelle en beperkte ophoging van de slikken zal voor relatief meer voedselrijk slik en minder jong schor leiden. Een langzamere ontwikkeling kan worden bereikt door kleinere dimensionering van de aan te leggen strekdammen.

7.6 Kosten

Voor de aanleg van de stekdammen wordt uitgegaan van een stenen dam op een kraagstuk. De kruinhoogte van de dam wordt aangenomen op 2 meter boven het bestaande maaiveld, en de kruinbreedte eveneens op 2 meter. Let op dat het model uitgaat van strekdammen tot boven hoogwater, bij de berekening van de kosten is geanticipeerd op een lagere hoogteligging van de dammen.

De totale steenbehoefte van een nieuw aan te leggen strekdam wordt daarmee geraamd op ongeveer 12m^3/m'. Voor de ophoging van de bestaande strekdam is vermoedelijk wat minder steen nodig. De kostenraming voor deze dam is gebaseerd op een steenvolume van 10m^3/m'.

Er is gerekend met eenheidsprijzen voor een kraagstuk (met geotextiel maar exclusief stortsteen) van EUR 20/m^2. Voor stortsteen, in het werk aangebracht, wordt gerekend met een prijs van EUR 50/m^3 (inclusief alle bijkomende kosten).

De totale kosten van de strekdammen op de slikken van Baalhoek worden op deze wijze geraamd op EUR 750.000.

7.7 Conclusie

Door het creëren van twee strekdammen op het intergetijdengebied bij Baalhoek vindt er een sterke sedimentatie plaats van het intergetijdengebied volgens het morfodynamische model FINEL2d. Goede mogelijkheden zijn aanwezig voor natuurherstel. Er bestaat een aanzienlijk vertrouwen in de resultaten doordat de referentie situatie goed berekend kan worden en omdat de ontwikkelingen vanuit een theoretisch perspectief verklaard kunnen worden. Er is een risico dat op de Plaat van Walsoorden erosie zal optreden als gevolg van de ingreep.

Optimalisatie van het ontwerp van de strekdammen dient plaats te vinden, zodat de hoogteligging van het intergetijdengebied beter aansluit bij de gewenste ligging voor de ecologie en de negatieve neveneffecten tegengegaan wordt.

De kosten van de aanleg van de dammen worden geschat op 750.000 euro. Sedimentatie zal optreden in een gebied van ongeveer 75 hectare als gevolg van de ingreep. Binnen deze 75 hectare is 61 hectare dat door de ingreep laagdynamisch gebied geworden is.

8 PROJECTGEBIED 3: OEVERZONE BIJ KNUITERSHOEK

8.1 Huidige situatie

Aan de oostkant van de geul de “Overloop van Hansweert” ligt een intergetijdengebied genaamd “Knuitershoek”, zie Figuur 3.1 en Afbeelding 8.1. Dit gebied is laag gelegen in het intergetijdengebied (het merendeel tussen de –1 en –2m NAP). Aan de oppervlakte is over 9 hectare een harde veenlaag aanwezig, zie Tabel 8.1. De stroomsnelheden zijn dusdanig groot dat er geen sedimentatie plaatsvindt. Om deze redenen kan bodemleven niet of nauwelijks ontwikkelen en is het gebied voor slechts een beperkt aantal soorten geschikt leefgebied. Aan de geulkant is de geulwand bestort om verdere landwaartse erosie van de geul tegen te gaan. Dit is te zien als zwarte lijn tussen de geul en het intergetijdengebied in Afbeelding 8.1. In het gebied zijn enkele laag gelegen strekdammen die loodrecht op de dijk staan aanwezig.

In de bestaande situatie is in het zuidelijke ‘vak’ bij het schelpenstrand (Afbeelding 8.1) sprake van reeds bestaande slikken als laagdynamische natuur. De grootte van dit gebied is in totaal 30 hectare (Tabel 8.1). De stroomsnelheden in de luwe oostelijke hoek nabij het schelpenstrandje zijn voldoende laag voor slikvorming.

Geomorfologische eenheid	hoog/laagdynamisch	Beddingvorm	oppervlakte (ha)
Schor	laagdynamisch		0,4
Plaat/slik	laagdynamisch	zand	3
Plaat/slik	laagdynamisch	slib	27
Plaat/slik	hoogdynamisch	vlak	0,2
Veen (hard substraat)	hoogdynamisch		9
duinen			0,6

Tabel 8.1: Geomorfologische indeling van het intergetijdengebied bij Knuitershoek

8.2 Voorstel voor ingreep

De voorgestelde ingreep bestaat uit het aanleggen (of ophogen van bestaande) strekdammen. Hierdoor wordt een laagdynamisch gebied gecreëerd op het intergetijdengebied met potentieel slikontwikkeling.

In het zuiden wordt de bestaande strekdam opgehoogd. Het gebied hier is al laagdynamisch, maar deze extra dam zorgt er wel voor dat potentieel schorontwikkeling kan plaatsvinden bij het schelpenstrand.



Afbeelding 8.1: Projectgebied Knuitershoek met voorstel voor ingreep (geel); Bron: Google Earth

8.3 Hydrodynamische uitkomsten

8.3.1 Algemeen

Voor het doorrekenen van de referentie en de ingreep situatie met FINEL2d is het noodzakelijk het rekenrooster te verfijnen om zodoende voldoende detail in het interessegebied te krijgen. Het bestaande rekenrooster is daarom verfijnd tot een resolutie ongeveer 10m, zie Figuur 8.1. Bij het nieuwe verfijnde rooster zijn de strekdammen apart opgenomen in het rekenrooster zodat deze goed geschematiseerd worden. Alle invoerfiles zoals de hoogteligging, harde lagen en bodemruwheid zijn aangepast op dit rooster. Zie voor een uitgebreide beschrijving van de bouw van het rooster en de invoerbestanden Appendix B.

8.3.2 Stroming

De stroombeelden van het FINEL2d model van de referentie en de ingreep situatie tijdens een maximum vloed en eb situatie zijn te zien in Figuur 8.2a en 8.2b. De verschil snelheden zijn te zien in Figuur 8.2c.

Maximum vloedstroming

De vloedsnelheden laten hoge snelheden zien in de vaargeul (> 1m/s), zie Figuur 8.2.a. Op het intergetijdengebied bij Knuitershoek zijn hoge snelheden te zien in de referentie situatie van boven de 0.6 m/s. Dit komt overeen met het feit dat dit een hoogdynamisch gebied is. Het gebied bij het schelpenstrand dat net ten zuiden van het Knuitershoek gebied ligt laat minder hoge snelheden zien tot enkele dm/s. Dit gebied is laagdynamisch en dit klopt dus met de modeluitkomsten.

Door het aanleggen en ophogen van strekdammen vindt een grote stroomverlamming plaats op het intergetijdengebied. De grote stroomsnelheden komen niet meer voor. De stroomsnelheden bedragen nog maar enkele dm/s. In het vak bij het schelpenstrand ontstaat neervorming. Hierdoor neemt de stroming vlak langs de geul wel af, maar neemt de stroming vlak langs de dijk toe door de zuidelijke retourstroming.

Maximum ebstroming

De maximale ebsnelheden in de geul lopen op tot 0.6 – 0.8 m/s, zie Figuur 8.2.b. Op het intergetijdengebied bij Knuitershoek bedraagt de stroomsnelheid in de referentiesituatie 0.4 – 0.6 m/s. De ingreep situatie toont een beeld met snelheden tot hooguit 0.3 m/s. Het verschilplaatje (Figuur 8.2.c) geeft aan dat de snelheden afnemen met maximum 0.5 m/s.

8.3.3 Oppervlakte hoog/laagdynamisch

De geomorfologische kartering van het gebied is te zien in Figuur 8.3. Door de maximum stroomsnelheden tijdens een getij over de geomorfologische kartering van het gebied te plotten kan afgeleid worden dat de overgang van hoog naar laagdynamisch gebied (overgang rood/blauw) plaatsvindt bij ongeveer 0.6m/s in dit gebied. Een eerste voorwaarde voor het ontstaan van slikken is laagdynamische omstandigheden. Het initiële effect van de ingreep is nu uit te drukken in het verschil in oppervlak hoog/laagdynamisch gebied, zie Tabel 8.2. De oppervlaktes zijn bepaald binnen een contour die het gehele projectgebied omvat.

	Hoogdynamisch (>0.6 m/s)	Laagdynamisch (<0.6 m/s)
Huidige situatie	36	43
Ingreep situatie	14	65
Verschil:	-22	22

Tabel 8.2: Verschil oppervlakte hoog/laagdynamisch (hectare) direct na aanleg

Uit Tabel 8.2 blijkt dat er direct na de ingreep 22 hectare extra laagdynamisch gebied gerealiseerd wordt door de ingreep. Of dit gebied daadwerkelijk zal aanslibben en ophogen moet blijken uit de morfologische berekening in de volgende paragraaf.

8.4 Morfologische uitkomsten

8.4.1 Bodem en slibgehalte ontwikkeling

De morfologische ontwikkelingen worden doorgerekend met de referentie situatie en de ingreep situatie. Figuur 8.2 laat de bodemligging zien van de ingreep situatie direct na aanleg en de situatie na 10 jaar. Te zien is hoe het gebied sterk sedimenteert. Tussen de strekdammen wordt veel slib afgezet (Figuur 8.3). Ten opzichte van de referentie situatie wordt duidelijk dat met name het noordelijk deel van het gebied (tussen de drie noordelijkste strekdammen) profiteert van de stroomverlamming, zie Figuur 8.4.

Verder komt naar voren uit Figuur 8.4 dat er potentieel erosie bij de kop van de strekdammen tot onder geulwandbestorting voorkomt. Dit is een potentieel gevaar voor de stabiliteit van de geulwandbestorting. In een eventuele vervolgfase dient hier uitdrukkelijk rekening mee gehouden te worden.

Het zuidelijk gedeelte bij het schelpenstrand is reeds in de huidige situatie laagdynamisch, hierdoor slibt het in de autonome situatie volgens het model reeds sterk aan. Het bodemverschil ten opzichte van de ingreep situatie is dan ook niet erg groot, zie raai A en B in Figuur 8.5, waar enkele representatieve dwarsdoorsneden zijn getoond. In hoeverre dit gebied in de huidige situatie sedimenteert en dus hoe het model hier presteert is onduidelijk.

Uit Figuur 8.5 blijkt verder dat de bodemhoogte van het hoogdynamische noordelijke gedeelte (raai C en D) in de autonome ontwikkeling min of meer constant blijft. Dit is in overeenstemming met de werkelijkheid. Pas door het aanleggen van de strekdammen is de stroomsnelheid voldoende klein geworden om sedimentatie mogelijk te maken.

Deze ontwikkelingen geven aan dat er in principe goede omstandigheden worden geschapen voor het ontstaan van slikken in het noordelijke gedeelte van het gebied, alhoewel rekening gehouden dient te worden met golfwerking vanuit de Westerschelde. Het projectgebied Knuitershoek ligt redelijk open naar het zuidwesten voor inkomende golven, zie verder Paragraaf 8.4.3.

8.4.2 Areaal ontwikkeling

De bodemhoogte van het gebied is samengevat in Figuur 8.6 waar de hypsometrische kromme is gegeven. In het algemeen kan gezegd worden dat er een verschuiving plaatsvindt van laag intergetijdengebied (<0m NAP) naar hoog intergetijdengebied (>0m NAP), waarbij de meeste winst bepaald wordt tussen +1 en +2m NAP.

Ongeveer 30 hectare in het projectgebied zal extra sedimenteren. Deze 30 hectare is bepaald door het oppervlak van de sedimentatie in Figuur 8.4 te bepalen.

Door de ingreep is initieel 22 hectare laagdynamisch gebied gerealiseerd, beoordeeld op basis van stroomsnelheden (Paragraaf 8.3.2). Dit gebied valt binnen de 30 hectare gesedimenteerd gebied. Het effect van de extra sedimentatie als gevolg van de ingreep is dus groter dan alleen het extra laagdynamische gebied zoals dat is begrensd op basis van stroomsnelheden.

8.4.3 Modelonzekerheden

De modeluitkomsten in het noordelijke gedeelte van het projectgebied Knuitershoek vertonen een grote mate van overeenkomst met de werkelijkheid voor de referentie situatie. In beide gevallen vindt er nauwelijks of geen aanslibbing plaats op het intergetijdengebied. Doordat het model de referentie situatie goed kan uitrekenen is er vertrouwen in de modeluitkomsten in het noordelijke gedeelte.

Het zuidelijke gedeelte van het gebied bij het schelpenstrand is reeds laagdynamisch in de huidige situatie. Hierdoor sedimenteert het model reeds in de autonome ontwikkeling. In hoeverre dit proces nu al aan de gang is, is onduidelijk. Voorzichtigheid is geboden bij de uitkomsten in dit gebied.

Een ander proces dat niet meegenomen wordt in de modellering is golfwerking. Golfwerking zorgt voor opwoeling van sediment. Juist in dit gebied kan golfwerking invloed hebben aangezien het gebied open ligt naar het zuidwesten, waar de meeste wind en dus golven vandaan komen. Hierom dienen de uitkomsten met de nodige voorzichtigheid behandeld te worden.

Verder dient opgemerkt te worden dat de aanslibbing waarschijnlijk te snel verloopt in het model, zoals gevonden in de calibratie van Hoofdstuk 5. De situatie zoals getoond in de figuren is waarschijnlijk een situatie met een grotere tijdschaal dan 10 jaar.

Ook dient opgemerkt te worden dat de slibgehaltes waarschijnlijk overschat worden in het model doordat er geen rekening gehouden wordt met fijnere zandfracties (zie ook Hoofdstuk 5), die verder achterin het gebied kunnen komen. Golfwerking zorgt verder voor een uitwisseling van slib met zand.

8.5 Ecologie

De morfologische ontwikkeling laat een sterke variatie zien binnen het projectgebied Knuitershoek, dit heeft ook zijn weerslag op de ecologische ontwikkeling. Het zuidelijke vak zoals aangegeven in Figuur 8.7 met doorsnede A, laat relatief weinig verandering zien. Het gevolg is dat het ecologische effect naar verwachting laag zal zijn. Voor het noordelijker gelegen vak met de doorsnede B leidt de voorgestelde ingreep tot dezelfde effecten die ook in de autonome situatie optreden. Het huidige schelpenstrandje zal onder natuurlijke omstandigheden de aanzet kunnen zijn voor beginnende schorvorming. De aanleg van strekdammen lijkt dat proces maar weinig te beïnvloeden. De uitkomsten van het zuidelijke vak zijn echter met een grote mate van onzekerheid omgeven, aangezien het onduidelijk is of het model in de autonome ontwikkeling goede resultaten kan reproduceren.

In de twee noordelijkste vakken, aangegeven met C en D in Figuur 8.7, leidt de ingreep tot het ontstaan van slik dat autonoom nauwelijks van de grond komt. Voor deze vakken voegt de ingreep dus duidelijk wel iets toe. Als gevolg van de maatregelen ontstaan luwtegebieden tussen de strekdammen. Slibaangroei zal plaatsvinden tot deels boven en deels beneden 0 NAP. Beneden 0 NAP zal laaggelegen voedselrijk slik ontstaan. Indien verdere ophoging tot boven NAP plaatsvindt, verdwijnt de helling uit de plaat en ontstaan mogelijk eb-vloed-stroomgeultjes. Op het slik zal door het ontstaan van plantengroei beginnende slijkgras-schorvorming ontstaan. De eerste jaren zal een vrij

eenvormig beeld ontstaan als gevolg van de vrij vlakke opslibbing. Na een tiental jaren kan het beeld nog steeds éénvormig zijn, maar mogelijk ontstaat er meer diversiteit indien delen van het plangebied snel doorgroeien naar schor met slijkgrasvegetatie of Atlantische schorren. Voedselrijk slik zal worden gebruikt als foerageergebied voor steltlopers en eenden. Als gevolg van de recreatieve medegebruiksfunctie van de buitenberm zal de functie van het gebied als foerageergebied mogelijk beperkt zijn tot verder van de dijk gelegen gebieden.

De mogelijkheid bestaat dat opslibbing teniet wordt gedaan als gevolg van golfwerking bij stormen, dit betekent een onzekerheid in de voorspellingen van het model. De kans bestaat dat golfwerking leidt tot cyclische successie van slikopbouw en afbraak.

8.6 Kosten

Voor de aanleg van de strekdammen wordt uitgegaan van een stenen dam op een kraagstuk. De kruinhoogte van de dam wordt aangenomen op 2 meter boven het bestaande maaiveld, en de kruinbreedte eveneens op 2 meter. Let op dat het model uitgaat van strekdammen tot boven hoogwater, bij de berekening van de kosten is geanticipeerd op een lagere hoogteligging van de dammen.

De totale steenbehoefte van een nieuw aan te leggen strekdam wordt daarmee geraamd op ongeveer 12m^3/m'. Voor de ophoging van de bestaande strekdam is vermoedelijk wat minder steen nodig. De kostenraming voor deze dam is gebaseerd op een steenvolume van 10m^3/m'.

Er is gerekend met eenheidsprijzen voor een kraagstuk (met geotextiel maar exclusief stortsteen) van EUR 20/m^2. Voor stortsteen, in het werk aangebracht, wordt gerekend met een prijs van EUR 50/m^3 (inclusief alle bijkomende kosten).

De totale kosten van de strekdammen op de slikken van Knuitershoek worden op deze wijze geraamd op EUR 700.000.

8.7 Conclusie

Geconcludeerd kan worden dat op het smalle intergetijdengebied bij Knuitershoek mogelijkheden zijn voor natuurherstel door het aanleggen van strekdammen. Door de aanleg sedimenteert ongeveer 30 hectare tussen de dammen, waardoor mogelijkheden voor natuurrijke slikvorming aanwezig lijken te zijn. Binnen deze 30 hectare is initieel 22 hectare extra laagdynamisch gebied gecreëerd.

De aanleg van de dammen wordt geschat op 700.000 Euro. Risico op schade aan de bestaande geulwandverdediging is aanwezig, doordat erosiekuilen ontstaan rond de koppen van de strekdammen.

Rekening gehouden moet worden met het feit dat golfwerking niet in de modellering verdisconteerd zit, terwijl dit gebied open ligt voor de meest dominante windrichting vanuit het zuidwesten. Gevolg is dat de berekende sedimentatie wellicht te positief ingeschat wordt. Door de golfwerking is er kans op cyclische successie.

De strekdammen zijn nu doorgerekend op een hoogte boven hoogwater, zodat een zo maximaal mogelijke sedimentatie bereikt wordt. In een vervolgfase dienen de hoogtes en lengtes van de strekdammen geoptimaliseerd te worden, zodat de hoogteligging van het slik beter overeenstemt met de ecologische gewenste hoogteligging. Ook kunnen de negatieve neveneffecten van de ingreep verminderd worden.

9 PROJECTGEBIED 4: OEVERZONE BIJ HOOFDPLAATPOLDER

9.1 Huidige situatie

Bij het “Vaarwater langs Hoofdplaat” ligt een bestaand slikkengebied met op enkele plekken beginnende schorvorming. Dit gebied wordt in het vervolg “Hoofdplaatpolder” genoemd, zie Figuur 3.1 en Afbeelding 9.1. Het slik- en schorrengebied ligt tegen de dijk aan en is ongeveer 70 hectare groot (Tabel 9.1). Een klein vloedschaartje van het “Vaarwater langs Hoofdplaat” ligt net ten noorden van het slikkengebied. Een kleine hoogdynamische zandplaat ligt tussen dit vloedschaartje en het Vaarwater langs Hoofdplaat. Ten noorden van het Vaarwater langs Hoofdplaat is een uitgebreid platenstelsel aanwezig, welke de Hoge Platen worden genoemd. De zuidrand van deze platen zijn zeer slikrijk. In het gebied zijn nauwelijks harde lagen aanwezig aan de oppervlakte, zie Tabel 9.1. De geulen die aanwezig zijn kunnen vrij meanderen.

Geomorfologische eenheid	hoog/laagdynamisch	Beddingvorm	oppervlakte (ha)
Schor	laagdynamisch		8
Plaat/slik	laagdynamisch	zand	20
Plaat/slik	laagdynamisch	slib/zand	29
Plaat/slik	laagdynamisch	slib	14
Plaat/slik	hoogdynamisch	2D megaribbels	2
Plaat/slik	hoogdynamisch	3D megaribbels	2
Plaat/slik	hoogdynamisch	vlak	23
Plaat/slik	hoogdynamisch	ruggen	0,2
Veen (Hard substraat)	hoogdynamisch		1
duinen			0,4

Tabel 9.1: Geomorfologische indeling van het intergetijdengebied bij Hoofdplaatpolder

9.2 Voorstel voor ingreep

Het doel van dit specifieke projectgebied is om het bestaande slikken en schorrengebied verder uit te breiden. De beste mogelijkheid is om de twee bestaande strekdammen verder uit te bouwen en op te hogen, zie Afbeelding 9.1.

Door het aanleggen van de dammen wordt het vloedschaartje afgesloten en wordt een laagdynamisch gebied tussen de strekdammen gecreëerd. Verder zal het westelijk deel van het vloedschaartje naar alle waarschijnlijkheid sedimenteren en zal de plaat tussen het geultje en het Vaarwater langs Hoofdplaat naar alle waarschijnlijkheid eroderen. Deze maatregel lijkt derhalve kansen te beiden voor verdere schorontwikkeling en aangroei van slik tussen de strekdammen. Met het morfodynamisch FINEL2d model wordt gekeken of de maatregel daadwerkelijk het gewenste effect heeft.



Afbeelding 9.1: Projectgebied Hoofdplaatpolder met voorstel voor ingreep (geel) ; Bron: Google Earth

9.3 Hydrodynamische uitkomsten

9.3.1 Algemeen

Het FINEL2d model wordt gebruikt om de ingreep door te rekenen. Het bestaande rekenrooster van de Westerschelde is niet fijn genoeg om de gewenste mate van detail te kunnen berekenen. Daarom is het rekenrooster bij Hoofdplaatpolder verfijnd tot een roostergrootte van ongeveer 10m, zie Figuur 9.1. In Appendix B wordt beschreven hoe de overige invoerbestanden zoals de bodemligging, vaste lagen en ruwheid aangepast zijn op dit verfijnde rekenrooster.

9.3.2 Stroming

De stroomsnelheid is het dominantie proces dat de morfologie aandrijft. Door de stroombeelden te tonen ontstaat al vaak een beeld welke mogelijke morfologische reactie kan volgen. De vloedsnelheden zijn getoond in Figuur 9.2a, de ebsnelheden in Figuur 9.2b, en de verschilsnelheden zijn te zien in Figuur 9.2c.

Maximum vloedstroming

De maximale stroomsnelheden in de referentiesituatie zijn bij vloed in het “Vaarwater langs Hoofdplaat” meer dan 1 m/s. Het vloedschaartje laat met 0.8 m/s iets minder hoge snelheden zien in de referentiesituatie, zie Figuur 9.2a.

De strekdammen zorgen voor een afsluiting van het vloedschaartje. De stroming vanuit het vloedschaartje convergeert rond de kop van de westelijke dam. De stroomsnelheid laat hier dan ook een duidelijke verhoging zien tot boven de 1 m/s. Verder neemt de stroming in het "Vaarwater langs Hoofdplaat" toe met 0 – 0.3 m/s (Figuur 9.2.c). In het gebied tussen de strekdammen neemt de stroming aanzienlijk af en is neervorming te zien.

Maximum ebstroming

De maximale ebsnelheden in de huidige situatie bedragen 0.9 tot 1.0 m/s in het "Vaarwater langs Hoofdplaat", zie Figuur 9.2b.

Bij de ingreep situatie zorgen de strekdammen voor een algehele verhoging van de stroomsnelheden in het "Vaarwater langs Hoofdplaat" tot boven de 1 m/s. De stroomsnelheden in het gebied tussen de dammen neemt sterk af tot hooguit enkele dm/s. Ten westen van de westelijke dam is een grote afname van de stroomsnelheid te zien in het afgesloten vloedschaartje. Over de plaat die het vloedschaartje scheidt van het "Vaarwater langs Hoofdplaat" vindt een verhoging van de stroomsnelheid plaats tot 0.2 m/s.

9.3.3 Oppervlakte hoog/laagdynamisch

De geomorfologische kartering van het gebied is te zien in Figuur 9.3. Door de maximum stroomsnelheden tijdens een getij over de geomorfologische kartering van het gebied te plotten kan afgeleid worden dat de overgang van hoog naar laagdynamisch gebied (overgang rood/blauw) plaatsvindt bij ongeveer 0.6 m/s in dit gebied. Een eerste voorwaarde voor het ontstaan van slikken is laagdynamische omstandigheden. Het initiële effect van de ingreep is nu uit te drukken in het verschil in oppervlak hoog/laagdynamisch gebied, zie Tabel 9.2. De oppervlaktes zijn bepaald binnen een contour die het gehele projectgebied omvat.

	Hoogdynamisch (>0.6 m/s)	Laagdynamisch (<0.6 m/s)
Huidige situatie	244	45
Ingreep situatie	190	98
Verschil:	-54	54

Tabel 9.2: Verschil oppervlakte hoog/laagdynamisch (hectare) direct na aanleg

Uit Tabel 9.2 blijkt dat er direct na de ingreep 54 hectare extra laagdynamisch gebied gecreëerd wordt door de ingreep. Of dit gebied daadwerkelijk zal aanslibben en ophogen moet blijken uit de morfologische berekening in de volgende paragraaf.

9.4 Morfologische uitkomsten

9.4.1 Bodem en slibgehalte ontwikkeling

Met het FINEL2d model is de referentie en de ingreep situatie morfologisch doorgerekend voor 10 jaar. Tien jaar na aanleg van de strekdammen neemt de bodemhoogte in het gebied tussen de strekdammen sterk toe, zoals te zien is in Figuur 9.4. Een klein geultje blijft aanwezig om het gebied af te wateren. Ten westen van de

westelijke dam ontwikkelt een nieuw intergetijdengebied. Het afgesloten vloedschaartje sedimenteert. De plaat tussen het vloedschaartje en het Vaarwater langs Hoofdplaat erodeert doordat de ebstroming grotendeels over deze plaat stroomt (Figuur 9.2b). De sedimentatie in het gebied tussen en ten westen van de dammen bestaat voor een groot gedeelte uit slib (Figuur 9.5).

Door naar de relatieve veranderingen te kijken (de eindsituatie na de ingreep minus de eindsituatie bij autonome ontwikkeling) ontstaat inzicht in de effecten van de ingreep. Figuur 9.6 geeft de relatieve bodemontwikkelingen en de relatieve veranderingen in slibgehalte. De relatieve bodemontwikkelingen laten zien dat door de ingreep een duidelijke sedimentatie optreedt tussen de dammen en ten westen hiervan. Verder blijkt het Vaarwater langs Hoofdplaat maximaal 2m te gaan eroderen na 10 jaar. Het erosieve effect strekt tot de Hoge Platen (Coördinaat: X: 36.3km, Y: 378.2km). Ten westen van dit punt groeit de plaat gedeeltelijk weer aan (Coördinaat X: 33 tot 35.5km, Y: 378.7km) doordat de stroming naar het zuiden toe afbuigt over de plaat tussen het vloedschaartje en het Vaarwater langs Hoofdplaat. Hierdoor erodeert deze kleine hoogdynamische plaat zoals al eerder geconstateerd. Het gedeelte van het vloedschaartje ten zuiden van deze plaat sedimenteert. In het oosten van het vloedschaartje is dit met name slib en in het westen is dit met name zand.

In Figuur 9.6 is tussen de strekdammen aan de dijkzijde een relatieve afname (blauw) te zien in zowel de bodemontwikkeling als de slibgehaltes. Door te kijken naar de dwarsdoorsneden in Figuur 9.7 wordt duidelijk wat hier gebeurt. In de autonome ontwikkeling hoogt het bestaande intergetijdengebied dat aan de dijk gelegen is verder op volgens het model (zie dwarsdoorsnede C tussen de 200 en 300m). Door de ingreep zakt het slib al eerder uit in het gebied tussen de dammen waardoor minder slib terecht komt op de oorspronkelijke zone langs de dijk en dus minder snel ophoogt.

9.4.2 Areaal ontwikkeling

De ontwikkelingen in de bodemligging zijn samengevat in de hypsometrische kromme van het gebied, zie Figuur 9.8. Door het creëren van de dammen vindt een verschuiving van het dieper gelegen areaal (<0m NAP) naar het hoger gelegen areaal (>0m NAP). De grootste winst wordt geboekt in het areaal tussen +1 en +2m NAP.

Ongeveer 140 hectare in het projectgebied zal extra sedimenteren. Dit oppervlak is niet geheel intergetijdengebied, ook een gedeelte van de oude vloedschaar sedimenteert. Deze 140 hectare is bepaald door het oppervlak van de sedimentatie in Figuur 9.6 te bepalen.

Door de ingreep is initieel 54 hectare laagdynamisch gebied gerealiseerd, beoordeeld op basis van stroomsnelheden (Paragraaf 9.3.2). Dit gebied valt binnen de 140 hectare gesedimenteerd gebied. Het effect van de ingreep is dus groter dan alleen het extra laagdynamische gebied zoals dat is begrensd op basis van stroomsnelheden.

9.4.3 Modelonzekerheden

Het gebied tussen de strekdammen vertoont kenmerken van het oeverwal – kom systeem zoals beschreven in Hoofdstuk 2. Dwarsdoorsnede C en D in Figuur 9.7 laten een “oeverwal” zien bij de geul. Vlak naast de geul vindt de grootste afzetting van

sediment plaats. Verder naar de dijk toe is het gebied lager en ontstaan geulen (dwarsdoorsnede C). Doordat de kenmerken overeenkomen met de theorie uit Hoofdstuk 2 lijken de resultaten betrouwbaar.

De bodemontwikkelingen in de rest van het gebied zijn verklaarbaar en het logisch gevolg van de veranderingen in de stroomsnelheden. De resultaten lijken hier betrouwbaar.

Vermeld moet worden dat de mate van aanslibbing waarschijnlijk te hoog doordat consolidatie niet meegenomen wordt waardoor de tijdschaal van 10 jaar waarschijnlijk te laag is. Het gebied ligt zeer beschut voor golfwerking en het heeft naar verwachting geen invloed op de uiteindelijke bodemligging.

Geconcludeerd kan worden dat de bodemontwikkelingen van het model als betrouwbaar geacht mogen worden.

9.5 Ecologie

Op korte termijn wordt het vloedschaartje gedeeltelijk opgevuld. Tussen de strekdammen ontstaat aanzienlijke opslibbing. Er ontstaat zodoende zowel ondiep water als laaggelegen voedselrijke slikgebied. Tevens zal een deel van bestaand ondiep water verdwijnen ten gunste van nieuw slik. Op langere termijn van ongeveer tien jaar zullen geulen plaatselijk geheel verdwijnen en ontstaan nieuwe eb- en vloedstroomgeultjes.

De eerste vijf jaar is er sprake van een ecologisch vrij eenvormig beeld. Op termijn van vijf à tien jaar wordt beginnende plantengroei op het slik verwacht, en als gevolg daarvan beginnende schorvorming langs de dijk en tegen bestaand schor. Als gevolg van weinig afslag is de verwachting dat de ontwikkeling van schorren met slijkgrasvegetatie vrij snel kan plaatsvinden. Mede door de omvang en de nabije ligging van de platen en schorren in de omgeving kan de locatie een belangrijke functie krijgen als foerageergebied voor onder andere steltlopers en eenden.

Ook in de autonome situatie vinden er ontwikkelingen plaats in het gebied, met name voor wat betreft de ligging van geulen en platen. Er vindt nauwelijks opslibbing plaats tot voedselrijk slik. Langs de dijk tussen de twee dammen vindt autonoom een smalle zone met schorvorming plaats. De ingreep voegt dus in belangrijke mate nieuwe ontwikkelingen toe.

9.6 Kosten

Voor de aanleg van de strekdammen wordt uitgegaan van een stenen dam op een kraagstuk. De kruinhoogte wordt aangenomen op 5 meter boven het bestaande maaiveld omdat het maaiveld in dit geval op gemiddeld NAP –3m ligt. De kruinbreedte wordt aangenomen op 2 meter. Let op dat het model uitgaat van strekdammen tot boven hoogwater, bij de berekening van de kosten is geanticipeerd op een lagere hoogteligging van de dammen.

De totale steenbehoefte van de aan te leggen strekdammen wordt daarmee geraamd op ongeveer 60m^3/m'.

Er is gerekend met eenheidsprijzen voor een kraagstuk (met geotextiel maar exclusief stortsteen) van EUR 20/m^2. Voor stortsteen, in het werk aangebracht, wordt gerekend met een prijs van EUR 50/m^3 (inclusief alle bijkomende kosten).

De totale kosten van de strekdammen op de slikken van de Hoofdplaatpolder worden op deze wijze geraamd op EUR 3.400.000.

9.7 Conclusie

De oeverzone bij Hoofdplaatpolder biedt kansen voor natuurherstel door de aanleg van twee strekdammen. Modelresultaten laten zien dat er een groot extra intergetijdengebied gecreëerd kan worden door het natuurlijk laten sedimenteren van het gebied tussen en ten westen van de strekdammen. Er zijn mogelijkheden voor slikontwikkeling direct aan de geul. Aan de dijk zijn er mogelijkheden om het bestaande schorgebied uit te laten breiden. De kosten van een dergelijk alternatief worden geschat op 3.400.000 Euro. Door de ingreep vindt er extra sedimentatie plaats over een gebied van ongeveer 140 hectare. Binnen deze 140 hectare is initieel 54 hectare extra laagdynamisch gebied gecreëerd.

De geul het “Vaarwater langs Hoofdplaat” waaraan het intergetijdengebied ligt erodeert als gevolg van de toegenomen snelheden. Ook is niet uit te sluiten dat de Hoge Platen een effect van de strekdammen zullen ondervinden. De hoog dynamische plaat tussen het “Vaarwater langs Hoofdplaat” en het afgesloten vloedschaartje verdwijnt.

Indien de negatieve effecten op het “Vaarwater langs Hoofdplaat” en de Hoge Platen te groot geacht worden, kan door middel van een optimalisatie proces de ligging, hoogte en lengte van de dammen verder verbeterd worden. Ook kan de hoogte van het slikken- en schorrengebied geoptimaliseerd worden.

10 PROJECTGEBIED 5: NEVENGEUL "ZIMMERMAN"

10.1 Huidige situatie

Naast de deelopdracht "Oeverzones" is ook gekeken naar nevengeulen waar mogelijkerwijs natuurherstel kan plaatsvinden, zie Hoofdstuk 3. Dit hoofdstuk beschrijft de resultaten van de Zimmermangeul, een kleine geul in het oostelijk deel van de Westerschelde, zie Figuur 3.1.

De Zimmermangeul is gesitueerd tussen de Schaar van Waarde in het westen en de vaargeul (Overloop van Valkenisse/ Nauw van Bath) in het oosten, zie Afbeelding 10.1. De Platen van Valkenisse liggen ten zuiden van de Zimmermangeul. De ecologische waarde van deze hoogdynamische zandige platen is beperkt, vanwege het geringe aantal dier- en plantensoorten (o.a. zeehonden en vogels). Ten noorden van de Zimmermangeul ligt een slikkengebied tegen de dijk aan van enkele tientallen hectares (Tabel 10.1). Het schorrengebied van Waarde dat ten oosten van de oostelijke strekdam ligt in de invloedsfeer van de geul en bedraagt 27 hectare (Tabel 10.1). Een harde veenlaag is aanwezig aan de noordzijde van de Zimmermangeul van 16 hectare.

Geomorfologische eenheid	hoog/laagdynamisch	Beddingvorm	oppervlakte (ha)
Schor	laagdynamisch		27
Plaat/slik	laagdynamisch	zand	8
Plaat/slik	laagdynamisch	slib	60
Plaat/slik	hoogdynamisch	2D megaribbels	10
Plaat/slik	hoogdynamisch	3D megaribbels	9
Plaat/slik	hoogdynamisch	vlak	53
Veen (hard substraat)	hoogdynamisch		16

Tabel 10.1: Geomorfologische indeling van het intergetijdengebied bij Zimmerman

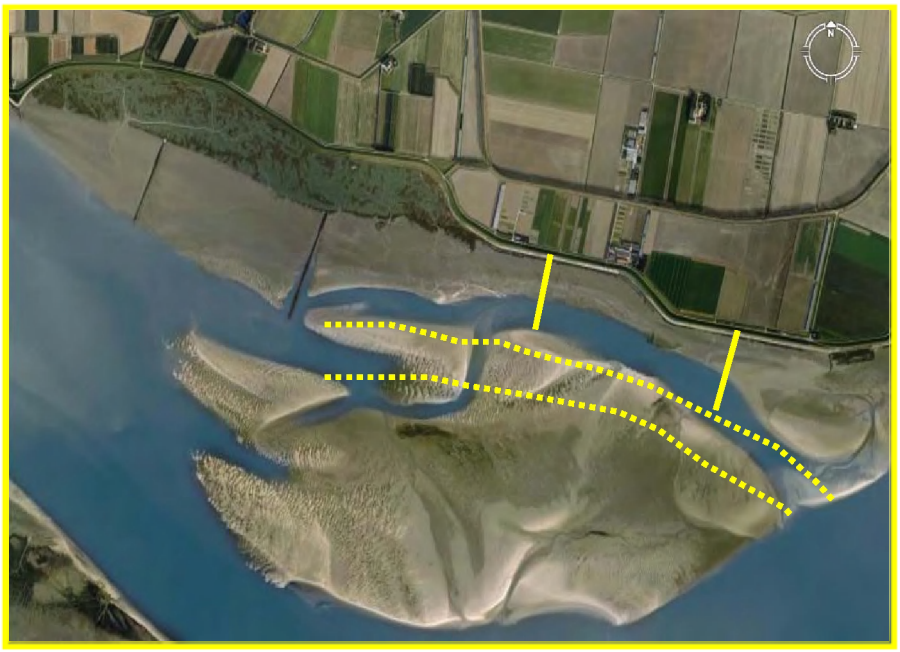
De bijdrage van de Zimmermangeul aan de totale waterbeweging door de Westerschelde is klein. De geul vertoonde de jaren 1985 tot 2000 een sedimenterende trend (RIKZ, 2001). De afgelopen jaren lijkt de geul weer te gaan eroderen. Dit hangt wellicht mede samen met de uitbouw van de strekdammen bij Waarde.

De slikken langs de Zimmermangeul zijn betrekkelijk smal, en worden aan de landzijde begrensd door de dijk. Daarentegen sluiten ze westelijk wel aan bij de slikken van Waarde, zodat ze daarmee een samenhangend geheel vormen. Uitbreiding van de slikken zou dus een versterking van dat samenhangend geheel van habitats kunnen betekenen.

De Zimmermangeul is vanwege de hoge dynamiek niet van grote ecologische waarde als ondiep water gebied. Wel is er een overgangszone met ondiep water in de overgang naar de slikken aan de landzijde van de geul. Deze situatie is anders dan de harde overgangen die aanwezig waren bij de vooroeverbestortingen langs de veenplaten in de eerste drie locaties.

10.2 Voorstel voor ingreep

Om het bestaande slikkengebied dat tegen de dijk aan gelegen is uit te breiden is het de bedoeling dat de Zimmermangeul naar het zuiden toe migreert. De maatregel bestaat dan ook uit de aanleg van 2 strekdammen vanaf de dijk die de Zimmermangeul grotendeels afsluiten. De hoogte van de strekdammen is zodanig dat deze nooit overstroomt zullen worden. Door de strekdammen zal naar verwachting de stroming zich verplaatsen naar het zuiden toe en hier een nieuwe Zimmermangeul creëren (gele gestippelde lijn in Afbeelding 10.1). Tussen de strekdammen zal een stroomluw gebied ontstaan waarbij sediment zal afzetten en nieuw intergetijdengebied zal kunnen ontstaan. Het gebied op de platen van Valkenisse waar de geul naar verwachting doorheen gaat lopen is ecologisch weinig waardevol. Of de ingreep daadwerkelijk het gewenste effect heeft wordt getoetst met het morfodynamisch model FINEL2d in de volgende paragraven.



Afbeelding 10.1: Projectgebied Zimmerman met voorstel voor ingreep (geel); Bron: Google Earth

10.3 Hydrodynamische uitkomsten

10.3.1 Algemeen

De autonome ontwikkeling en de ingreep situatie worden morfologisch doorgerekend met het FINEL2d modelinstrumentarium. De bestaande FINEL2d schematisatie van de Westerschelde (zie Hoofdstuk 4) is verfijnd in het gebied van de Zimmerman geul tot een resolutie van ongeveer 10m. Het uiteindelijke rooster is getoond in Figuur 10.1. In Appendix B worden de overige invoerbestanden beschreven zoals de bodemligging, vaste lagen en ruwheid.

10.3.2 Stroming

De stroombeelden van het model van de referentie en de ingreep situatie tijdens een maximum vloed en eb situatie zijn te zien in Figuur 10.2a en 10.2b voor de initiële bodemligging. De verschilsnelheden zijn te zien in Figuur 10.2c.

Maximum vloedstroming

De maximum vloedstroming in de Zimmermangeul bedraagt 0.6 – 0.8 m/s in de referentie situatie (Figuur 10.2a). Het water komt uit de Schaar van Waarde langs de oostelijke strekdam van de slikken bij Waarde (X: 65.5km, Y:379.5km). Hier is een stroomcontractie te zien rond de kop van de strekdam van 1 m/s.

Door de Zimmermangeul af te sluiten met behulp van de twee strekdammen is een algemene afname van de stroomsnelheid zichtbaar op de locatie van de “oude” Zimmermangeul. Rond de koppen van de strekdammen vindt een stroomcontractie plaats van 0.8 – 1.0 m/s. De stroming die vanaf het westen komt buigt om de westelijke strekdam heen het gebied tussen de strekdammen in en volgt hiermee gedeeltelijk de oude geul.

Over de platen van Valkenisse wordt de stroming verhoogd tot 0.7 m/s (X: 67.2km, Y: 378.8 km) omdat het water niet meer door de Zimmermangeul kan stromen.

Maximum ebstroming

Figuur 10.2b toont de maximum ebstroming. In de Zimmermangeul bedraagt deze rond de 0.6 – 0.7 m/s in de referentie situatie. Over de Platen van Valkenisse is de stroomsnelheid ongeveer 0.5 m/s.

Door de aanleg van de strekdammen wordt een algehele stroomverlamming in het gebied van de Zimmermangeul verkregen. Rond de koppen van de dammen is wederom een stroomcontractie te zien. Met name rond de oostelijk dam is de contractie aanzienlijk en loopt op tot 1 m/s. De stroomsnelheden op de Platen van Valkenisse nemen toe met 10 –30 cm/s tot 0.7 –0.8 m/s.

10.3.3 Oppervlakte hoog/laagdynamisch

De geomorfologische kartering van het gebied is te zien in Figuur 10.3. Door de maximum stroomsnelheden tijdens een getij over de geomorfologische kartering van het gebied te plotten kan afgeleid worden dat de overgang van hoog naar laagdynamisch gebied (overgang rood/blauw) plaatsvindt bij ongeveer 0.5 m/s in dit gebied. Een eerste voorwaarde voor het ontstaan van slikken is laagdynamische omstandigheden. Het initiële effect van de ingreep is nu uit te drukken in het verschil in oppervlak hoog/laagdynamisch gebied, zie Tabel 10.2. De oppervlaktes zijn bepaald binnen een contour die het gehele projectgebied omvat.

Uit Tabel 10.2 blijkt dat er direct na de ingreep 166 hectare extra laagdynamisch gebied gecreëerd wordt door de ingreep. Dit is een groot gebied. Een groot gedeelte van de oorspronkelijke geul en omgeving wordt laagdynamisch. Of dit gebied daadwerkelijk zal

aanslibben en ophogen moet blijken uit de morfologische berekening in de volgende paragraaf.

	Hoogdynamisch (>0.5 m/s)	Laagdynamisch (<0.5 m/s)
Huidige situatie	204	90
Ingreep situatie	38	255
Verschil:	-166	166

Tabel 10.2: Verschil oppervlakte hoog/laagdynamisch (hectare) direct na aanleg

10.4 Morfologische uitkomsten

10.4.1 Bodem en slibgehalte ontwikkeling

FINEL2d is gebruikt om de morfologische effecten van de ingreep te berekenen. De initiële bodemligging en de bodemligging na 10 jaar met de ingreep is te zien in Figuur 10.4. Door het afsluiten van de Zimmermangeul ontstaat er een sterke morfologische reactie in het gebied. De “oude” Zimmermangeul wordt gedeeltelijk opgevuld met sediment, maar in het midden tussen de strekdammen kan de nieuwe geul op de oude plaats blijven. De geul vertoont hierdoor een kromming. De geul wordt gefixeerd rond de koppen van de strekdammen waar een erosiekuil ontstaat. Ook in het gebied tussen de oostelijke strekdam bij Waarde en de westelijke dam maakt de geul een kromming. Tussen en ten oosten en westen van de strekdammen gaat slib zich afzetten tegen de dijk (Figuur 10.5), maar de breedte van het gebied is beperkt door de kromming die de geul maakt in het gebied tussen de dammen.

De relatieve ontwikkelingen in de bodem en slibpercentages worden gegeven in Figuur 10.6. De “oude” Zimmermangeul vertoont een grote sedimentatie, zie ook dwarsdoorsnede C in Figuur 10.7. Aan de dijkzijde en rond de strekdammen is deze sedimentatie vooral slib, maar voor de rest sedimenteert vooral zand in de geul.

De grootte van de nieuwe geul is minder dan de “oude” Zimmermangeul (Figuur 10.4), hierdoor kan de nieuwe geul minder water afvoeren en wijzigt de debietverdeling in het gebied. Het gevolg is dat meer water terecht komt in de Schaar van Valkenisse en over de Platen van Valkenisse. Hierdoor zijn eroderende trends te zien in deze gebieden in Figuur 10.6. De ingreep zorgt voor een algemene morfologische verandering in het gehele geulen en platenstelsel rond de Zimmermangeul.

10.4.2 Areaal ontwikkeling

De ontwikkeling van het areaal is gegeven in Figuur 10.8. Deze hypsometrische kromme geeft een beeld hoe de hoogte van het gebied erbij komt te liggen ten opzichte van de autonome ontwikkeling en de initiële bodemligging. Het gevolg van de ingreep is dat met name het gebied tussen de 1 en 2m + NAP zal toenemen ten koste van het dieper gelegen areaal.
Ongeveer 35 hectare extra intergetijdengebied zal extra ontstaan in het projectgebied zal. Deze 35 hectare is bepaald uit Tabel D.5 (Appendix D).

Door de ingreep is initieel 166 hectare laagdynamisch gebied gerealiseerd, beoordeeld op basis van stroomsnelheden (Paragraaf 10.3.2). Het extra intergetijdengebied (35

hectare) valt binnen het laagdynamsiche gebied van 166 hectare zoals dat is begrensd op basis van stroomsnelheden. Het effect van de ingreep is dus kleiner dan alleen het extra laagdynamische gebied. Verwacht wordt dat er nog een toename van het areaal intergetijdengebied zal plaatsvinden na de berekende 10 jaar doordat niet al het laagdynamische gebied tot boven de laagwaterlijn is gesedimenteerd.

10.4.3 Modelonzekerheden

Figuur B.6 in Appendix B laat de ruwheid zien die gebruikt wordt in de berekeningen. Deze ruwheid is gebaseerd op de geomorfologische kartering van het gebied. Te zien is hoe de ruwheden sterk kunnen wijzigen. Ruwe delen op de platen zijn bijvoorbeeld hoogdynamische delen met 2d/3d megaribbels. Als deze megaribbels verdwijnen wordt de ruwheid sterk verlaagd of als op andere locaties juist megaribbels ontstaan zal de ruwheid toenemen. Helaas zijn de morfologische modellen nog niet zover doorontwikkelt dat deze een variabele ruwheid in de tijd kunnen toepassen. Hier dient bij de interpretatie van met name dit gebied rekening mee gehouden te worden aangezien het gebied een grote variabele ruwheid heeft.

De modeluitkomsten laten zien dat er een sterke morfologische reactie plaatsvindt die uitstraalt naar het gehele aangrenzende gebied. Dat er een sterke uitstralende werking zal plaatsvinden is vrij zeker, minder zeker is hoe het gebied er definitief bij komt te liggen.

De grootte van het gewenste extra slikkengebied langs de dijk bedraagt ongeveer 35 hectare. Niet uitgesloten is dat in een verder stadium het complete gebied tussen de dammen sedimenteert en de geul een rechte lijn gaat volgen.

10.5 Ecologie

Op korte termijn zal door de ingreep aan de landzijde en langs de dammen bestaand slik aangroeien tot voedselrijk slik. Deze ontwikkeling vindt in de autonome situatie ook al plaats, maar in beduidend mindere mate en beperkt tot de smallere zone langs de dijk. De bestaande geul blijft aanwezig, maar zal net als in de autonome situatie van vorm blijven veranderen.

De aangroei van slik gaat naar verwachting snel tot een hoogte van boven 1m +NAP. In het slik worden eb-stroomgeultjes verwacht. Op langere termijn (tien jaar) bestaat de kans van het verder sedimenteren van de geul. .Het areaal slik zou hierdoor nog kunnen toenemen. Indien de geul qua omvang en positie gelijk bijft zal in de luwte van de dammen verdere opslibbing plaatsvinden, op termijn versneld door de vestiging van pioniervegetatie van slijkgras langs de rand van de locatie tegen de dijk.
Mede in verband met de nabij gelegen schorren en platen zal het nieuwe slik en beginnend schor een versterking betekenen van het foerageergebied en broedgebied voor vogels.

10.6 Kosten

Voor de aanleg van de strekdammen wordt uitgegaan van een stenen dam op een kraagstuk. De kruinhoogte van de dam wordt op de bestaande slikken aangenomen op 2 meter boven het bestaande maaiveld, en de kruinbreedte eveneens op 2 meter. Let

op dat het model uitgaat van strekdammen tot boven hoogwater, bij de berekening van de kosten is geanticipeerd op een lagere hoogteligging van de dammen.

De totale steenbehoefte van de nieuw aan te leggen strekdammen op de slikken wordt daarmee geraamd op ongeveer 12m^3/m'. Er is gerekend met eenheidsprijzen voor een kraagstuk (met geotextiel maar exclusief stortsteen) van EUR 20/m^2. Voor stortsteen, in het werk aangebracht, wordt gerekend met een prijs van EUR 50/m^3 (inclusief alle bijkomende kosten).

Een deel van de dammen loopt door de bestaande Zimmermangeul, met een waterdiepte van plaatselijk NAP-10m. Het dwarsprofiel van deze dammen wordt eveneens in steen opgebouwd, met een kruinhoogte van NAP+1m en zijtaluds van 1:2.
De totale kosten van de strekdammen op de slikken van de Zimmermanpolder en door de Zimmermangeul worden op deze wijze geraamd op EUR 4.100.000.

10.7 Conclusie

Het afsluiten van de Zimmermangeul door middel van twee strekdammen leidt tot een sterke morfologische reactie in het gehele aangrenzende geul en plaatsysteem.

Het gebied tussen de dammen laat maar gedeeltelijk de gewenste sedimentatie zien om slikvorming te creëren. De locatie van de dammen geven de nieuwe Zimmermangeul dusdanig veel vrijheid dat de geul gedeeltelijk in het gebied tussen de dammen blijft liggen.

De kosten van dit alternatief worden geraamd op 4.1 miljoen Euro. Hierbij wordt 35 hectare extra intergetijdengebied gecreëerd. Initieel is 166 hectare laagdynamisch gebied gerealiseerd. De sedimentatie zal naar verwachting nog enige tijd aanhouden. De morfologische uitstraling van de ingreep naar de omgeving is aanzienlijk en moeilijk voorspelbaar door het model. De effecten van de ingreep zijn dusdanig onzeker en ongewenst dit alternatief niet kansrijk is.

11 PROJECTGEBIED 6: NEVENGEUL "SCHAAR VAN OSSENISSE"

11.1 Huidige situatie

De nevengeul de "Schaar van Ossenisse" is gelegen tussen de hoofdgeulen de Overloop van Hansweert in het westen en het Zuidergat in het oosten, zie Figuur 3.1. De geul vormt een kortsluiting tussen beide geulen. Ten noorden van de geul ligt de Plaat van Ossenisse, een groot plaatgebied met veel hoogdynamische delen en slechts op de meest hoog gelegen delen laagdynamische natuur. Ten zuiden van de Schaar van Ossenisse ligt aan de oostkant een beperkt slikkengebied van ongeveer 25 hectare, zie Afbeelding 11.1 en Tabel 11.1. De oostelijk gelegen slikken zijn gevormd in de luwte van de bestaande strekdammen die de geul op voldoende afstand van de dijk houden. Als gevolg van de lage ligging rond NAP of daar beneden vindt langs de dijk (nog) geen schorvorming plaats. Aan de westkant zijn geen slikken aanwezig. De overgang naar de geul is in het westelijk deel abrupt zonder ondiep water zone; een dergelijke zone is in het oostelijke deel wel aanwezig.

Kenmerkend voor de geul zijn de vele strekdammen die vanuit de dijk de geul insteken. Deze strekdammen zijn in de 19^{e} eeuw aangelegd. De langste strekdam bevindt zich in het midden van de geul en doorsnijdt de gehele geul. Het noordelijkste gedeelte van de dam ligt vrij laag en komt alleen bij laagwater droog te liggen. Het morfologische effect van deze lange strekdam is te zien in Afbeelding 11.1, waar rond de kop van de strekdam een erosiegebied te zien is aan de oostkant van de dam die zich in de Plaat van Ossenisse insnijdt.

Halverwege de twintigste eeuw was de omvang van de Plaat van Ossenisse veel kleiner dan tegenwoordig. De plaat werd doorsneden door diverse geulen en ook de hoogte van het platensysteem was veel minder groot dan tegenwoordig (RIKZ, 2001). Deze platen zijn in de loop van de vorige eeuw gegroeid tot een aaneengesloten platengebied, waarbij uiteindelijk alleen de Schaar van Ossenisse als geul in het gebied overbleef. Deze geul is door het groeien van de plaat steeds verder zuidwaarts gemigreerd tot tegen de dijk aan. De oostkant van de geul laat een sedimenterende trend zien in de afgelopen jaren. De westkant van de geul erodeert.

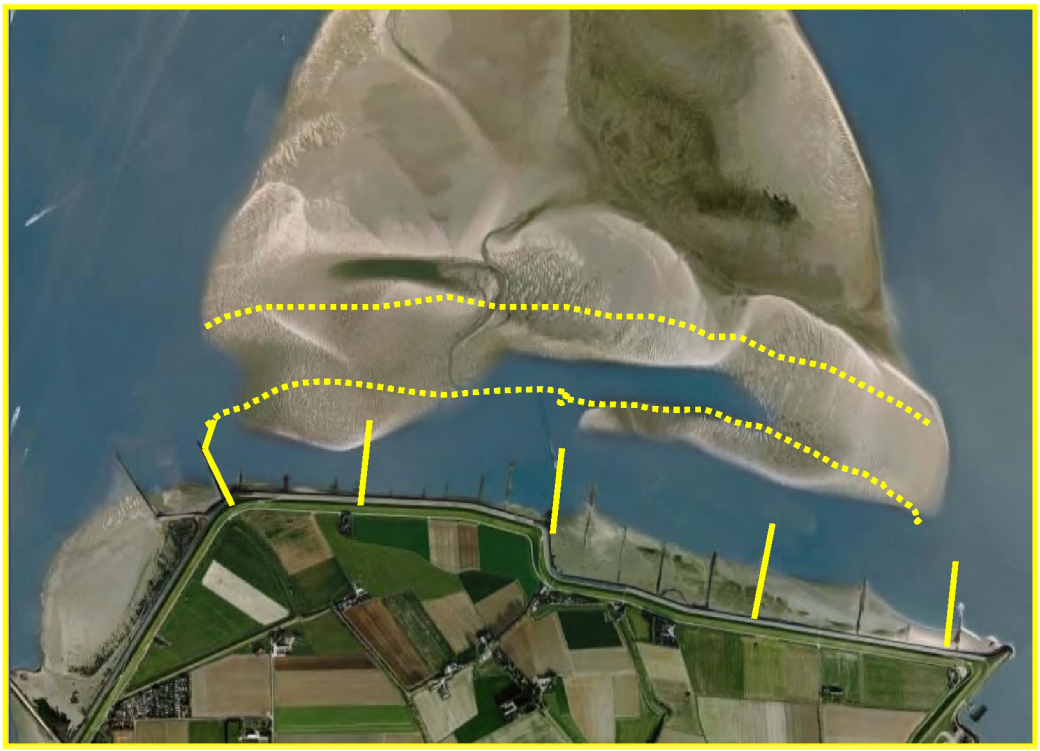
Geomorfologische eenheid	hoog/laagdynamisch	Beddingvorm	oppervlakte (ha)
Plaat/slik	laagdynamisch	zand	4
Plaat/slik	laagdynamisch	slib/zand	1
Plaat/slik	laagdynamisch	slib	19
Plaat/slik	hoogdynamisch	2D megaribbels	16
Plaat/slik	hoogdynamisch	3D megaribbels	2
Plaat/slik	hoogdynamisch	vlak	5
Plaat/slik	hoogdynamisch	ruggen	0,2
hard substraat (in dit geval de bestaande strekdammen)	hoogdynamisch		10

Tabel 11.1: Geomorfologische indeling van het intergetijdengebied bij Ossenisse

11.2 Voorstel voor ingreep

Om de natuurwaarde van het gebied rond de Schaar van Ossenisse te verhogen moeten laagdynamische gebieden gecreëerd worden. In dit verband wordt voorgesteld om vier bestaande strekdammen te verlengen op de Kop van Ossenisse en de middelste lange strekdam in te korten, zie Afbeelding 11.1. Het idee is dat tussen de dammen laagdynamische omstandigheden gecreëerd worden zodanig dat zand en slib afgezet kunnen worden. Zodoende worden omstandigheden gecreëerd voor het ontstaan van slikken en wellicht beperkt schorvorming. De verlenging van de strekdammen sluiten de bestaande Schaar van Ossenisse grotendeels af. De verwachting is dat ten noorden van de doorgetrokken strekdammen een nieuwe Schaar van Ossenisse gaat ontstaan (gele gestippelde lijn in Afbeelding 11.1). Het idee achter de inkorting van de middelste strekdam is dat naar verwachting de nieuwe geul op deze locatie gaat ontwikkelen.

De Plaat van Ossenisse wordt uiteindelijk kleiner door het naar het noorden verplaatsen van de Schaar van Ossenisse, maar alleen hoogdynamische gedeelten die ecologisch minder waardevol zijn worden opgeofferd voor waardevolle gebieden tussen de strekdammen. Of de gewenste morfologische ontwikkelingen daadwerkelijk zullen gaan optreden wordt getoetst aan de hand van morfodynamische berekeningen met het FINEL2d model.



Afbeelding 11.1: Projectgebied Ossenisse met voorstel voor ingreep (geel); Bron: Google Earth

11.3 Hydrodynamische uitkomsten

11.3.1 Algemeen

De ontwikkelingen bij de Schaar van Ossenisse worden berekend met het FINEL2d model van de Westerschelde. Om voldoende mate van detail te kunnen berekenen is het noodzakelijk om het bestaande rekenrooster van de Westerschelde te verfijnen naar een roostergrootte van ongeveer 10m. Dit is getoond in Figuur 11.1. De strekdammen worden nauwkeurig in het rooster meegenomen zodanig dat deze precies met 1 roostercel breed geschematiseerd worden. In Appendix B wordt de verdere invoer van het model beschreven zoals de bodemligging, harde lagen en ruwheid.

11.3.2 Stroming

De stroomsnelheden in de referentie situatie en de ingreep situatie zijn voor een vloed en ebsituatie berekend door FINEL2d en getoond in de figuren 11.2a en 11.2b. De verschilsnelheden als gevolg van de ingreep staan in Figuur 11.2c.

Maximum vloedstroming

In de referentie situatie bedraagt de vloedstroming door de Schaar van Ossenisse ruim 1 m/s in het westelijk gedeelte (Figuur 11.2a). In het oostelijk gedeelte zijn de stroomsnelheden iets lager en bedragen ongeveer 0.8 m/s. De snelheden op de Plaat van Ossenisse zijn enkele dm/s. Interessant is om te zien dat de lange strekdam in het midden van het gebied een verhoging geeft van de stroomsnelheden op coördinaat X:58.3km Y:381km. De erosiekuil in dit gebied is dus een duidelijk gevolg van deze stroomversnelling.

Door de Schaar van Ossenisse af te sluiten met de voorgestelde 5 strekdammen wordt de vloedstroming in het gebied vrijwel volledig teniet gedaan. In het westelijk gedeelte is nog een hoge stroomsnelheid te zien tot 1m/s, maar ten oosten van de middelste strekdam bedraagt de stroming niet meer dan 0.2 m/s. Tussen de strekdammen, in de “oude” Schaar van Ossenisse”, vindt een grote stroomverlamming plaats. De verschillen in stroomsnelheid lopen op tot 1m/s (Figuur 11.2c).

Maximum ebstroming

In de referentie situatie lopen de stroomsnelheden tijdens eb in het westelijk gedeelte van de Schaar van Ossenisse op tot boven de 1m/s. In het oostelijk gedeelte bedragen de snelheden 0.7 –0.8 m/s. Over de Plaat van Ossenisse zoekt de stroming zich een weg naar het westen toe met enkele dm/s.

De ingreep situatie toont een grote stroomverlamming in de oorspronkelijke Schaar van Ossenisse. De stroomsnelheden zijn hier vrijwel nihil. De stroomsnelheden ten noorden van de strekdammen bedraagt rond de 0.4 – 0.5 m/s in het oosten. In het westen zijn hoge stroomsnelheden te zien oplopend tot 1 m/s.

11.3.3 Oppervlakte hoog/laagdynamisch

De geomorfologische kartering van het gebied is te zien in Figuur 11.3. Door de maximum stroomsnelheden tijdens een getij over de geomorfologische kartering van het

gebied te plotten kan afgeleid worden dat de overgang van hoog naar laagdynamisch gebied (overgang rood/blauw) plaatsvindt bij ongeveer 0.6 m/s in dit gebied. Een eerste voorwaarde voor het ontstaan van slikken is laagdynamische omstandigheden. Het initiële effect van de ingreep is nu uit te drukken in het verschil in oppervlak hoog/laagdynamisch gebied, zie Tabel 11.2. De oppervlaktes zijn bepaald binnen een contour die het gehele projectgebied omvat.

	Hoogdynamisch (>0.6 m/s)	Laagdynamisch (<0.6 m/s)
Huidige situatie	125	21
Ingreep situatie	9	136
Verschil:	-115	115

Tabel 11.2: Verschil oppervlakte hoog/laagdynamisch (hectare) direct na aanleg

Uit Tabel 11.2 blijkt dat er direct na de ingreep 115 hectare extra laagdynamisch gebied gecreëerd wordt door de ingreep. Of dit gebied daadwerkelijk zal aanslibben en ophogen moet blijken uit de morfologische berekening in de volgende paragraaf.

11.4 Morfologische uitkomsten

11.4.1 Bodem en slibgehalte ontwikkeling

FINEL2d is gebruikt om de morfologische effecten van de ingreep door te rekenen voor een periode van 10 jaar. Zoals al bleek uit de vorige paragraaf wordt door de aanleg van de strekdammen een algehele stroomverlaging gecreëerd in de “oude” Schaar van Ossenisse. Dit heeft tot gevolg dat het gebied tussen de dammen sterk sedimenteert, zie Figuur 11.4. Het is met name slib dat zich hier afzet (Figuur 11.5). Er ontstaat een vrijwel aaneengesloten intergetijdengebied van 3km lang en ongeveer 400m breed (+/- 120 hectare) met kansen voor slikontwikkeling en wellicht mogelijkheden voor schorren. De rest van het gebied blijft zandig. Uiteindelijk ontstaat na 10 jaar een nieuwe geul ten noorden van de strekdammen.

In Figuur 11.6 is het relatieve effect op de bodem en slibgehalte getoond. Dit is het verschil tussen de autonome ontwikkeling en de ingreep na 10 jaar. De figuur toont dus het effect van de ingreep. Zoals reeds gezien wordt door de aanleg van de strekdammen het gebied tussen de dammen sterk opgehoogd door slib. De nieuwe geul ten noorden hiervan slijt zich in de zandlaag. Het morfologische effect van deze nieuwe geul strekt zich uit tot in de hoofdgeulen. In het Gat van Ossenisse en op de Drempel van Hansweert vindt volgens het model een verhoogde aanzanding plaats als gevolg van de ingreep. Naar alle verwachting heeft dit (tijdelijk) een verhoogde baggerinspanning tot gevolg om de vaargeul om diepte te houden. Niet uit te sluiten is dat door de nieuwe geul een dwarsstroming ontstaat die hinderlijk is voor de scheepvaart.

Ten noorden van deze nieuwe geul is een klein effect zichtbaar: er lijkt een extra zandafzetting plaats te vinden op de noordkant van de geul (Figuur 11.6). Deze afzetting is zichtbaar in dwarsdoorsnede B in Figuur 11.7 op 650m uit de dijk. Verder is te zien in de dwarsdoorsneden hoe de diepte van de nieuwe geul afneemt van 8m in het westen tot 5 meter in het oosten.

De referentie berekening laat ook een sterke morfologische reactie zien van de Schaar van Ossenisse. Bij dwarsdoorsnede A en D in Figuur 11.7 verondiept de geul, bij dwarsdoorsnede B is het profiel min of meer constant en bij dwarsdoorsnede C verdiept de geul. In een eventueel vervolgonderzoek dient te worden nagegaan of deze ontwikkeling overeenkomt met de werkelijkheid.

Opgemerkt dient te worden dat de geul niet dieper kan worden omdat deze na 10 jaar geërodeerd is tot op de harde laag. In Figuur B.5 in Appendix B is de harde laag getoond volgens Gruiters (2004).

11.4.2 Areaal ontwikkeling

De hoogteontwikkeling van het gebied kan uitgedrukt worden in areaal versus hoogteligging: de zogenaamde hypsometrische kromme welke is getoond in Figuur 11.8. De figuur is samengevat in Tabel D.6. Duidelijk zichtbaar in Figuur 11.8 is de algehele ophoging van de bodemligging. De autonome ontwikkeling vertoont nauwelijks ontwikkeling, terwijl de bodem van de ingreep significant hoger komt te liggen met de meeste winst tussen de 0 en +2m NAP.

Ongeveer 75 hectare extra intergetijdengebied zal ontstaan in het gebied als gevolg van de maatregel. Deze 75 hectare is bepaald uit Tabel D.6 (Appendix D) uit het verschil tussen de referentie en de ingreep.

Door de ingreep is initieel 115 hectare laagdynamisch gebied gerealiseerd, beoordeeld op basis van stroomsnelheden (Paragraaf 11.3.2). Het extra intergetijdengebied (75 hectare) is ontstaan binnen het gerealiseerde extra laagdynamisch gebied van 115 hectare zoals dat is begrensd op basis van stroomsnelheden.
Het intergetijdengebied is dus kleiner dan alleen het extra laagdynamische gebied. Verwacht wordt dat er nog een geringe toename van het areaal intergetijdengebied zal plaatsvinden na de berekende 10 jaar doordat niet al het laagdynamische gebied tot boven de laagwaterlijn is gesedimenteerd.

11.4.3 Modelonzekerheden

De modeluitkomsten van de ingreep situatie laten een consistent en verklaarbaar beeld zien. De sedimentatie tussen de strekdammen en het ontstaan van de nieuwe geul ten noorden van de dammen is logisch en goed verklaarbaar, dit geeft vertrouwen in de modeluitkomsten. De globale uitkomsten zijn waarschijnlijk niet erg gevoelig voor de modelinstellingen.

De autonome berekening laat ook ontwikkelingen zien in de Schaar van Ossenisse die niet gestaafd zijn. Voor het uiteindelijke resultaat is dit echter van minder belang omdat de ontwikkeling van de sedimentatie tussen de dammen en het ontstaan van de nieuwe geul zo dominant zijn dat de autonome ontwikkeling hierbij verwaarloosd kan worden.

Het gebied kent door de beschutte ligging geen of nauwelijks golfwerking. Voor de uitkomsten is dit dan ook niet van invloed.

Wederom dient opgemerkt te worden dat de aanslibbing waarschijnlijk te snel verloopt in het model omdat consolidatie van slib niet meegenomen wordt in het model. Hierdoor is de tijdschaal van 10 jaar waarschijnlijk te kort.

11.5 Ecologie

Op korte termijn ontstaan nieuwe habitats als gevolg van opvulling van de bestaande geul, inslijten van een nieuwe geul in zandplaten en aangroei van nieuwe slikken bij lage stroomsnelheden langs de dijk. In de autonome situatie vindt slechts zeer beperkte slikaangroei plaats tussen de reeds aanwezige strekdammen en dan vooral in het oostelijk deel van het plangebied. De voorgestelde ingrepen hebben dus een groot effect. Het nieuwe slik heeft aanvankelijk nog een beperkte droogvalduur en het algehele beeld zal vrij eenvormig zijn. Op langere termijn ontstaat naar verwachting een divers gebied met slik dat in de luwte tussen de strekdammen verder zal ophogen en dynamische processen die plaatsvinden in de geulen. Op het slik worden ebstroomgeultjes verwacht, met daarnaast beginnende plantengroei van slijkgras en schorvorming. Tussen de twee oostelijke dammen is in het vlakke deel een vegetatie van Zeekraal mogelijk. Beginnende schorvorming kan in de smalle zone langs de dijk optreden, vooral in het oostelijke deel.

De grote toevoeging van oppervlakte slik betekent een een aanzet tot een evenwichtige verdeling van de biotopen van ondiep water, slikken en platen in een onderlinge samenhang. De functie als foerageergebied voor vogels wordt beperkt door de openstelling van de dijk voor recreanten. Pas bij voldoende aangroei (breedte) van het slik ontstaat er genoeg rust voor vogels.

11.6 Kosten

Voor de aanleg van de strekdammen wordt uitgegaan van een stenen dam op een kraagstuk. De kruinhoogte van de dam wordt op de bestaande slikken aangenomen op 2 meter boven het bestaande maaiveld, en de kruinbreedte eveneens op 2 meter. Let op dat het model uitgaat van strekdammen tot boven hoogwater, bij de berekening van de kosten is geanticipeerd op een lagere hoogteligging van de dammen.

De totale steenbehoefte van de nieuw aan te leggen strekdammen op de slikken wordt daarmee geraamd op ongeveer 12m^3/m'. Voor de ophoging van de bestaande strekdam is vermoedelijk wat minder steen nodig. De kostenraming voor deze dam is gebaseerd op een steenvolume van 10m^3/m'.

Er is gerekend met eenheidsprijzen voor een kraagstuk (met geotextiel maar exclusief stortsteen) van EUR 20/m^2. Voor stortsteen, in het werk aangebracht, wordt gerekend met een prijs van EUR 50/m^3 (inclusief alle bijkomende kosten).

Een deel van de dammen loopt door de bestaande Schaar van Ossenisse, met een waterdiepte van plaatselijk meer dan NAP-5m. Het dwarsprofiel van deze dammen wordt eveneens in steen opgebouwd, met een kruinhoogte van NAP+1m en zijtaluds van 1:2.

De totale kosten van de strekdammen op de slikken van Ossenisse en door de Schaar van Ossenisse worden op deze wijze geraamd op EUR 4.000.000.

11.7 Conclusie

De aanleg van een vijftal strekdammen in de Schaar van Ossenisse heeft tot gevolg dat de oorspronkelijke geul sterk sedimenteert. Er ontstaat nieuw intergetijdengebied met kansen voor slik- en wellicht schorontwikkeling. De aanlegkosten van dit alternatief worden geschat op 4 miljoen Euro. Er ontstaat dan een vrij groot aaneengesloten intergetijdengebied van ongeveer 125 hectare waarvan 75 hectare nieuw gecreëerd is door de maatregel. Initieel is 115 hectare extra laagdynamisch gebied gecreëerd. Verwacht wordt dat er nog een geringe toename van het areaal intergetijdengebied zal plaatsvinden na de berekende 10 jaar.

Een nieuwe geul ontstaat direct ten noorden van de strekdammen. Het morfologisch effect van deze nieuwe geul strekt zich uit tot in de hoofdgeulen en kan mogelijk tot ongewenste effecten leiden zoals erosie langs de dijk. In het Gat van Ossenisse en op de Drempel van Hansweert vindt volgens het model een verhoogde aanzanding plaats als gevolg van de ingreep. Naar alle waarschijnlijkheid heeft dit (tijdelijk) een verhoogde baggerinspanning tot gevolg om de vaargeul op diepte te houden. Niet uit te sluiten is dat door de nieuwe geul een dwarsstroming ontstaat die hinderlijk is voor de scheepvaart. Bij een eventueel vervolgonderzoek kan worden bestudeerd of deze ongewenste neveneffecten zijn te milderen.

12 PROJECTGEBIED 7: LAND VAN SAEFTINGE

12.1 Algemeen

De 3e deelopdracht bestaat uit het beschouwen van een tweetal maatregelen in Saeftinge. Deze maatregelen worden expliciet in de vraagstelling omschreven en betreffen:

A) Verdiepen van de bestaande hoofdgeulen;
B) Doortrekken van de IJskeldergeul naar het Sieperdaschor.

Opdracht A zal als zodanig gesimuleerd worden door het modelinstrumentarium. Voor opdracht B wordt een beschouwende Paragraaf opgenomen (Paragraaf 12.8), maar hier worden verder geen modelsimulaties voor uitgevoerd.

12.2 Huidige situatie

Het Land van Saeftinge is een uitgebreid natuurgebied met schorren, slikken en een uitgebreid netwerk van kreken. De grootte van het schorrengebied bedraagt ruim 2000 hectare, zie Tabel 12.1. De schorren worden doorsneden door kreken, die ruim 500 hectare innemen. Daarnaast zijn nog diverse geomorfologische eenheden aanwezig, zie Tabel 12.1.

Het Land van Saeftinge kent drie hoofdgeulen, van west naar oost zijn dit het Speelmansgat, de IJskelder en het Hondegat. De hooggelegen schorren zijn de afgelopen decennia ongeveer een meter hoger komen te liggen (RIKZ, 2001). Het grootste gedeelte van de schoren is in een volledig volgroeid stadium. Doordat de schorren tegenwoordig niet zo frequent meer overstroomd worden is de komberging van het gebied afgenomen en vertonen de drie hoofdgeulen een sedimenterende trend in de afgelopen decennia (RIKZ, 2001).

Geomorfologische eenheid	hoog/laagdynamisch	Beddingvorm	oppervlakte (ha)
Schor	laagdynamisch		2026
Kreek			517
Plaat/slik	laagdynamisch	zand	134
Plaat/slik	laagdynamisch	slib/zand	92
Plaat/slik	hoogdynamisch	2D megaribbels	60
Plaat/slik	hoogdynamisch	3D megaribbels	43
Plaat/slik	hoogdynamisch	vlak	176
Veen (Hard substraat)	hoogdynamisch		18
Duinen			0,4
Overage			21

Tabel 12.1: Geomorfologische indeling van het intergetijdengebied bij Saeftinge

12.3 Ingreep

Het areaal van volledig volgroeide schorren is groot in het Land van Saeftinge. Om het areaal volgroeide schorren niet nog groter te maken kan overwogen worden om de drie hoofdgeulen uit te diepen. Het idee hierachter is dat deze uitdieping kan dienen als sedimentvang waardoor de opslibbing van de schorren voor een aantal jaren kan

vertragen. Ook zal waarschijnlijk door afstroming van de niet verdiepte delen naar de diepe delen de dynamiek in het systeem toenemen.

Er wordt uitgegaan van een verdieping van alle drie de hoofdgeulen, zie Afbeelding 12.1. Grofweg wordt uitgegaan van een verlaging van circa 1-2m van het maaiveld langs een belangrijk deel van de hoofdgeulen. In totaal wordt er 11.7 miljoen m^3 verwijderd uit de drie hoofdgeulen. Het idee is om het afgegraven zand terug te storten in de Westerschelde. Er wordt bewust gekozen voor een grote ingreep. Indien uit het onderzoek blijkt dat deze maatregel een positief effect heeft kan overwogen worden om de maatregel slechts gedeeltelijk uit te voeren. De maatregel zal worden getoetst met het morfodynamisch model FINEL2d en de uitkomsten worden beschreven in de volgende paragraven.



Afbeelding 12.1: Projectgebied Saeftinge met voorstel voor ingreep (geel); Bron: Google Earth

12.4 Hydrodynamische uitkomsten

12.4.1 Algemeen

Om de waterbeweging en het daarmee samenhangende sedimenttransport in voldoende mate van detail te kunnen berekenen met het FINEL2d model is het noodzakelijk om het rooster in het Land van Saeftinge te verfijnen tot een niveau van circa 10 meter. Het rooster volgt de ligging van de geulen. De uitlopers van de kleinste geulen krijgen ook de meeste mate van detail toegewezen. Het als zodanig verkregen rooster is te zien in Figuur 12.1. In Appendix B wordt de overige invoer zoals de bodemligging met en zonder ingreep, de harde lagen en de ruwheid beschreven.

12.4.2 Stroming

De stroombeelden van het model van de referentie en de ingreep situatie zijn te zien in de figuren 12.2a en 12.2b voor de bodemligging op tijdstip 0 jaar. De verschilsnelheden met en zonder verdiepte geulen is te zien in Figuur 12.2c.

Maximum vloedstroming

De maximale vloedsnelheden in de drie hoofdgeulen bedragen ongeveer 0.5 - 0.8 m/s (Figuur 12.2a). De snelheden worden in grote mate bepaald door de hoeveelheid water die noodzakelijk is om het gebied te vullen met water, de zogenaamde komberging. Een andere factor is de grootte van de geulen. Wanneer de grootte van de geulen vergroot wordt zoals in de ingreep voorzien wordt dalen de stroomsnelheden omdat dezelfde hoeveelheid water nu een groter doorstroomoppervlak heeft om doorheen te stromen. De vloed stroomsnelheden komen nu niet meer boven de 0.3 – 0.5 m/s uit (Figuur 12.2.b). Er vindt dus een algehele stroomvertraging plaats in de geulen van 0.2 – 0.3 m/s (Figuur 12.2c).

Aan de noordkant van het Land van Saeftinge zijn enkele verhogingen in de stroomsnelheid te zien. Dit zijn plekken waar de stroming vanuit de verdiepte geul het ondiepe talud weer op stroomt, dit zorgt voor een locale verhoging van de stroomsnelheid. Dit is ook (beperkt) te zien in de meest zuidelijk gelegen delen van de geulen die niet verdiept zijn. De verwachting is dat hierdoor deze locaties zullen gaan eroderen.

Maximum ebstroming

De maximum ebstroming is te zien in Figuur 12.2b. De stroomsnelheden zijn in de referentie situatie ongeveer 0.3 – 0.4 m/s. Het stroomverlammend effect dat duidelijk zichtbaar is in de vloedstroming is in veel mindere mate zichtbaar in de ebstroming. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat de maximum ebstroming optreedt bij lagere waterstanden dan de maximum vloedstroom.

12.4.3 Oppervlakte hoog/laagdynamisch

De geomorfologische kartering van het gebied is te zien in Figuur 12.3. Het Land van Saeftinge bestaat grotendeels uit laagdynamisch gebied met alleen in de monding van de drie geulen hoogdynamische gedeelten. Door de maximum stroomsnelheden tijdens een getij over de geomorfologische kartering van het gebied te plotten kan afgeleid worden dat de overgang van hoog naar laagdynamisch gebied (overgang rood/blauw) plaatsvindt bij ongeveer 0.6 m/s in dit gebied. Een eerste voorwaarde voor het ontstaan van slikken is laagdynamische omstandigheden. Het initiële effect van de ingreep is nu uit te drukken in het verschil in oppervlak hoog/laagdynamisch gebied, zie Tabel 12.2. De oppervlaktes zijn bepaald binnen een contour die het gehele projectgebied omvat.

	Hoogdynamisch (>0.6 m/s)	Laagdynamisch (<0.6 m/s)
Huidige situatie	257	2928
Ingreep situatie	183	3002
Verschil:	-74	74

Tabel 12.2: Verschil oppervlakte hoog/laagdynamisch (hectare) direct na aanleg

Uit Tabel 12.2 blijkt dat er direct na de ingreep 74 hectare extra laagdynamisch gebied gecreëerd wordt door stroomverlamming in de geulen.

12.5 Morfologische uitkomsten

12.5.1 Bodem en slibgehalte ontwikkeling

De historische ontwikkeling in het Land van Saeftinge wordt gekenmerkt door een doorgaande sedimentatie. De referentie berekening laat deze trend ook zien. De volume veranderingen zijn genoemd in Tabel 12.3, waaruit volgt dat in de referentie berekening netto 5.4 miljoen m^3 in 10 jaar sedimenteert. Ook in de situatie met verdiepte geulen in het Land van Saeftinge is een sedimenterende trend waarneembaar (Figuur 12.4). De netto volumeveranderingen na 10 jaar nemen toe als gevolg van de ingreep (Tabel 12.3). Netto sedimenteert dan ruim 10 miljoen m^3. Dus door het verdiepen van de geulen vindt er een extra import van sediment plaats van ruim 5 miljoen m^3. De volumeverandering van de ingreep is 11.7 miljoen m^3, dus na 10 jaar is bijna de helft van het sediment terug gesedimenteerd.

	Autonome ontwikkeling	Ontwikkeling na ingreep
Sedimentatie:	+9.2 Mm^3	+14.6 Mm^3
Erosie:	-3.8 Mm^3	-4.1 Mm^3
Netto:	+5.4 Mm^3	+10.5 Mm^3

Tabel 12.3: Volume veranderingen na 10 jaar

De geulen blijven vrij zandig (Figuur 12.5). Alleen aan de randen van de geulen waar de stroomsnelheid lager is vindt slibafzetting plaats. Ten opzichte van de referentieberekening vindt er wel meer slibafzetting plaats in de geulen (Figuur 12.6). Ook is te zien dat het zuidelijk gedeelte van het Land van Saeftinge zandiger wordt door het verdiepen van de geulen. Door de stroomverlamming in de hoofdgeulen vindt er extra slibafzetting plaats in de verdiepte geulen, waardoor het niet verdiepte zuidelijk gedeelte meer gevrijwaard blijft van slib.
In dit gebied is bovendien sprake van verhoogde (vloed)snelheden. Hierdoor heeft slib minder kans om te sedimenteren. Ook neemt door de verhoogde snelheden de dynamiek toe in het zuidelijk deel en is in veel geultjes erosie te zien, zie bovenste figuur in Figuur 12.6. Het gewenste effect van de ingreep is dus zichtbaar, alleen is de schaal van het effect vrij klein.

Het extra pakket sediment in de geulen als gevolg van de ingreep is ook duidelijk te zien in Figuur 12.6. Aan de noordkant van het Land van Saeftinge zijn enkele erosieplekken te zien. Dit is het morfologische effect van het op- en afstromen van de taluds naar de verdiepte geulen.

12.5.2 Areaal ontwikkeling

De ontwikkeling van de hypsometrische kromme is gegeven in Figuur 12.7. Tabel D.7 in Appendix D vat de ontwikkelingen samen.

Interessant is om te zien dat de trend van de ophoging van de schorren tussen de 3 en 4m + NAP door de ingreep omslaat. Door de ingreep ontstaat over 10 jaar een afname van deze hoogteklasse van enkele tientallen hectares (Tabel D.7). Dit is een afname van 2% van het totaal areaal tussen de 3 en 4m + NAP. De hoogteklasse tussen 2 en 3m + NAP hoogt minder snel op als gevolg van de ingreep. Het effect ten opzichte van de referentie ontwikkeling is ook hier enkele tientallen hectares. De (relatieve) afname

van de hoger gelegen delen bij de ingreep wordt gecompenseerd door een versterkte groei van de dieper gelegen delen.

Geconcludeerd kan worden dat de ingreep het gewenste effect lijkt te hebben: de schorren hogen minder snel op of eroderen zelfs. Afgemeten aan de grote omvang van de geulverdiepingen zijn de effecten echter beperkt.

12.5.3 Modelonzekerheden

De erosie van hoog gelegen intergetijdengebieden als gevolg van de ingreep zoals naar voren komt uit de vorige paragraaf is vrij onzeker doordat de erosie van schorgebieden waarschijnlijk niet goed door het model berekend kunnen worden. Het model maakt gebruik van een erosiecoëfficiënt. De erosiecoëfficiënt van met vegetatie begroeide schorgebieden is veel minder groot dan een slik of een zandige geul en is in de literatuur vrijwel onbekend. De verwachting is dan ook de erosie van de schorgebieden door het model sterk overschat wordt, omdat niet met vegetatie rekening gehouden is. Het positieve effect dat het model uitrekent zou in werkelijkheid minder groot kunnen zijn.

12.6 Ecologie

Het effect van de maatregelen in de drie hoofdgeulen blijft beperkt tot de randen van de geulen en de zuidelijke uiteinden van het geulsysteem. Zoals in de vorige sectie is aangegeven is de schaal van het morfologische effect relatief klein.

Na verloop van tijd zal de situatie van vóór uitvoering van de maatregelen zich herstellen, ieder ecologisch effect is dus van tijdelijke aard. In de uiteinden van de ondiepe geultjes in het zuidelijke deel van het Land van Saeftinge zullen gedurende vijf à tien jaar hogere stroomsnelheden voorkomen. Schorontwikkeling zal hierdoor vertragen ten voordele van kale voedselrijke slikken. Deze relatieve toevoeging van habitat in een groot gebied met overwegend hoog schor betekent een toevoeging van nieuwe elementen.

Een ecologische verstoring betreft de uitvoering van de baggerwerken. Naar verwachting is de verstoring zodanig dat natuurschade optreedt door geluid en extra opwoeling van sediment door het baggeren. De natuurwinst, zij het tijdelijk van aard, moet worden afgezet tegen de negatieve effecten van de fysieke uitvoering van de maatregelen van verdiepen van de geulen.

12.7 Kosten

De kosten van dit alternatief zijn moeilijk in te schatten omdat het niet een standaard baggercampagne betreft. De geulen zijn ondiep en dit stelt eisen aan het materiaal dat de gebieden in kan om het werk uit te voeren. Waarschijnlijk kan alleen met kleine cutters het baggerwerk uitgevoerd worden. Het gebaggerde materiaal zal dan met behulp van bakken het gebied uit getransporteerd moeten worden. Het volgende probleem is waar het gebaggerde specie gestort dient te worden. Zodoende zal door al deze omstandigheden met een hoge prijs per gebaggerde kuub rekening gehouden moeten worden. Hier wordt een prijs per gebaggerde kubieke meter gehanteerd van 10 euro.

Zodoende kan men de prijs bepalen op 11.7 miljoen m^3 x 10 euro = +/- 120 miljoen euro.

12.8 Opdracht B: Doortrekken IJskeldergeul naar het Sieperdaschor

Binnen deze opdracht is onderzocht wat het effect is van het doortrekken van de IJskeldergeul vanuit Saeftinge naar het Sieperdaschor en/of de Hedwige/ Prosperpolder. Besloten is om voor deze maatregel geen computersimulaties uit te voeren, vanwege onder andere de hoge kosten van deze maatregel. De overwegingen worden hierna uiteen gezet.

De doorsteek vanuit de IJskeldergeul richting Sieperdaschor zal leiden tot een kortsluiting tussen de Westerschelde en de Zeeschelde via Saeftinge. Deze doorstroming leidt tot het ontstaan van nieuwe geulenstelsels met de bijbehorende dynamiek en het proces van aangroei van slikken en schorvorming in de aangrenzende delen. In Saeftinge zal een vermenging plaatsvinden van het watersysteem vanuit de Westerschelde met zout - brak water, met het minder zoute watersysteem vanuit de (Zee)Schelde.

In de MER Hedwige/Prosperpolder (Soresma, 2007) is deze doorsteek onderzocht en zijn een aantal argumenten aangedragen. Het belangrijkste argument tegen de doorsteek zijn de kosten. De kosten worden namelijk geraamd op 60 miljoen euro omdat de doorsteek plaats moet vinden op een locatie waar een leidingenstraat aanwezig is. Deze 60 miljoen euro betreft alleen het verplaatsen van de leidingenstraat.

Het belangrijkste argument voor de doorsteek is een grotere dynamiek in Saeftinge en de Hedwige / Prosperpolder. Water dat de keuze heeft om de hoofdgeul of de doorsteek te kiezen kiest de weg van de minste weerstand en dat is naar alle waarschijnlijkheid de hoofdgeul. Hierdoor zal er niet veel water door de doorsteek stromen, tenzij de doorsteek een dusdanig grootte heeft dat voldoende water vanuit de hoofdgeul onttrokken kan worden. Dit zou dan weer negatieve effecten op de hoofdgeul hebben waar extra sedimentatie zal optreden. De baggerinspanning in de vaargeul zal sterk hierdoor toenemen. Met andere woorden als er een doorsteek plaats vindt dan dient deze geul beperkt van omvang te zijn ten opzichte van de hoofdgeul omdat er anders teveel negatieve effecten op de hoofdgeul zijn.

Het is de vraag of de gewenste dynamiek in het gebied zal ontstaan. Doordat een eventuele doorsteek beperkt van omvang is in relatie tot de hoofdgeul stroomt er niet veel water door de doorsteek en zal de gewenste dynamiek niet tot stand komen.

Morfologisch gezien is het onzeker of de doorsteek stand houdt. Op korte termijn verzanden/opslibben van de doorsteek is een reële optie doordat de stroomsnelheden door de doorsteek naar alle waarschijnlijkheid niet erg groot zijn. Sediment dat door komberging in het gebied gebracht wordt zal zich gaan afzetten zodat het gebied en de kortsluitgeul steeds verder gaat ophogen totdat er geen water meer van Saeftinge door de doorsteek kan stromen, waardoor de extra dynamiek als gevolg van de doorsteek teniet gedaan wordt.

12.9 Conclusie

Door het uitbaggeren van de drie hoofdgeulen in het Land van Saeftinge ontstaat een slibvang waardoor schorren minder snel zullen opslibben en enige dynamiek terugkeert in het systeem. De hoeveelheid baggerwerk bestaat bij de onderzochte ingreep uit 12 miljoen m^3. Na 10 jaar is reeds de helft van het sediment teruggekeerd in het systeem. De maatregel is dus niet duurzaam. De effecten van deze ingreep zijn relatief klein in verhouding tot de kosten welke geschat worden op 120 miljoen euro.

Het tweede alternatief dat bekeken is betreft de doorsteek van de IJskeldergeul naar de Hedwige/Prosperpolder. Het idee is dat door extra dynamiek in het systeem te brengen schorverjonging bevorderd wordt en de opslibbing van bepaalde gebieden minder snel verloopt. De kosten worden geraamd op 60 miljoen euro voor het verleggen van de leidingenstraat. De uitvoering van de ingreep zal hier nog bovenop komen.
Het is de vraag of de gewenste dynamiek in het gebied zal ontstaan. Waarschijnlijk zal een eventuele doorsteek beperkt van omvang zijn in relatie tot de hoofdgeul waardoor er niet veel water door de doorsteek zal stromen en de gewenste dynamiek niet tot stand komt. Mogelijkerwijs zal de doorsteek snel aanzanden/aanslibben door de geringe stroomsnelheden waardoor de extra dynamiek weggenomen wordt en effectief de scheiding tussen beide gebieden weer tot stand komt.

13 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

13.1 Conclusies

In totaal zijn zeven gebieden geselecteerd in de Westerschelde waar mogelijkheden liggen voor natuurherstel. De classificatie van de gebieden is onder te verdelen in oeverzones, nevengeulen en het Land van Saeftinge. De maatregelen voor de oeverzones en nevengeulen bestaan uit het aanleggen van strekdammen.

Het FINEL2d model is gebruikt om de maatregelen morfologisch door te rekenen over een periode van 10 jaar. Het model is afgeregeld op de ontwikkeling bij het slik van Waarde. Het model vertoont na calibratie een patroon overeenkomend met de werkelijkheid. Met de instellingen van de calibratie zijn alle maatregelen per projectgebied doorgerekend.

De omvang van de maatregelen is zodanig klein dat deze geen effect hebben op de Westerschelde als geheel. Alleen in de directe nabijheid van de maatregel is er een effect op de waterbeweging en de morfologie.

De strekdammen zijn zo gemodelleerd dat deze nooit overstromen en zorgen dus voor een maximale beschutting en sedimentatie. De redenering hierachter is dat mocht blijken dat deze “maximale” configuratie niet de gewenste sedimentatie tot gevolg heeft dan werkt een andere “mildere” configuratie zeker niet. Uit vrijwel alle berekeningen blijkt dat er een sterke sedimentatie optreedt en dat het intergetijdengebied sterk groeit tussen de +1 en de +3m NAP. Echter ecologisch gezien ligt het meest waardevolste gebied tussen de –1 en de +2m NAP. Daarom moeten in een eventuele vervolgfase de dammen zo gedimensioneerd worden dat de uiteindelijke ligging van de bodem in het gebied meer aansluit bij de gewenste ecologische ligging. Een verlaging van de hoogte van de dammen is de meest voor de hand liggende optie. Hierdoor worden ook de negatieve neveneffecten van de ingrepen, zoals erosie bij geulwandbestortingen, verminderd.

De conclusies zijn hieronder per projectgebied gegeven en samengevat in Tabel 13.1:

<u>Projectgebied 1: Oeverzone bij Bath</u>
Geconcludeerd kan worden dat door de aanleg van twee strekdammen bij Bath sedimentatie op zal treden op de harde veenlaag. De modeluitkomsten in het oostelijk deel van het gebied zijn echter onzeker, omdat hier ook al in de referentie situatie sedimentatie wordt berekend, hetgeen in werkelijkheid niet gebeurt. Daarom is de conclusie dat sedimentatie zal optreden op de veenlaag voor het oostelijke deel minder stellig dan voor het westelijke deel van de slikken van Bath. Er bestaat een risico voor schade aan de bestaande geulwandverdediging door de erosiekuil die gaat ontstaan voor de strekdammen. Golfwerking is niet meegenomen is de modellering, hierdoor is de berekende sedimentatie wellicht te positief. Daarnaast kan golfwerking ook zorgen voor een cyclische successie waarbij opbouw en afbraak van slik/schor plaatsvindt.

De aanlegkosten worden geschat rond de 1.1 miljoen euro. Initieel is 58 hectare laagdynamisch gebied gecreëerd door aanleg van de strekdammen. Sedimentatie als gevolg van de ingreep vindt plaats over ongeveer 120 hectare na 10 jaar. Het

morfologische effect van de ingreep is dus groter dan de 58 hectare die laagdynamsch geworden is.

Projectgebied 2: Oeverzone bij Baalhoek

Door het creëren van twee strekdammen op het intergetijdengebied bij Baalhoek vindt er een sterke sedimentatie plaats van het intergetijdengebied volgens het morfodynamische model FINEL2d. Goede mogelijkheden zijn aanwezig voor natuurherstel. Er bestaat een aanzienlijk vertrouwen in de resultaten doordat de referentie situatie goed berekend kan worden en omdat de ontwikkelingen vanuit een theoretisch perspectief verklaard kunnen worden. Er is een risico dat op de Plaat van Walsoorden erosie zal optreden als gevolg van de ingreep.

De kosten van de aanleg van de dammen worden geschat op 750.000 euro. Sedimentatie zal optreden in een gebied van ongeveer 75 hectare als gevolg van de ingreep. Binnen deze 75 hectare is 61 hectare dat door de ingreep laagdynamisch gebied geworden is.

Projectgebied 3: Oeverzone bij Knuitershoek

Geconcludeerd kan worden dat op het smalle intergetijdengebied bij Knuitershoek mogelijkheden zijn voor natuurherstel door het aanleggen van strekdammen. Door de aanleg sedimenteert ongeveer 30 hectare tussen de dammen, waardoor mogelijkheden voor natuurrijke slikvorming aanwezig lijken te zijn. Binnen deze 30 hectare is initieel 22 hectare extra laagdynamisch gebied gecreëerd.

De aanleg van de dammen wordt geschat op 700.000 Euro. Risico op schade aan de bestaande geulwandverdediging is aanwezig, doordat erosiekuilen ontstaan rond de koppen van de strekdammen.

Rekening gehouden moet worden met het feit dat golfwerking niet in de modellering verdisconteerd zit, terwijl dit gebied open ligt voor de meest dominante windrichting vanuit het zuidwesten. Gevolg is dat de berekende sedimentatie wellicht te positief ingeschat wordt. Door de golfwerking is er kans op cyclische successie waarbij opbouw en afbraak van slik plaatsvindt.

Projectgebied 4: Oeverzone bij Hoofdplaatpolder

De oeverzone bij Hoofdplaatpolder biedt kansen voor natuurherstel door de aanleg van twee strekdammen. Modelresultaten laten zien dat er een groot extra intergetijdengebied gecreëerd kan worden door het natuurlijk laten sedimenteren van het gebied tussen en ten westen van de strekdammen. Er zijn mogelijkheden voor slikontwikkeling direct aan de geul. Aan de dijk zijn er mogelijkheden om het bestaande schorgebied uit te laten breiden. De kosten van een dergelijk alternatief worden geschat op 3.400.000 Euro. Door de ingreep vindt er extra sedimentatie plaats over een gebied van ongeveer 140 hectare. Binnen deze 140 hectare is initieel 54 hectare extra laagdynamisch gebied gecreëerd.

De geul het “Vaarwater langs Hoofdplaat” waaraan het intergetijdengebied ligt erodeert als gevolg van de toegenomen snelheden. Ook is niet uit te sluiten dat de Hoge Platen een effect van de strekdammen zullen ondervinden. De hoog dynamische plaat tussen het “Vaarwater langs Hoofdplaat” en het afgesloten vloedschaartje verdwijnt.

Projectgebied 5: Nevengeul "Zimmerman"
Het afsluiten van de Zimmermangeul door middel van twee strekdammen leidt tot een sterke morfologische reactie in het gehele aangrenzende geul en plaatsysteem.

Het gebied tussen de dammen laat maar gedeeltelijk de gewenste sedimentatie zien om slikvorming te creëren. De locatie van de dammen geven de nieuwe Zimmermangeul dusdanig veel vrijheid dat de geul gedeeltelijk in het gebied tussen de dammen blijft liggen.

De kosten van dit alternatief worden geraamd op 4.1 miljoen Euro. Hierbij wordt 35 hectare extra intergetijdengebied gecreëerd. Initieel is 166 hectare laagdynamisch gebied gerealiseerd. De sedimentatie zal naar verwachting nog enige tijd aanhouden. De morfologische uitstraling van de ingreep naar de omgeving is aanzienlijk en moeilijk voorspelbaar door het model. De effecten van de ingreep zijn dusdanig onzeker en ongewenst dit alternatief niet kansrijk is.

Projectgebied 6: Nevengeul "Schaar van Ossenisse"
De aanleg van een vijftal strekdammen in de Schaar van Ossenisse heeft tot gevolg dat de oorspronkelijke geul sterk sedimenteert. Er ontstaat nieuw intergetijdengebied met kansen voor slik- en wellicht schorontwikkeling. De aanlegkosten van dit alternatief worden geschat op 4 miljoen Euro. Er ontstaat dan een vrij groot aaneengesloten intergetijdengebied van ongeveer 125 hectare waarvan 75 hectare nieuw gecreëerd is door de maatregel. Initieel is 115 hectare extra laagdynamisch gebied gecreëerd. Verwacht wordt dat er nog een geringe toename van het areaal intergetijdengebied zal plaatsvinden na de berekende 10 jaar.

Een nieuwe geul ontstaat direct ten noorden van de strekdammen. Het morfologisch effect van deze nieuwe geul strekt zich uit tot in de hoofdgeulen en kan mogelijk tot ongewenste effecten leiden zoals erosie langs de dijk. In het Gat van Ossenisse en op de Drempel van Hansweert vindt volgens het model een verhoogde aanzanding plaats als gevolg van de ingreep. Naar alle waarschijnlijkheid heeft dit (tijdelijk) een verhoogde baggerinspanning tot gevolg om de vaargeul op diepte te houden. Niet uit te sluiten is dat door de nieuwe geul een dwarsstroming ontstaat die hinderlijk is voor de scheepvaart. Bij een eventueel vervolgonderzoek kan worden bestudeerd of deze ongewenste neveneffecten zijn te milderen.

Projectgebied 7: Land van Saeftinge
Door het uitbaggeren van de drie hoofdgeulen in het Land van Saeftinge ontstaat een slibvang waardoor schorren minder snel zullen opslibben en enige dynamiek terugkeert in het systeem. De hoeveelheid baggerwerk bestaat bij de onderzochte ingreep uit 12 miljoen m^3. Na 10 jaar is reeds de helft van het sediment teruggekeerd in het systeem. De maatregel is dus niet duurzaam. De effecten van deze ingreep zijn relatief klein in verhouding tot de kosten welke geschat worden op 120 miljoen euro.

Het tweede alternatief dat bekeken is betreft de doorsteek van de IJskeldergeul naar de Hedwige/Prosperpolder. Het idee is dat door extra dynamiek in het systeem te brengen schorverjonging bevorderd wordt en de opslibbing van bepaalde gebieden minder snel verloopt. De kosten worden geraamd op 60 miljoen euro voor het verleggen van de leidingenstraat. De uitvoering van de ingreep zal hier nog bovenop komen.

Het is de vraag of de gewenste dynamiek in het gebied zal ontstaan. Waarschijnlijk zal een eventuele doorsteek beperkt van omvang zijn in relatie tot de hoofdgeul waardoor er niet veel water door de doorsteek zal stromen en de gewenste dynamiek niet tot stand komt. Mogelijkerwijs zal de doorsteek snel aanzanden/aanslibben door de geringe stroomsnelheden waardoor de extra dynamiek weggenomen wordt en effectief de scheiding tussen beide gebieden weer tot stand komt.

Projectgebied	Sedimentatie(s) /groei intergetijden gebied (g) (ha)	Initieel gerealiseerd laagdynamisch gebied (ha)	Golfwerking/ Cyclische successie	Kosten (k EURO)	Uitstralende werking	Conclusie maatregel
Bath	120 (s)	58	Mogelijk	1100	Beperkt	Kansrijk
Baalhoek	75 (s)	61	Nee	750	Vrij groot	Zeer kansrijk
Knuitershoek	30 (s)	22	Mogelijk	700	Beperkt	Kansrijk
Hoofdplaatpolder	140 (s)	54	Nee	3400	Groot	Kansrijk (mits *)
Zimmermangeul	35 (g)	166	Nee	4100	Groot	Niet kansrijk
Ossenisse	75 (g)	115	Nee	4000	Groot	Kansrijk (mits *)
Saeftinge	Nvt	74	Nee	120000	Binnen Saeftinge	Niet kansrijk

Tabel 13.1: Samenvatting uitkomsten; (*)= mits de neveneffecten toelaatbaar geacht worden

13.2 Aanbevelingen

In dit onderzoek is de analyse van de geselecteerde maatregelen voor buitendijks natuurherstel grotendeels beperkt gebleven tot een beschrijving van de abotische gevolgen (erosie, sedimentatie en bijbehorend slibgehalte in de bodem). De ecologische uitwerking is beperkt gebleven. Dit omdat de uitwerking van de "ecologische maatlat" bij de afronding van dit onderzoek nog niet zover gevorderd was dat de resultaten ingebracht konden worden in deze rapportage. Aanbevolen wordt om de "ecologische maatlat" verder uit te werken, en om vervolgens de verschillende maatregelen te beoordelen aan de hand van deze maatlat.

De uitkomsten van het projectgebied Baalhoek worden als meest zeker en kansrijk beschouwd. Het dient aanbeveling na beoordeling van de ecologische maatlat en na optimalisatie van het ontwerp deze maatregel als pilotproject uit te voeren en te monitoren, zodat de daarop volgende maatregelen nog beter te voorspellen zijn.

De modellering die in het kader van deze verkennende studie heeft plaatsgevonden is bruikbaar voor de onderlinge afweging van de verschillende maatregelen, maar is niet afdoende voor de detaillering van de afzonderlijke deelprojecten. De calibratie van het huidige model heeft plaatsgevonden op de ontwikkeling van de slikken van Waarde na de aanleg van de strekdammen. Er is echter geen calibratie geweest van een situatie zonder strekdammen. Aanbevolen wordt deze calibratie voor de geselecteerde deelprojecten alsnog uit te voeren. Indien gewenst kan daarbij per deelproject aanvullend veldonderzoek plaatsvinden (stroming en/of sedimentsamenstelling).

LITERATUUR

Beeftink, W.G. 1965. De zoutvegetatie van ZW-Nederland beschouwd in Europees verband. Mededelingen van de Landbouwhogeschool te Wageningen, Nederland. 65-1. H. Veenman & Zonen n.v., Wageningen, 1965. 167 p.

Dam, G., Bliek, A.J., Labeur, R.J., Ides, S. Plancke, Y., 2007, Long term process based morphological model of the Western Scheldt Estuary, Proceedings of the 5th River, Coastal and Estuarine Morphodynamics conference, the Netherlands, p1077-1084.

Dam, G. 2006, Morfodynamische berekeningen van de Westerschelde met behulp van "FINEL2d". Svašek Hydraulics, rapport GD/06119/1339

Dam, G., Bliek, A.J., 2004, Bandbreedte morfologische voorspellingen Haringvlietmonding, Svašek Hydraulics, rapport GD/04321/1306

Dam, G., Jansen M. H. P, 2002, Verbeteren van het SCALWEST model. Royal Haskoning, rapport, projectnr. 1206.

Engelund, F., Hansen, E., 1967, A monograph on sediment transport in alluvial channels, Teknik Forlag, Copenhagen.

Gruijters, S. H. L. L., Schokker, J., Veldkamp, J. G., 2004, Kartering moeilijk erodeerbare lagen in het Schelde Estuarium, TNO, rapport 03-213-B1208

Jong, de D., J. , 2006, Standaardlegenda geomorfologie ten behoeve van geomorfologische karteringen op basis van luchtfoto's

Krone, R.B., 1962, Flume Studies on the Transport of Sediment in Estuarine Shoaling Processes. Hydr. Eng. Laboratory, University of Berkeley, California, USA.

Ledden, M. van, 2003, Sand-mud segregation in estuaries and tidal basins

Paarlberg, A.J., Knaapen, M.A.F, Vries, de M.B., Hulscher, S.J.M.H., Wang, Z.B., 2005, Biological influences on morphology and bed composition of an intertidal flat, Estuarine, Coastal and Shelf Science 64 (2005) 577-590.

Partheniadis, E., 1965, Erosion and Deposition of Cohesive Soils. Journal of the Hydraulic Division, ASCE, Vol. 91, No. NY1.

Rijksinstituut voor Kust en Zee, 2001, Morfologische ontwikkeling Westerschelde 1931-2000, Werkdocument RIKZ/AB/2001.832x.

Rijkswaterstaat, 2001, Gewikt en Gewogen. Afwegingsdocument voor de bescherming van Zuidgors en Baarland. Opgesteld in het kader van het Natuurcomensatieprogramma Westerschelde, buitendijkse projecten. Rijkswaterstaat, Directie Zeeland, afdeling Integraal Waterbeheer. Nota AWX-2001-01.

Soresma, 2007, Milieueffectrapport bij de aanleg van het grensoverschrijdende intergetijdengebied Hedwigepolder (NL)-Prosperpolder (B). W&Z, Antwerpen; Provincie Zeeland, Middelburg. 527p.

Ysebaert, T. & Meire, P. 1999. Macrobenthos of the Schelde estuary: predicting macrobenthic species responses in the estuarine environment. A statistical analysis of the Schelde estuary macrobenthos within the ECOFLAT project. Report Institute of Nature Conservation IN 99/19, Brussel.

Ysebaert, T. & Herman, P. 2000. Bodemdieren langsheen estuariene gradiënten. De Levende Natuur 102(2): 74-78.

FIGUREN

Figuur 3.1: Overzicht projectgebieden

Figuur 5.1: Slik van Waarde: Bodemontwikkeling punt 404
Figuur 5.2: Slik van Waarde: Bodemontwikkeling punt 405
Figuur 5.3: Slik van Waarde: Bodemontwikkeling punt 406
Figuur 5.4: Slik van Waarde: Beginbodem en eindbodem FINEL2d
Figuur 5.5: Slik van Waarde: Verschilbodem en slibpercentage toplaag FINEL2d

Figuur 6.1: Bath: Rooster
Figuur 6.2a: Bath: Vloedsnelheden referentie en ingreep situatie
Figuur 6.2b: Bath: Ebsnelheden referentie en ingreep situatie
Figuur 6.2c: Bath: Verschilsnelheden referentie en ingreep situatie
Figuur 6.3: Bath: Geomorfologische kartering versus stroomsnelheid
Figuur 6.4: Bath: Begin- en eind bodemligging
Figuur 6.5: Bath: Slibpercentage in toplaag
Figuur 6.6: Bath: Relatieve verandering in bodemligging en slibpercentage
Figuur 6.7: Bath: Dwarsprofielen
Figuur 6.8: Bath: Hypsometrische kromme

Figuur 7 .1: Baalhoek: Rooster
Figuur 7.2a: Baalhoek: Vloedsnelheden referentie en ingreep situatie
Figuur 7.2b: Baalhoek: Ebsnelheden referentie en ingreep situatie
Figuur 7.2c: Baalhoek: Verschilsnelheden referentie en ingreep situatie
Figuur 7.3: Baalhoek: Geomorfologische kartering versus stroomsnelheid
Figuur 7.4: Baalhoek: Begin- en eind bodemligging
Figuur 7.5: Baalhoek: Slibpercentage in toplaag
Figuur 7.6: Baalhoek: Relatieve verandering in bodemligging en slibpercentage
Figuur 7.7: Baalhoek: Dwarsprofielen
Figuur 7.8: Baalhoek: Hypsometrische kromme

Figuur 8.1: Knuitershoek: Rooster
Figuur 8.2a: Knuitershoek: Vloedsnelheden referentie en ingreep situatie
Figuur 8.2b: Knuitershoek: Ebsnelheden referentie en ingreep situatie
Figuur 8.2c: Knuitershoek: Verschilsnelheden referentie en ingreep situatie
Figuur 8.3: Knuitershoek: Geomorfologische kartering versus stroomsnelheid
Figuur 8.4: Knuitershoek: Begin- en eind bodemligging
Figuur 8.5: Knuitershoek: Slibpercentage in toplaag
Figuur 8.6: Knuitershoek: Relatieve verandering in bodemligging en slibpercentage
Figuur 8.7: Knuitershoek: Dwarsprofielen
Figuur 8.8: Knuitershoek: Hypsometrische kromme

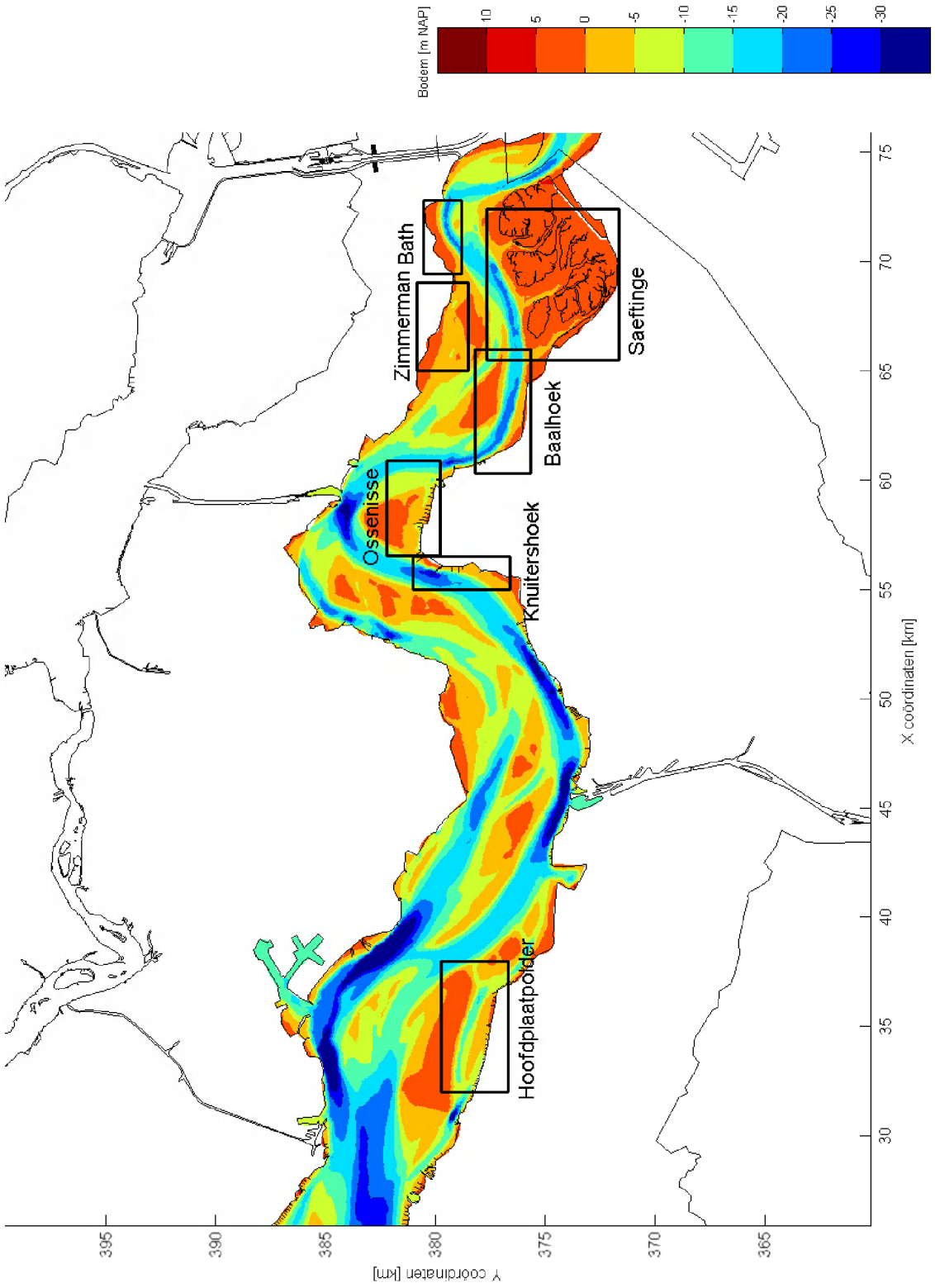
Figuur 9.1: Hoofdplaatpolder: Rooster
Figuur 9.2a: Hoofdplaatpolder: Vloedsnelheden referentie en ingreep situatie
Figuur 9.2b: Hoofdplaatpolder: Ebsnelheden referentie en ingreep situatie
Figuur 9.2c: Hoofdplaatpolder: Verschilsnelheden referentie en ingreep situatie
Figuur 9.3: Hoofdplaatpolder: Geomorfologische kartering versus stroomsnelheid

Figuur 9.4: Hoofdplaatpolder: Begin- en eind bodemligging
Figuur 9.5: Hoofdplaatpolder: Slibpercentage in toplaag
Figuur 9.6: Hoofdplaatpolder: Relatieve verandering in bodemligging en slibpercentage
Figuur 9.7: Hoofdplaatpolder: Dwarsprofielen
Figuur 9.8: Hoofdplaatpolder: Hypsometrische kromme

Figuur 10.1: Zimmerman: Rooster
Figuur 10.2a: Zimmerman: Vloedsnelheden referentie en ingreep situatie
Figuur 10.2b: Zimmerman: Ebsnelheden referentie en ingreep situatie
Figuur 10.2c: Zimmerman: Verschilsnelheden referentie en ingreep situatie
Figuur 10.3: Zimmerman: Geomorfologische kartering versus stroomsnelheid
Figuur 10.4: Zimmerman: Begin- en eind bodemligging
Figuur 10.5: Zimmerman: Slibpercentage in toplaag
Figuur 10.6: Zimmerman: Relatieve verandering in bodemligging en slibpercentage
Figuur 10.7: Zimmerman: Dwarsprofielen
Figuur 10.8: Zimmerman: Hypsometrische kromme

Figuur 11.1: Osenisse: Rooster
Figuur 11.2a: Ossenisse: Vloedsnelheden referentie en ingreep situatie
Figuur 11.2b: Ossenisse: Ebsnelheden referentie en ingreep situatie
Figuur 11.2c: Ossenisse: Verschilsnelheden referentie en ingreep situatie
Figuur 11.3: Ossenisse: Geomorfologische kartering versus stroomsnelheid
Figuur 11.4: Ossenisse: Begin- en eind bodemligging
Figuur 11.5: Ossenisse: Slibpercentage in toplaag
Figuur 11.6: Ossenisse: Relatieve verandering in bodemligging en slibpercentage
Figuur 11.7: Ossenisse: Dwarsprofielen
Figuur 11.8: Ossenisse: Hypsometrische kromme

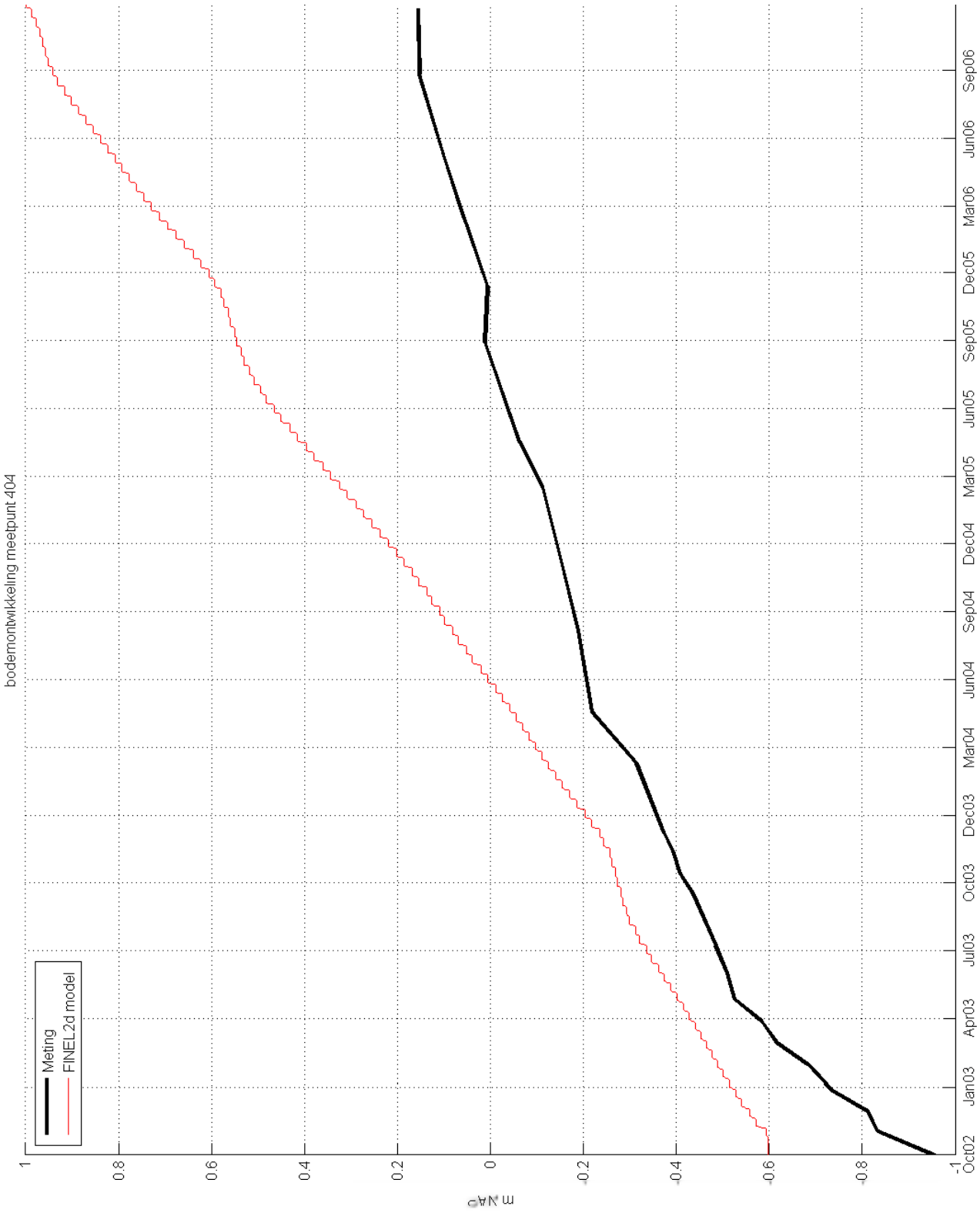
Figuur 12.1: Saeftinge: Rooster
Figuur 12.2a: Saeftinge: Vloedsnelheden referentie en ingreep situatie
Figuur 12.3b: Saeftinge: Ebsnelheden referentie en ingreep situatie
Figuur 12.2c: Saeftinge: Verschilsnelheden referentie en ingreep situatie
Figuur 12.3: Saeftinge: Geomorfologische kartering versus stroomsnelheid
Figuur 12.4: Saeftinge: Begin- en eind bodemligging
Figuur 12.5: Saeftinge: Slibpercentage in toplaag
Figuur 12.6: Saeftinge: Relatieve verandering in bodemligging en slibpercentage
Figuur 12.7: Saeftinge: Hypsometrische kromme



SVASEK HYDRAULICS

Overzicht projectgebieden

FIGUUR 3.1
1480
13-May-2008

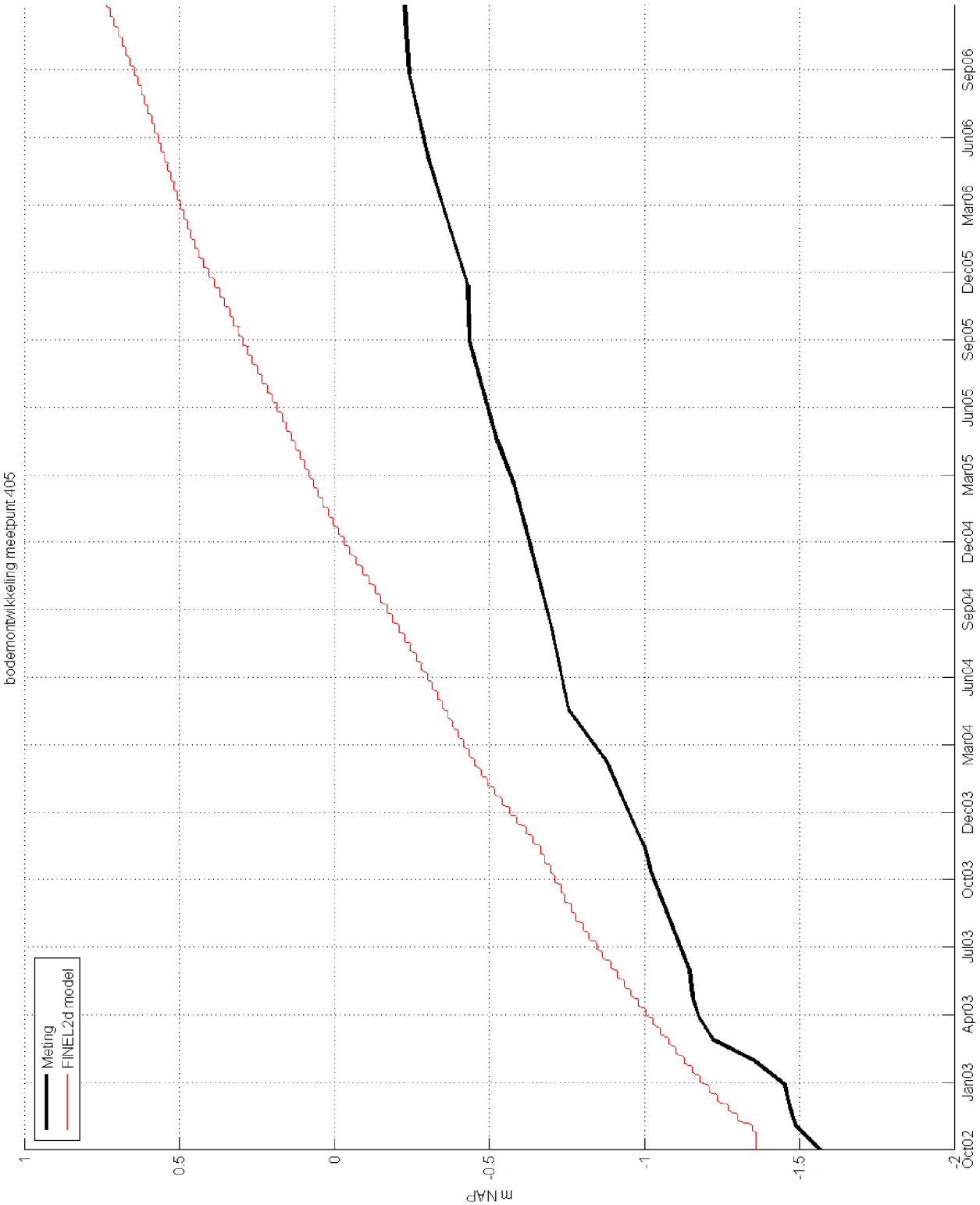


SVASEK HYDRAULICS

Bodemontwikkeling meetpunt 404

Calibratie: Slik bij Waarde

FIGUUR 5.1
1480
13-May-2008

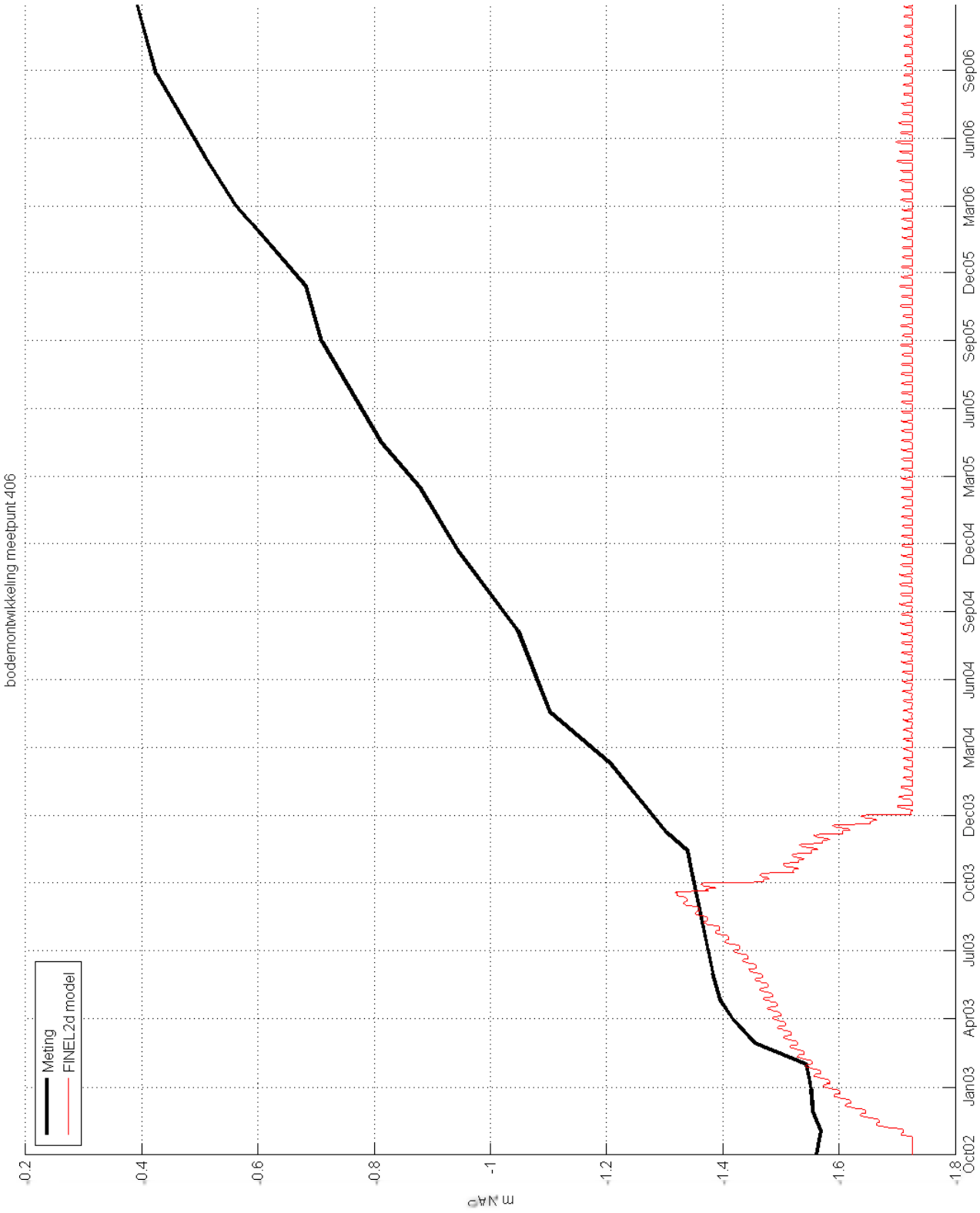


SVASEK HYDRAULICS

Bodemontwikkeling meetpunt 405

Calibratie: Slik bij Waarde

FIGUUR 5.2
1480
13-May-2008



SVASEK HYDRAULICS

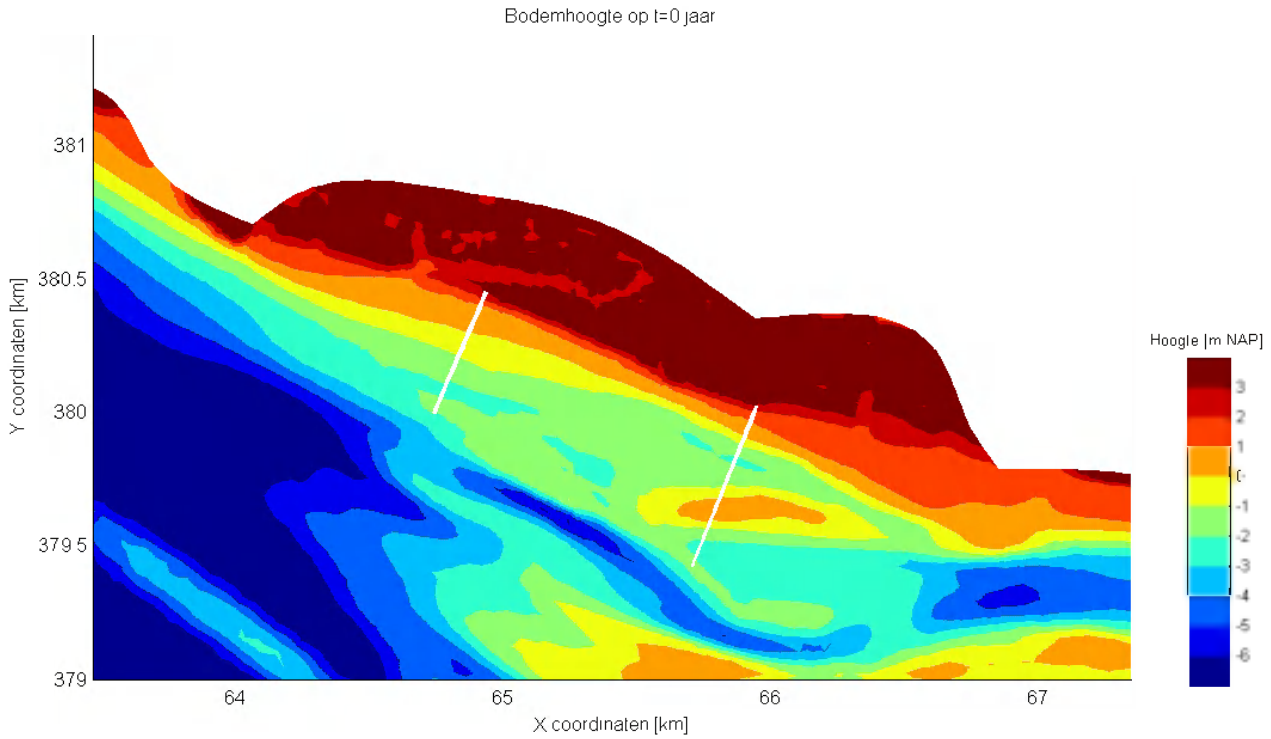
Bodemontwikkeling meetpunt 406

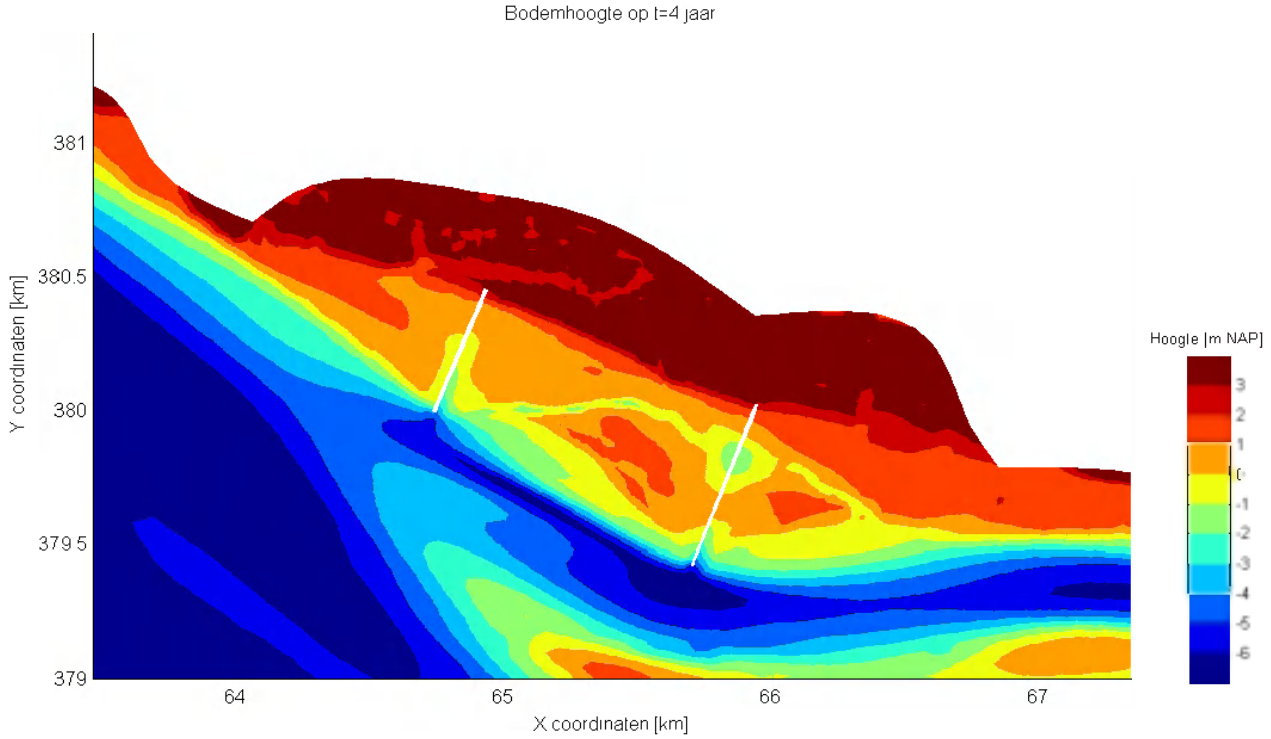
Calibratie: Slik bij Waarde

FIGUUR 5.3

1480

13-May-2008



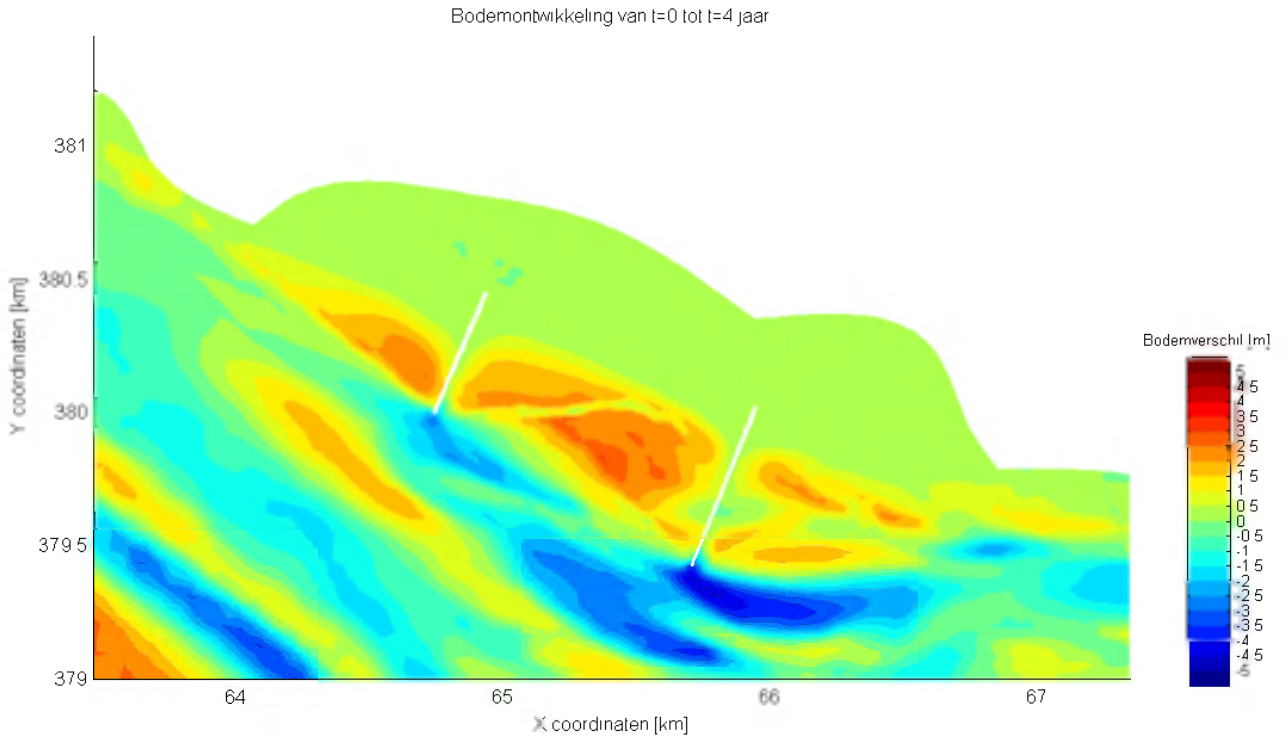


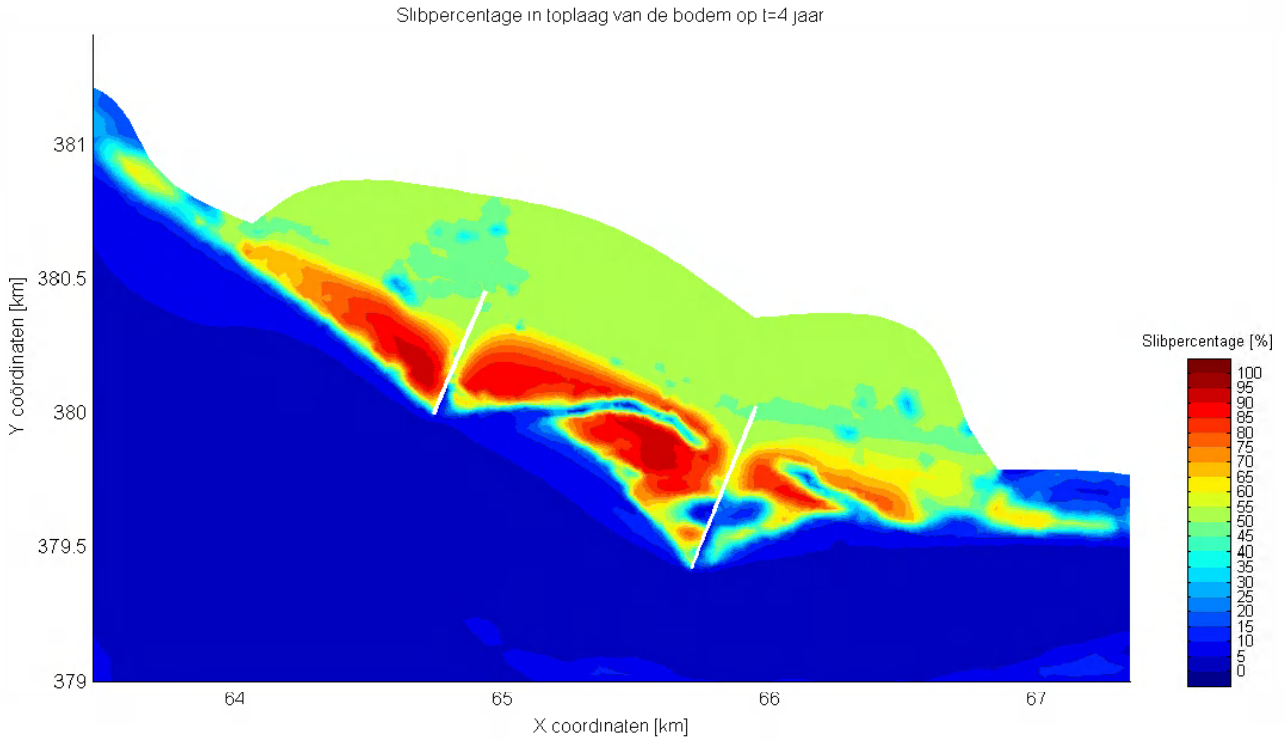
SVASEK HYDRAULICS

Uitkomsten calibratie FINEL2d model bij Waarde

beginbodem en eindbodem

FIGUUR 5.4
1480
13-May-2008



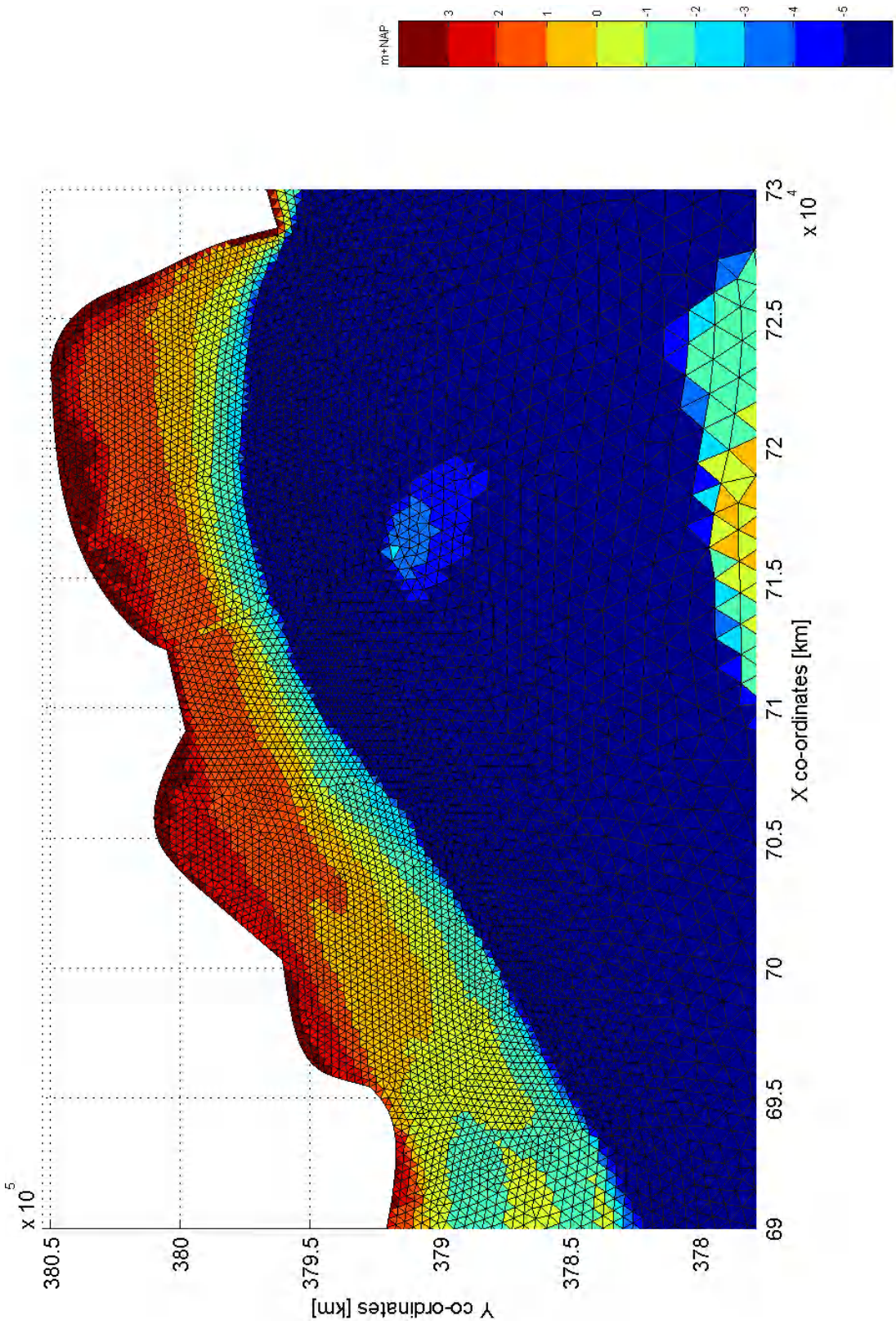


SVASEK HYDRAULICS

Uitkomsten calibratie FINEL2d model bij Waarde

verschilbodem en slibpercentages toplaag

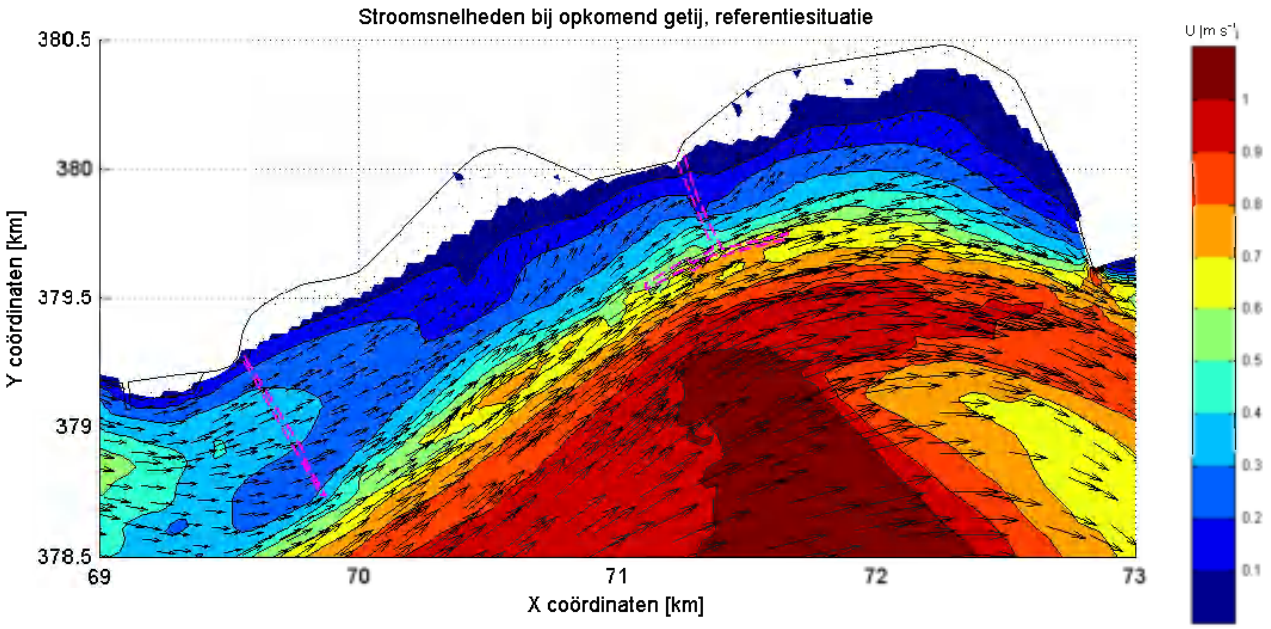
FIGUUR 5.5
1480
13-May-2008

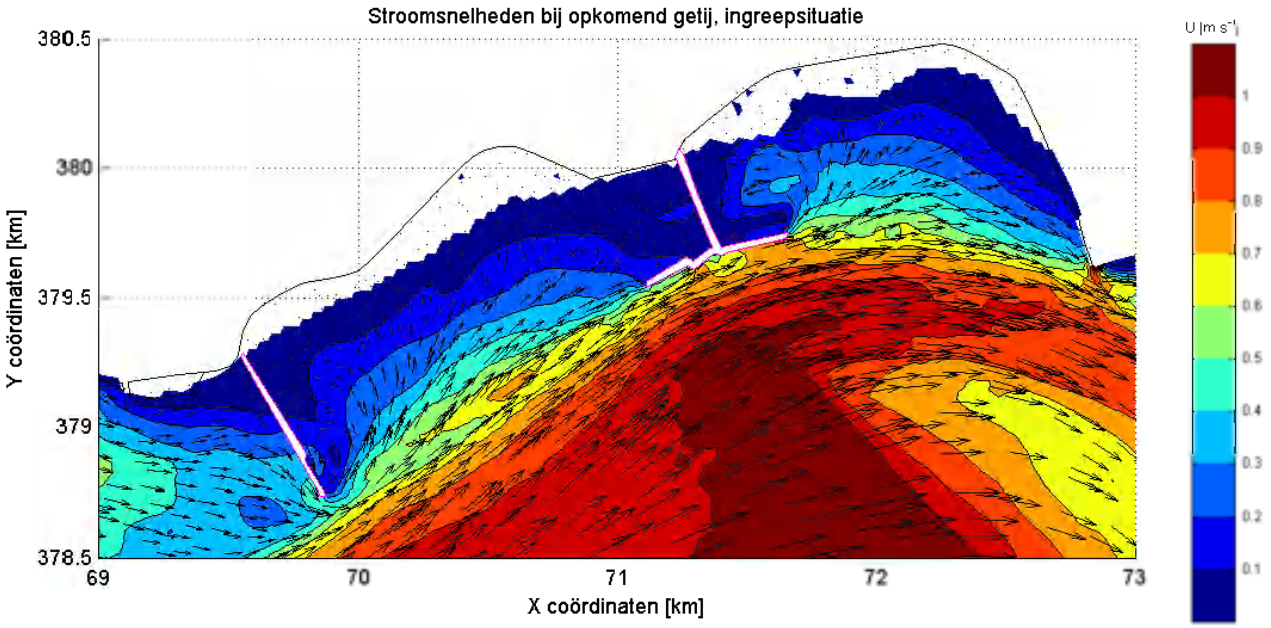


SVASEK HYDRAULICS

Rekenrooster projectgebied Bath

FIGUUR 6.1
1480
07-Jul-2008



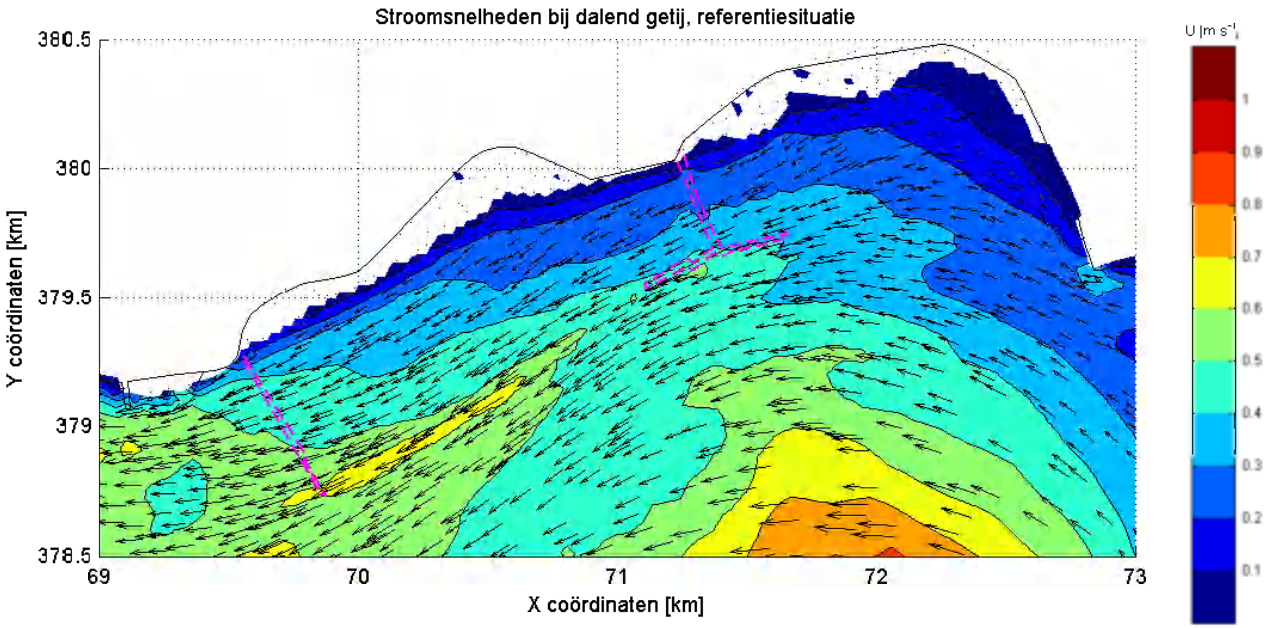


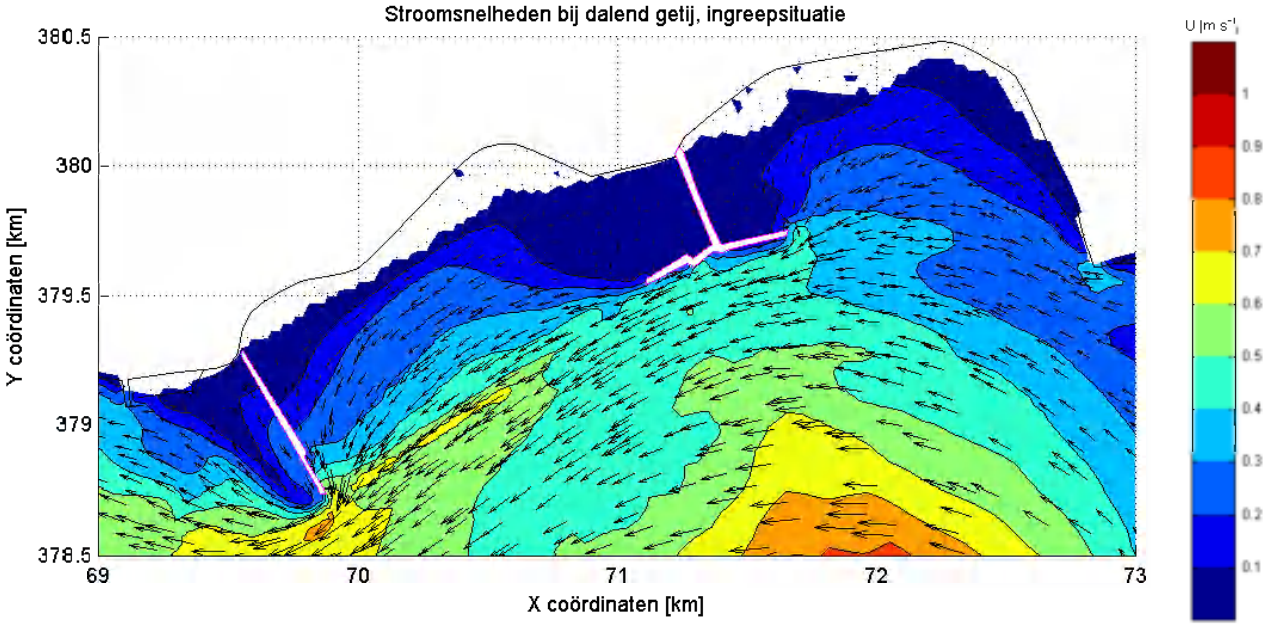
SVASEK HYDRAULICS

Maximum vloedstroomsnelheden, projectgebied Bath

Referentie en ingreep situatie

FIGUUR 6.2a
1480
07-Jul-2008



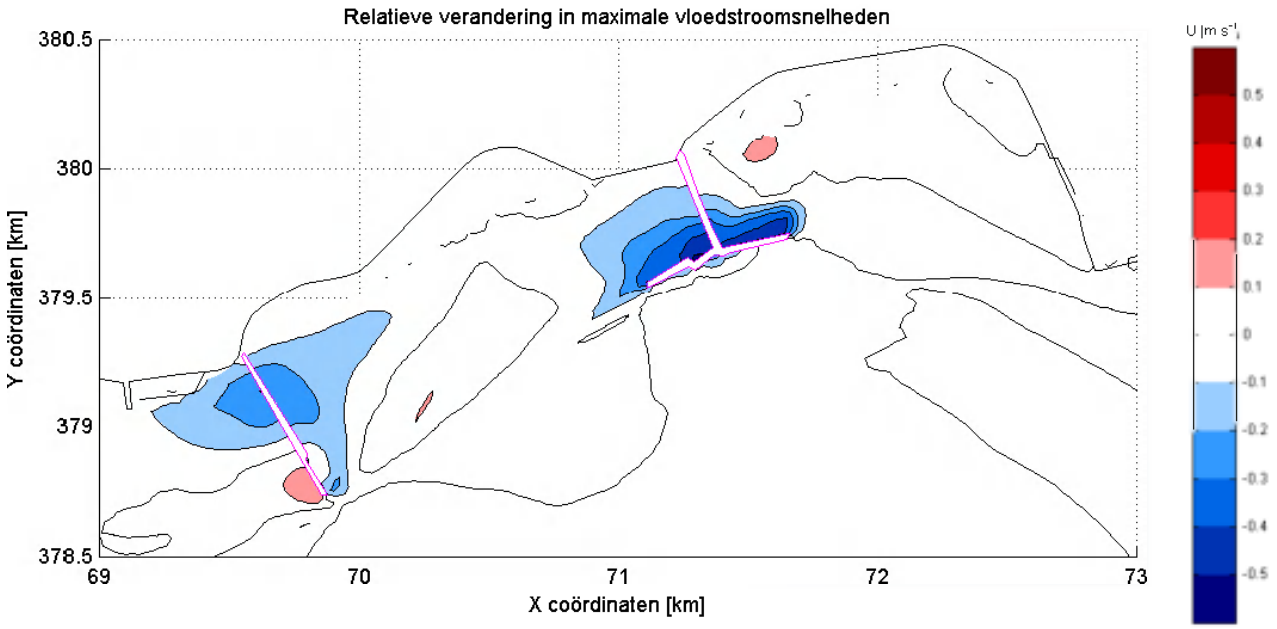


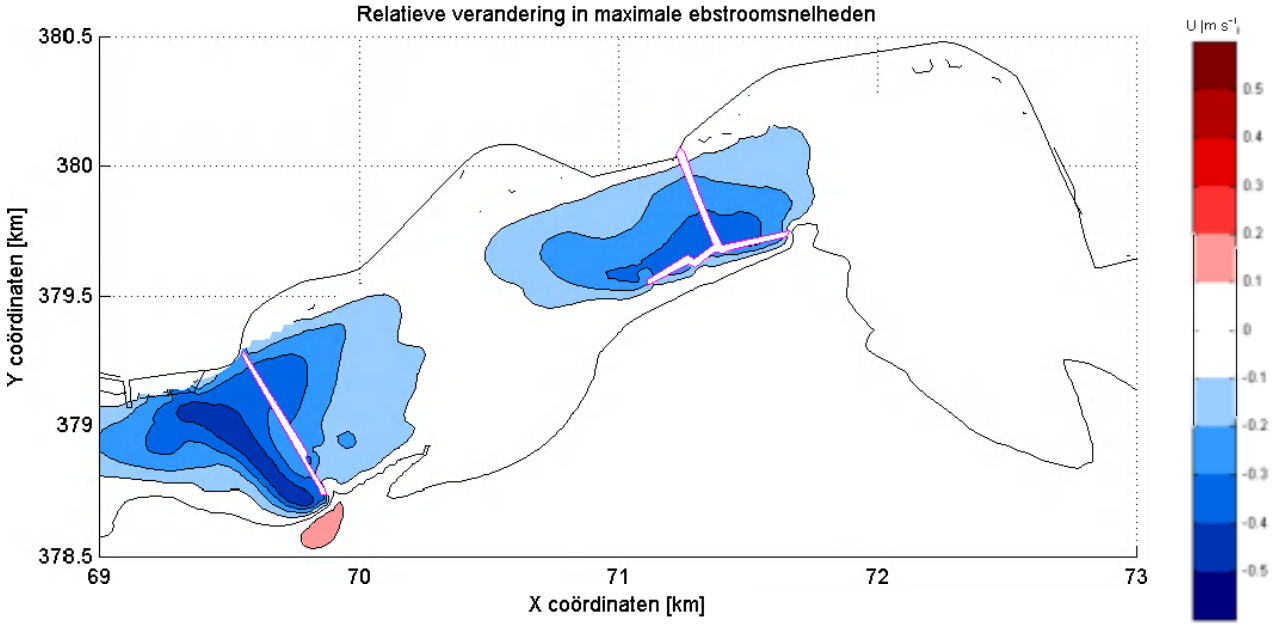
SVASEK HYDRAULICS

Maximum ebstroomsnelheden, projectgebied Bath

Referentie en ingreep situatie

FIGUUR 6.2b
1480
07-Jul-2008



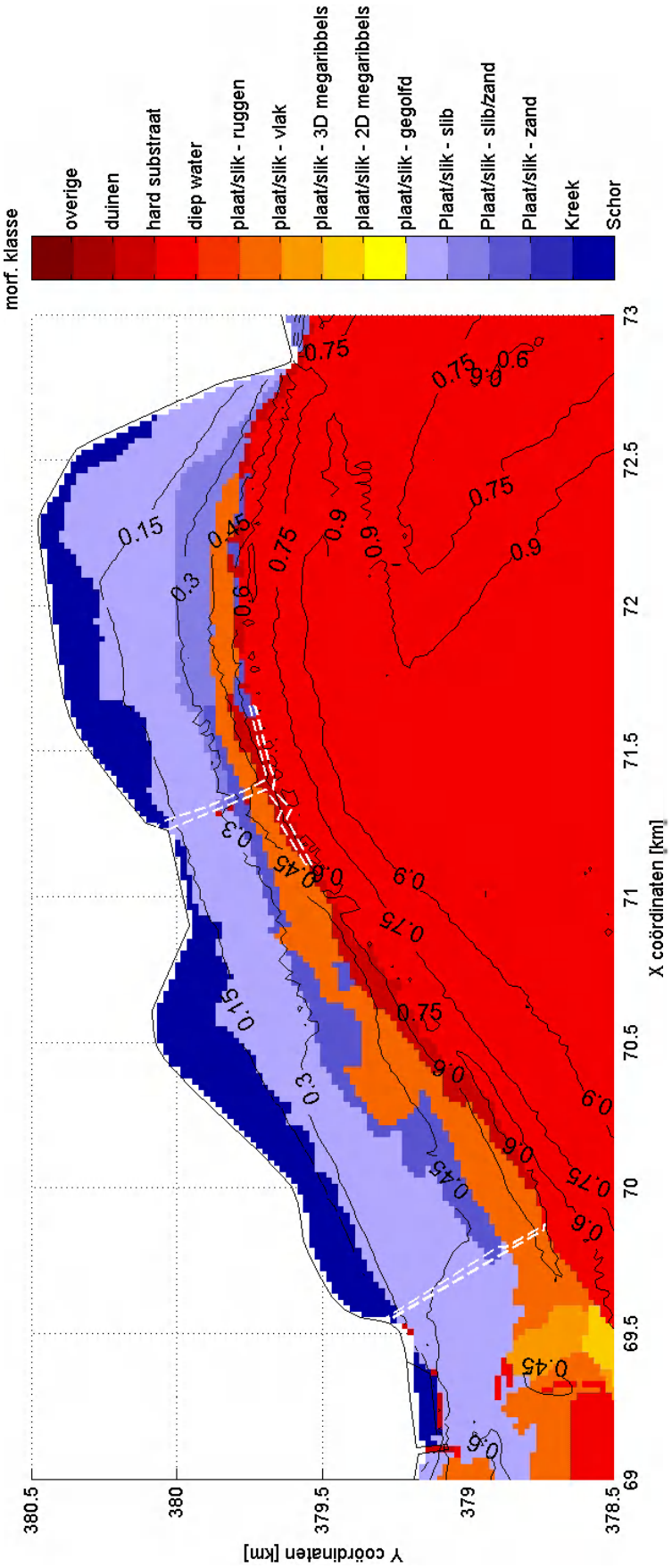


SVASEK HYDRAULICS

Verschil stroomsnelheden, projectgebied Bath

Referentie en ingreep situatie

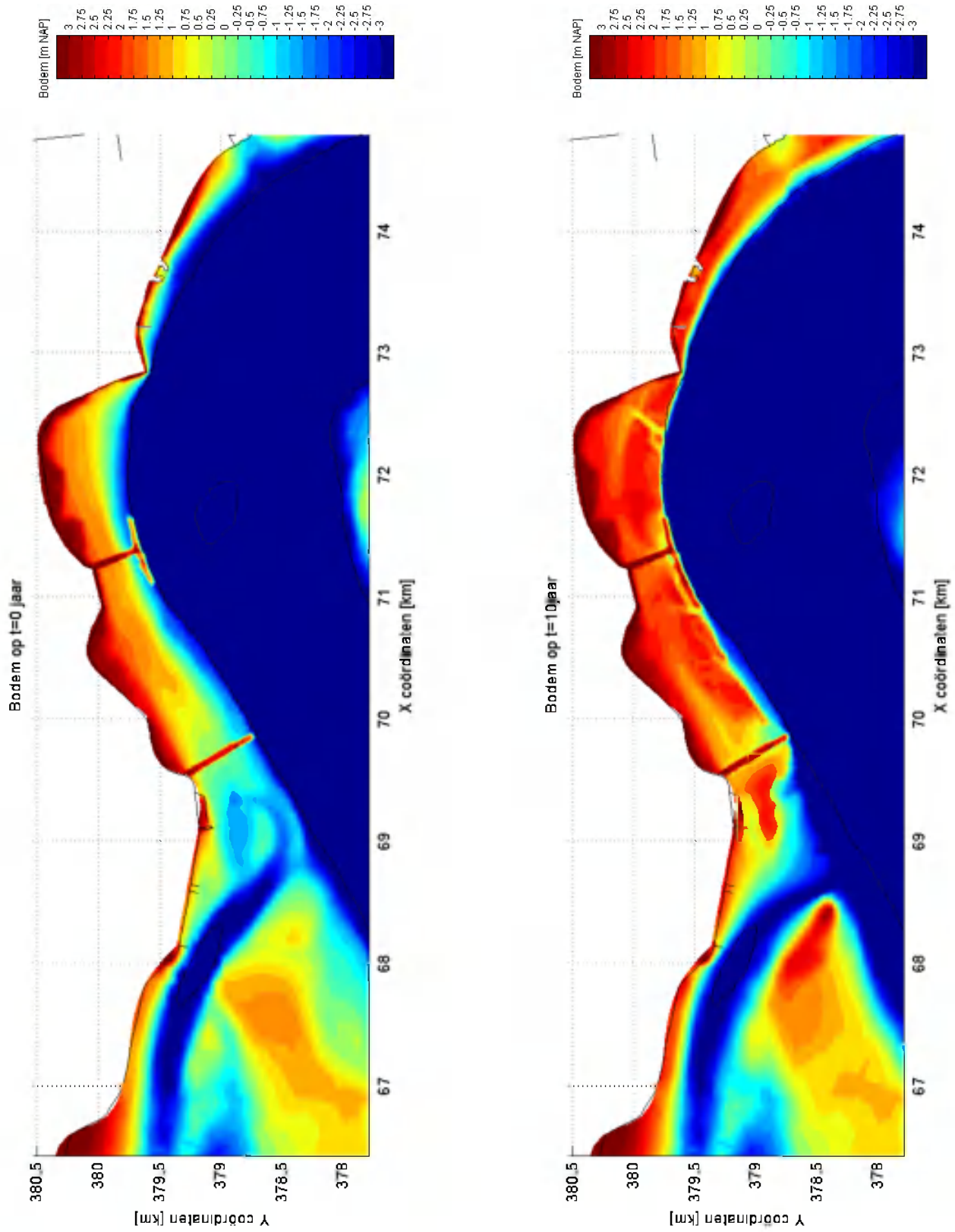
FIGUUR 6.2c
1480
07-Jul-2008



Geomorfologische kaart projectgebied Bath

contouren geven max. stroomsnelheid (over geheel getij) in m/s

FIGUUR 6.3
1480
07-Jul-2008



SVASEK HYDRAULICS

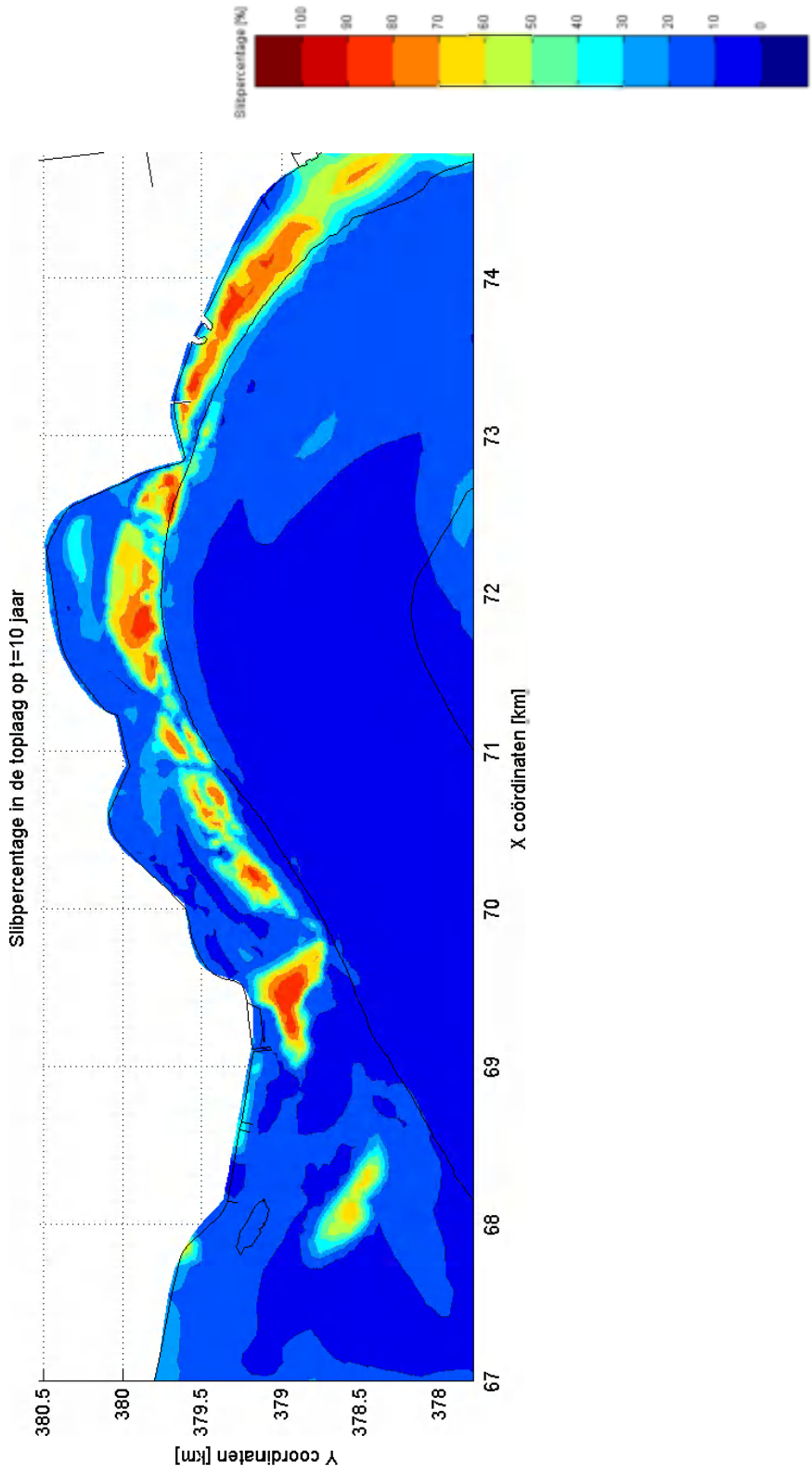
Uitkomsten Projectgebied Bath met ingreep situatie

Bodem op t=0 en t=10 jaar

FIGUUR 6.4

1480

07-Jul-2008

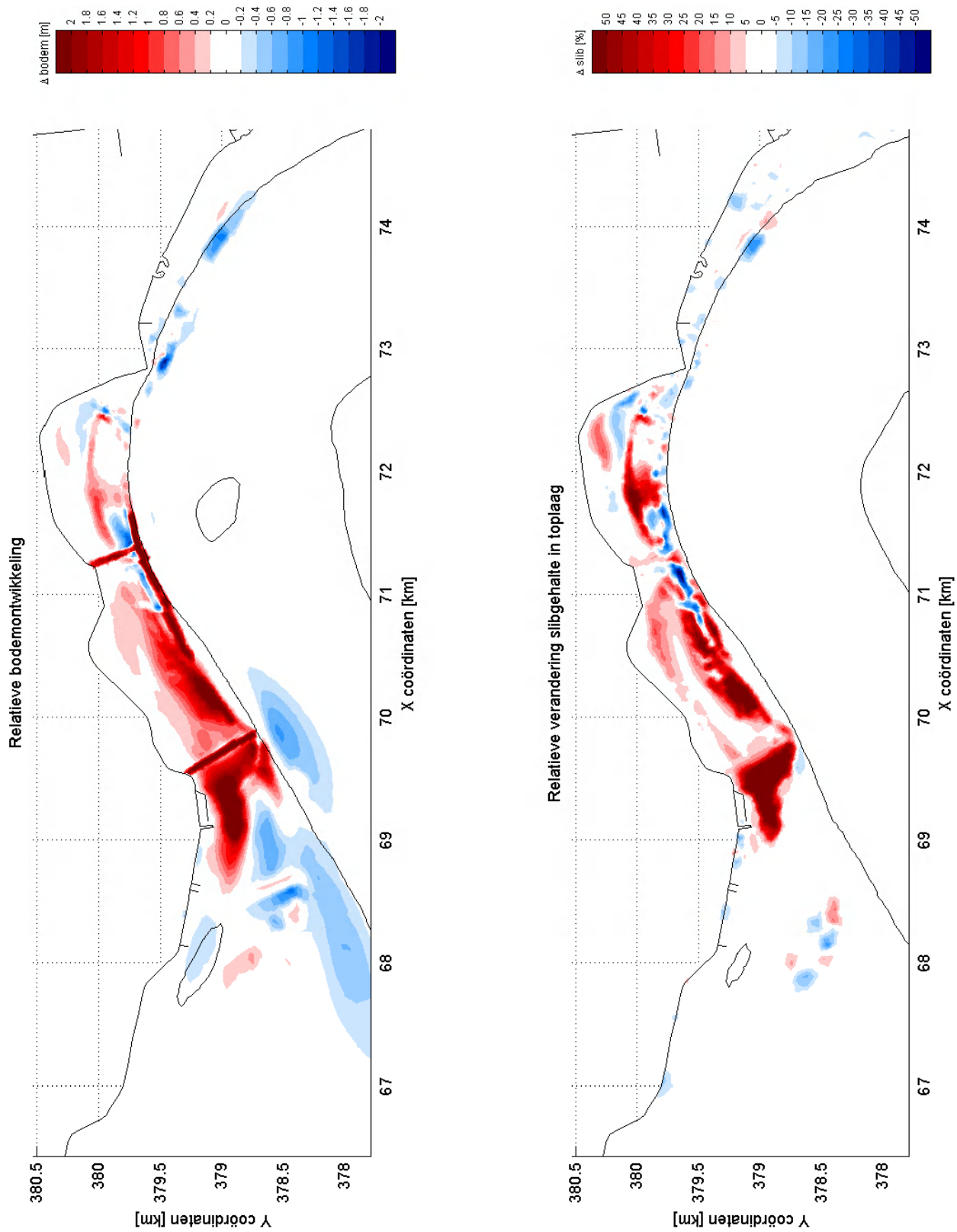


SVASEK HYDRAULICS

Slibpercentage in de toplaag van de bodem na 10 jaar

Projectgebied Bath

FIGUUR 6.5
1480
07-Jul-2008



SVASEK HYDRAULICS

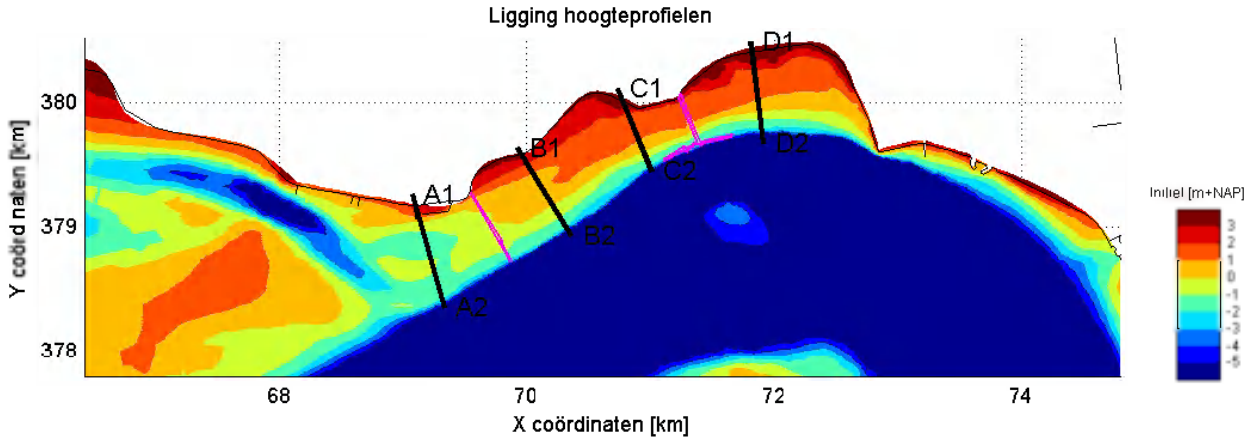
Uitkomsten Projectgebied Bath na 10 jaar

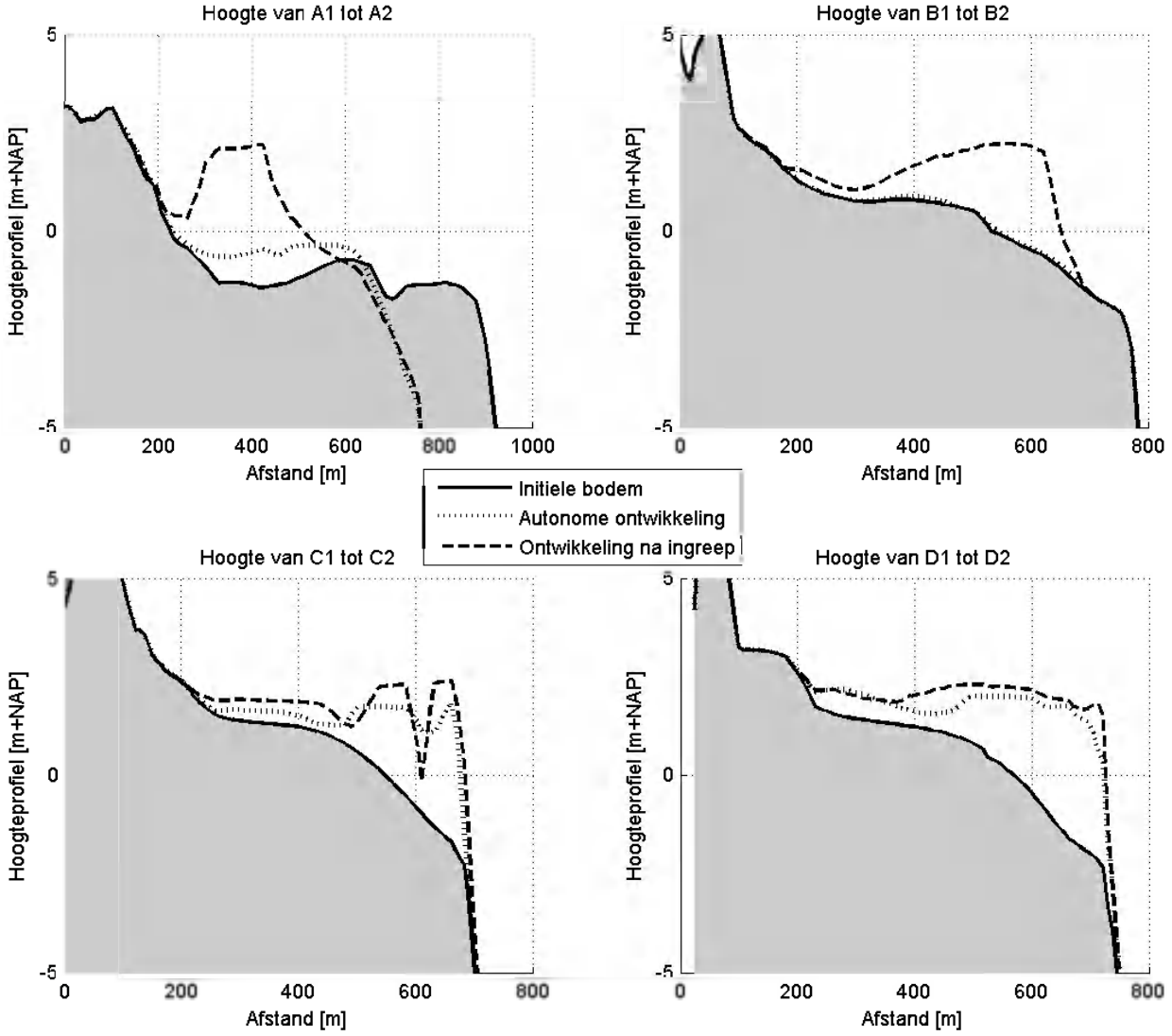
(eindsituatie ingreep - eindsituatie autonome ontwikkeling)

FIGUUR 6.6

1480

07-Jul-2008

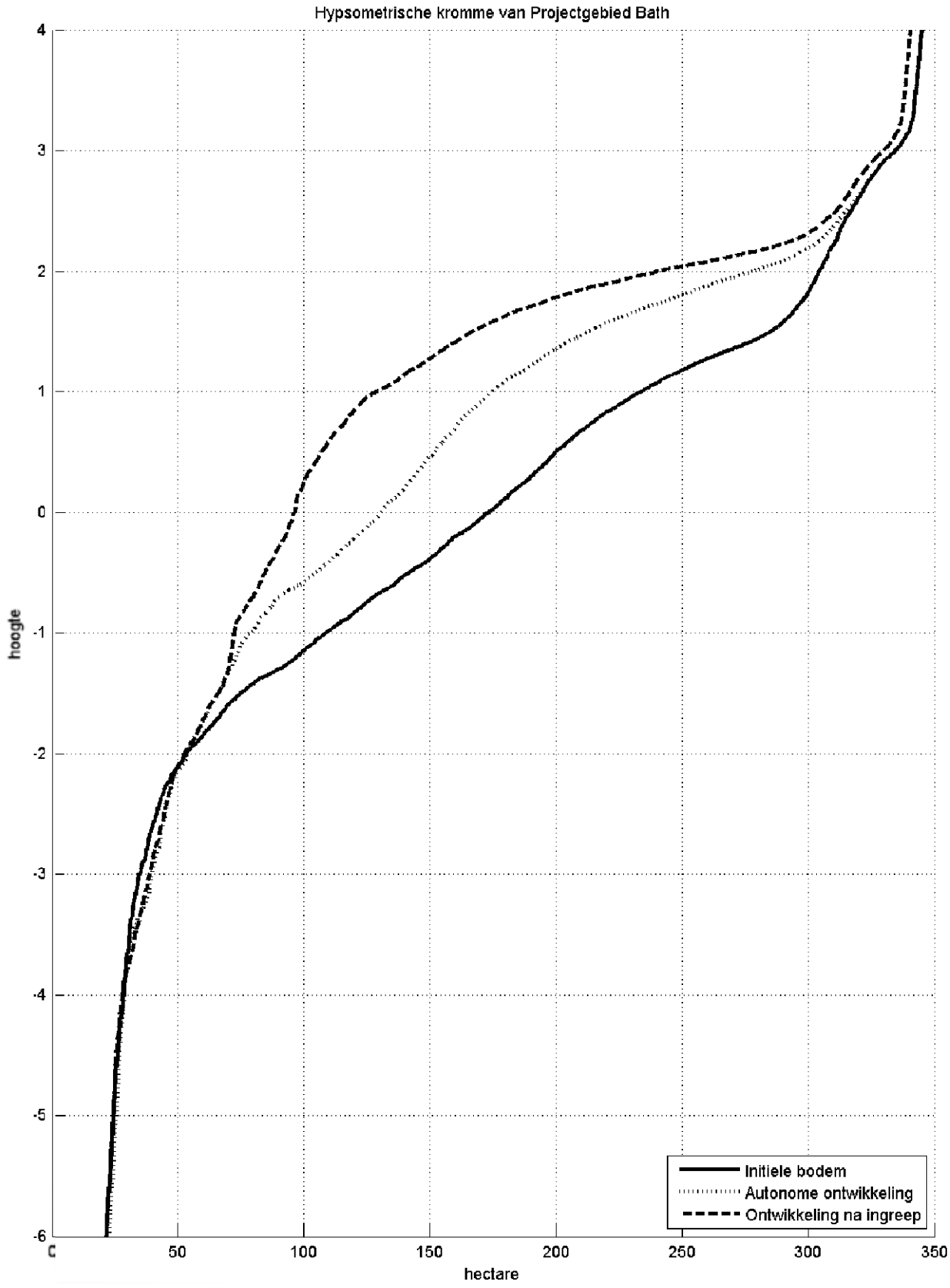




SVASEK HYDRAULICS

Hoogteprofielen Projectgebied Bath na 10 jaar

FIGUUR 6.7
1480
07-Jul-2008

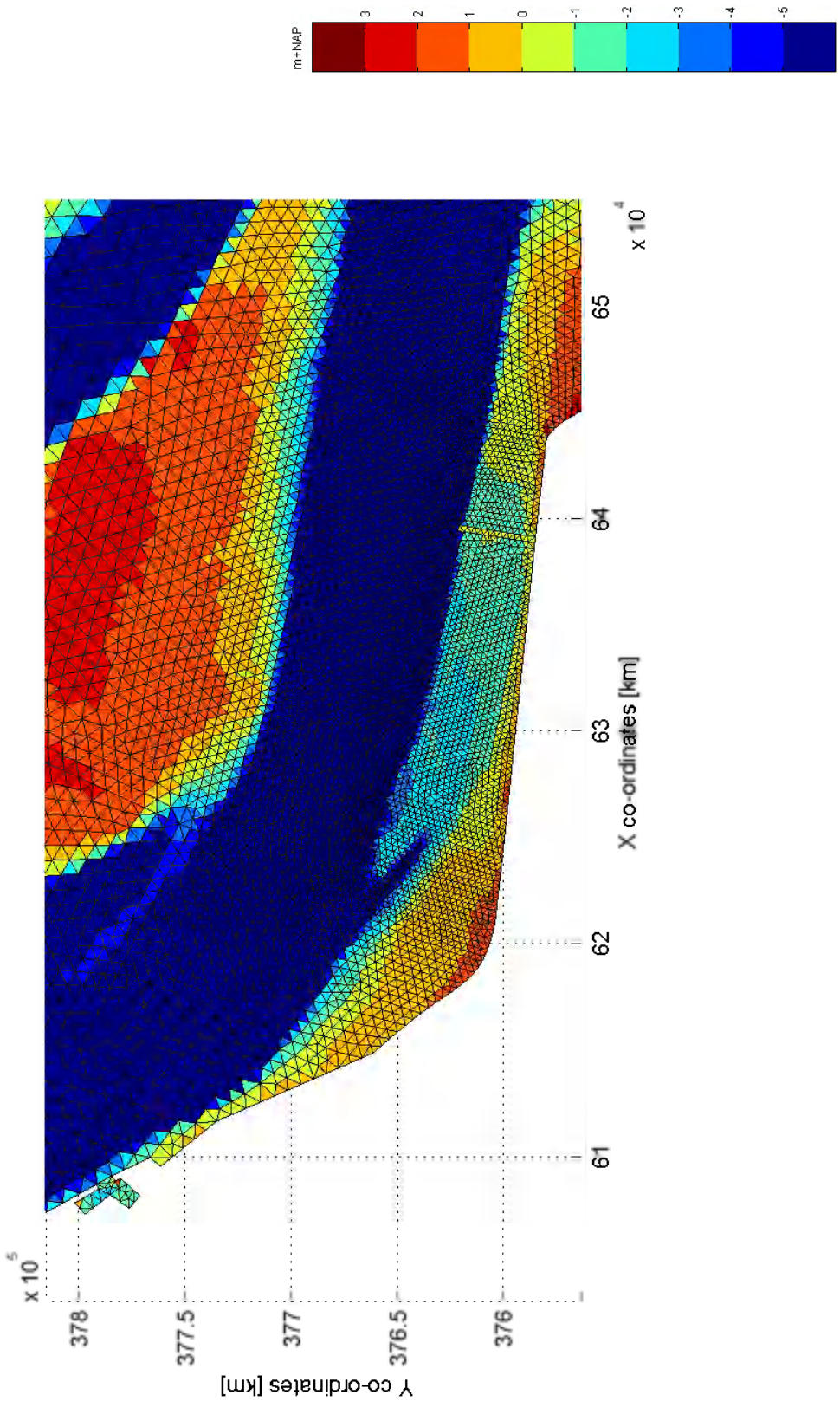


SVASEK HYDRAULICS

Hypsometrische kromme van Projectgebied Bath

Initiele bodemligging en ontwikkeling na 10 jaar

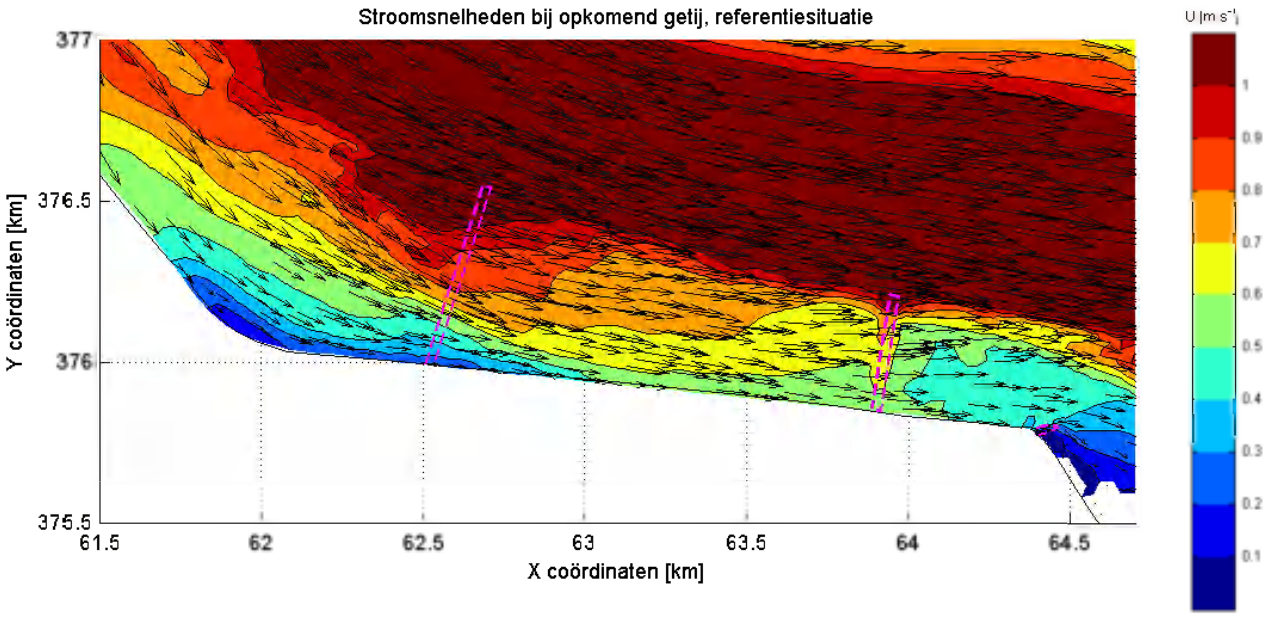
FIGUUR 6.8
1480
07-Jul-2008

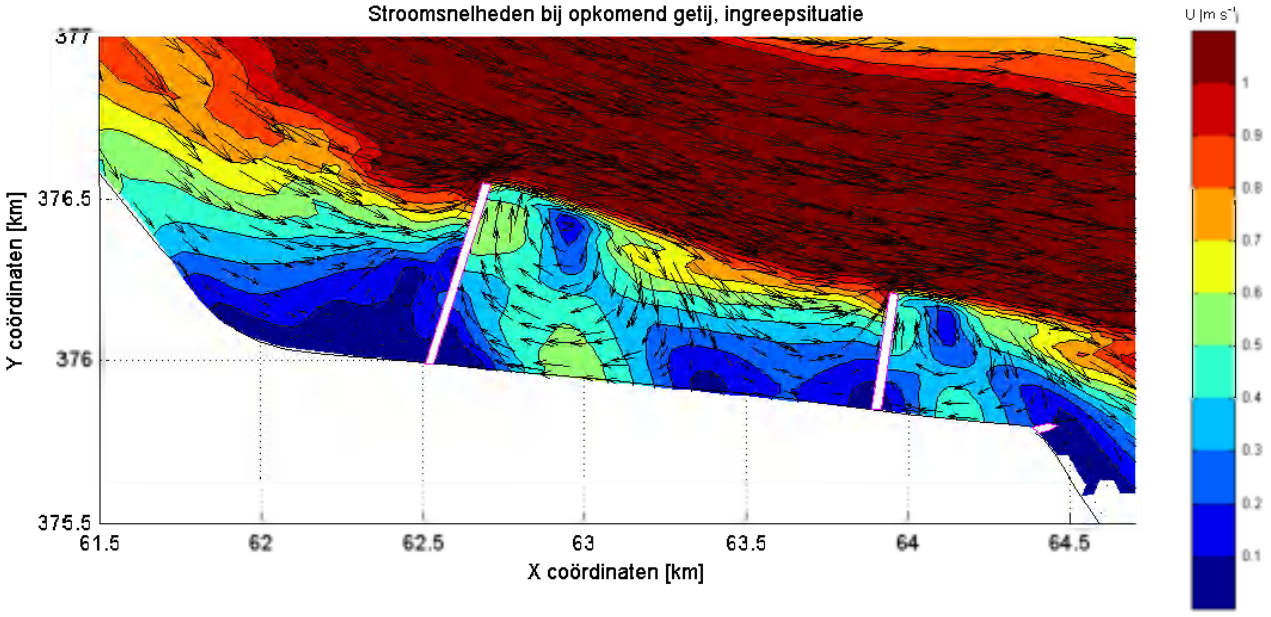


SVASEK HYDRAULICS

Rekenrooster projectgebied Baalhoek

FIGUUR 7.1
1480
07-Jul-2008



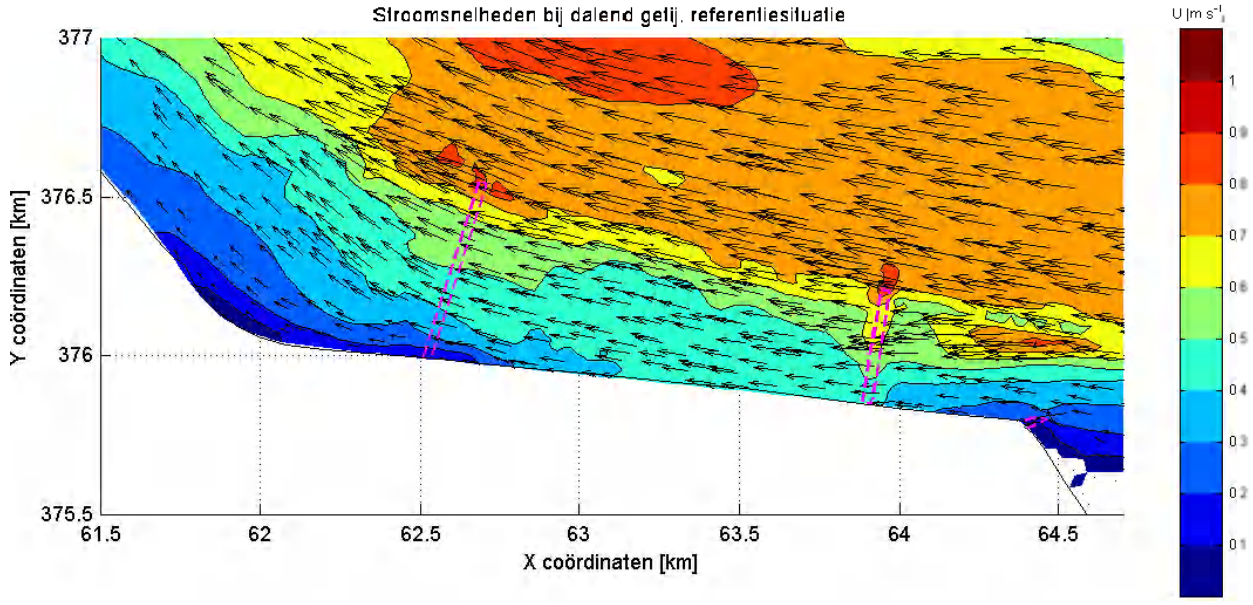


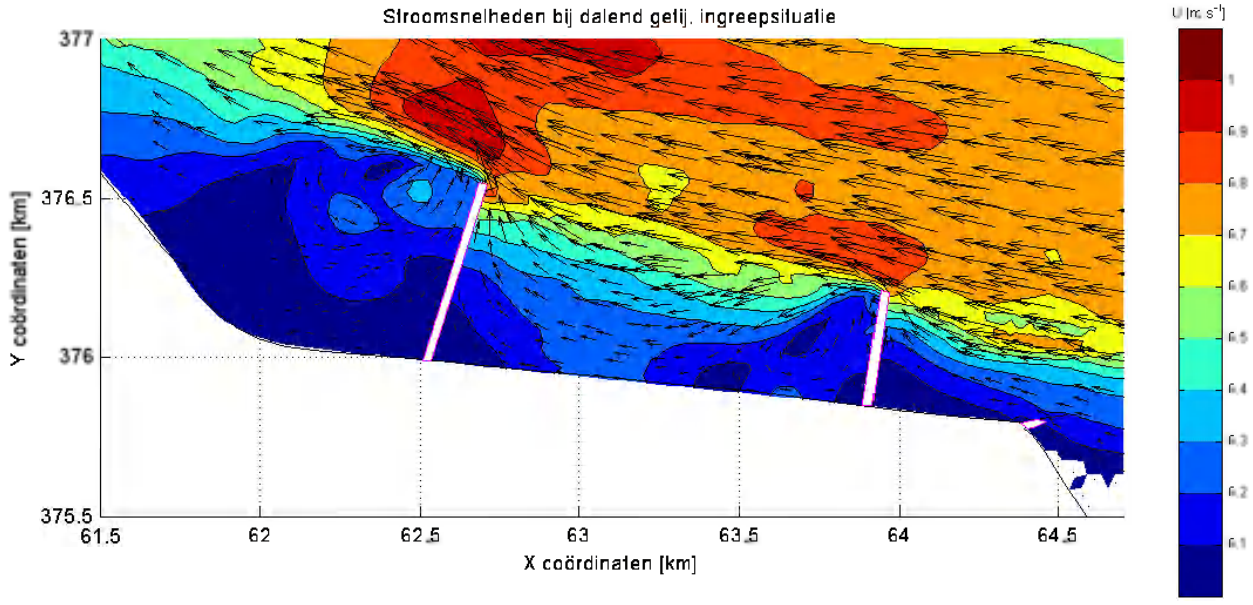
SVASEK HYDRAULICS

Maximum vloedstroomsnelheden, projectgebied Baalhoek

Referentie en ingreep situatie

FIGUUR 7.2a
1480
07-Jul-2008



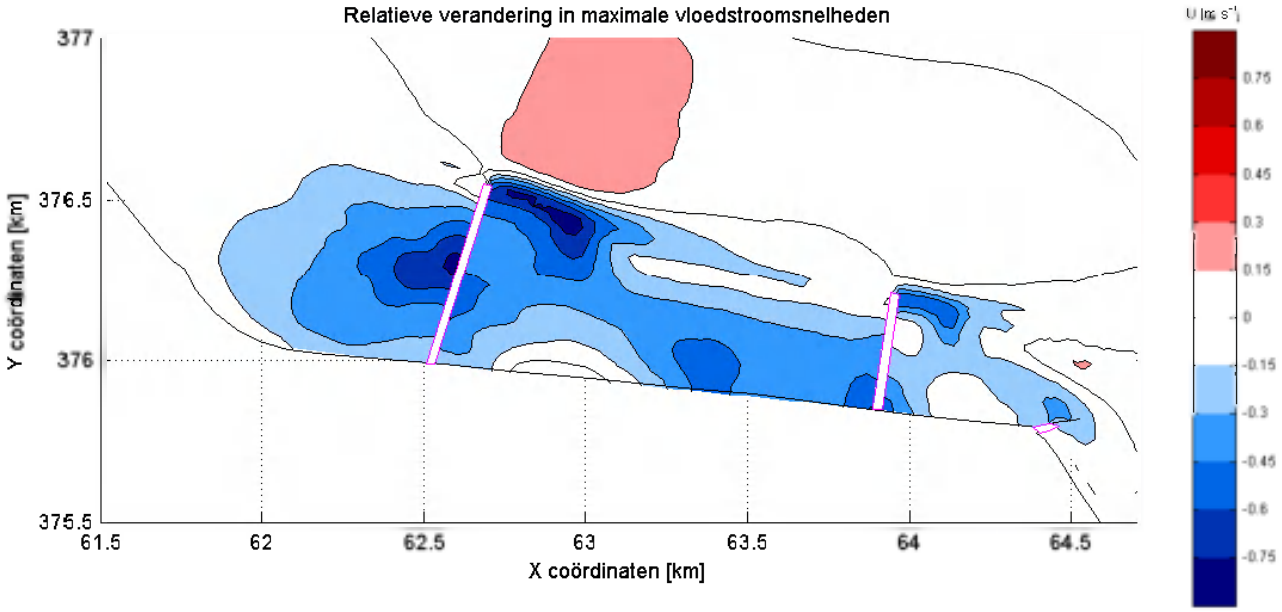


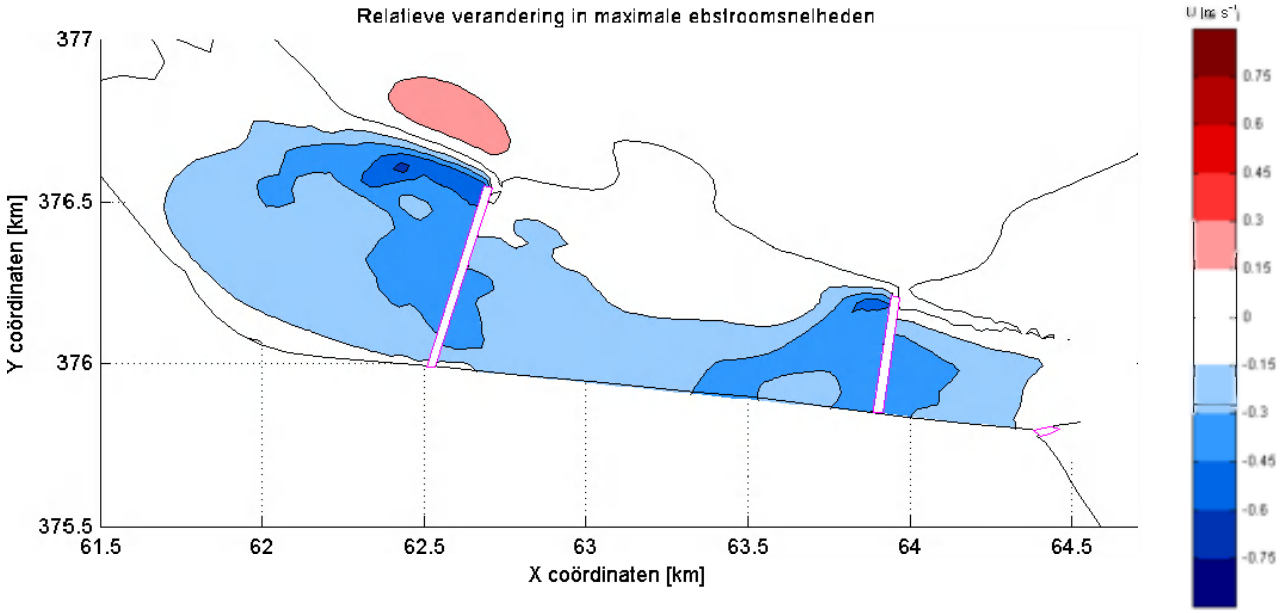
SVASEK HYDRAULICS

Maximum ebstroomsnelheden, projectgebied Baalhoek

Referentie en ingreep situatie

FIGUUR 7.2b
1480
07-Jul-2008



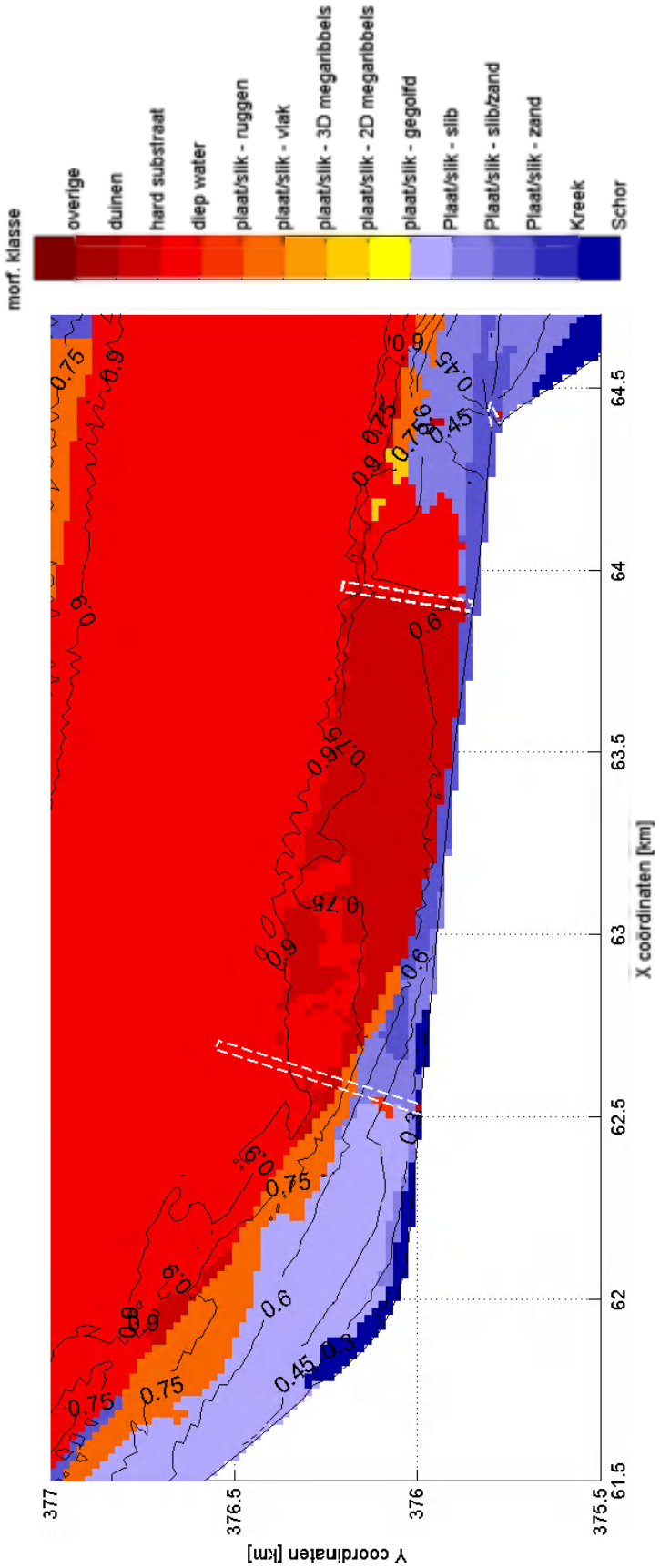


SVASEK HYDRAULICS

Verschil stroomsnelheden, projectgebied Baalhoek

Referentie en ingreep situatie

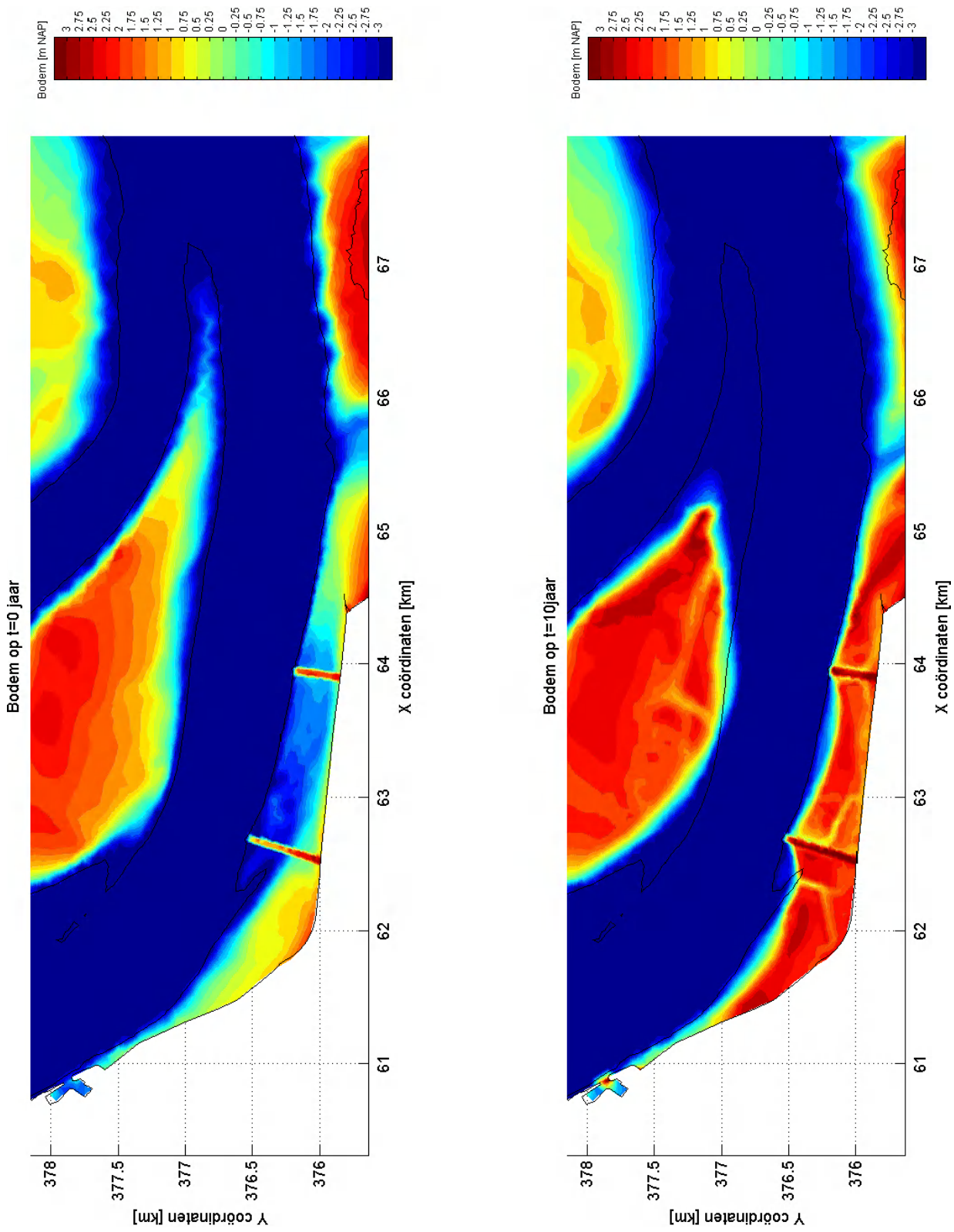
FIGUUR 7.2c
1480
07-Jul-2008



Geomorfologische kaart projectgebied Baalhoek

contouren geven max. stroomsnelheid (over geheel getij) in m/s

FIGUUR 7.3
1480
07-Jul-2008

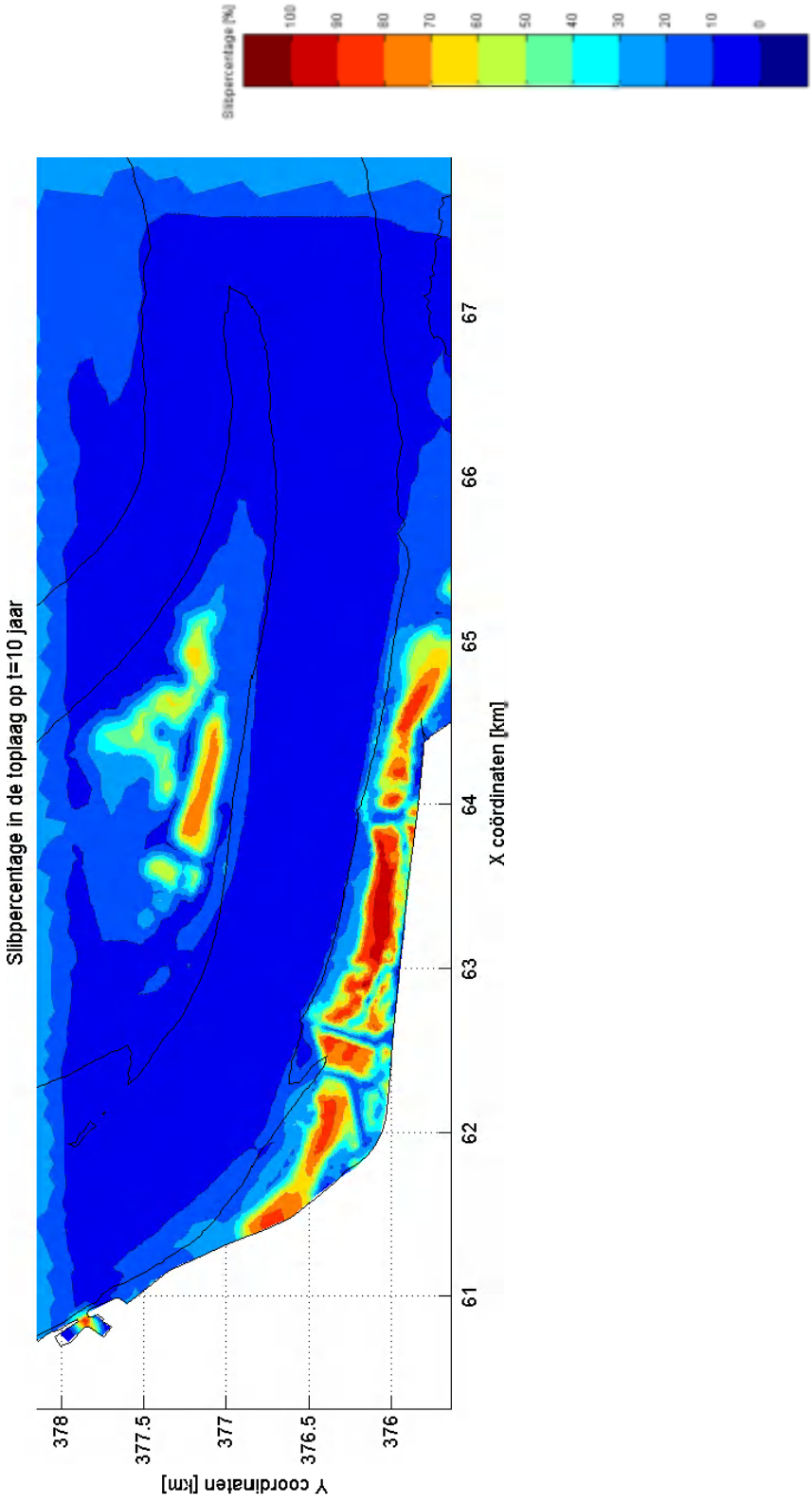


SVASEK HYDRAULICS

Uitkomsten Projectgebied Baalhoek met ingreep situatie

Bodem op t=0 en t=10 jaar

FIGUUR 7.4
1480
07-Jul-2008

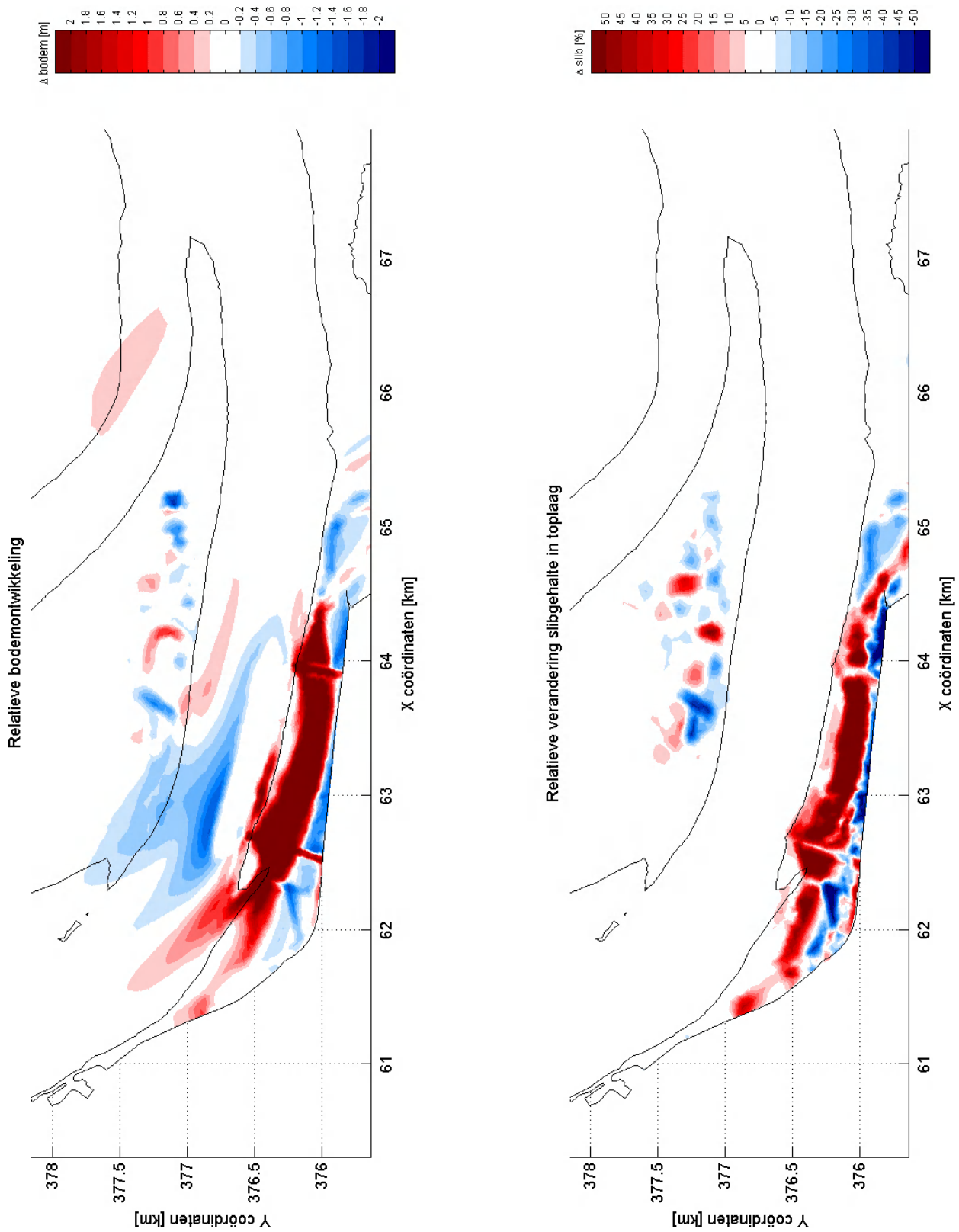


SVASEK HYDRAULICS

Slibpercentage in de toplaag van de bodem na 10 jaar

Projectgebied Baalhoek

FIGUUR 7.5
1480
07-Jul-2008



SVASEK HYDRAULICS

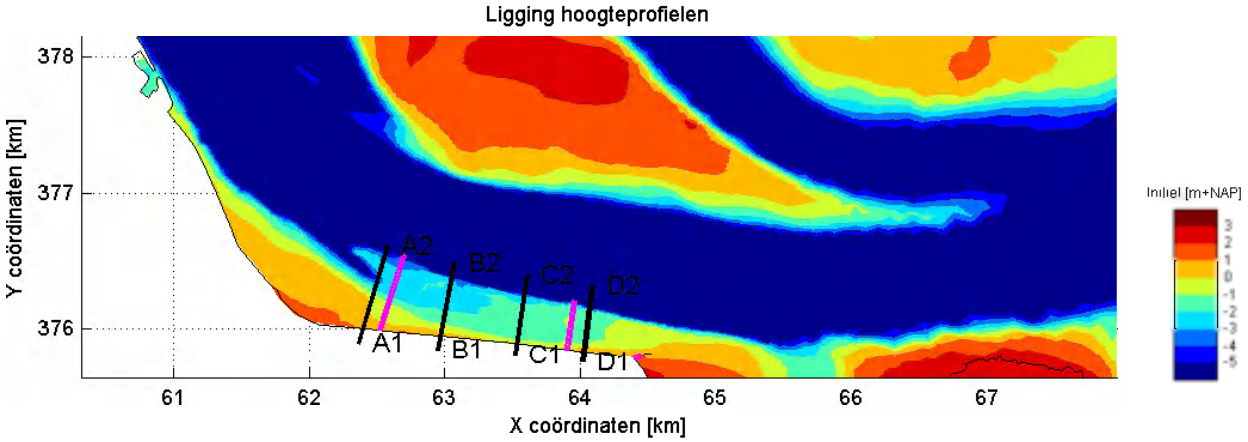
Uitkomsten Projectgebied Baalhoek na 10 jaar

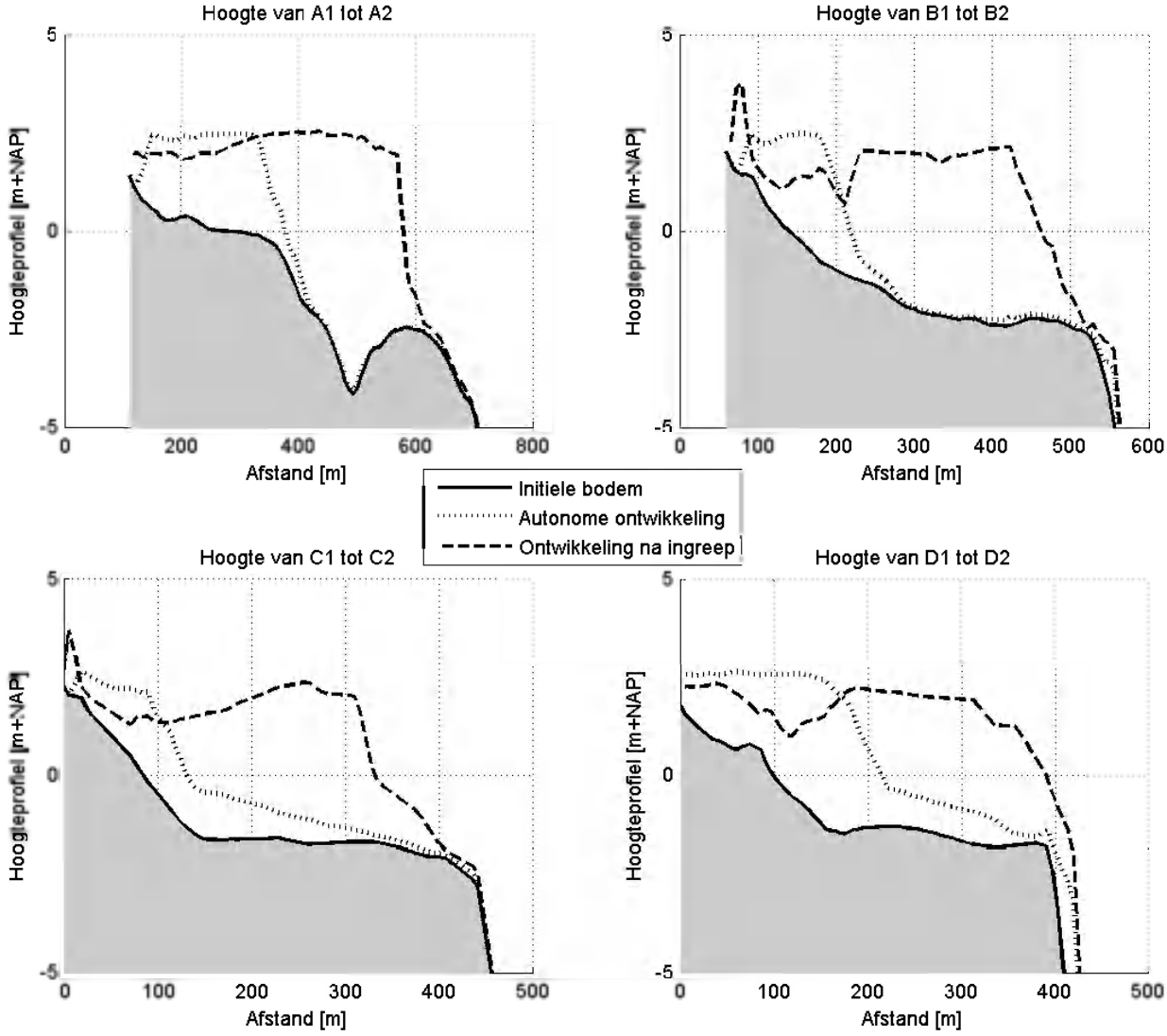
(eindsituatie ingreep - eindsituatie autonome ontwikkeling)

FIGUUR 7.6

1480

07-Jul-2008

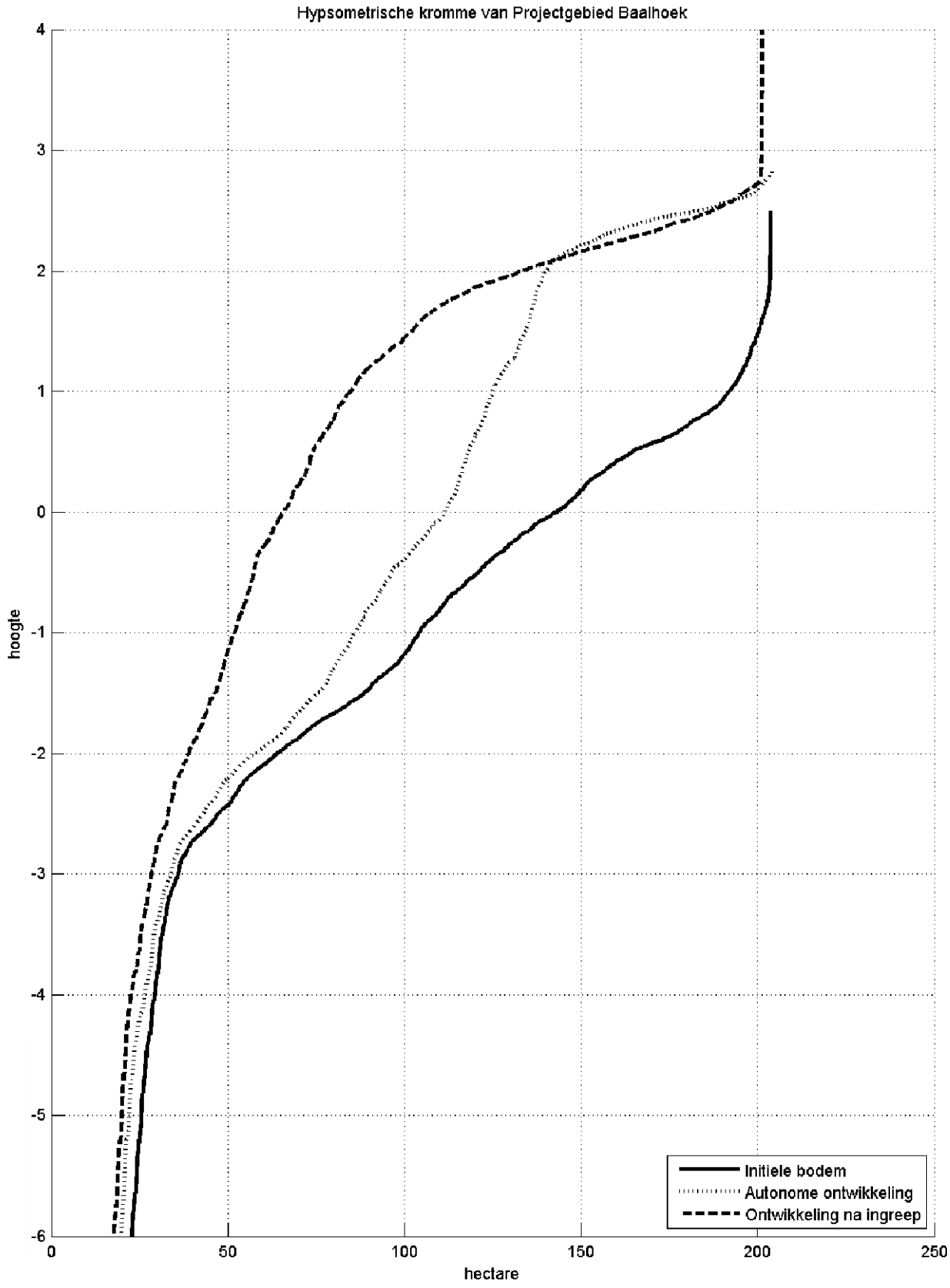




SVASEK HYDRAULICS

Hoogteprofielen Projectgebied Baalhoek na 10 jaar

FIGUUR 7.7
1480
07-Jul-2008

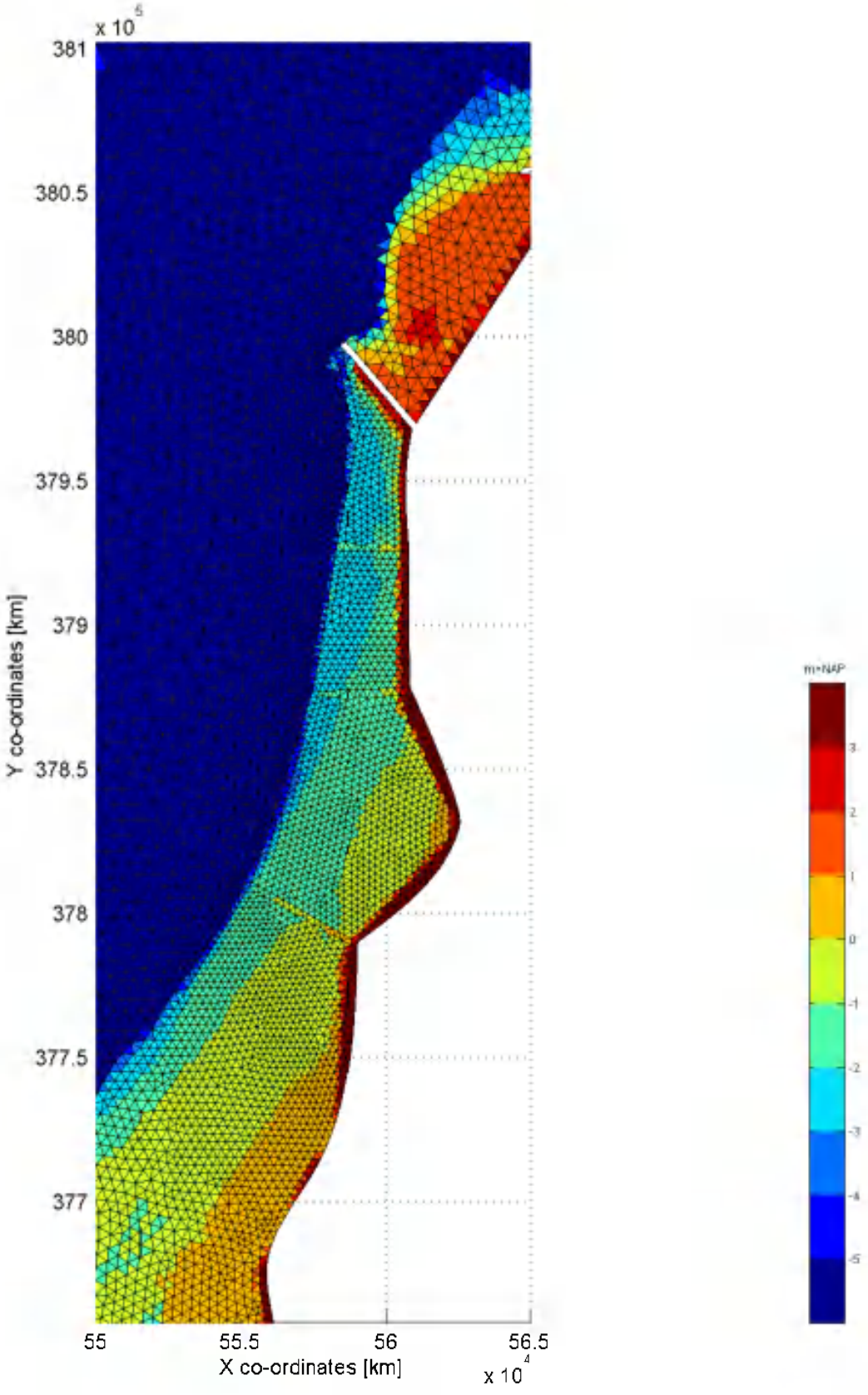


SVASEK HYDRAULICS

Hypsometrische kromme van Projectgebied Baalhoek

Initiele bodemligging en ontwikkeling na 10 jaar

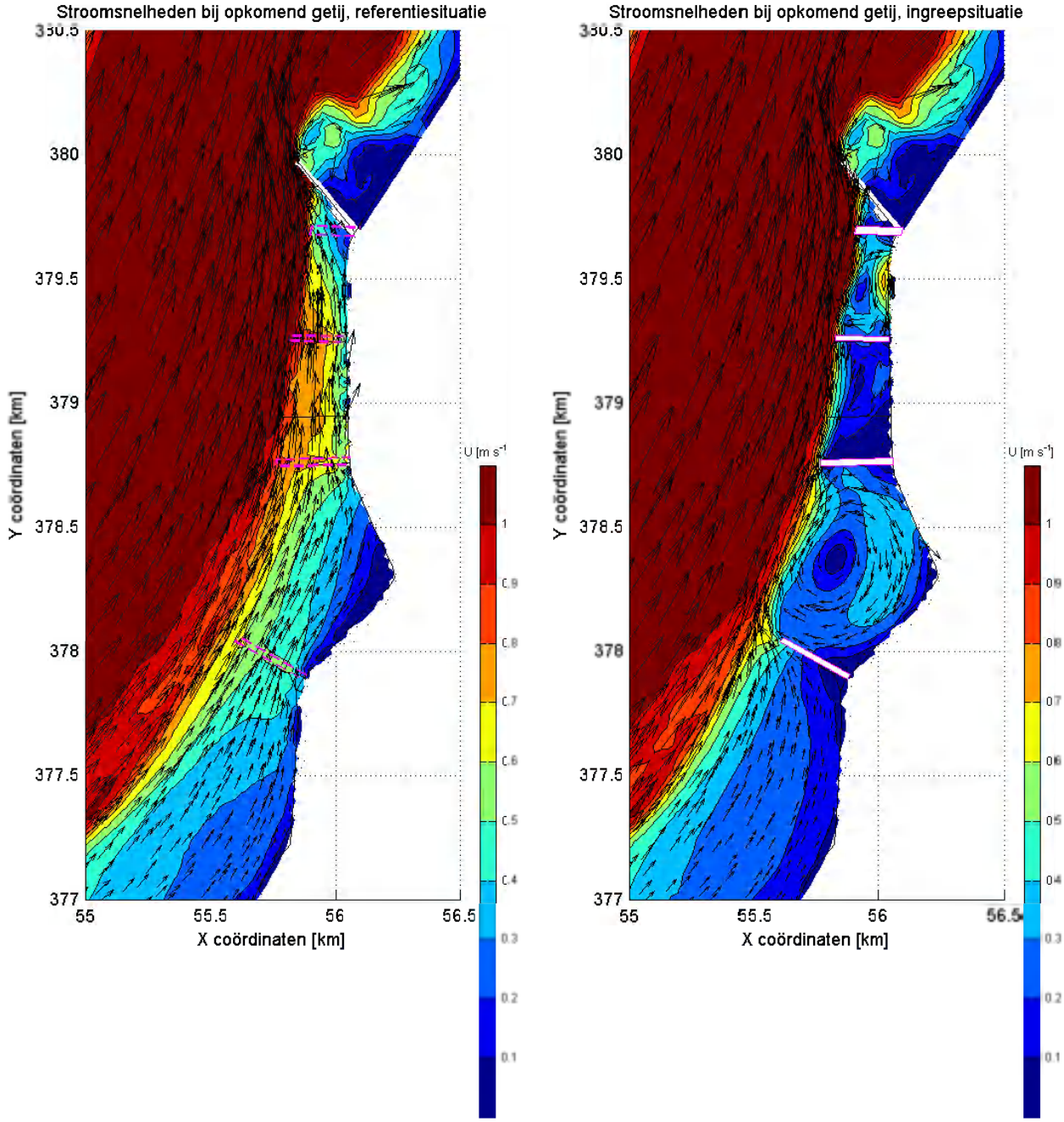
FIGUUR 7.8
1480
07-Jul-2008



SVASEK HYDRAULICS

Rekenrooster projectgebied Knuitershoek

FIGUUR 8.1
1480
07-Jul-2008



SVASEK HYDRAULICS

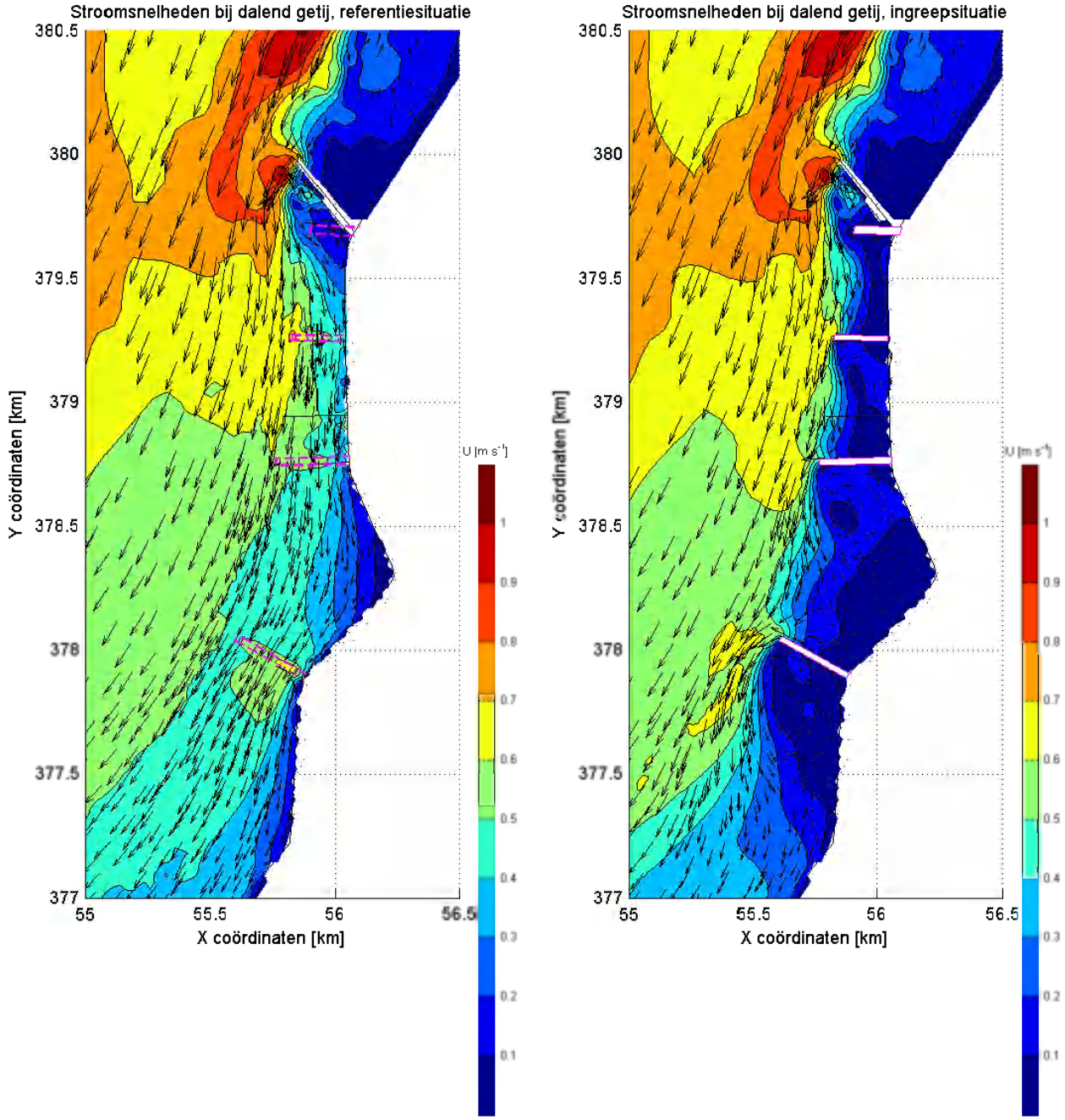
Maximum vloedstroomsnelheden, projectgebied Knuitershoek

Referentie en ingreep situatie

FIGUUR 8.2a

1480

07-Jul-2008



SVASEK HYDRAULICS

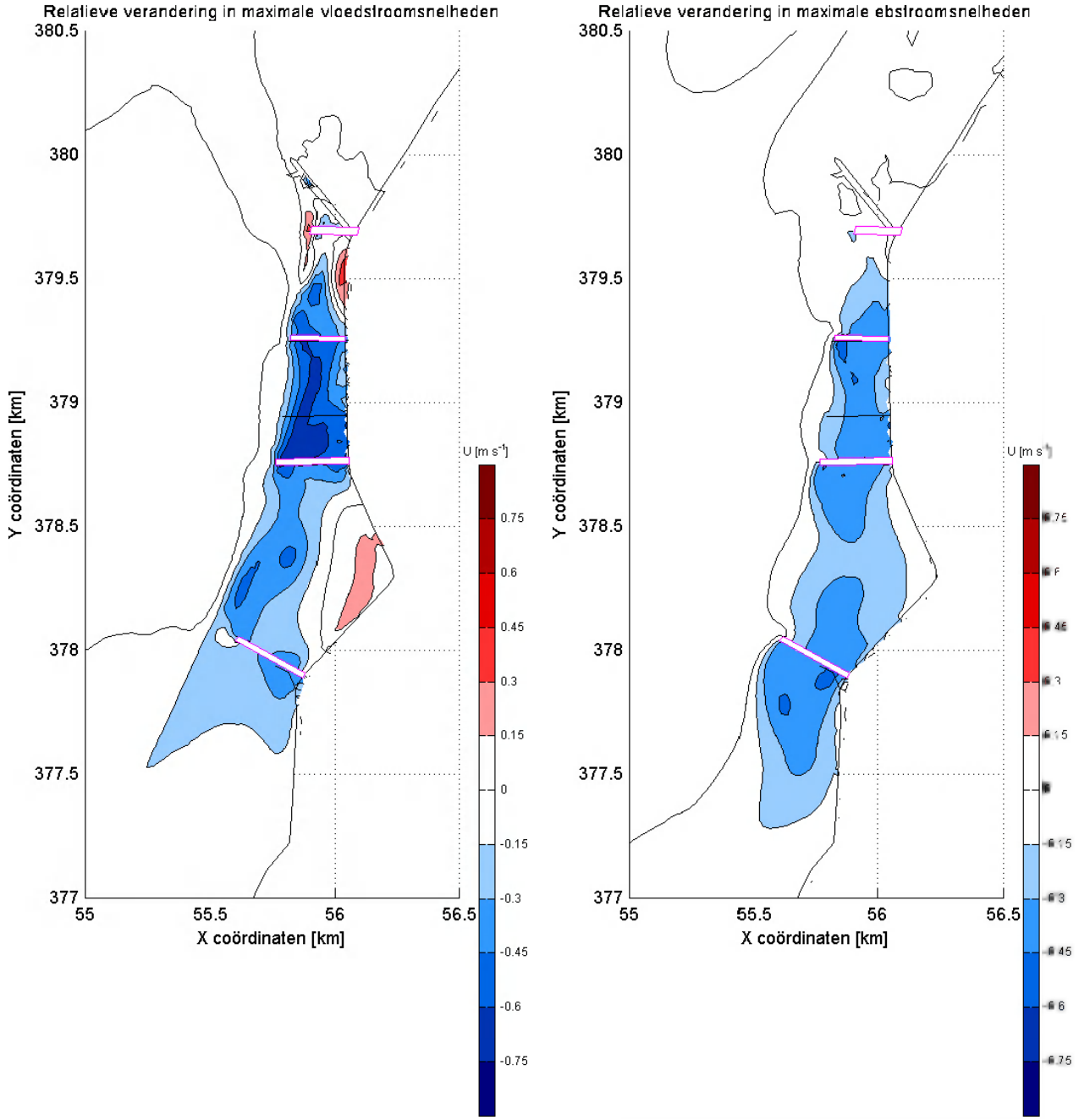
Maximum ebstroomsnelheden, projectgebied Knuitershoek

Referentie en ingreep situatie

FIGUUR 8.2b

1480

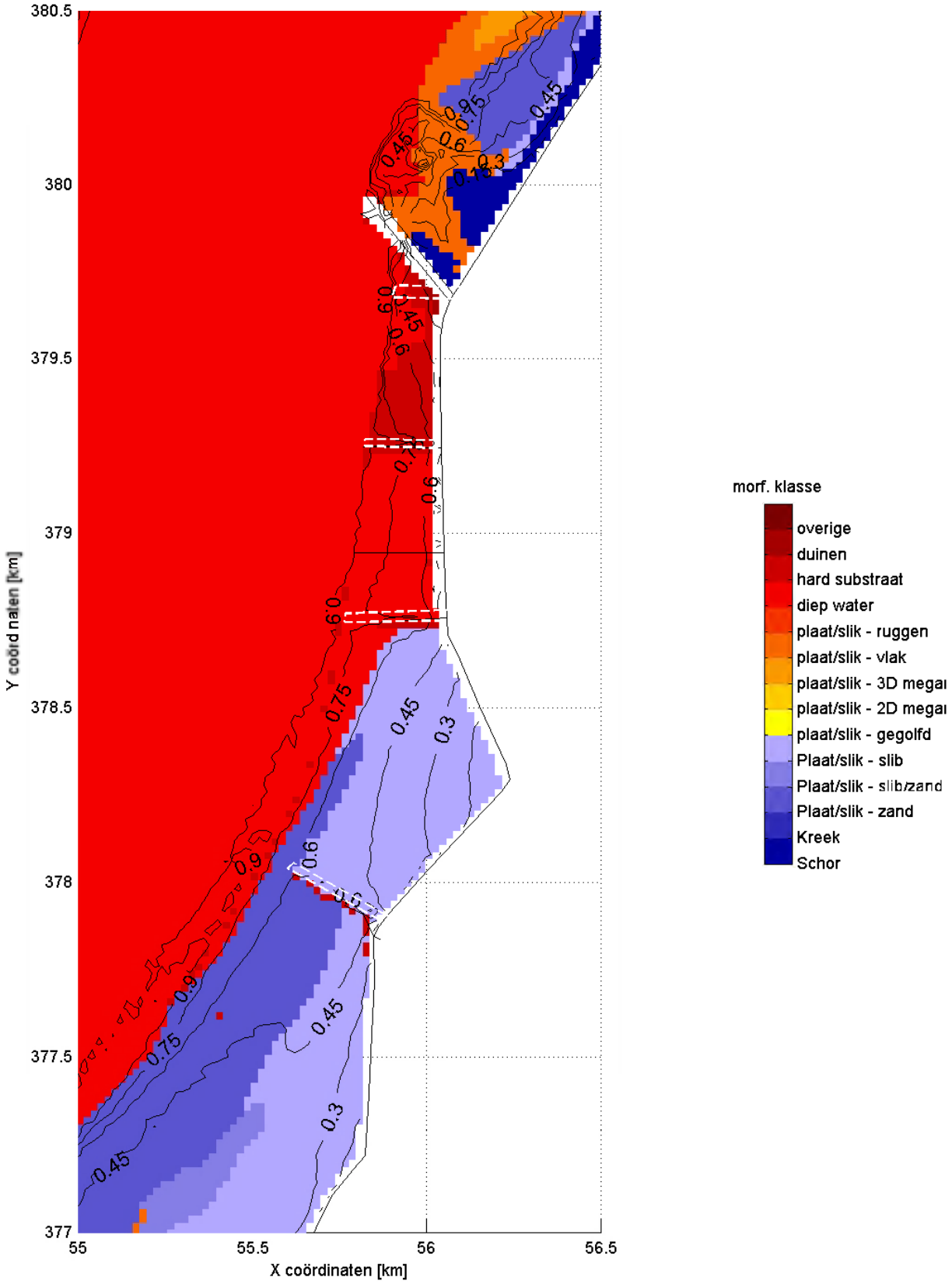
07-Jul-2008



Verschil stroomsnelheden, projectgebied Knuitershoek

Referentie en ingreep situatie

FIGUUR 8.2c
1480
07-Jul-2008



SVASEK HYDRAULICS

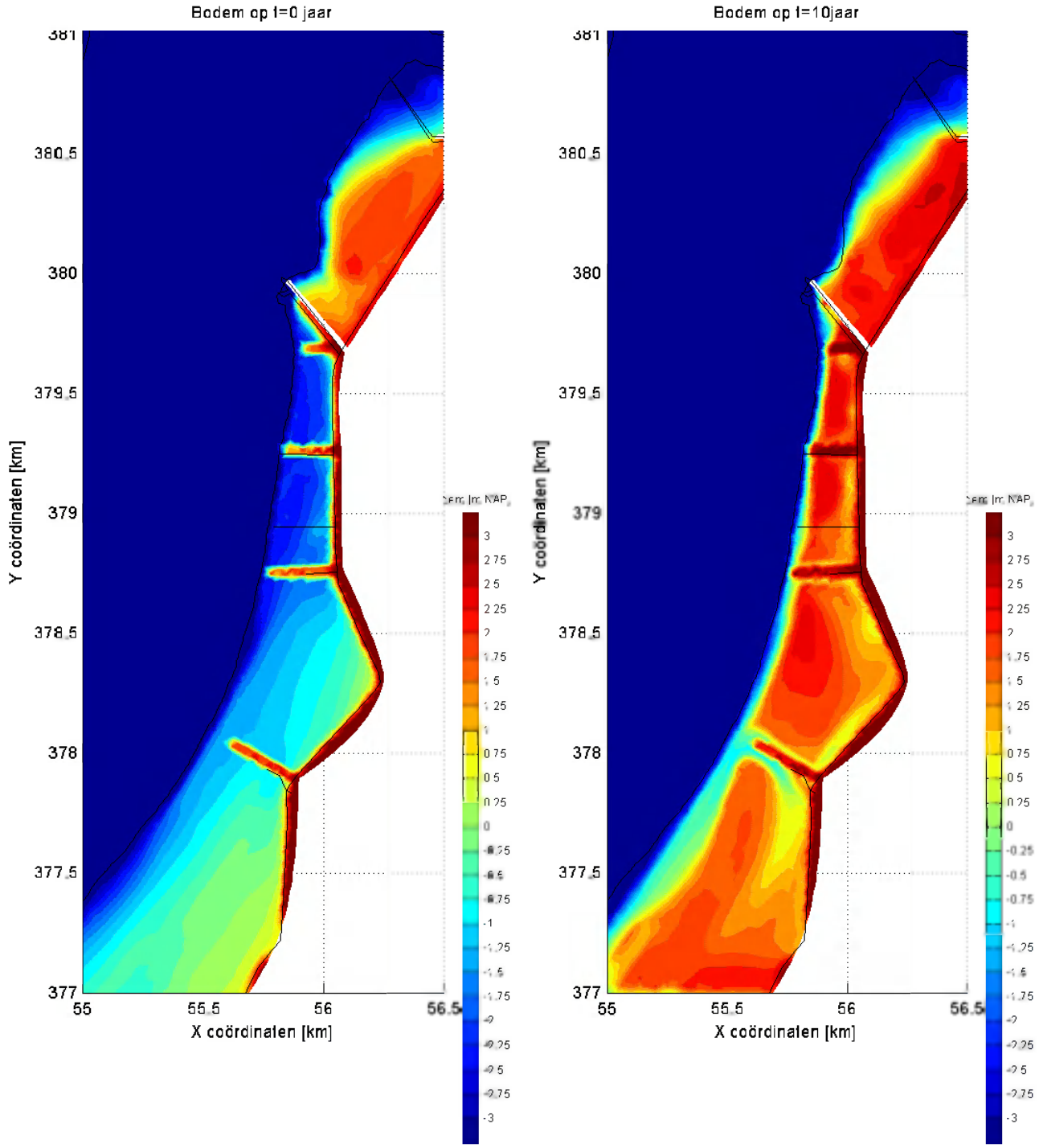
Geomorfologische kaart projectgebied Knuitershoek

contouren geven max. stroomsnelheid (over geheel getij) in m/s

FIGUUR 8.3

1480

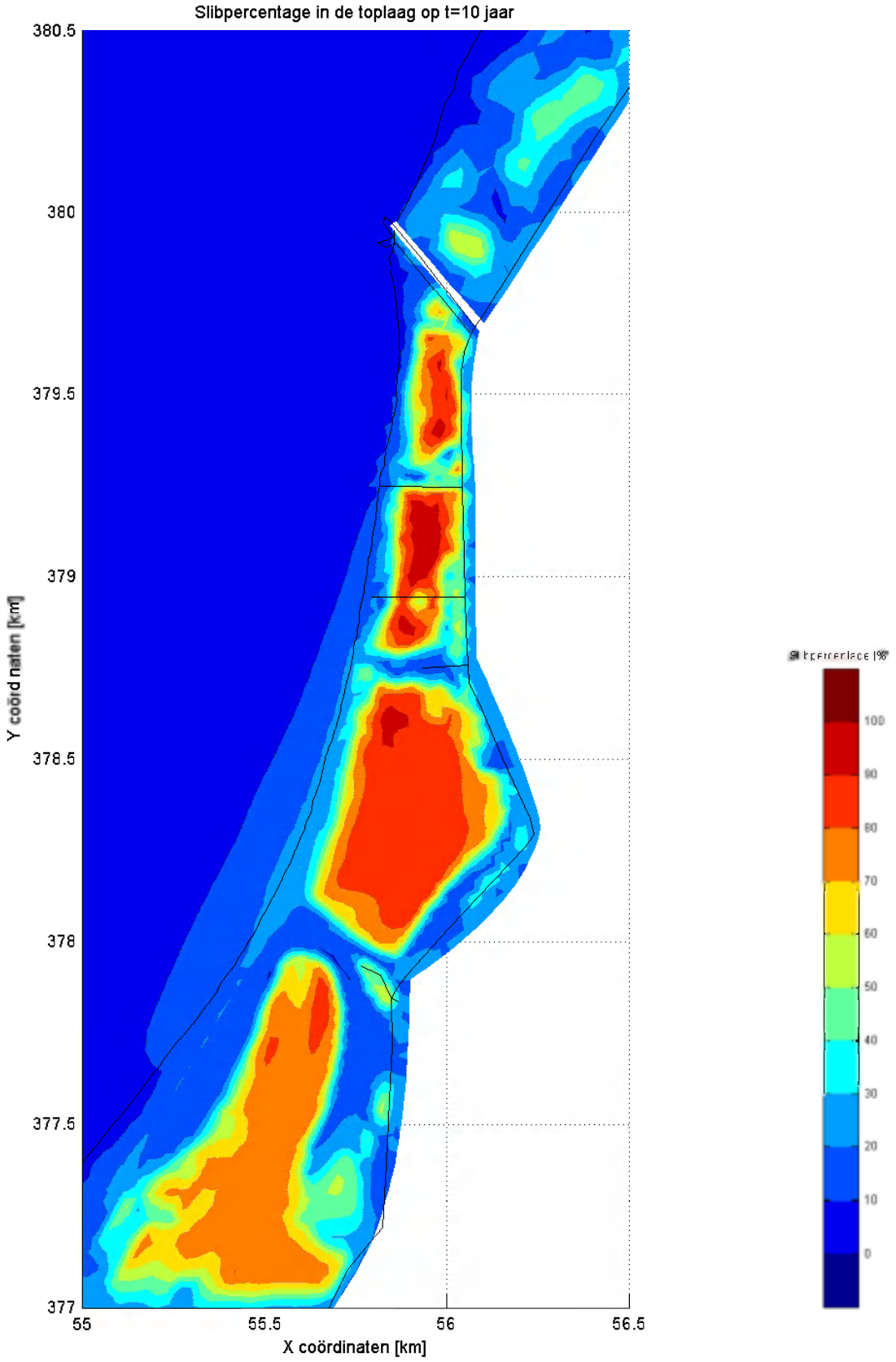
07-Jul-2008



Uitkomsten Projectgebied Knuitershoek met ingreep situatie

Bodem op t=0 en t=10 jaar

FIGUUR 8.4
1480
07-Jul-2008

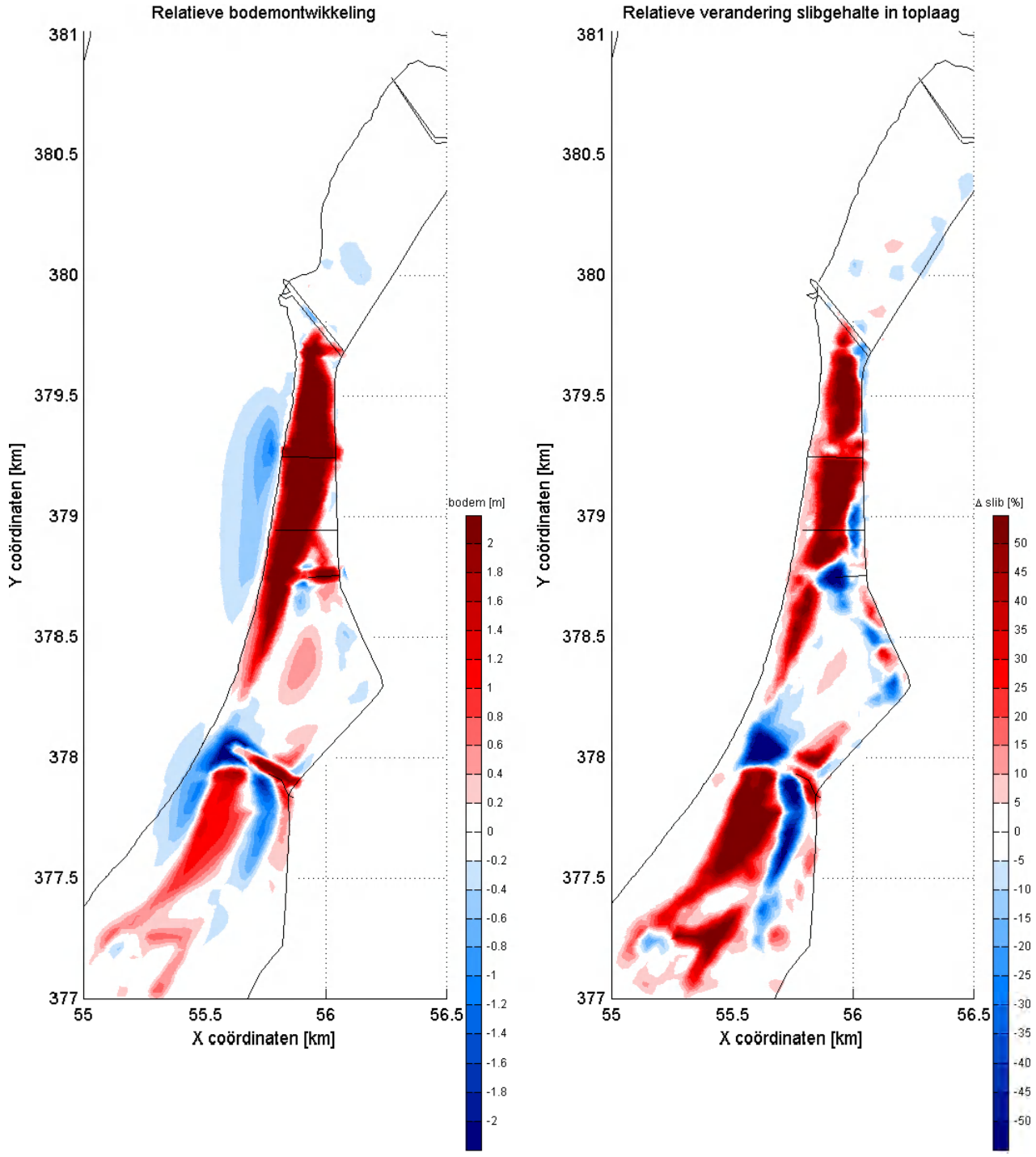


SVASEK HYDRAULICS

Slibpercentage in de toplaag van de bodem na 10 jaar

Projectgebied Knuitershoek

FIGUUR 8.5
1480
07-Jul-2008

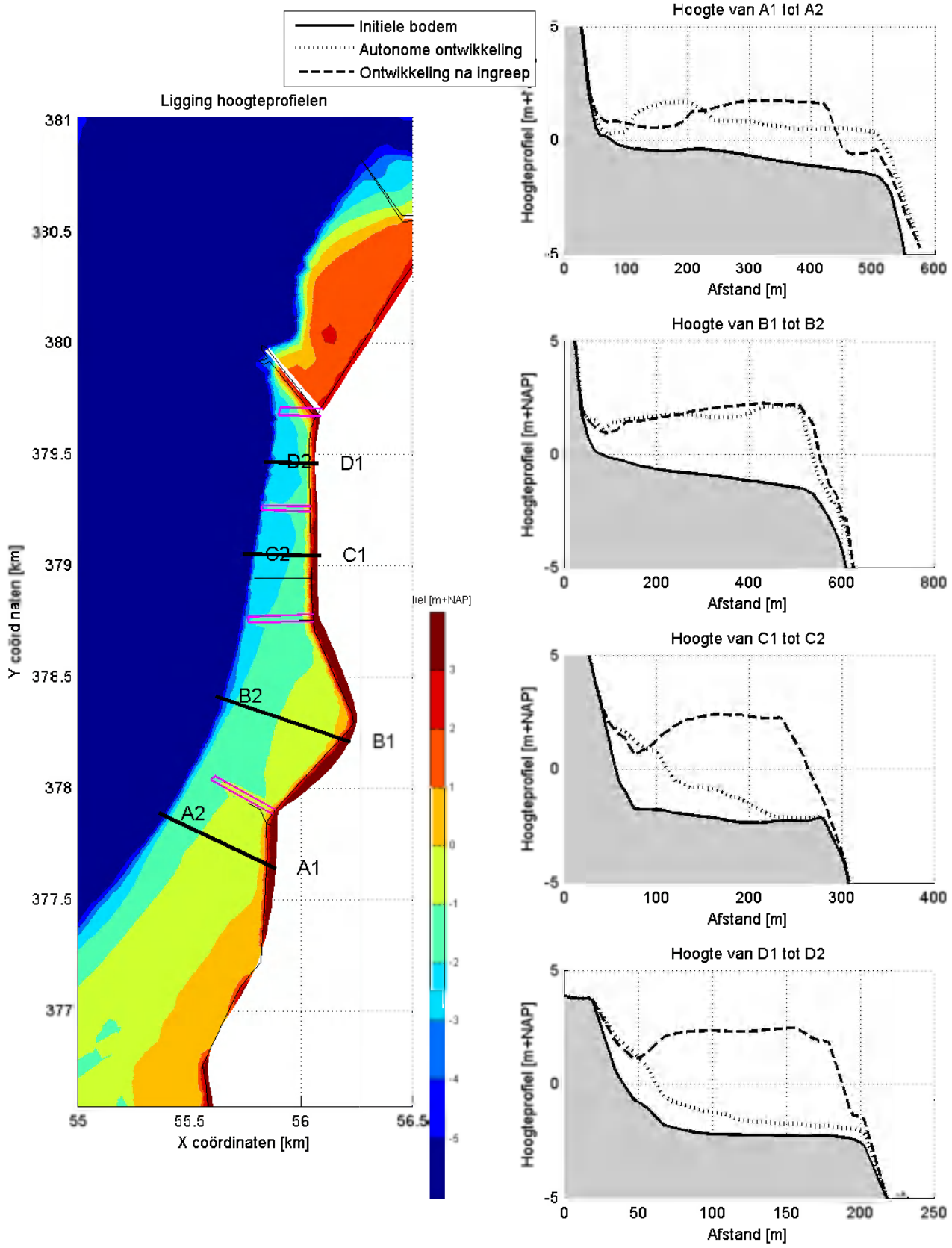


SVASEK HYDRAULICS

Uitkomsten Projectgebied Knuitershoek na 10 jaar

(eindsituatie ingreep - eindsituatie autonome ontwikkeling)

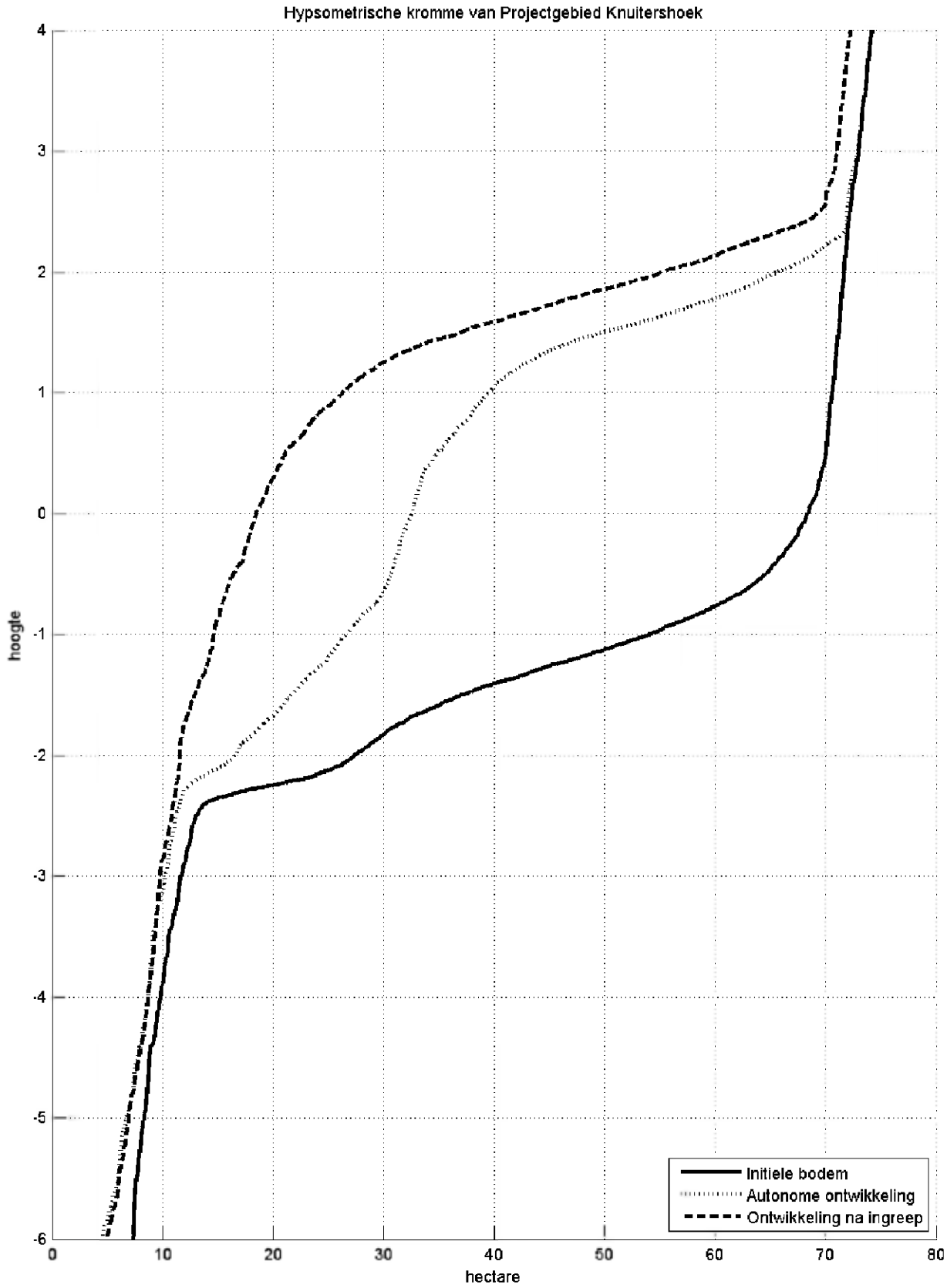
FIGUUR 8.6
1480
07-Jul-2008



SVASEK HYDRAULICS

Hoogteprofielen Projectgebied Knuitershoek na 10 jaar

FIGUUR 8.7
1480
07-Jul-2008

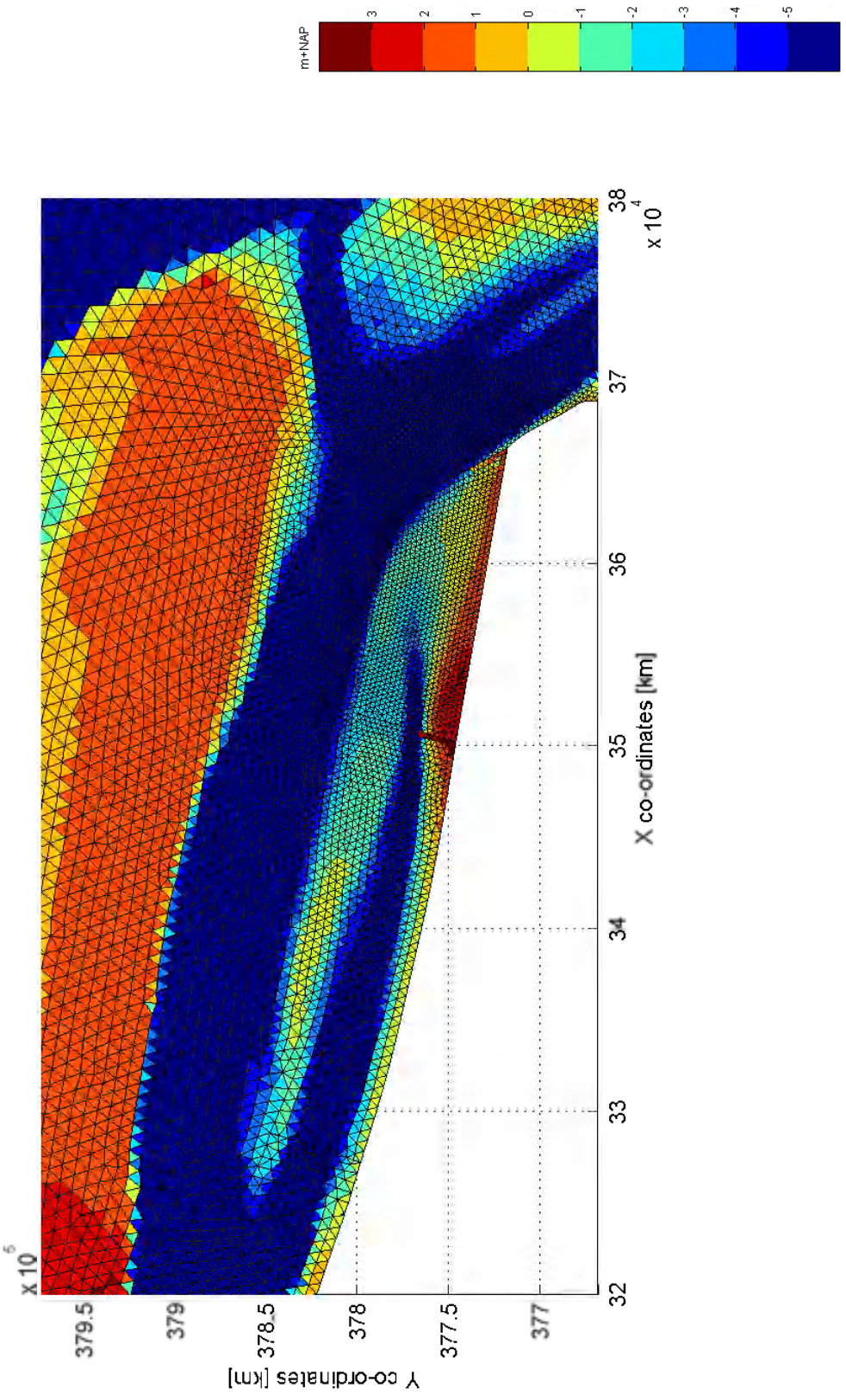


SVASEK HYDRAULICS

Hypsometrische kromme van Projectgebied Knuitershoek

Initiele bodemligging en ontwikkeling na 10 jaar

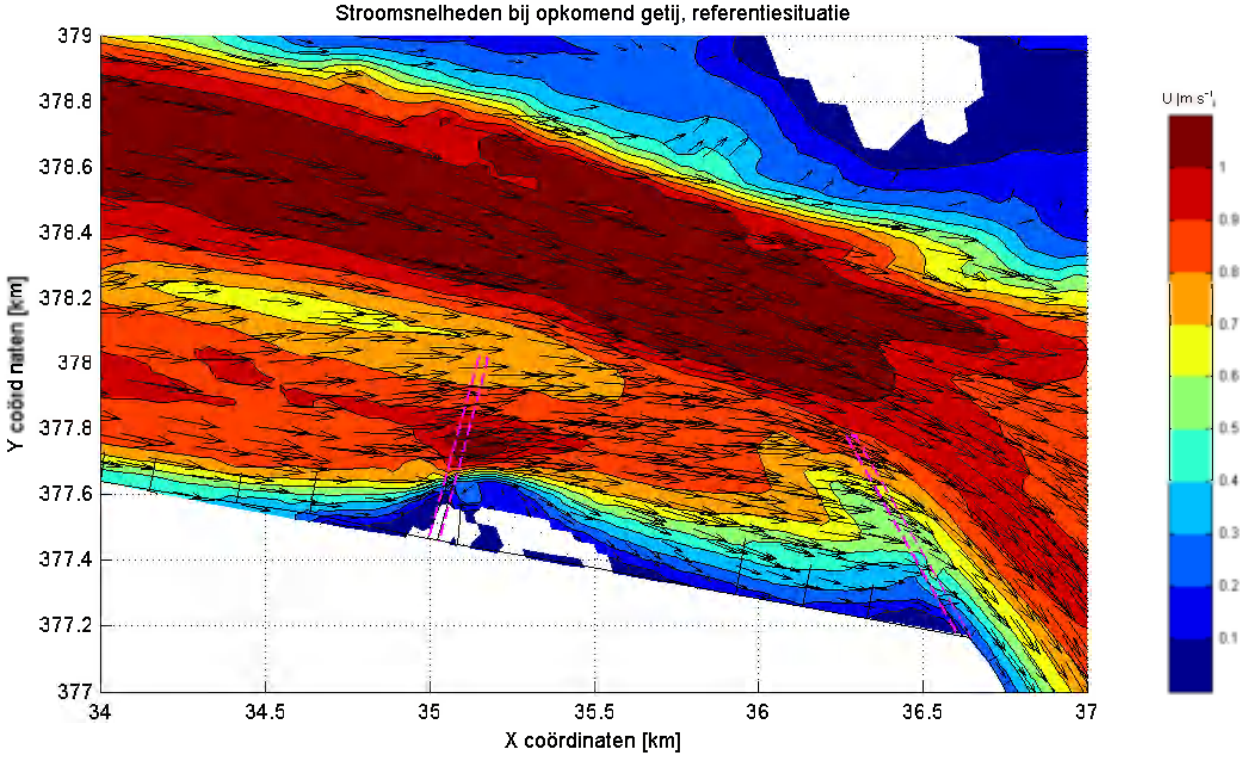
FIGUUR 8.8
1480
07-Jul-2008

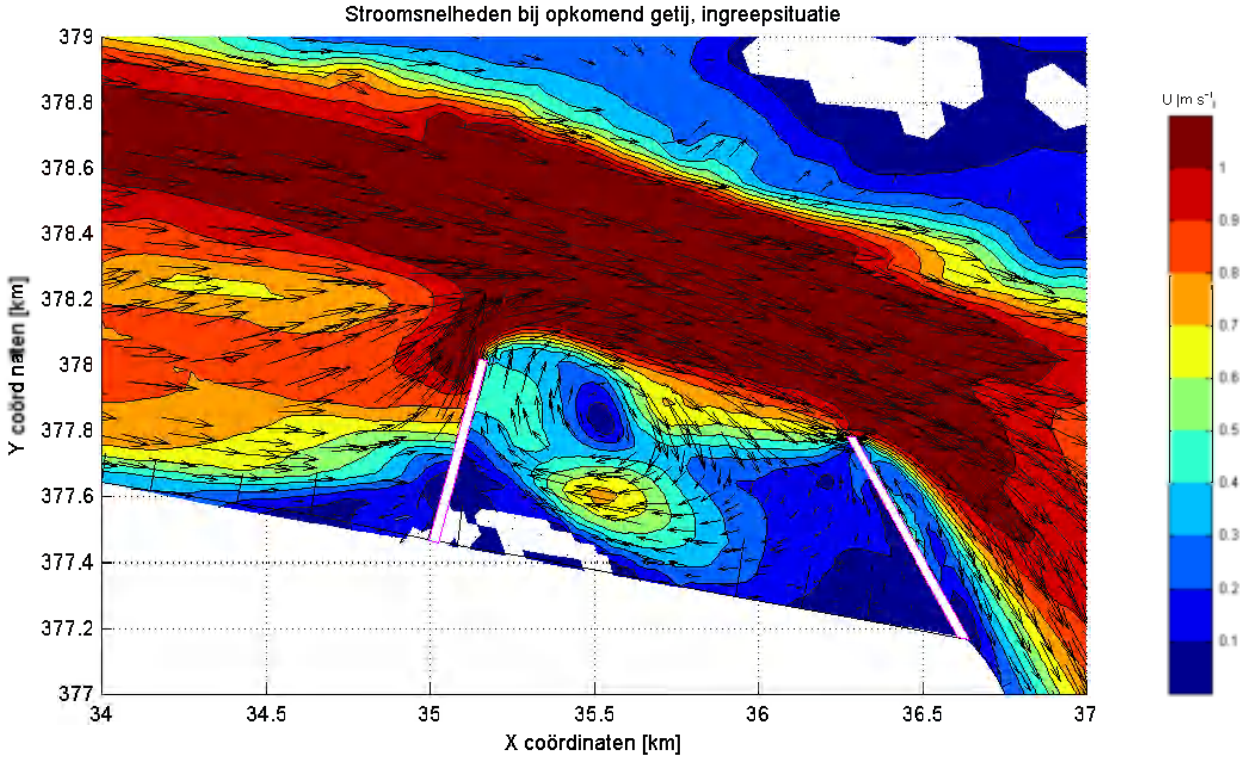


SVASEK HYDRAULICS

Rekenrooster projectgebied Hoofdplaatpolder

FIGUUR 9.1
1480
07-Jul-2008



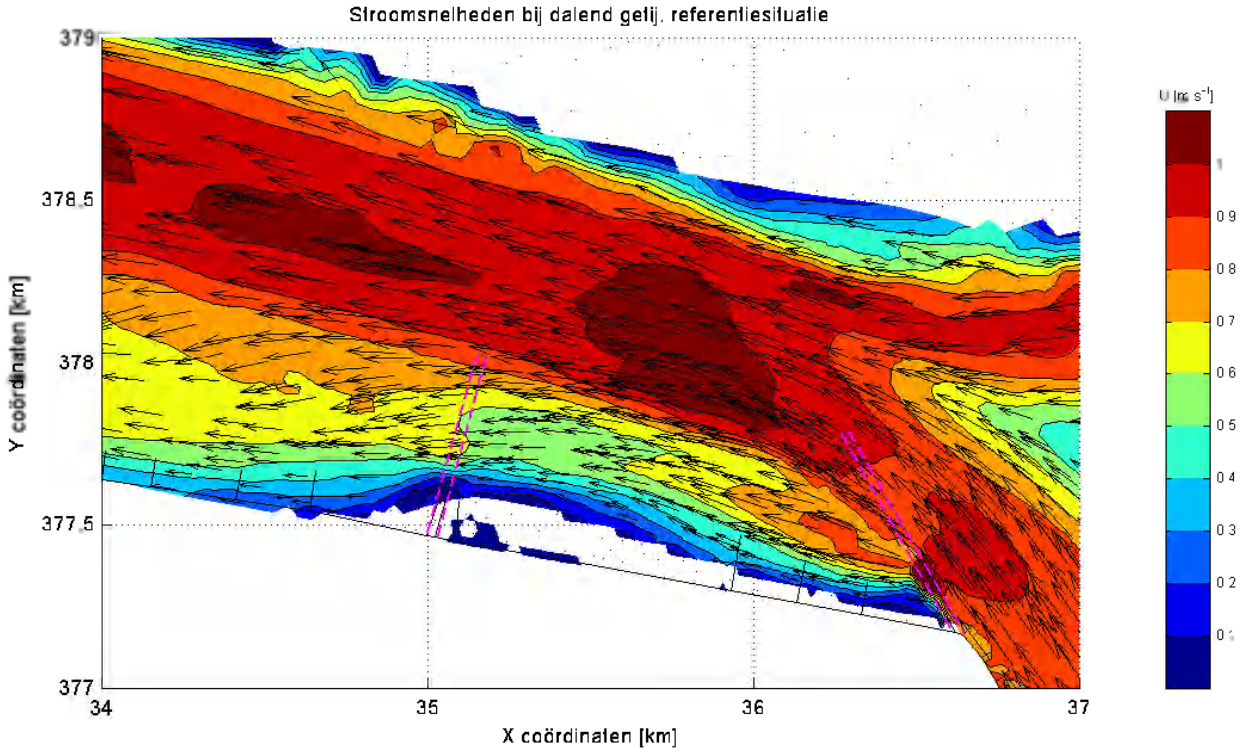


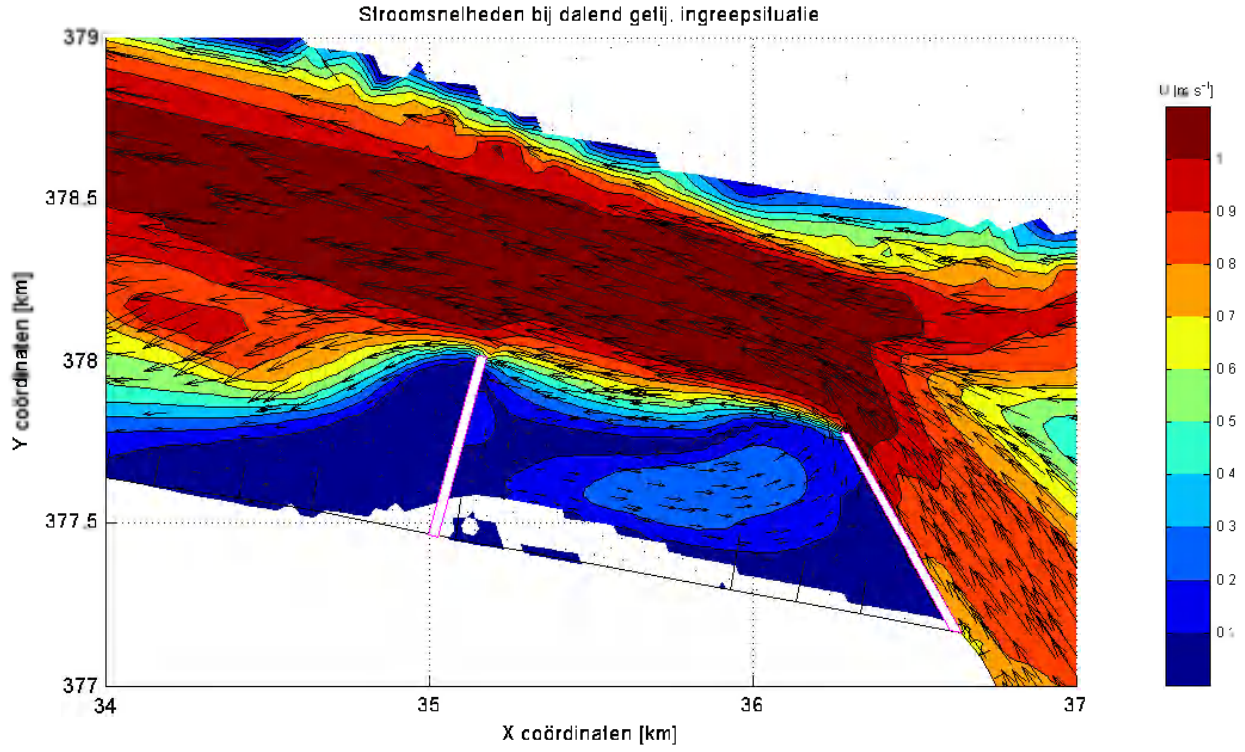
Maximum vloedstroomsnelheden, projectgebied Hoofdplaatpolder **FIGUUR 9.2a**

1480

Referentie en ingreep situatie

07-Jul-2008





SVASEK HYDRAULICS

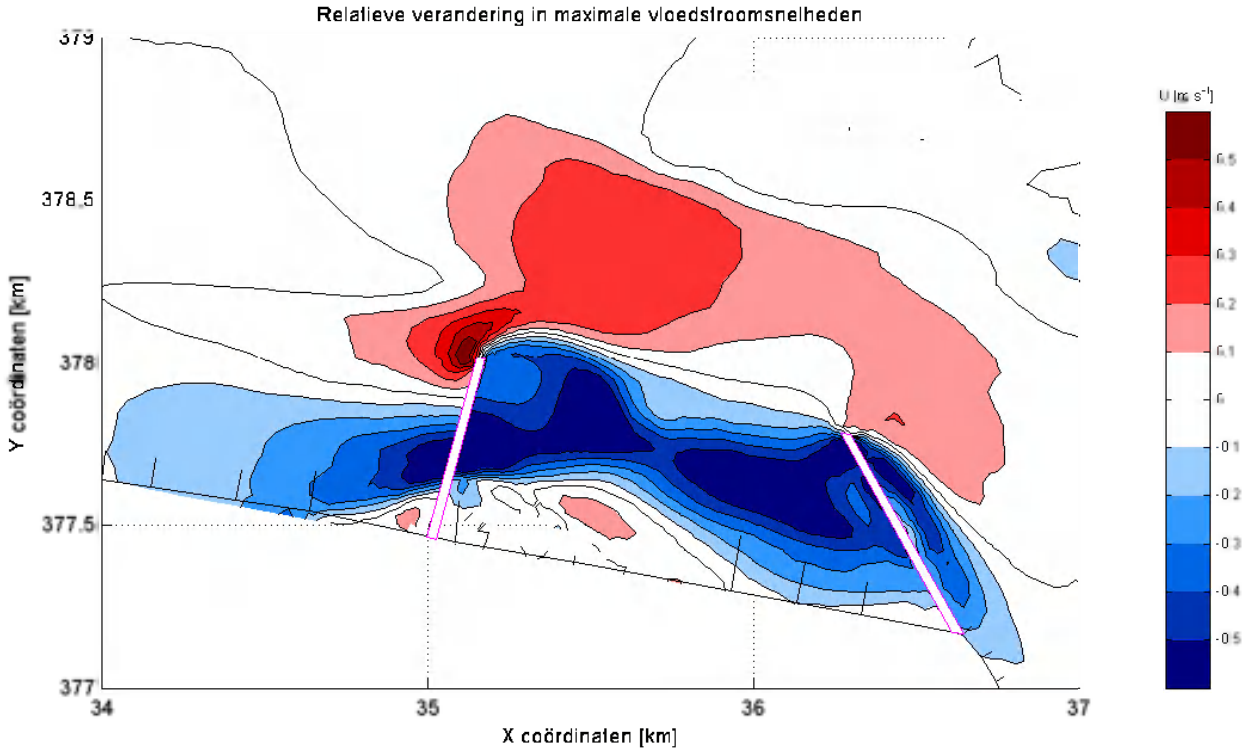
Maximum ebstroomsnelheden, projectgebied Hoofdplaatpolder

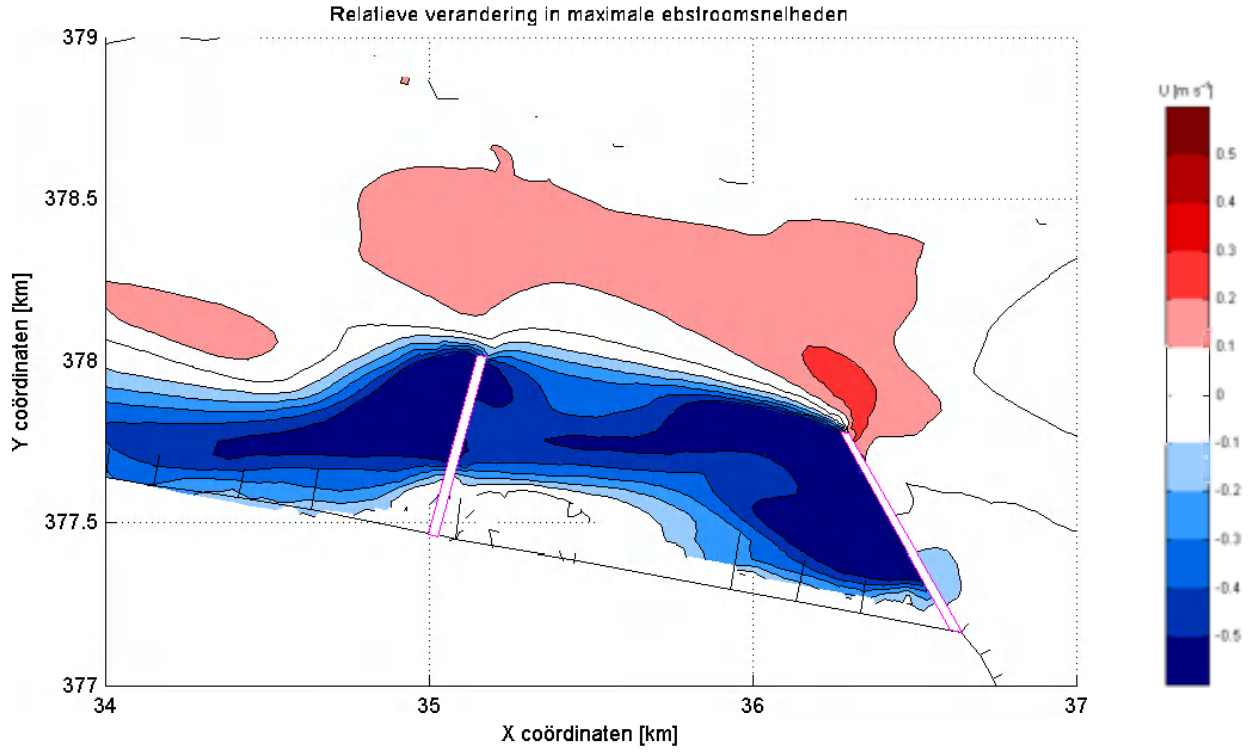
Referentie en ingreep situatie

FIGUUR 9.2b

1480

07-Jul-2008





SVASEK HYDRAULICS

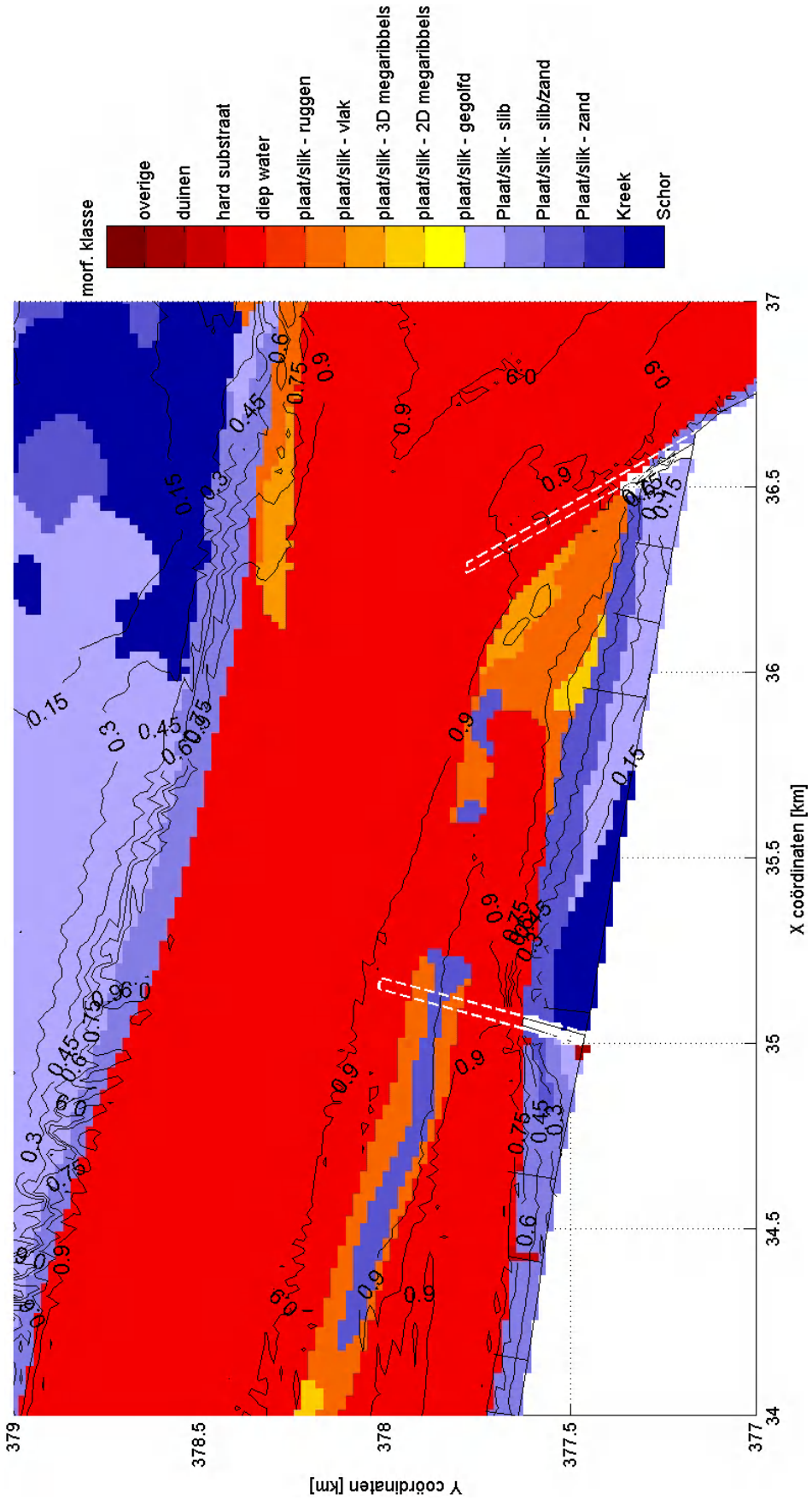
Verschil stroomsnelheden, projectgebied Hoofdplaatpolder

Referentie en ingreep situatie

FIGUUR 9.2c

1480

07-Jul-2008



SVASEK HYDRAULICS

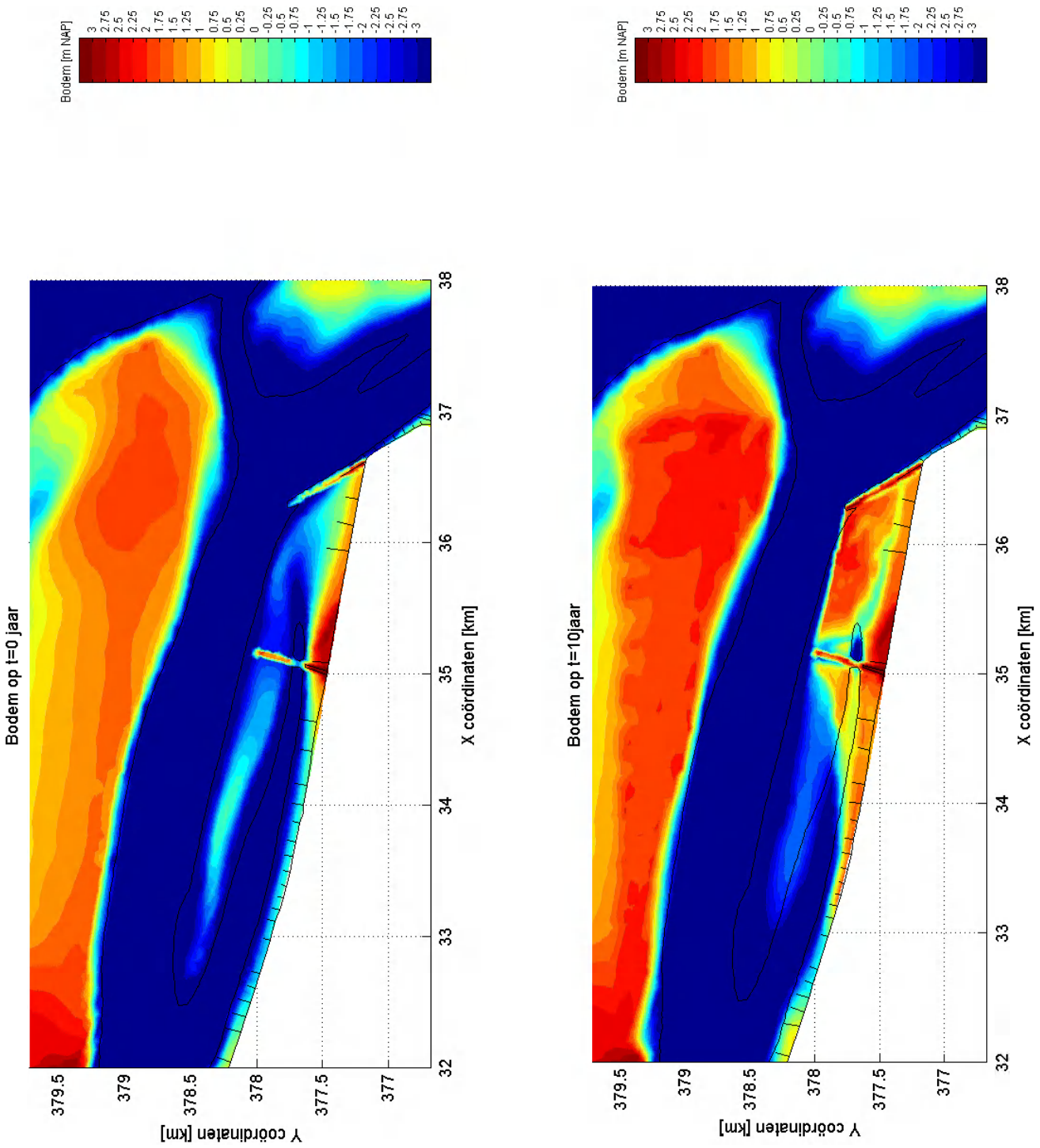
Geomorfologische kaart projectgebied Hoofdplaatpolder

contouren geven max. stroomsnelheid (over geheel getij) in m/s

FIGUUR 9.3

1480

07-Jul-2008



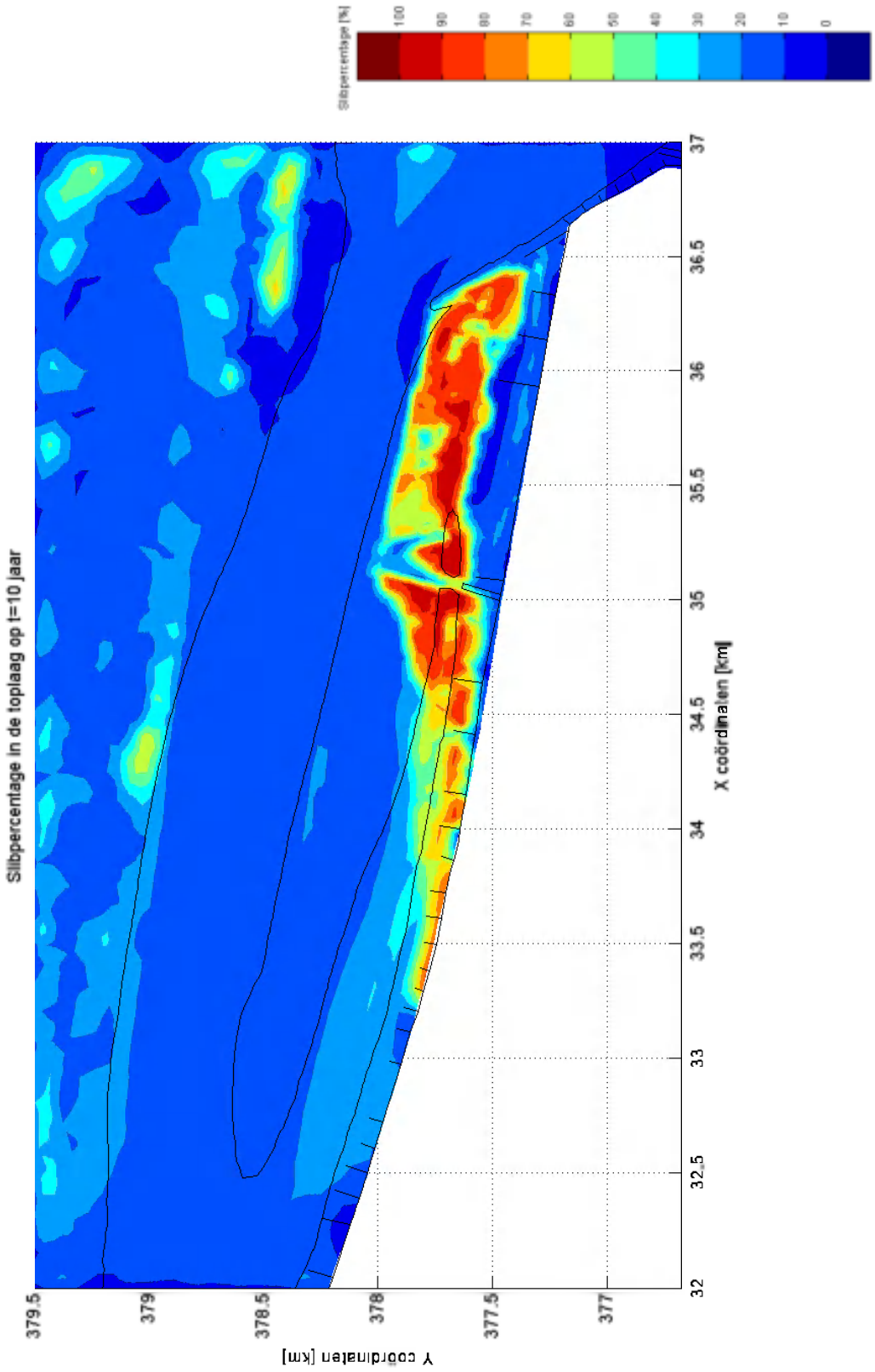
Uitkomsten Projectgebied Hoofdplaatpolder met ingreep situatie

FIGUUR 9.4

1480

Bodem op t=0 en t=10 jaar

07-Jul-2008



SVASEK HYDRAULICS

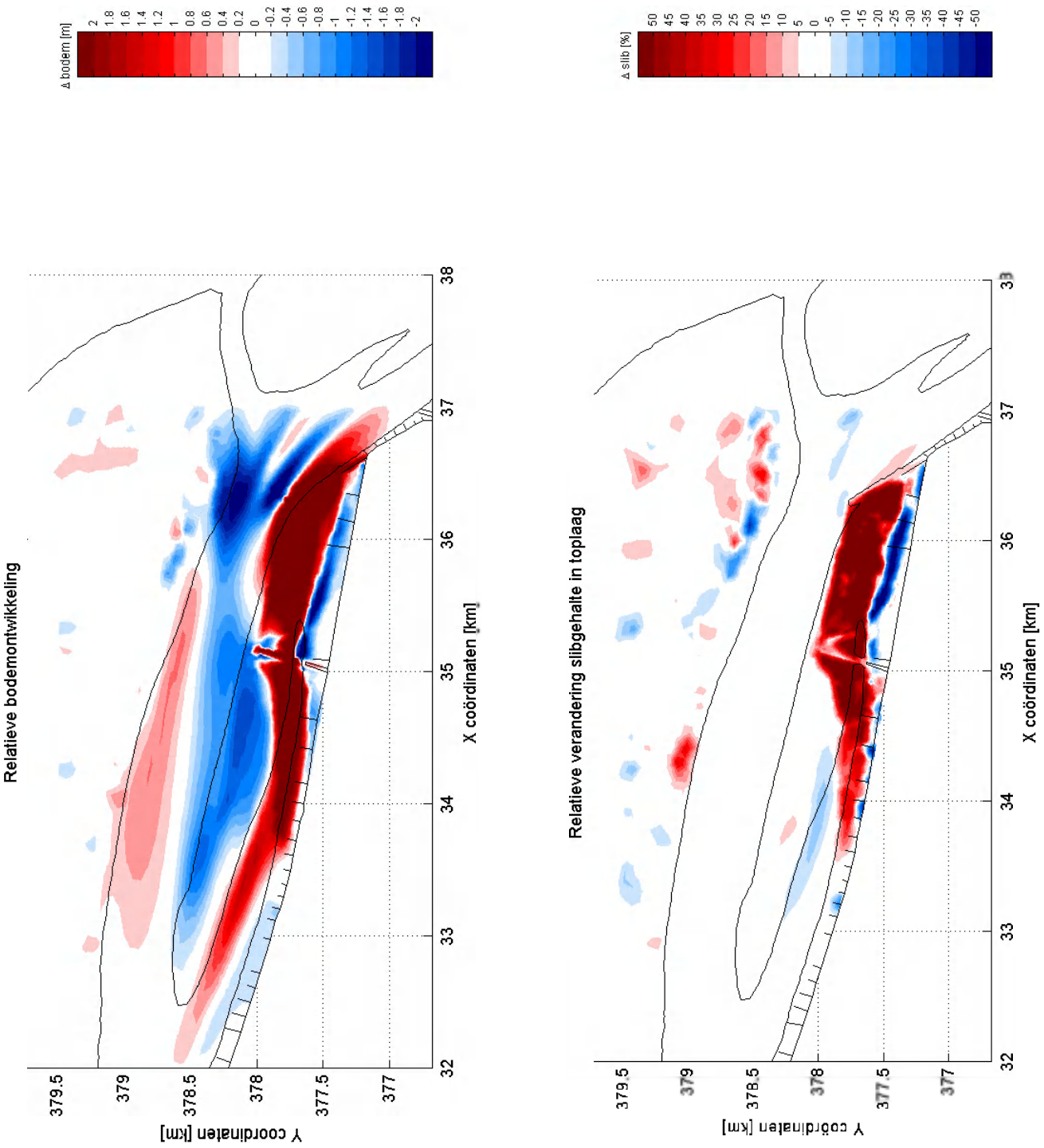
Slibpercentage in de toplaag van de bodem na 10 jaar

Projectgebied Hoofdplaatpolder

FIGUUR 9.5

1480

07-Jul-2008



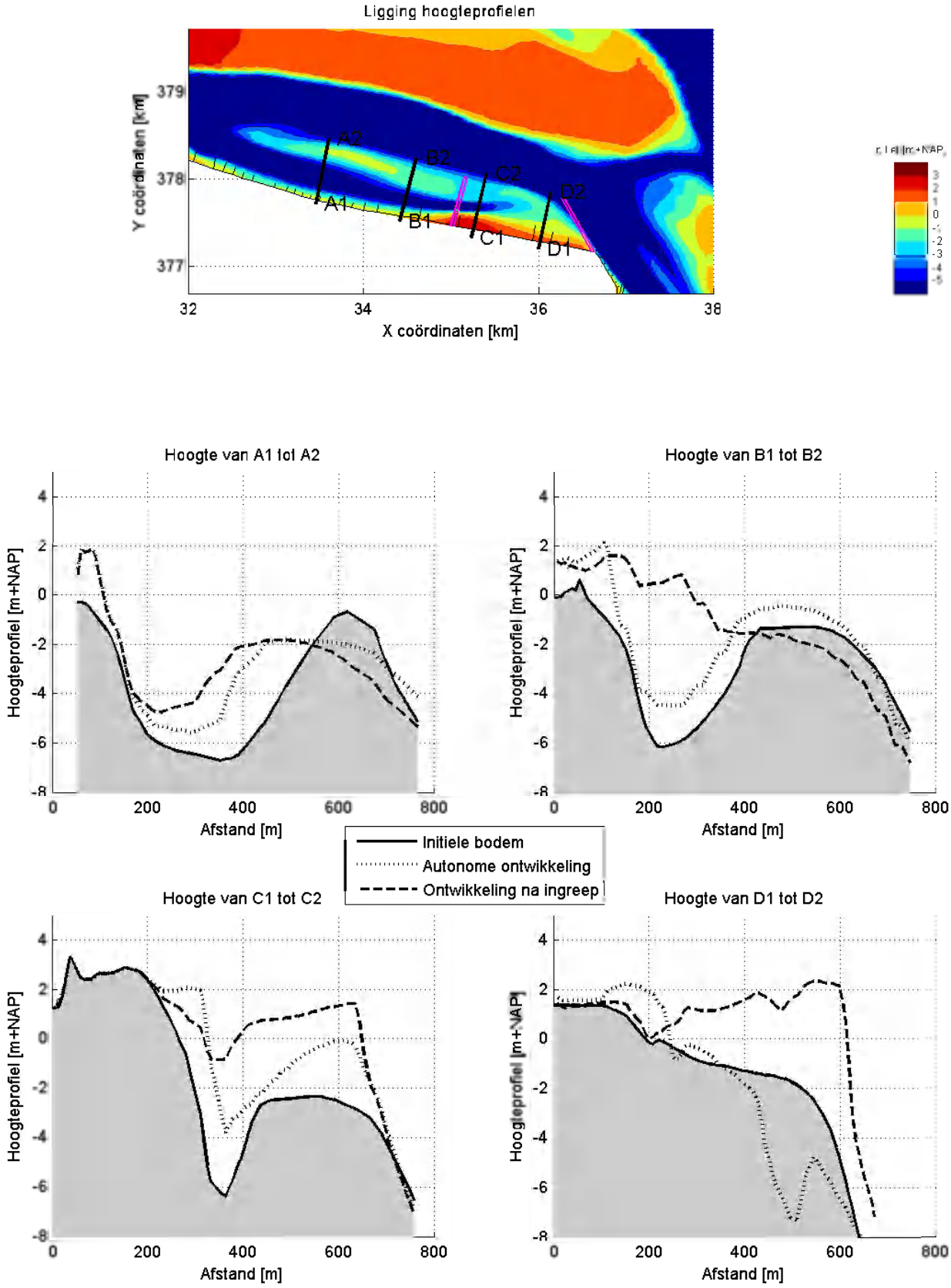
Uitkomsten Projectgebied Hoofdplaatpolder na 10 jaar

(eindsituatie ingreep - eindsituatie autonome ontwikkeling)

FIGUUR 9.6

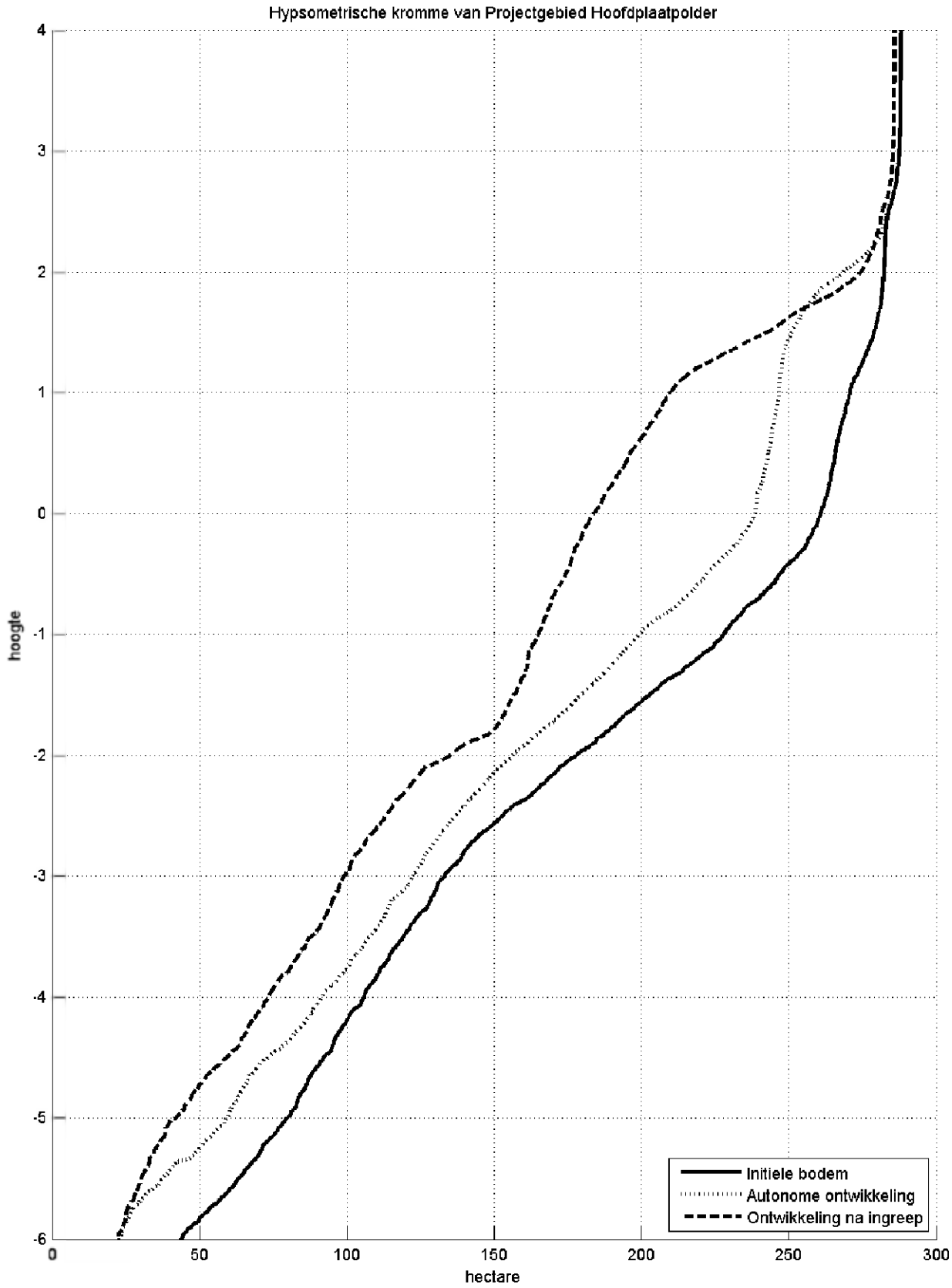
1480

07-Jul-2008



Hoogteprofielen Projectgebied Hoofdplaatpolder na 10 jaar

FIGUUR 9.7
1480
07-Jul-2008



SVASEK HYDRAULICS

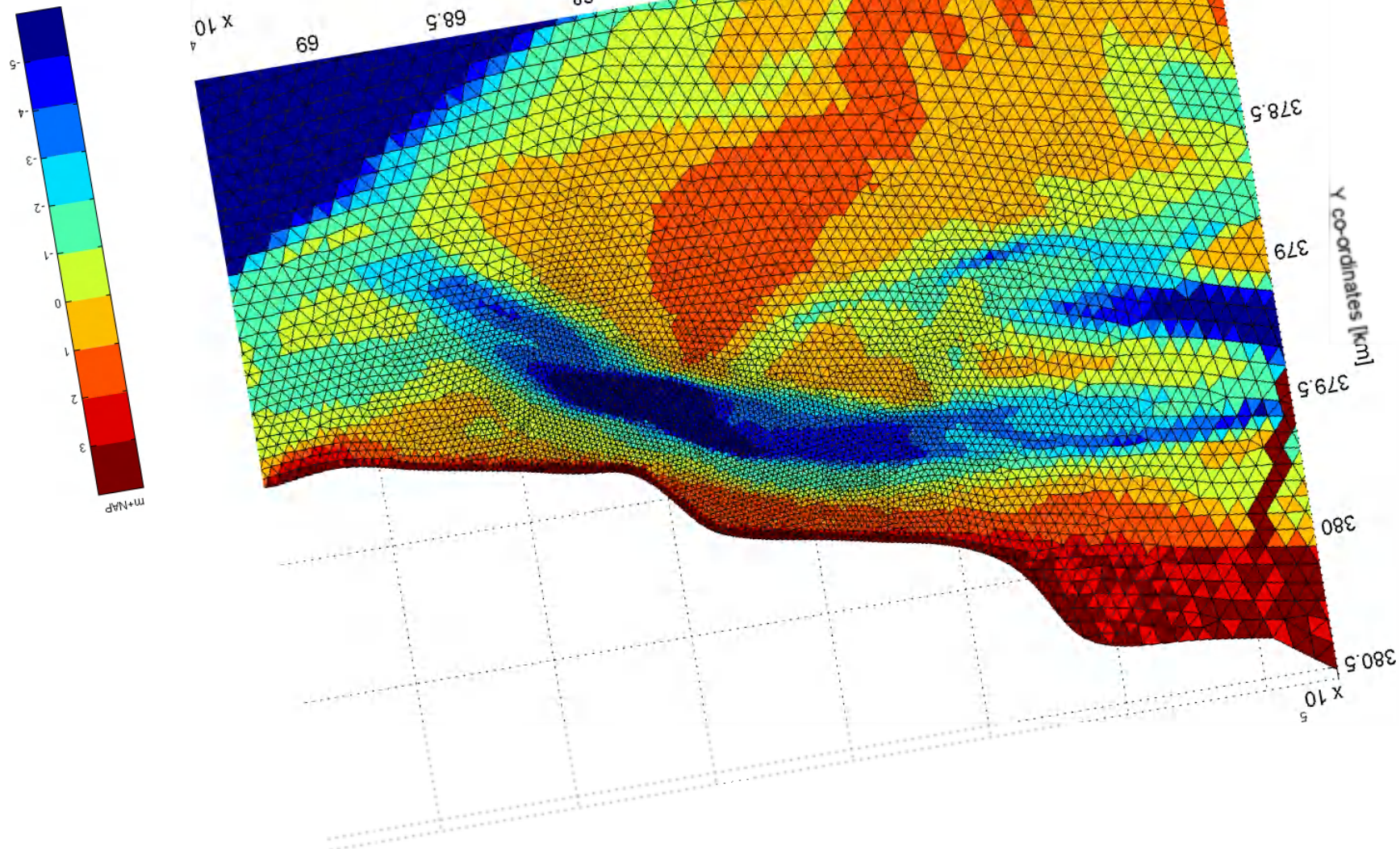
Hypsometrische kromme van Projectgebied Hoofdplaatpolder **FIGUUR 9.8**

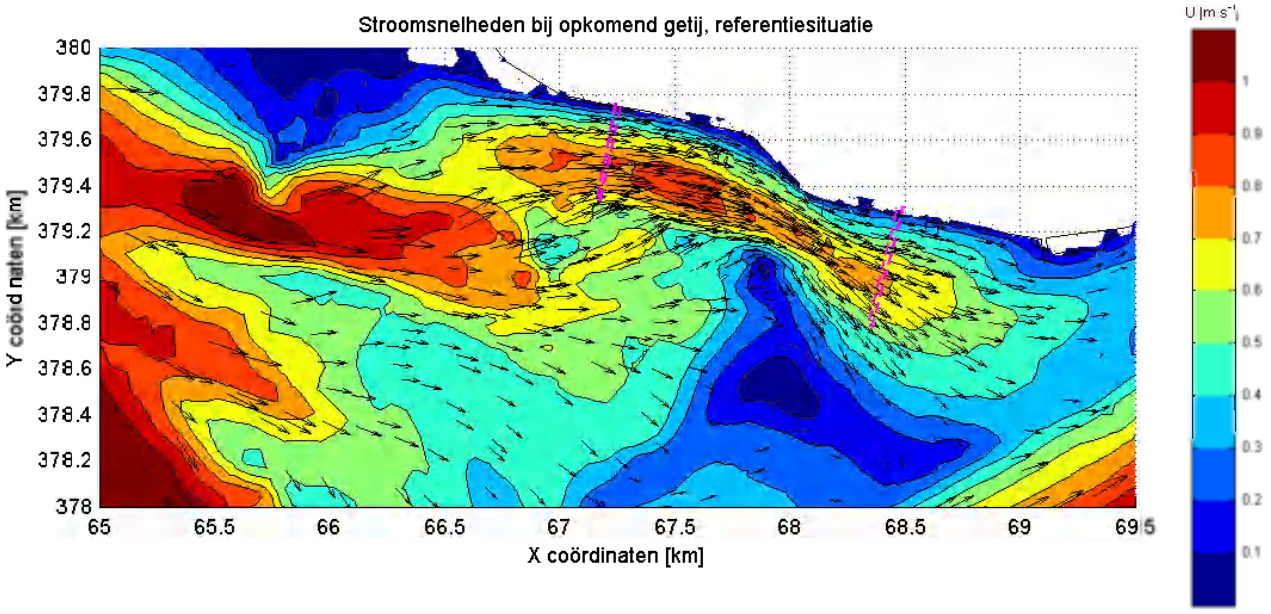
1480

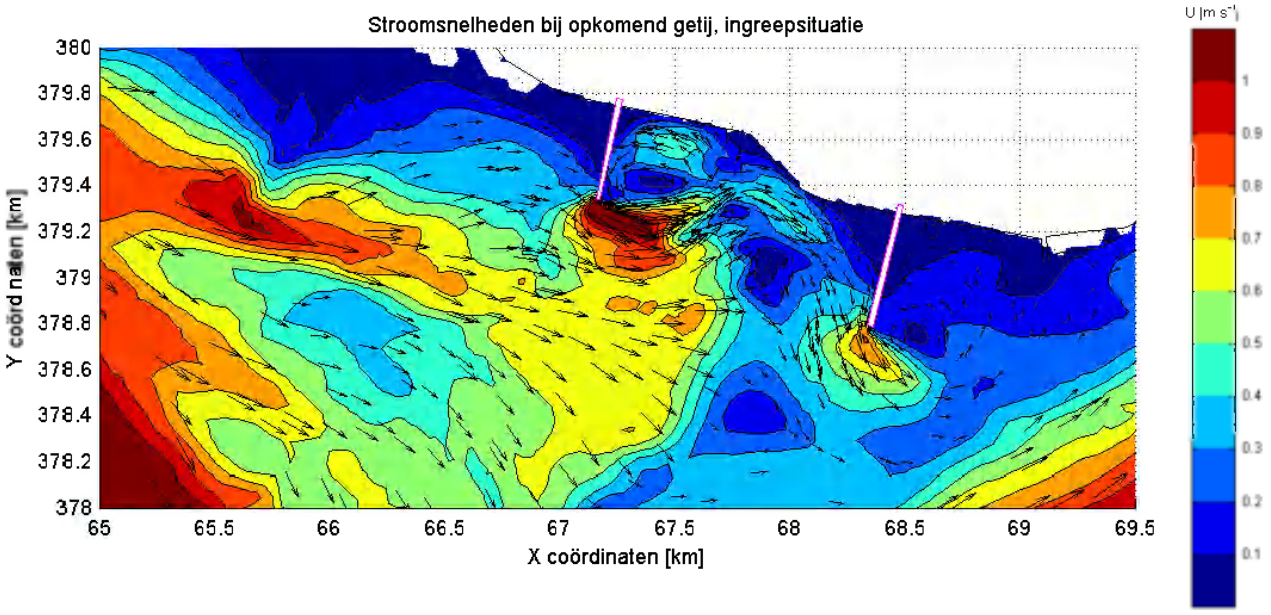
Initiele bodemligging en ontwikkeling na 10 jaar 07-Jul-2008

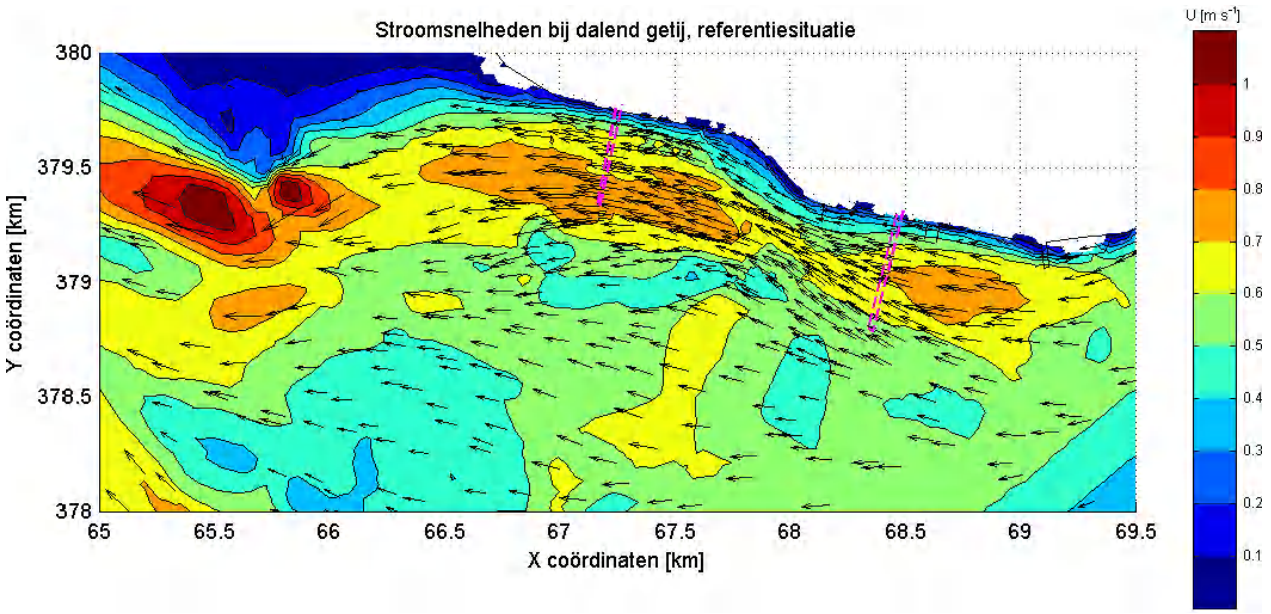
FIGUUR 10.1
1480
07-Jul-2008

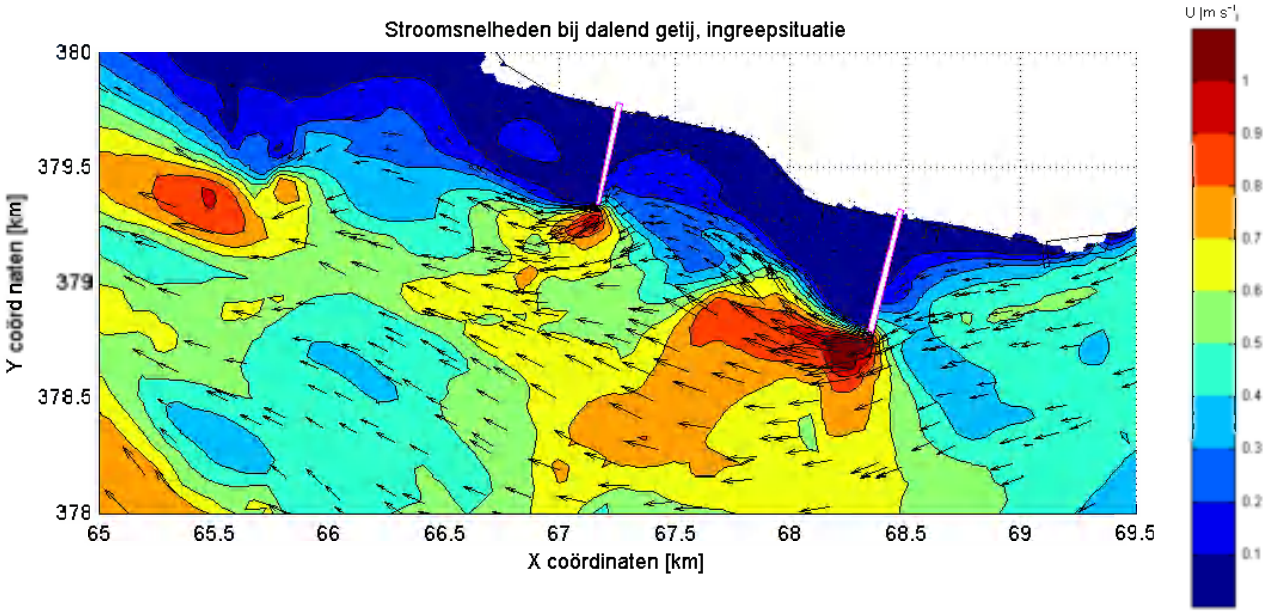
Rekenrooster projectgebied Zimmerman




Stroomsnelheden bij opkomend getij, referentiesituatie
Y coörd naten [km]
X coördinaten [km]
U [m s⁻¹]


Stroomsnelheden bij opkomend getij, ingreepsituatie
Y coörd naten [km]
X coördinaten [km]
U [m s⁻¹]





SVASEK HYDRAULICS

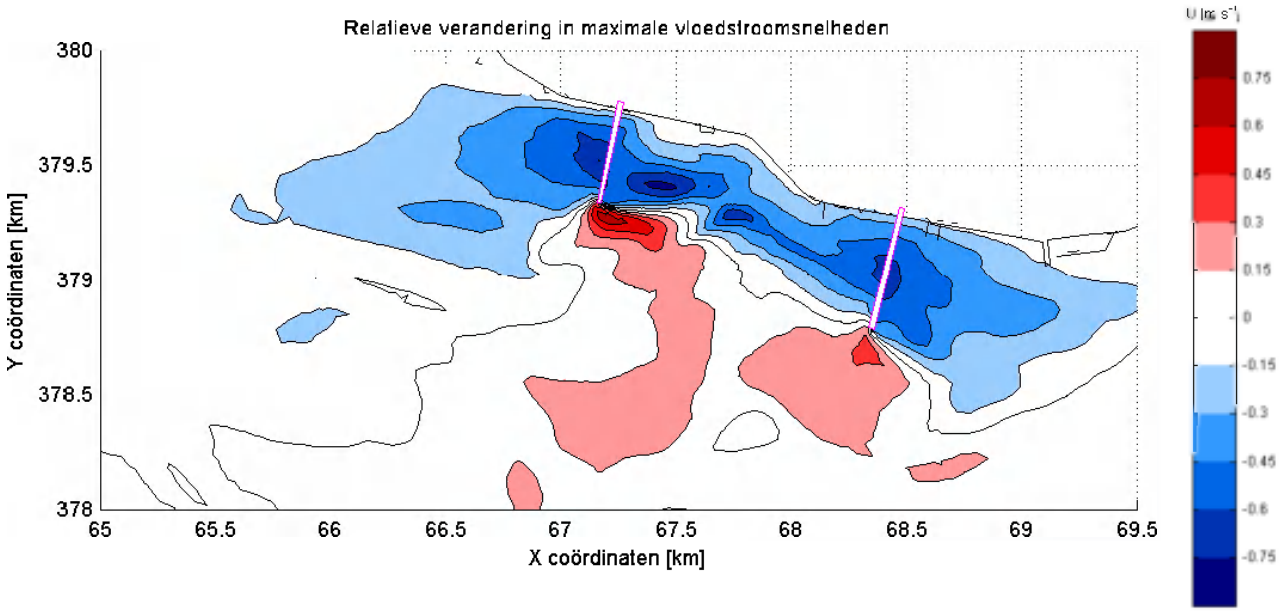
Maximum ebstroomsnelheden, projectgebied Zimmermangeul

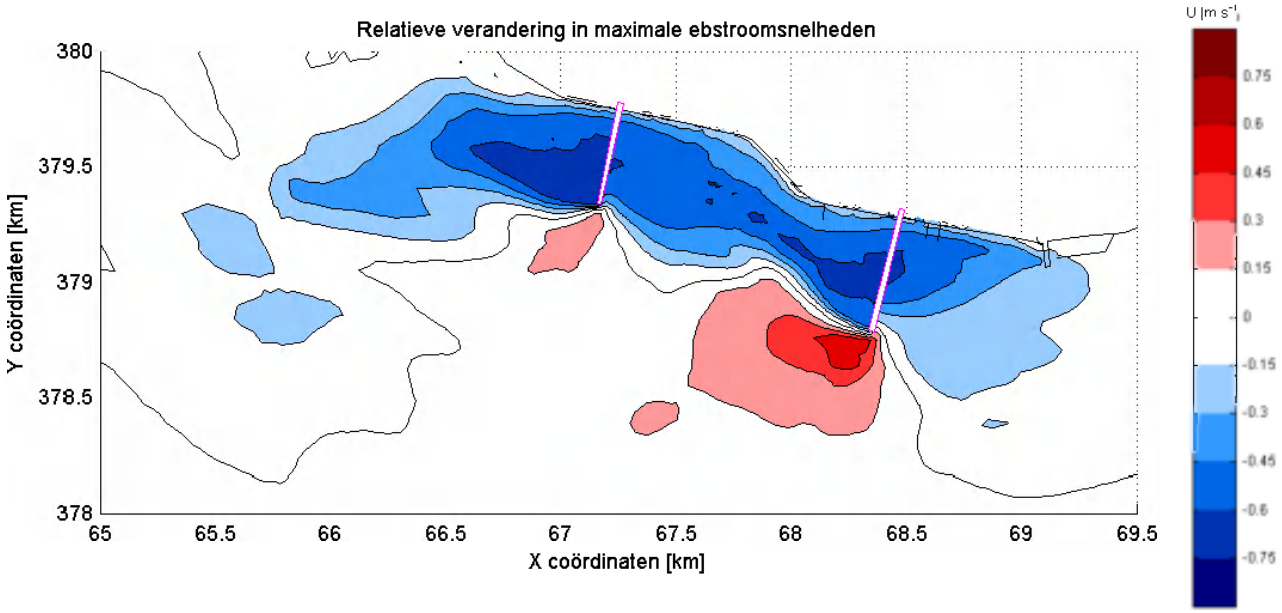
Referentie en ingreep situatie

FIGUUR 10.2b

1480

07-Jul-2008





SVASEK HYDRAULICS

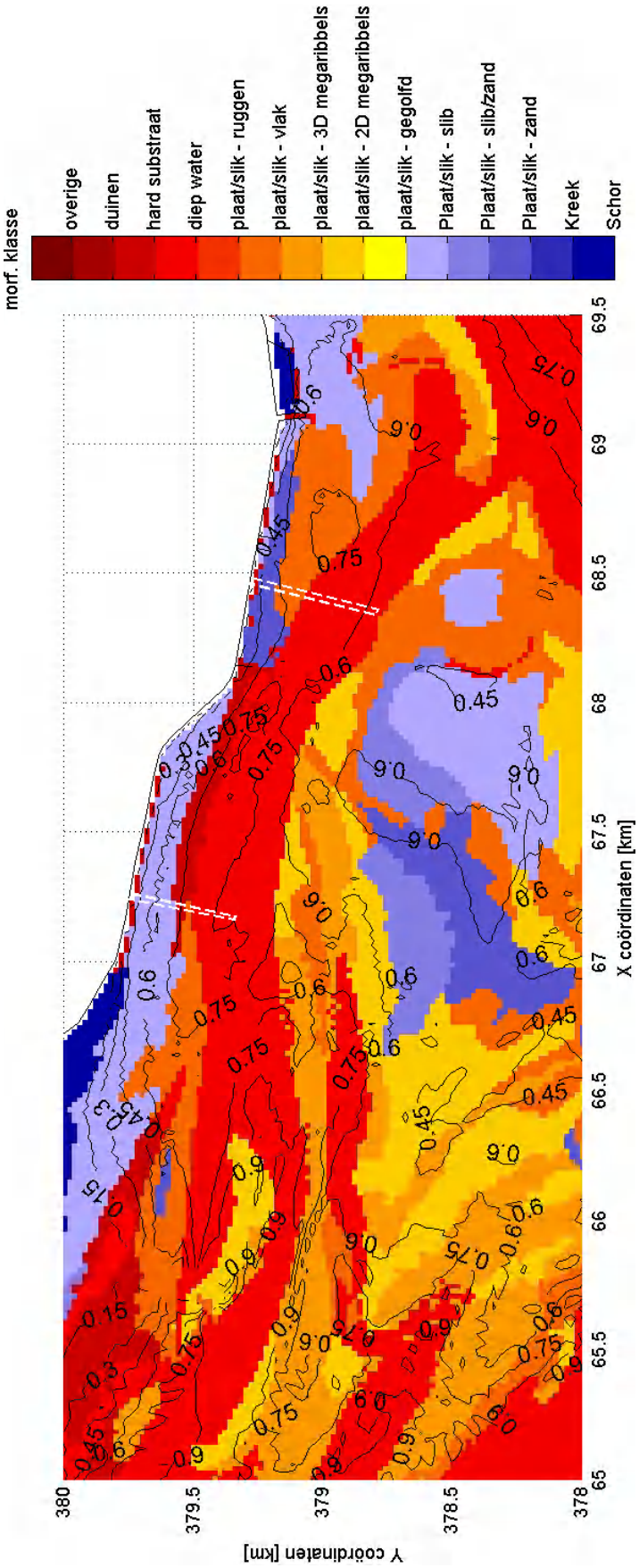
Verschil stroomsnelheden, projectgebied Zimmermangeul

Referentie en ingreep situatie

FIGUUR 10.2c

1480

07-Jul-2008



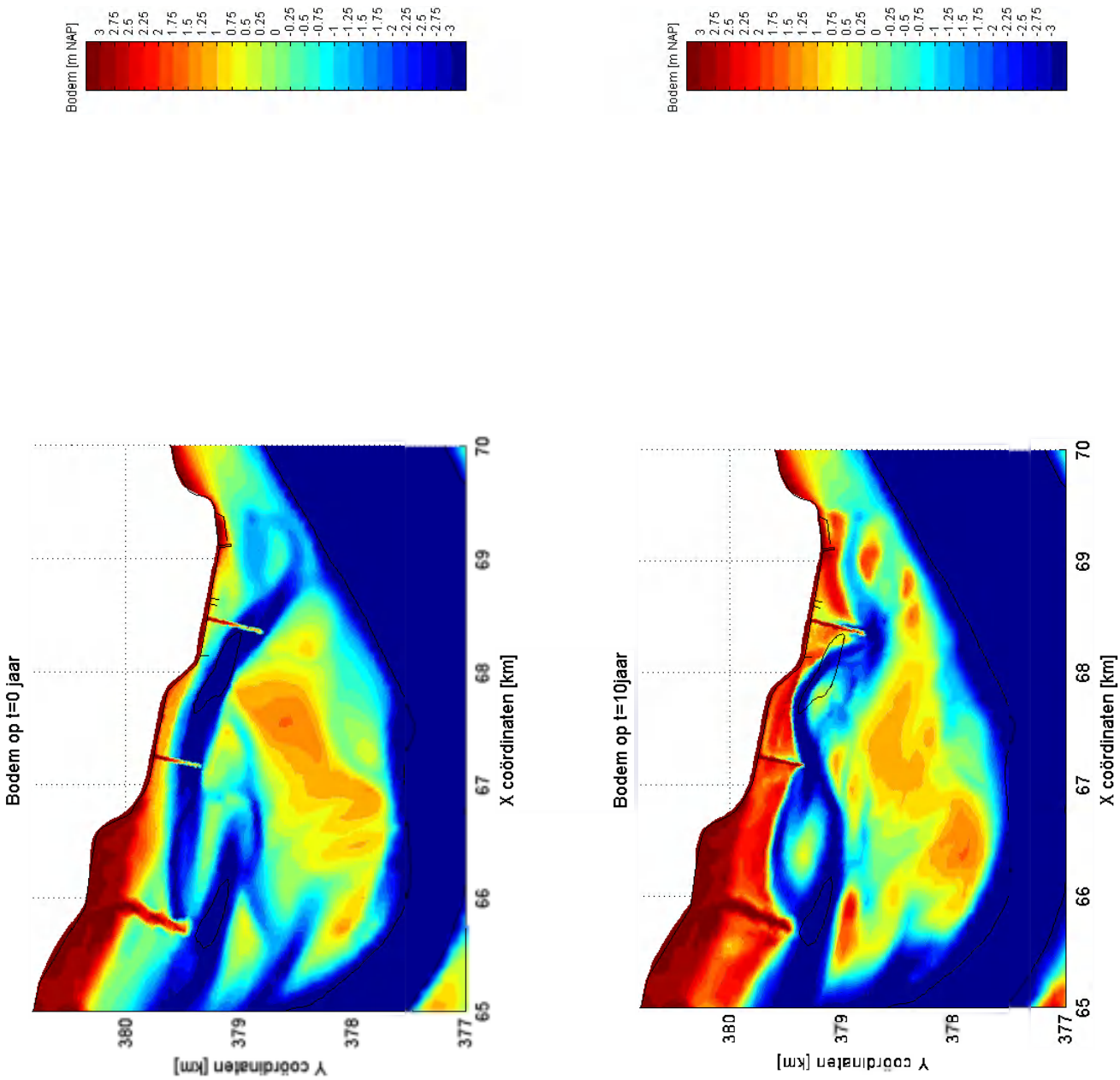
Geomorfologische kaart projectgebied Zimmermangeul

contouren geven max. stroomsnelheid (over geheel getij) in m/s

FIGUUR 10.3

1480

07-Jul-2008



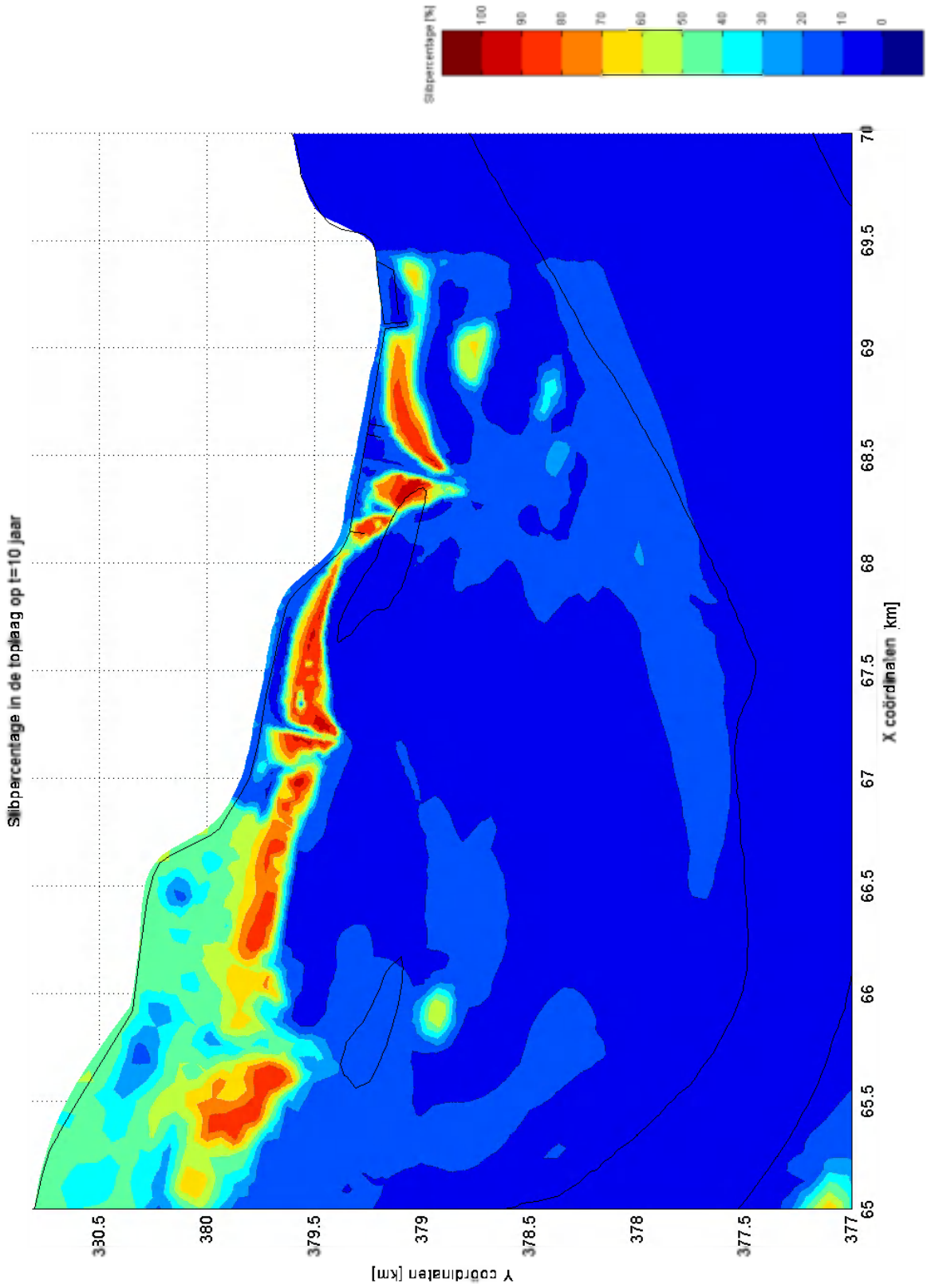
Uitkomsten Projectgebied Zimmerman met ingreep situatie

Bodem op t=0 en t=10 jaar

FIGUUR 10.4

1480

07-Jul-2008

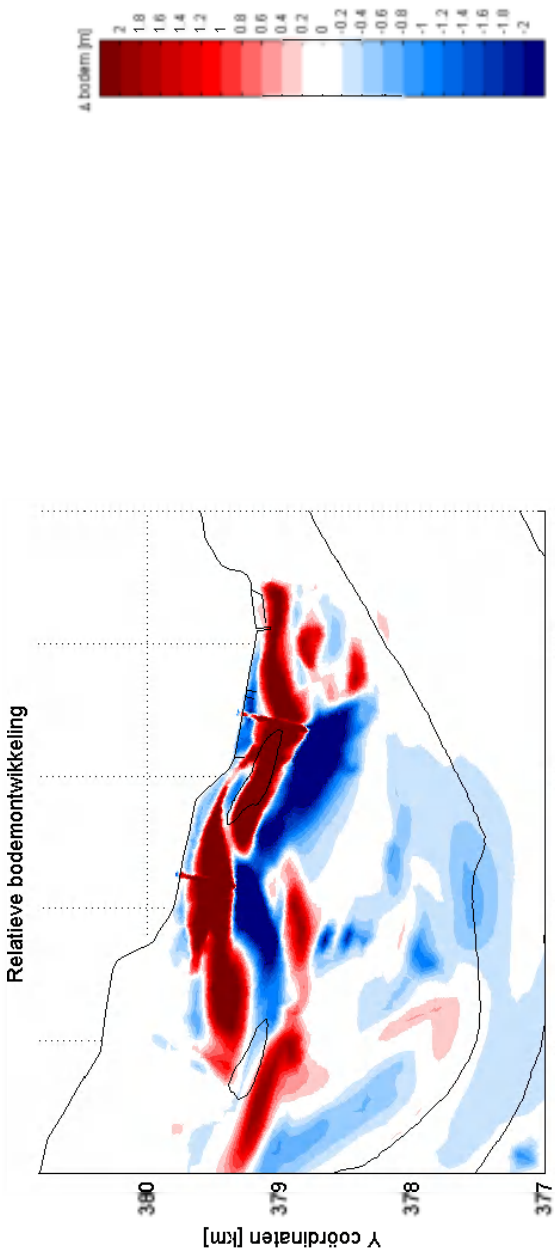


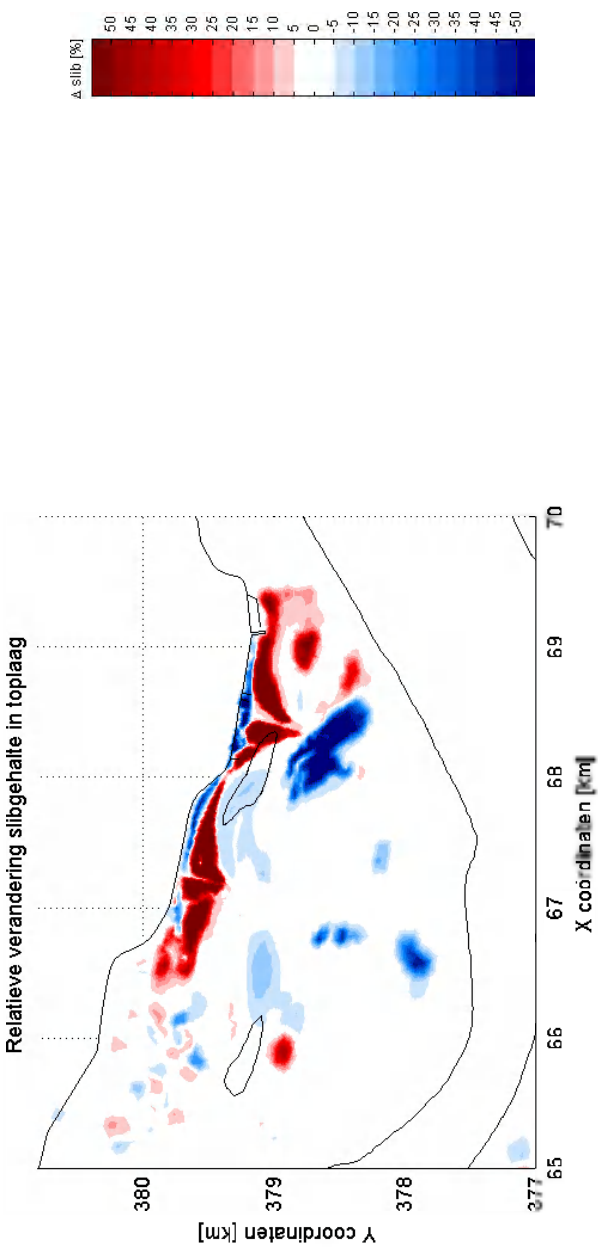
SVASEK HYDRAULICS

Slibpercentage in de toplaag van de bodem na 10 jaar

Projectgebied Zimmerman

FIGUUR 10.5
1480
07-Jul-2008





SVASEK HYDRAULICS

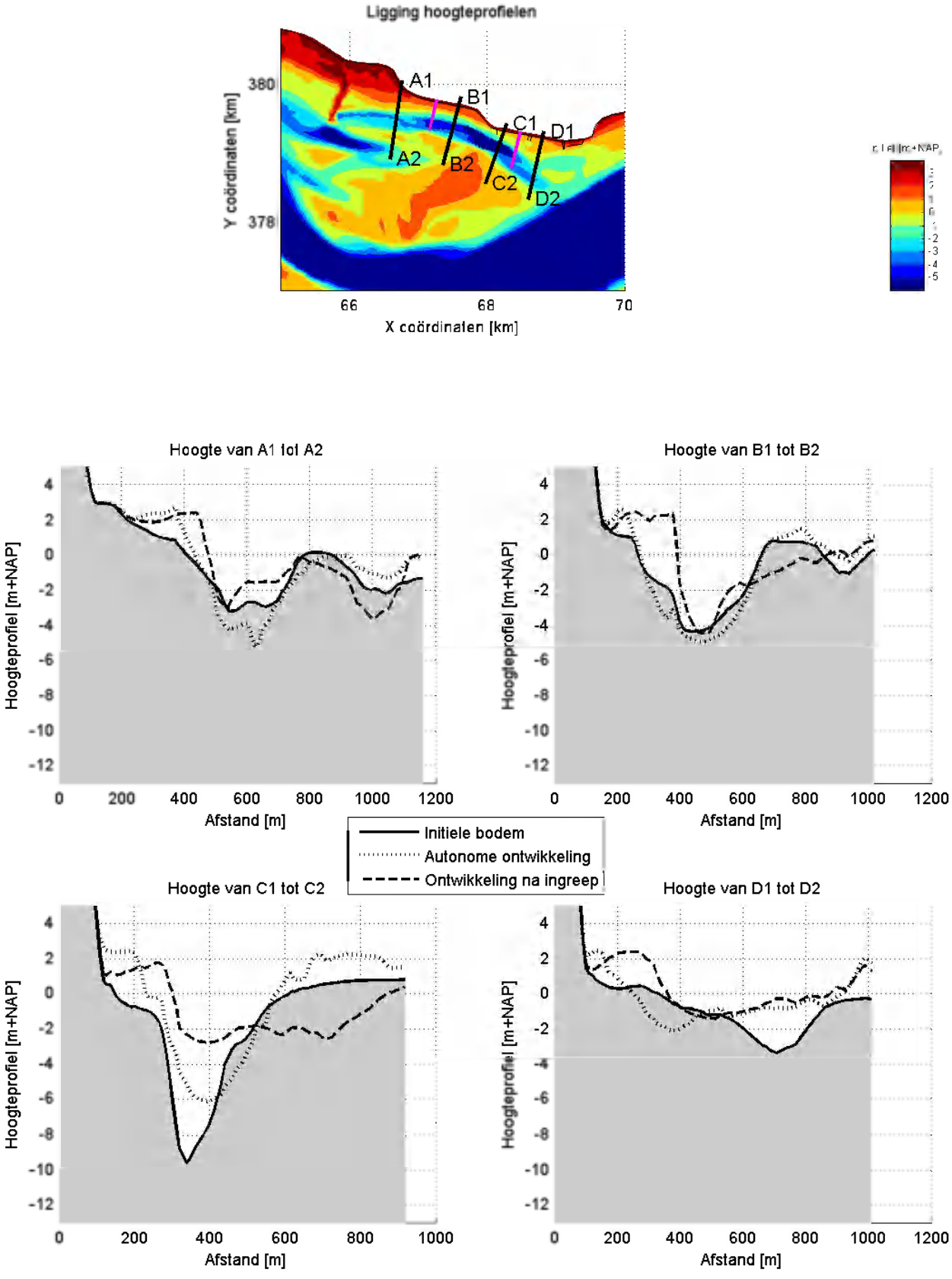
Uitkomsten Projectgebied Zimmerman na 10 jaar

(eindsituatie ingreep - eindsituatie autonome ontwikkeling)

FIGUUR 10.6

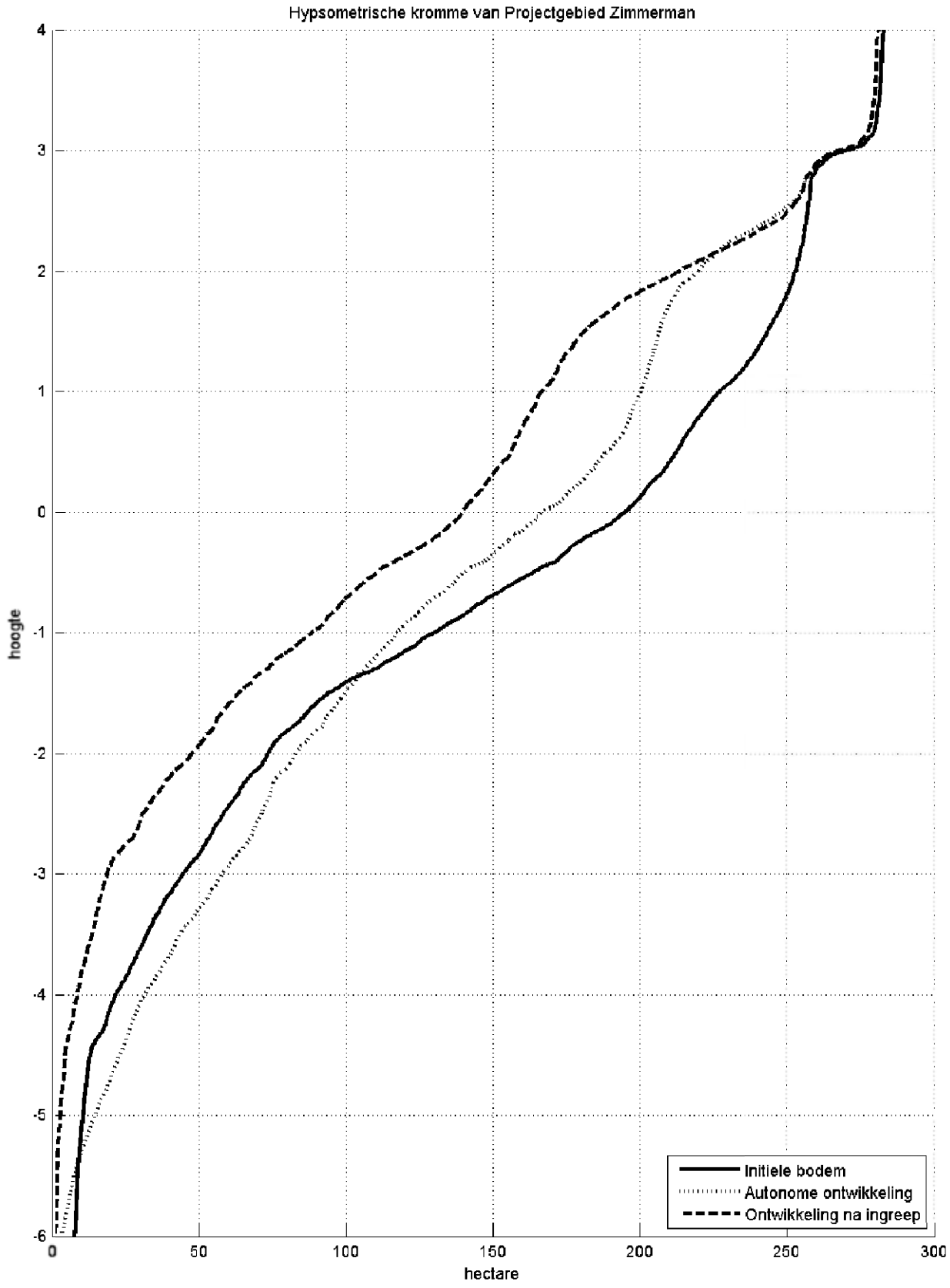
1480

07-Jul-2008



Hoogteprofielen Projectgebied Zimmerman na 10 jaar

FIGUUR 10.7
1480
07-Jul-2008

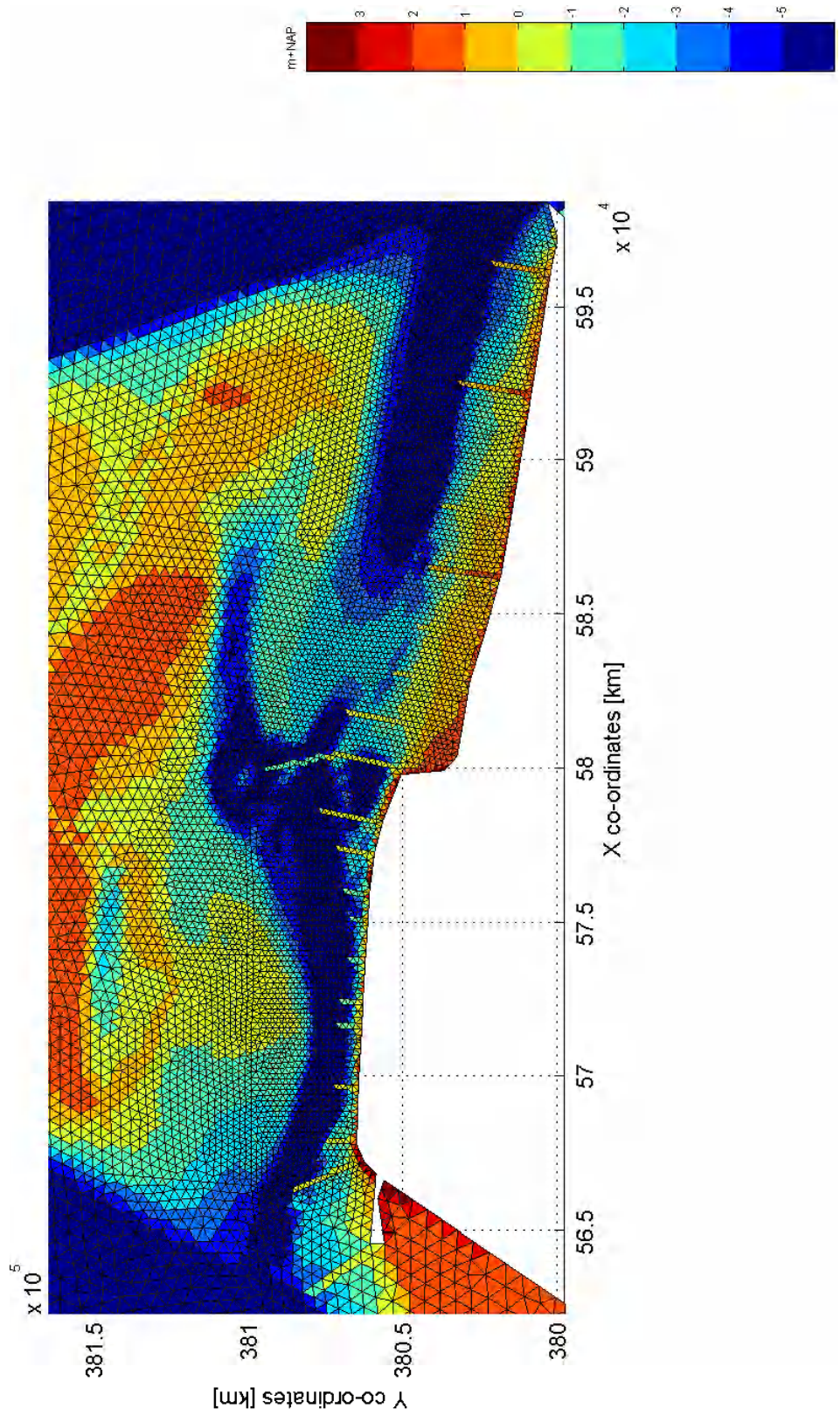


SVASEK HYDRAULICS

Hypsometrische kromme van Projectgebied Zimmerman

Initiele bodemligging en ontwikkeling na 10 jaar

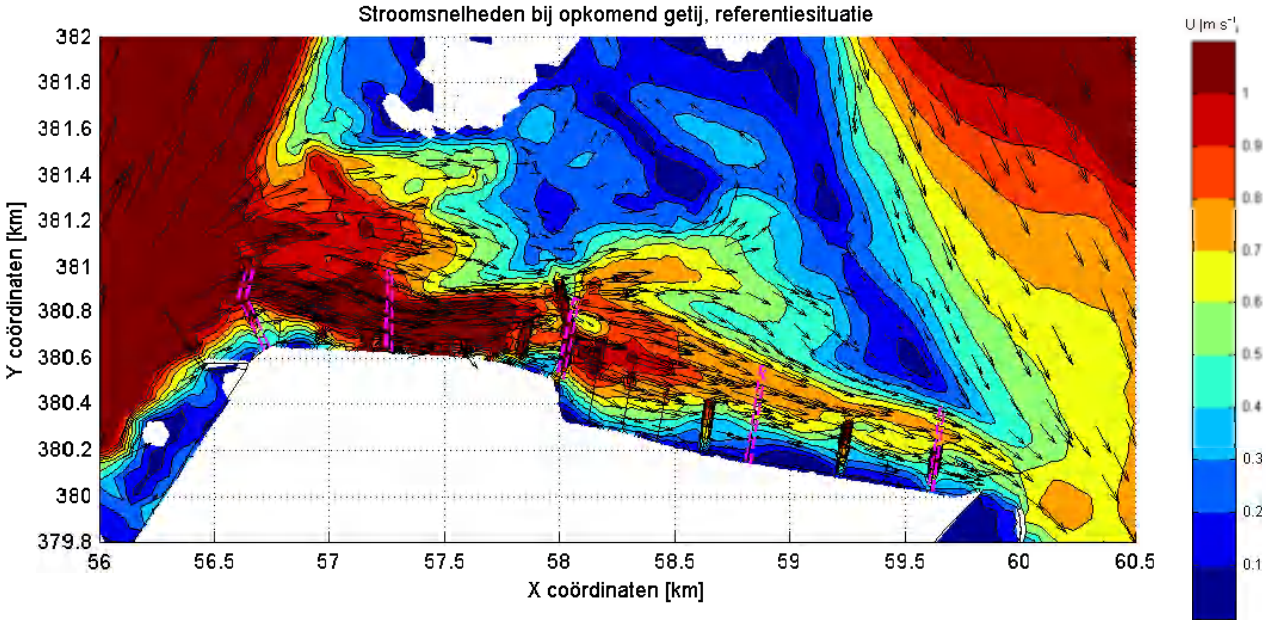
FIGUUR 10.8
1480
07-Jul-2008

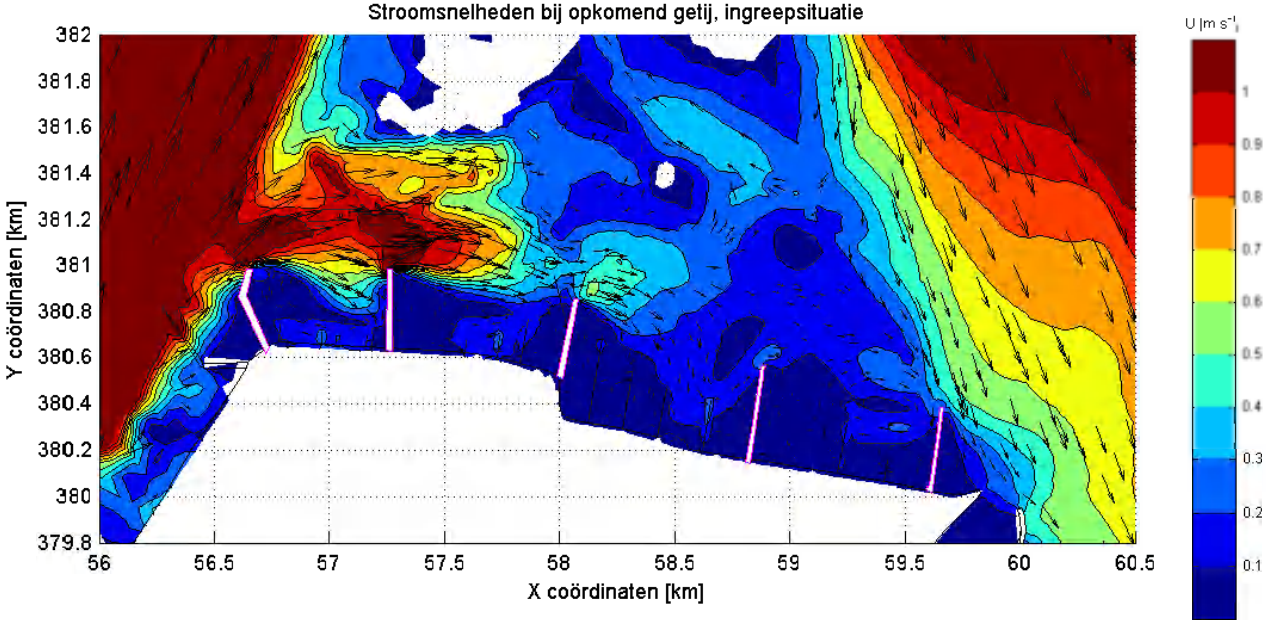


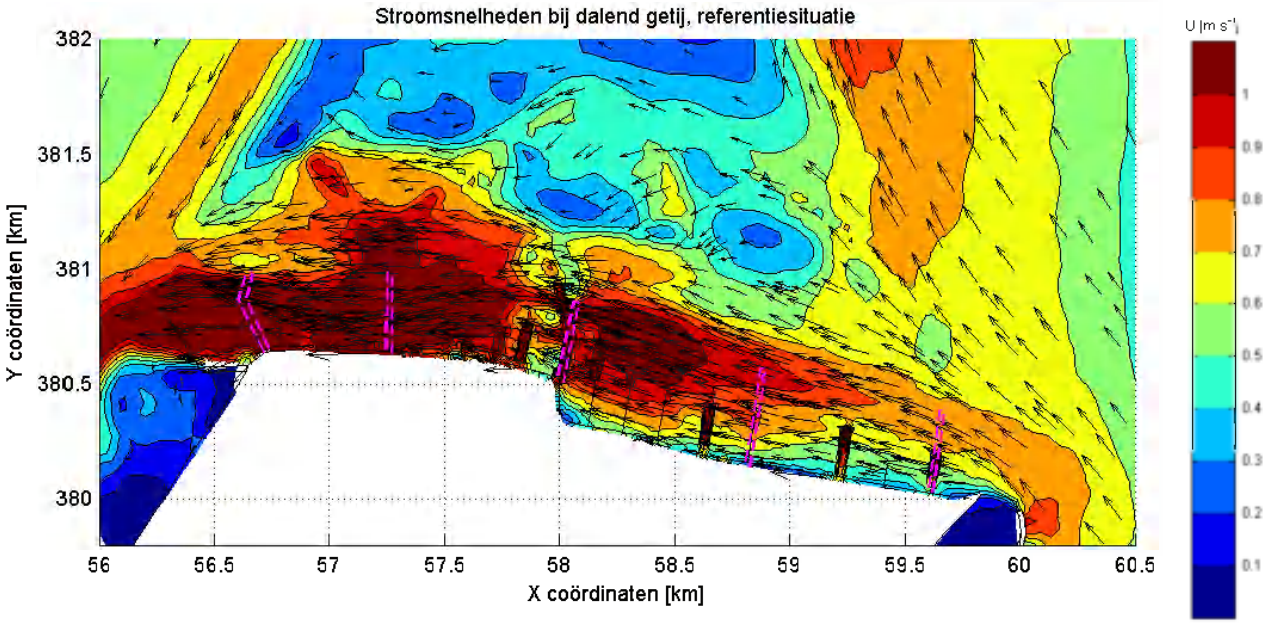
SVASEK HYDRAULICS

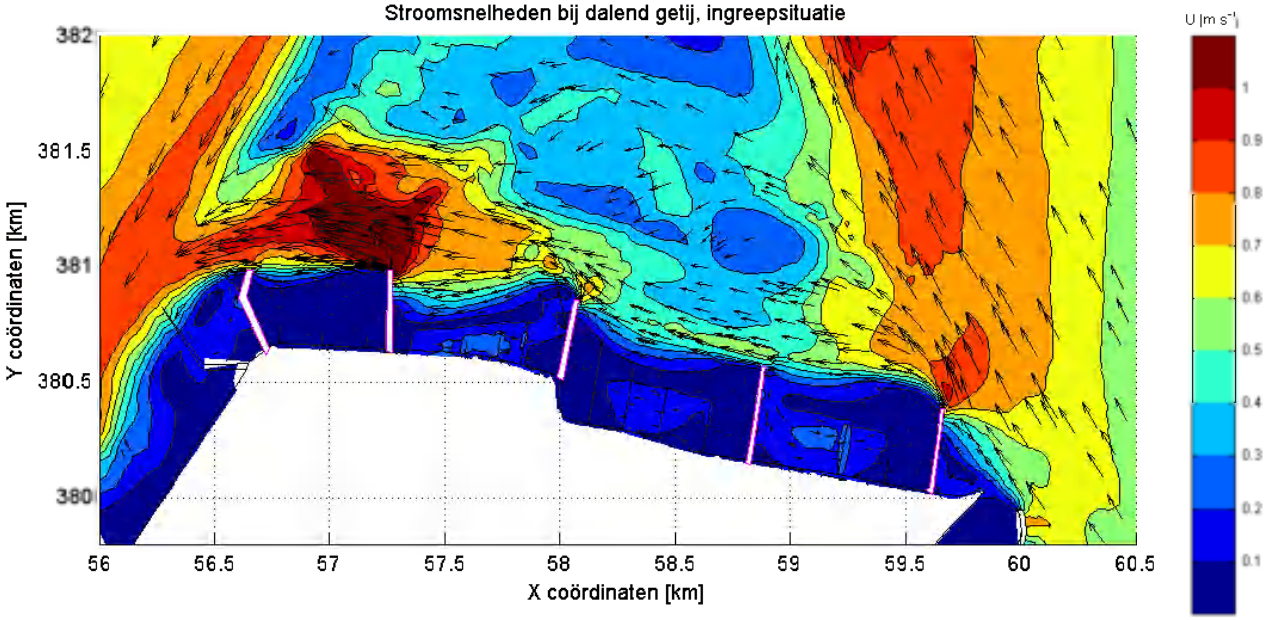
Rekenrooster projectgebied Ossenisse

FIGUUR 11.1
1480
07-Jul-2008


Stroomsnelheden bij opkomend getij, referentiesituatie
Y coördinaten [km]
X coördinaten [km]
U [m s-1]
382
381.8
381.6
381.4
381.2
381
380.8
380.6
380.4
380.2
380
379.8
56
56.5
57
57.5
58
58.5
59
59.5
60
60.5
1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1


Stroomsnelheden bij opkomend getij, ingreepsituatie
Y coördinaten [km]
X coördinaten [km]
U [m s-1]
382
381.8
381.6
381.4
381.2
381
380.8
380.6
380.4
380.2
380
379.8
56
56.5
57
57.5
58
58.5
59
59.5
60
60.5
1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1



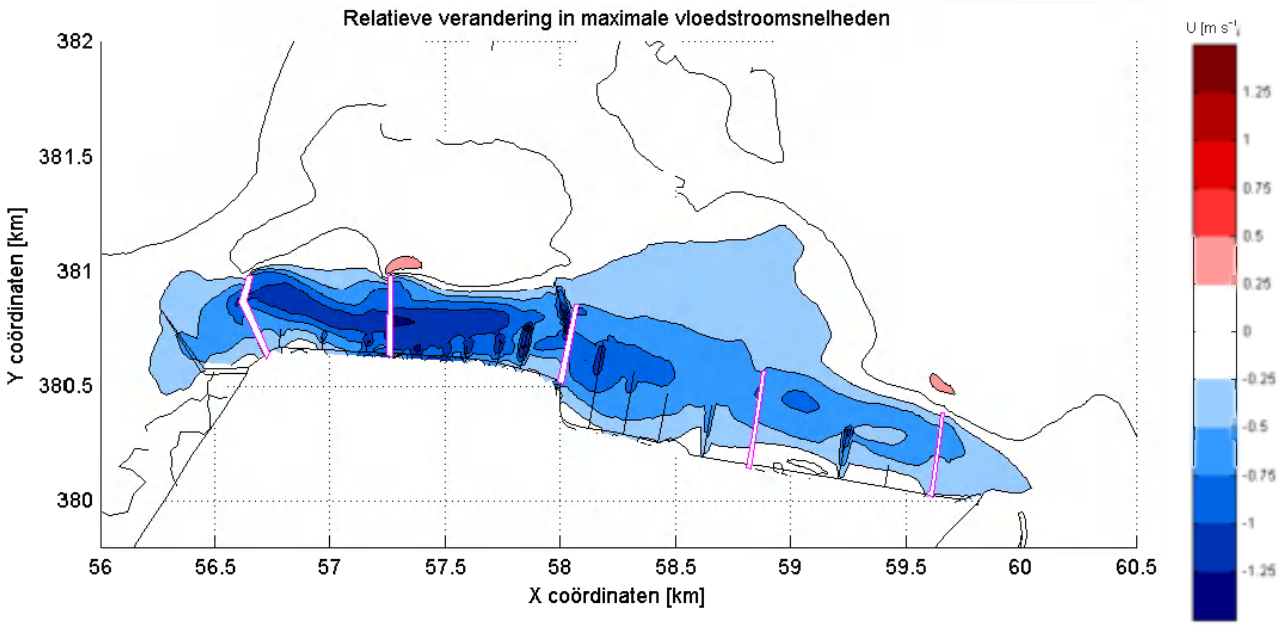


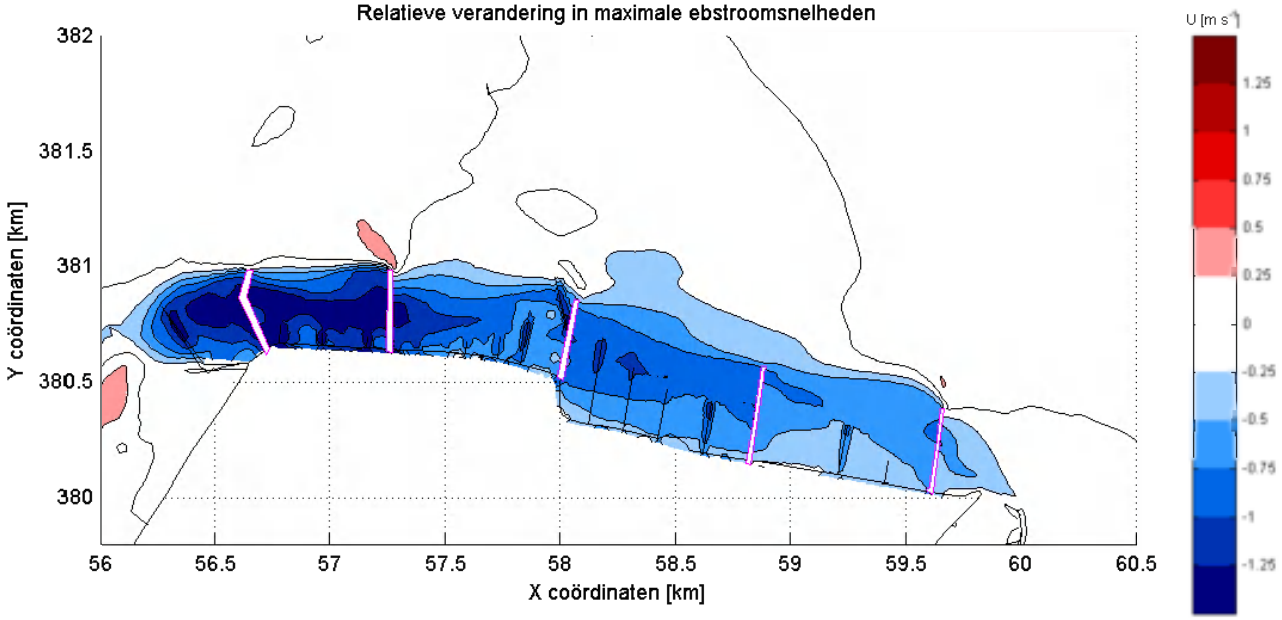
SVASEK HYDRAULICS

Maximum ebstroomsnelheden, projectgebied Ossenisse

Referentie en ingreep situatie

FIGUUR 11.2b
1480
07-Jul-2008



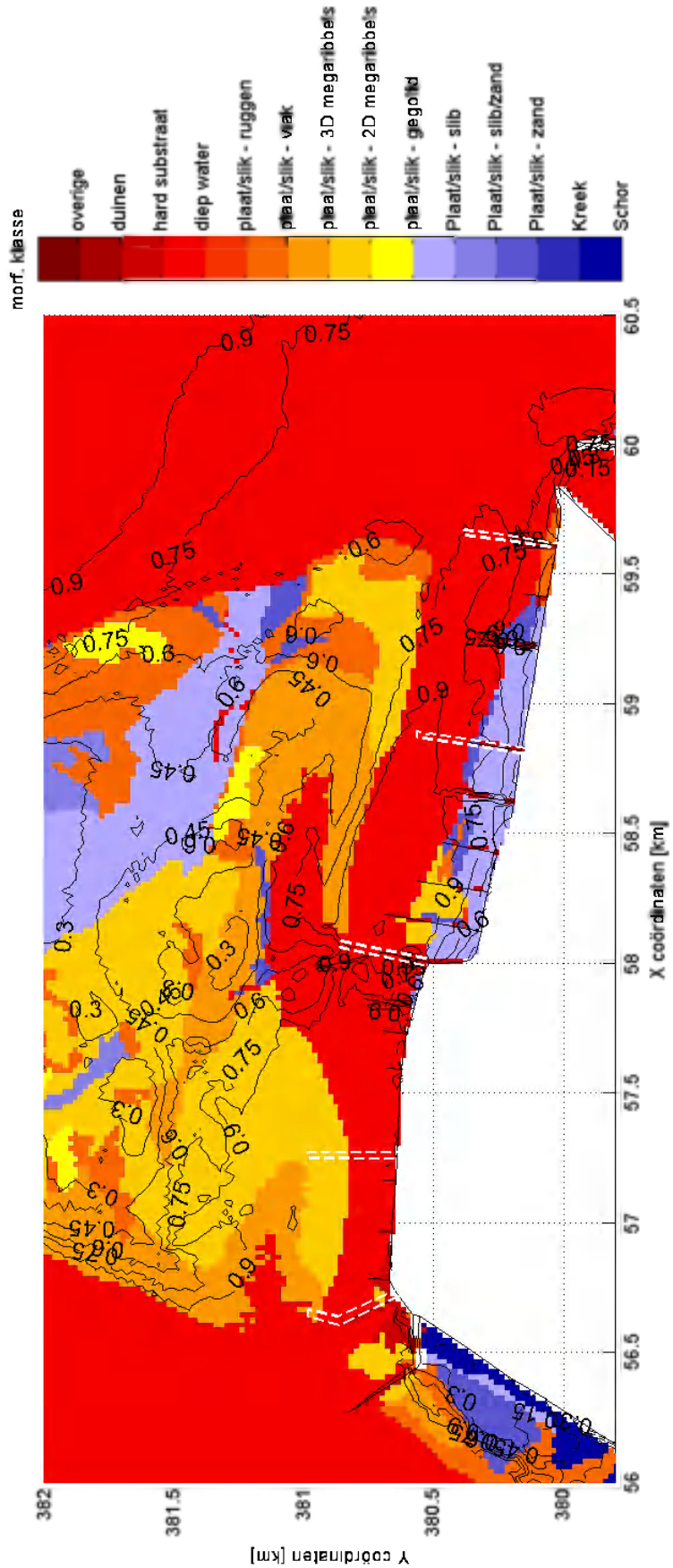


SVASEK HYDRAULICS

Verschil stroomsnelheden, projectgebied Ossenisse

Referentie en ingreep situatie

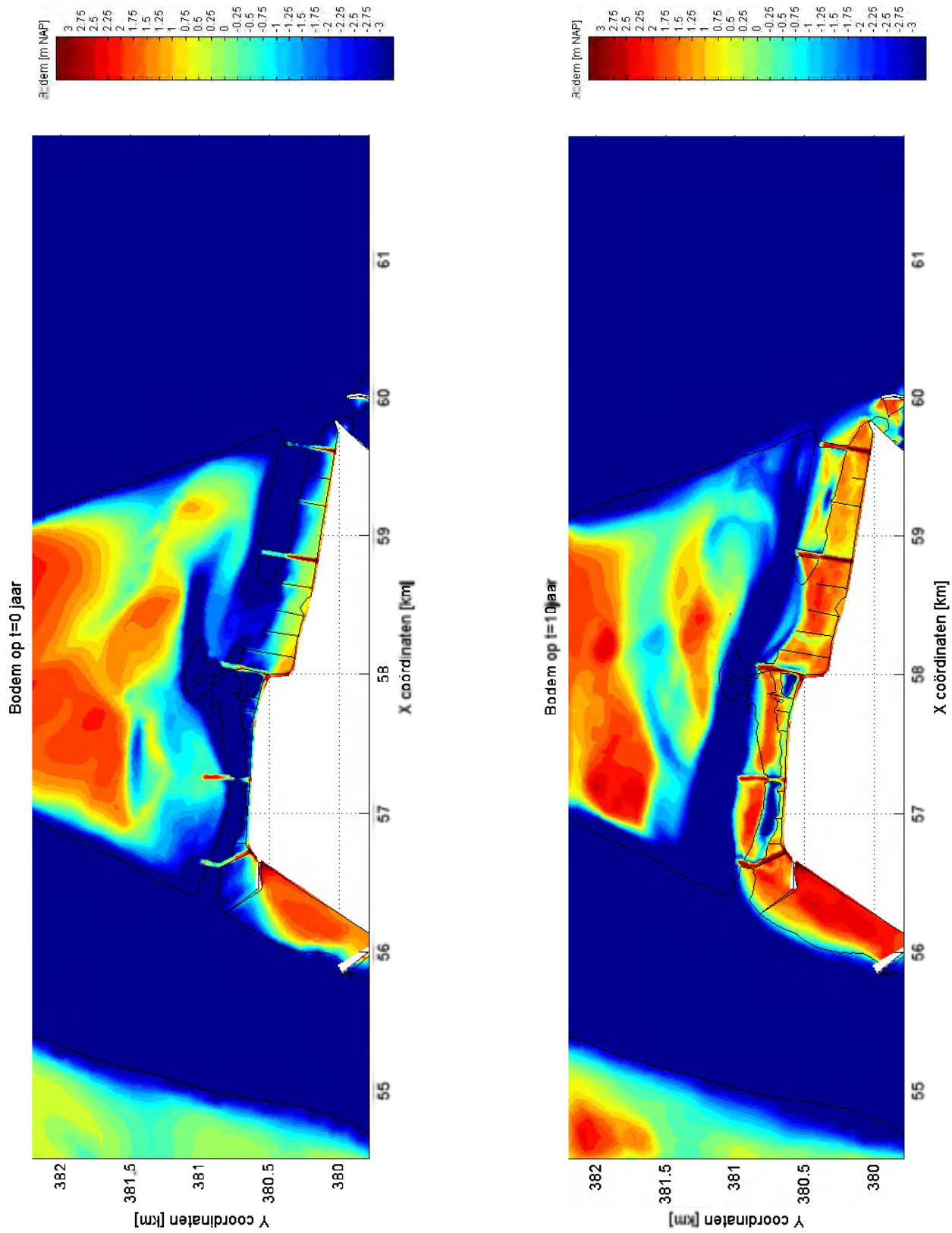
FIGUUR 11.2c
1480
07-Jul-2008



Geomorfologische kaart projectgebied Schaar van Ossenisse **FIGUUR 11.3**

1480

contouren geven max. stroomsnelheid (over geheel getij) in m/s 07-Jul-2008



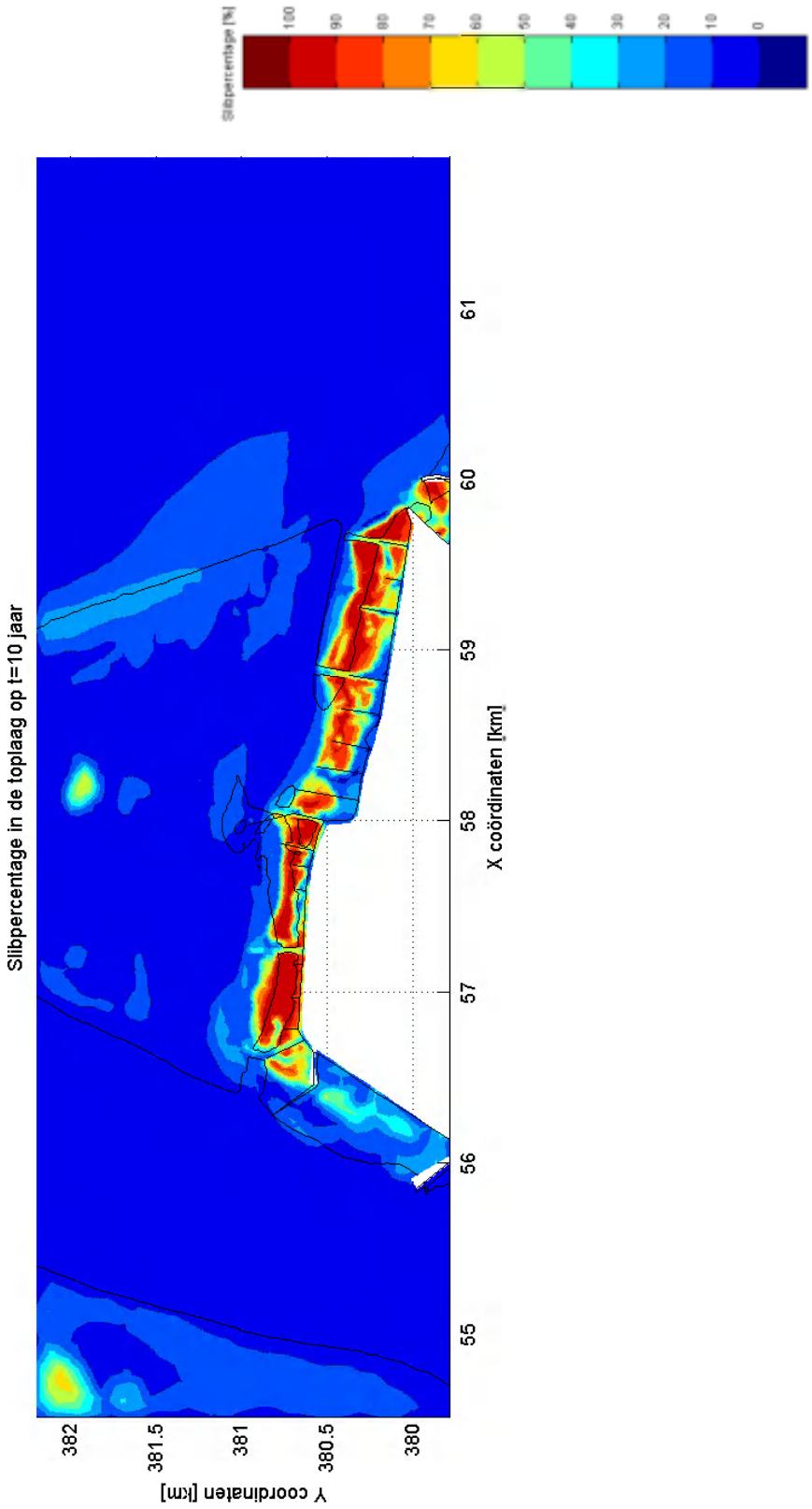
Uitkomsten Projectgebied Ossenisse met ingreep situatie

Bodem op t=0 en t=10 jaar

FIGUUR 11.4

1480

07-Jul-2008

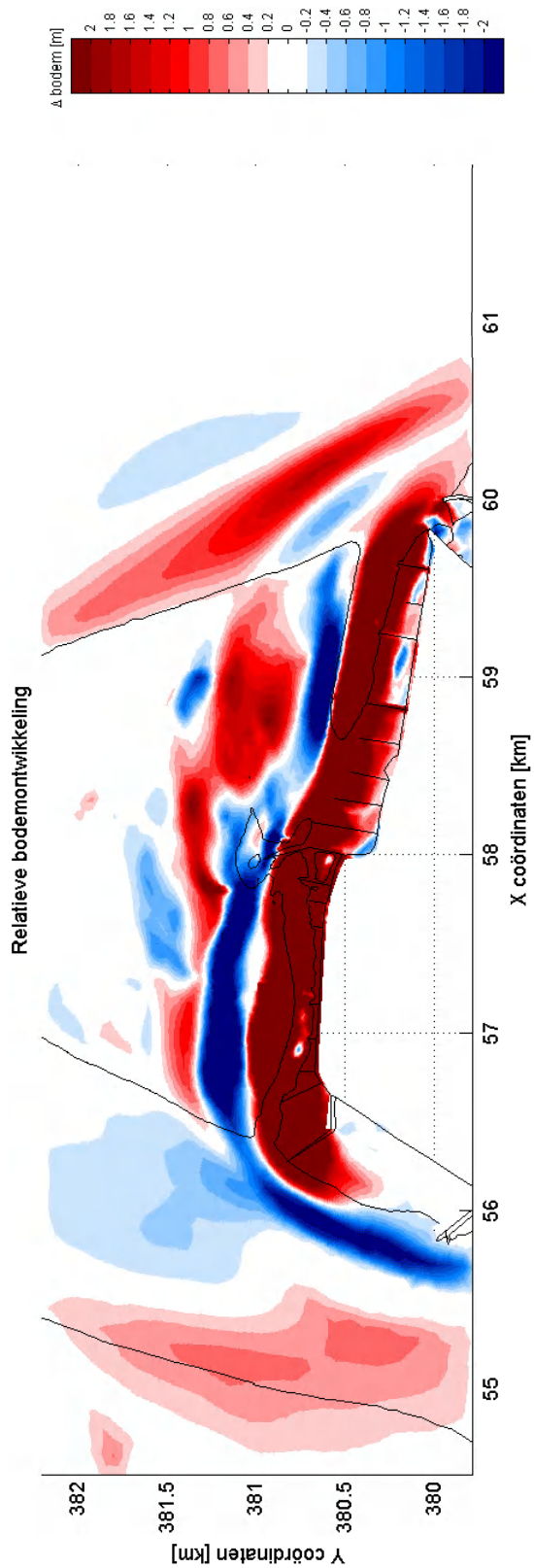


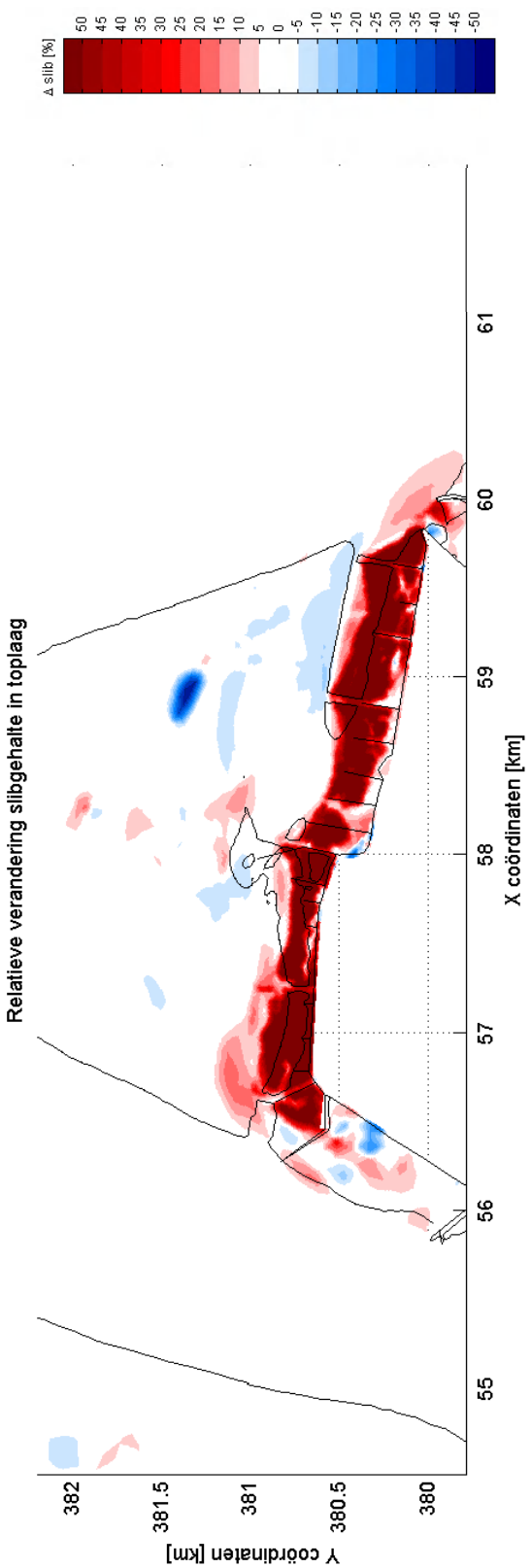
SVASEK HYDRAULICS

Slibpercentage in de toplaag van de bodem na 10 jaar

Projectgebied Ossenisse

FIGUUR 11.5
1480
07-Jul-2008



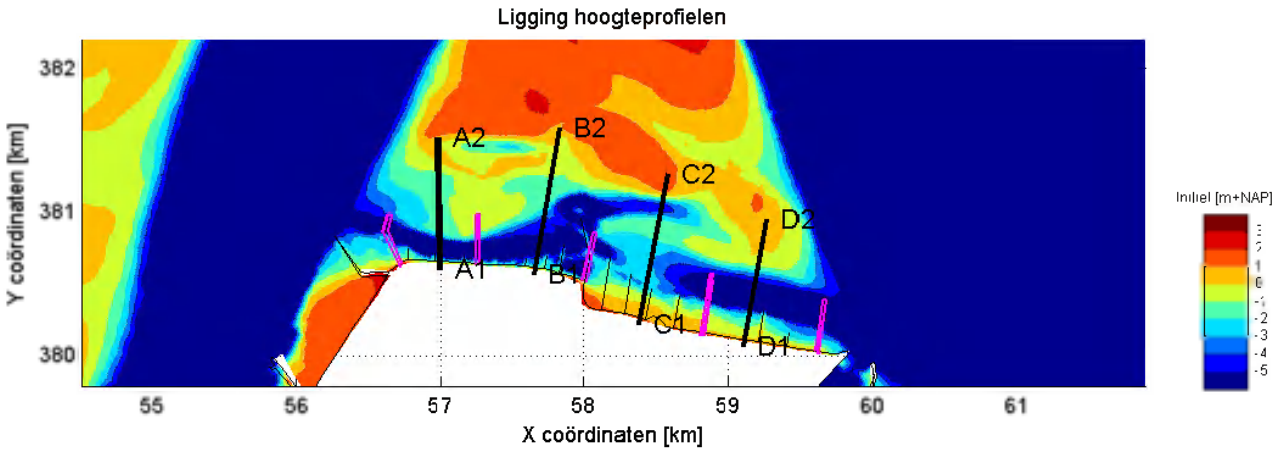


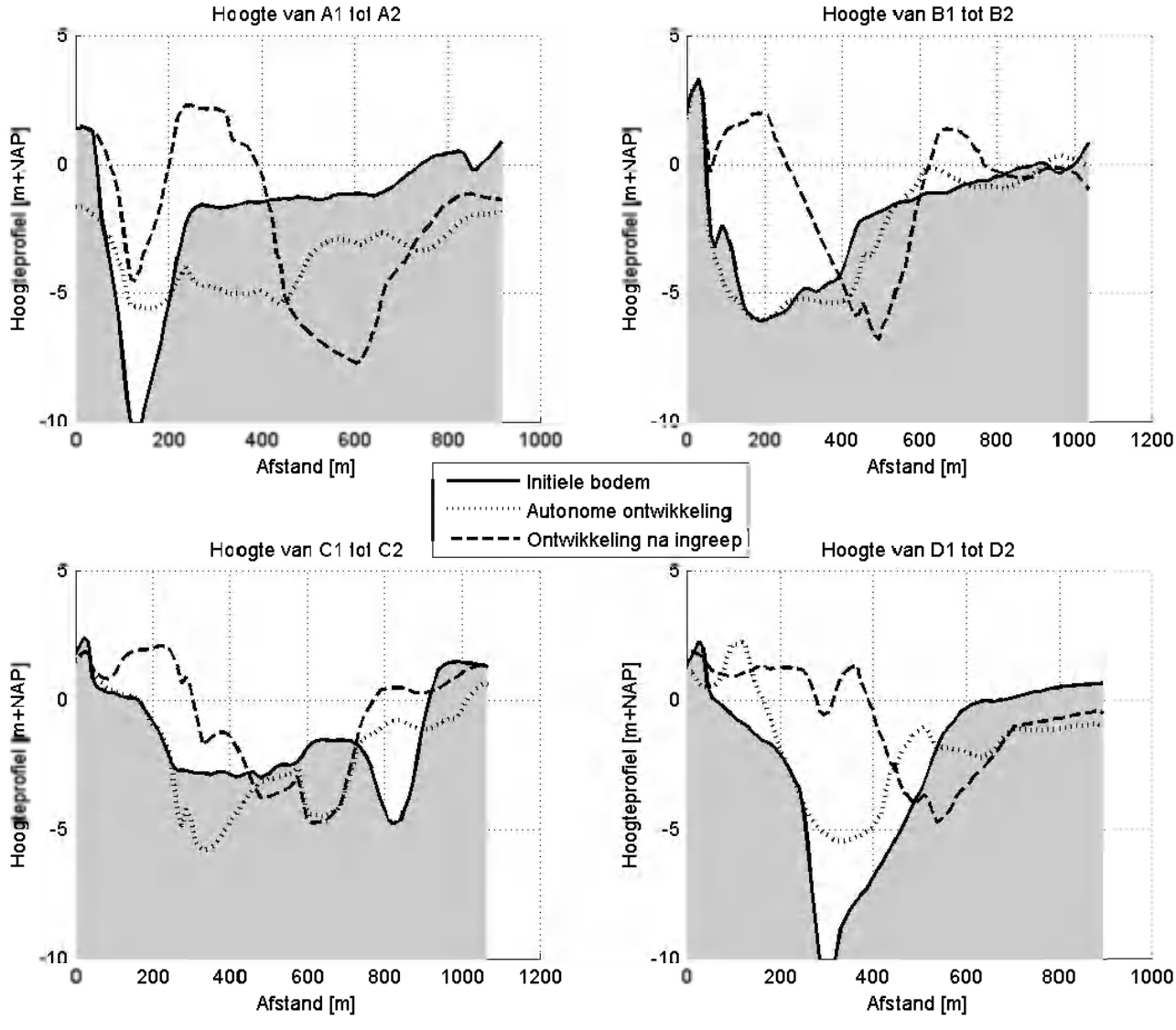
SVASEK HYDRAULICS

Uitkomsten Projectgebied Ossenisse na 10 jaar

(eindsituatie ingreep - eindsituatie autonome ontwikkeling)

FIGUUR 11.6
1480
07-Jul-2008

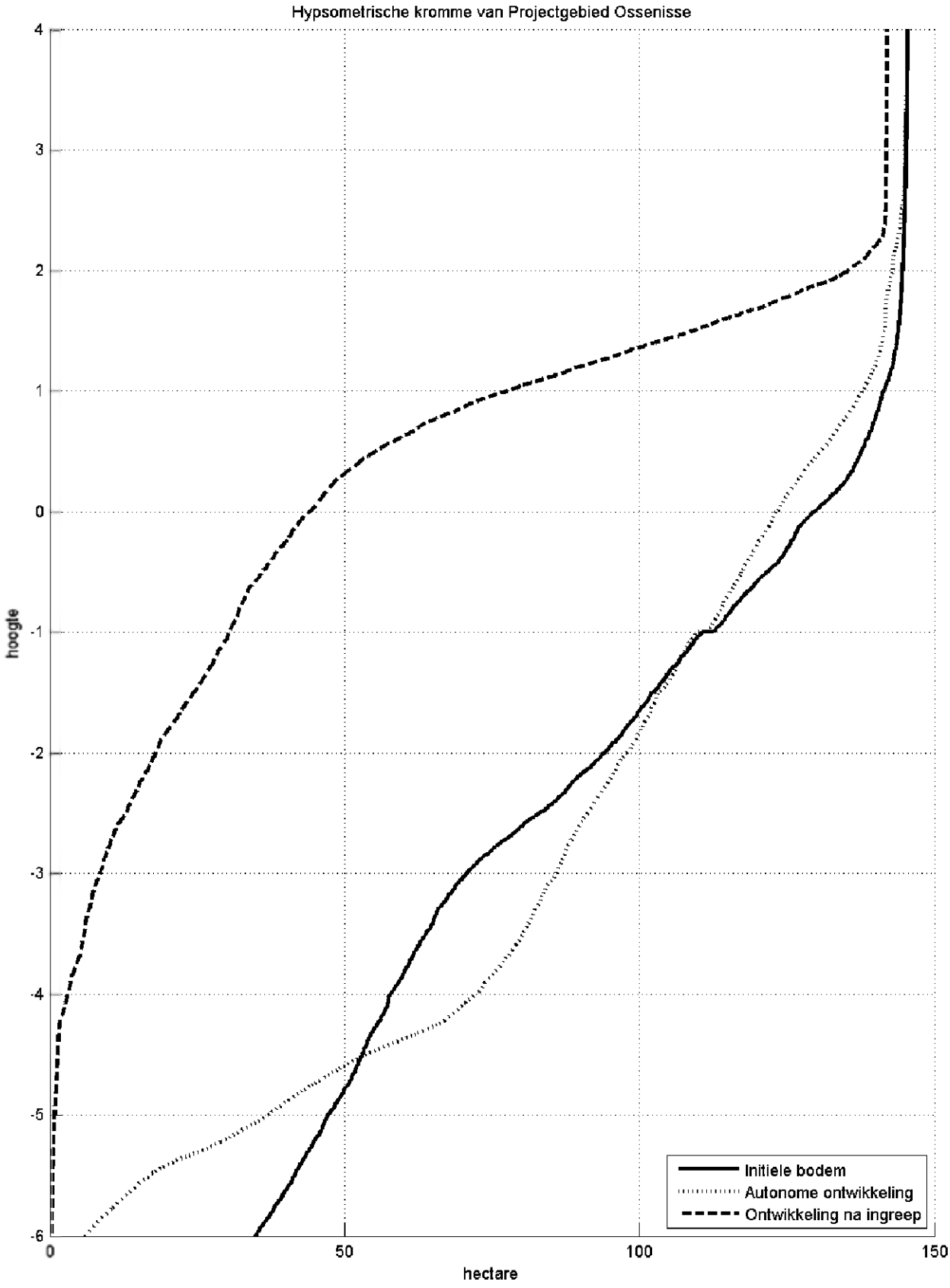




SVASEK HYDRAULICS

Hoogteprofielen Projectgebied Ossenisse na 10 jaar

FIGUUR 11.7
1480
07-Jul-2008

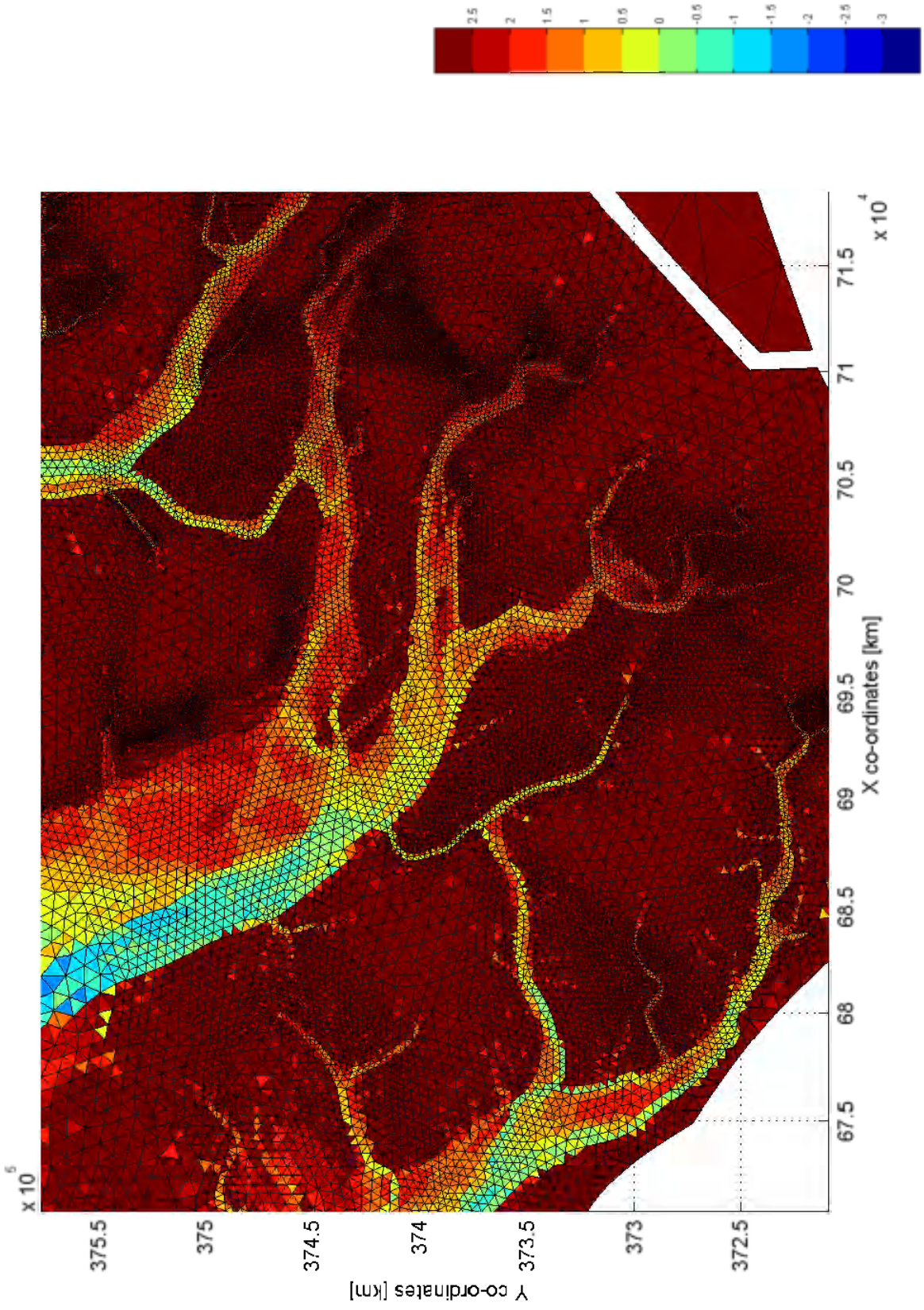


SVASEK HYDRAULICS

Hypsometrische kromme van Projectgebied Ossenisse

Initiele bodemligging en ontwikkeling na 10 jaar

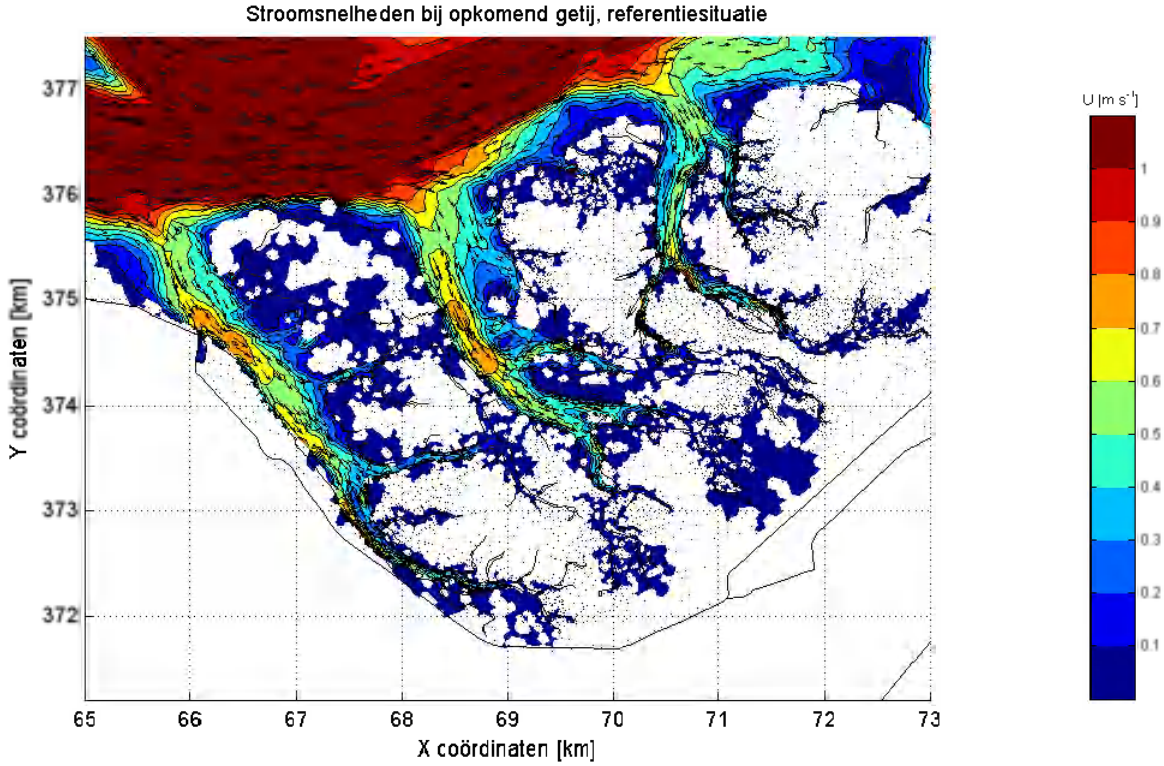
FIGUUR 11.8
1480
07-Jul-2008

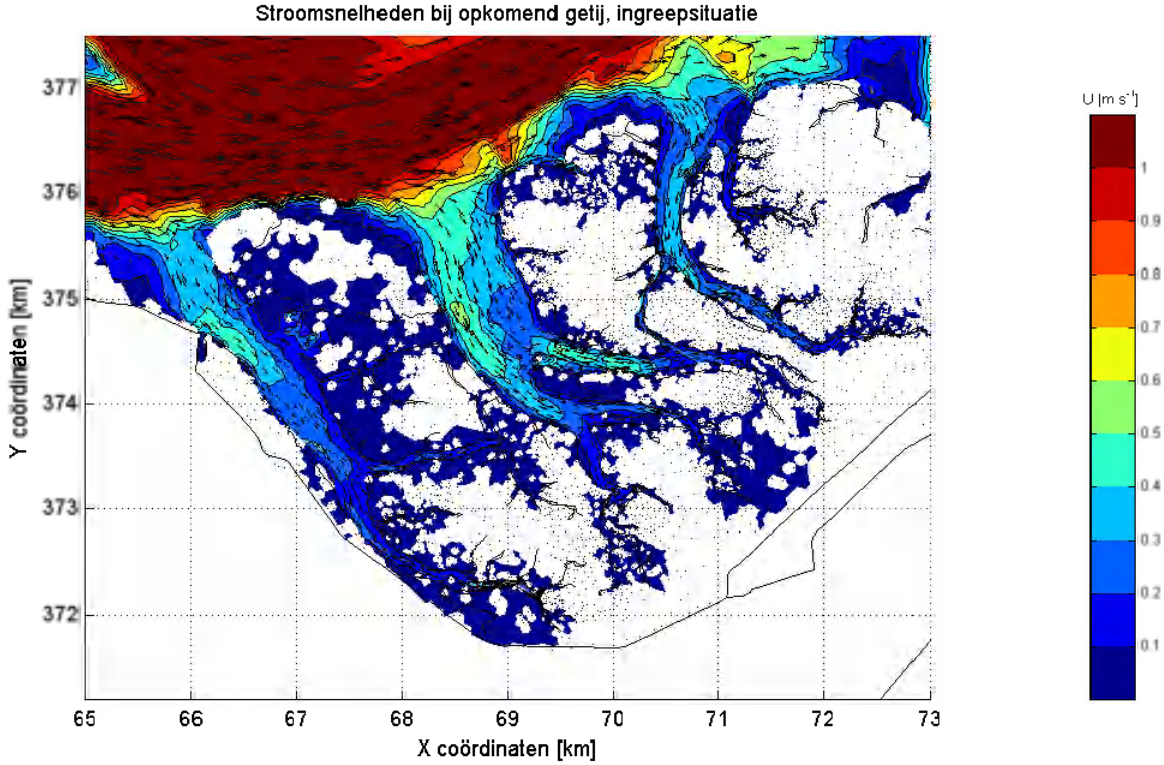


SVASEK HYDRAULICS

Rekenrooster projectgebied Land van Saeftinge

FIGUUR 12.1
1480
07-Jul-2008





SVASEK HYDRAULICS

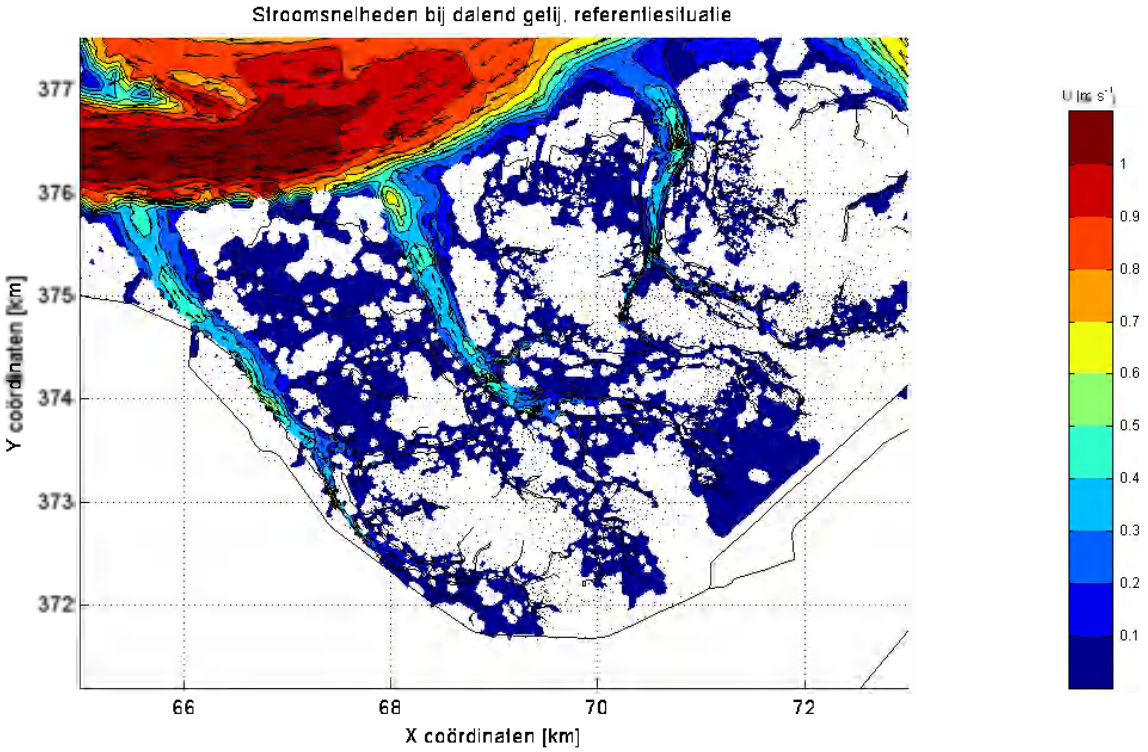
Maximum vloedstroomsnelheden, projectgebied Saeftinge

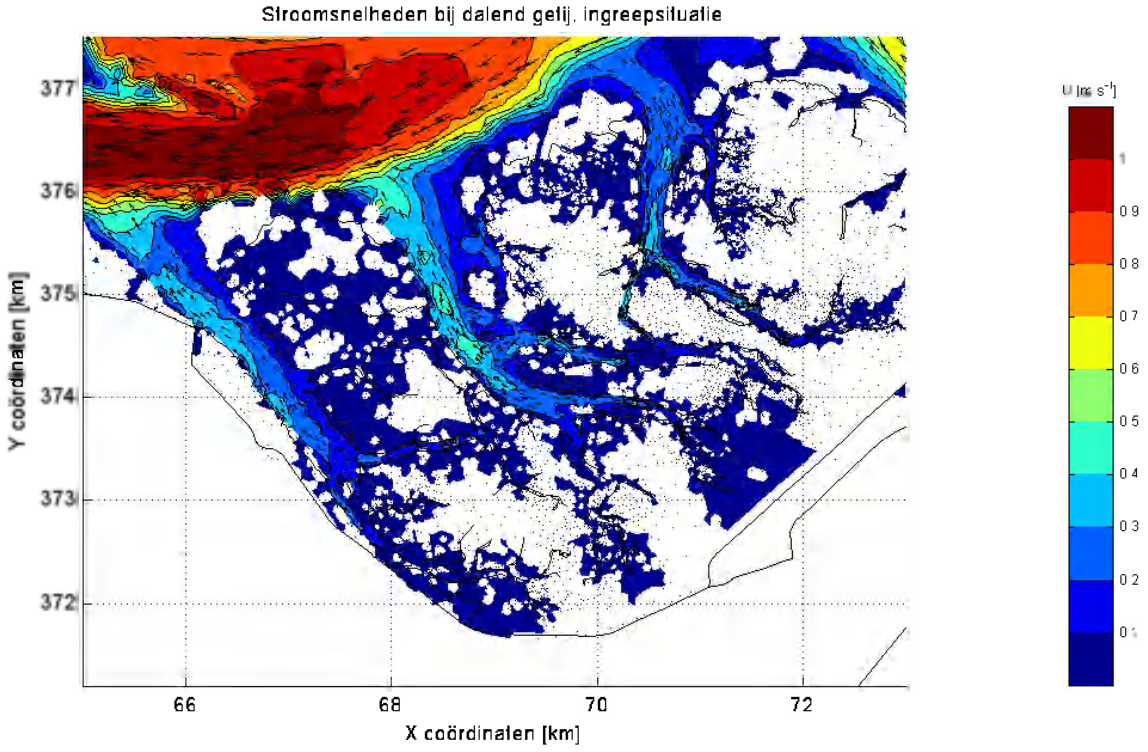
Referentie en ingreep situatie

FIGUUR 12.2a

1480

07-Jul-2008



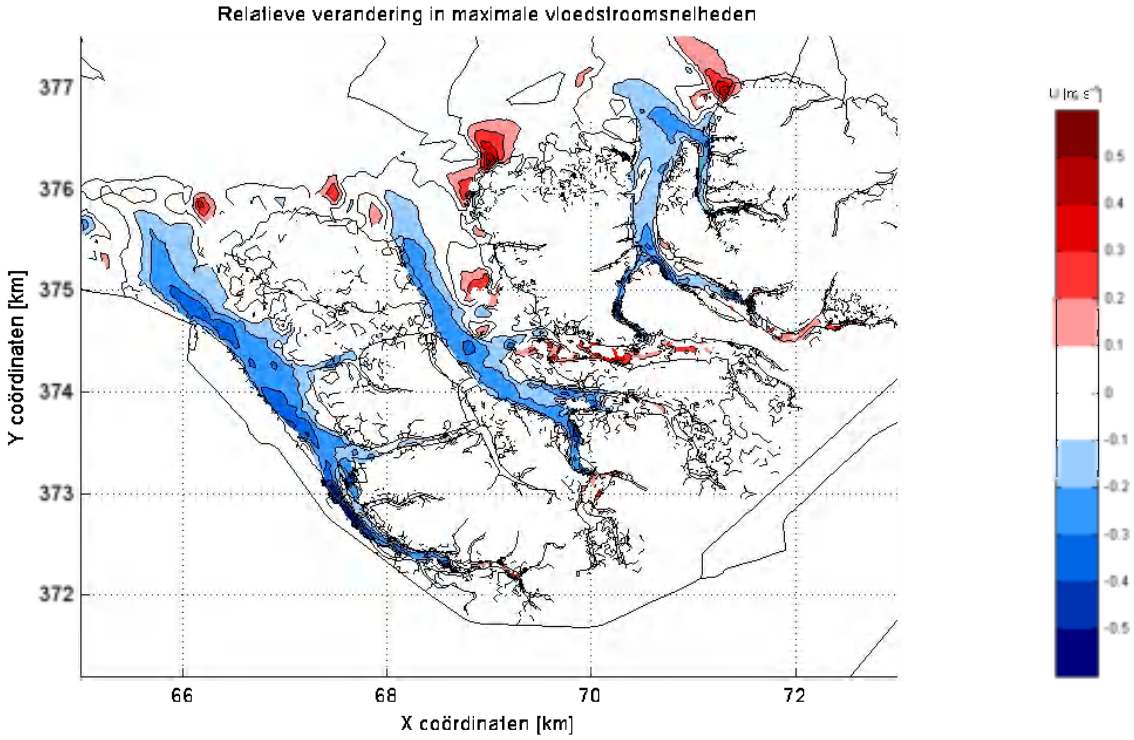


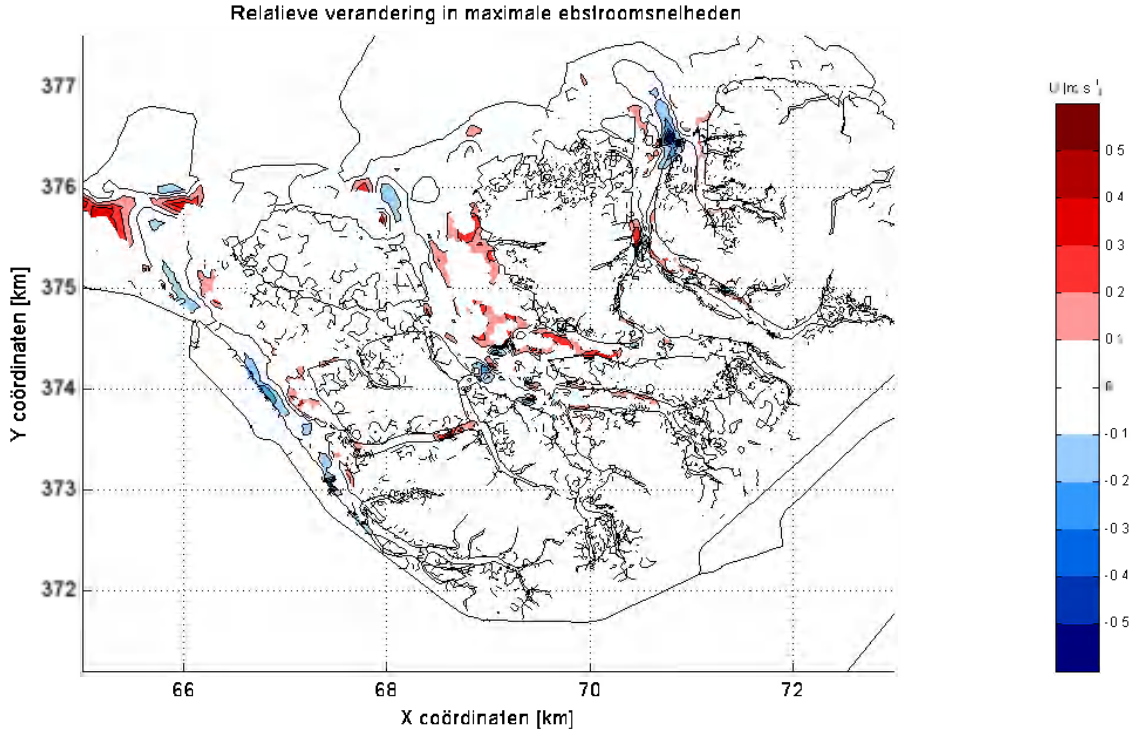
SVASEK HYDRAULICS

Maximum ebstroomsnelheden, projectgebied Saeftinge

Referentie en ingreep situatie

FIGUUR 12.2b
1480
07-Jul-2008





SVASEK HYDRAULICS

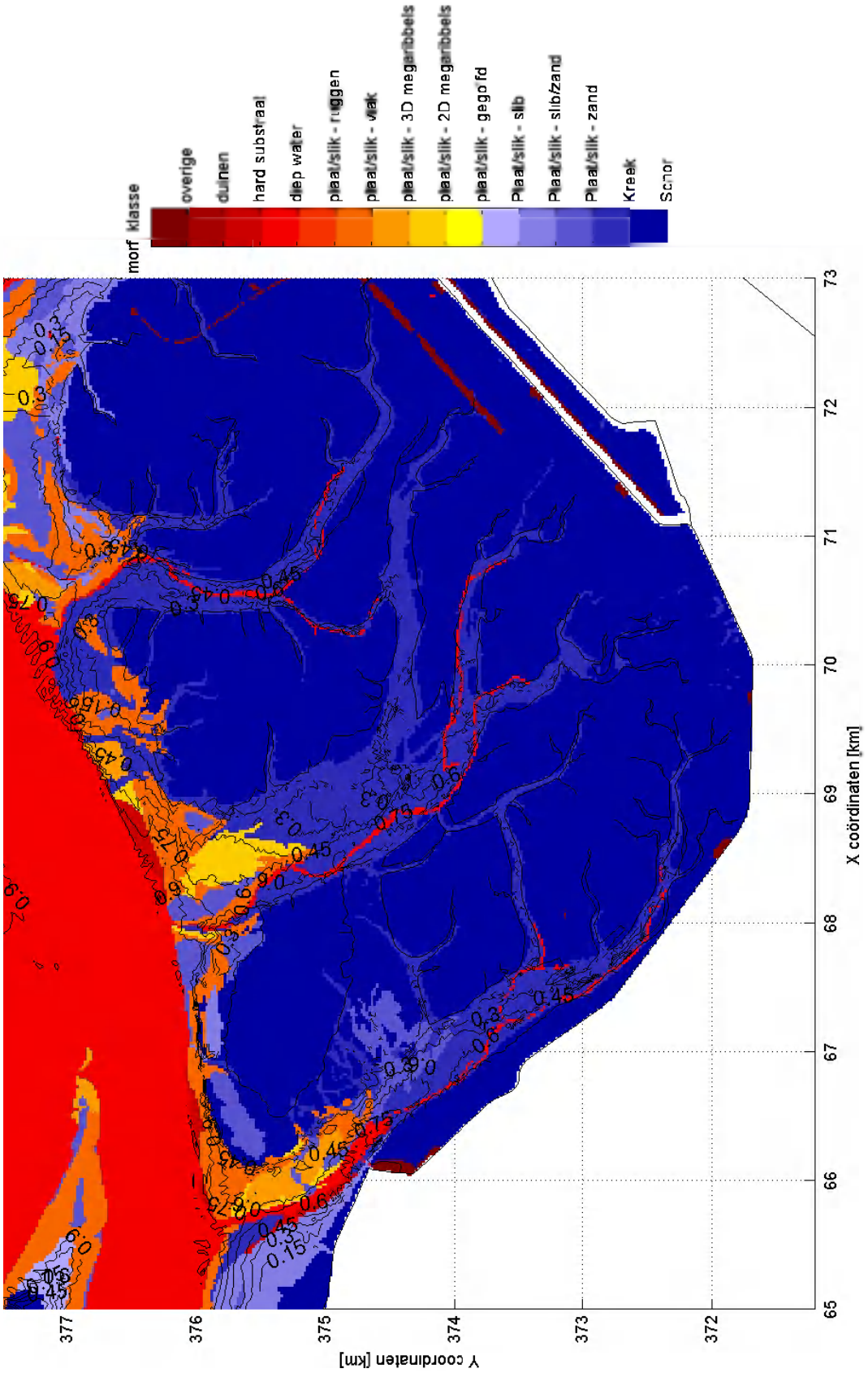
Verschil stroomsnelheden, projectgebied Saeftinge

Referentie en ingreep situatie

FIGUUR 12.2c

1480

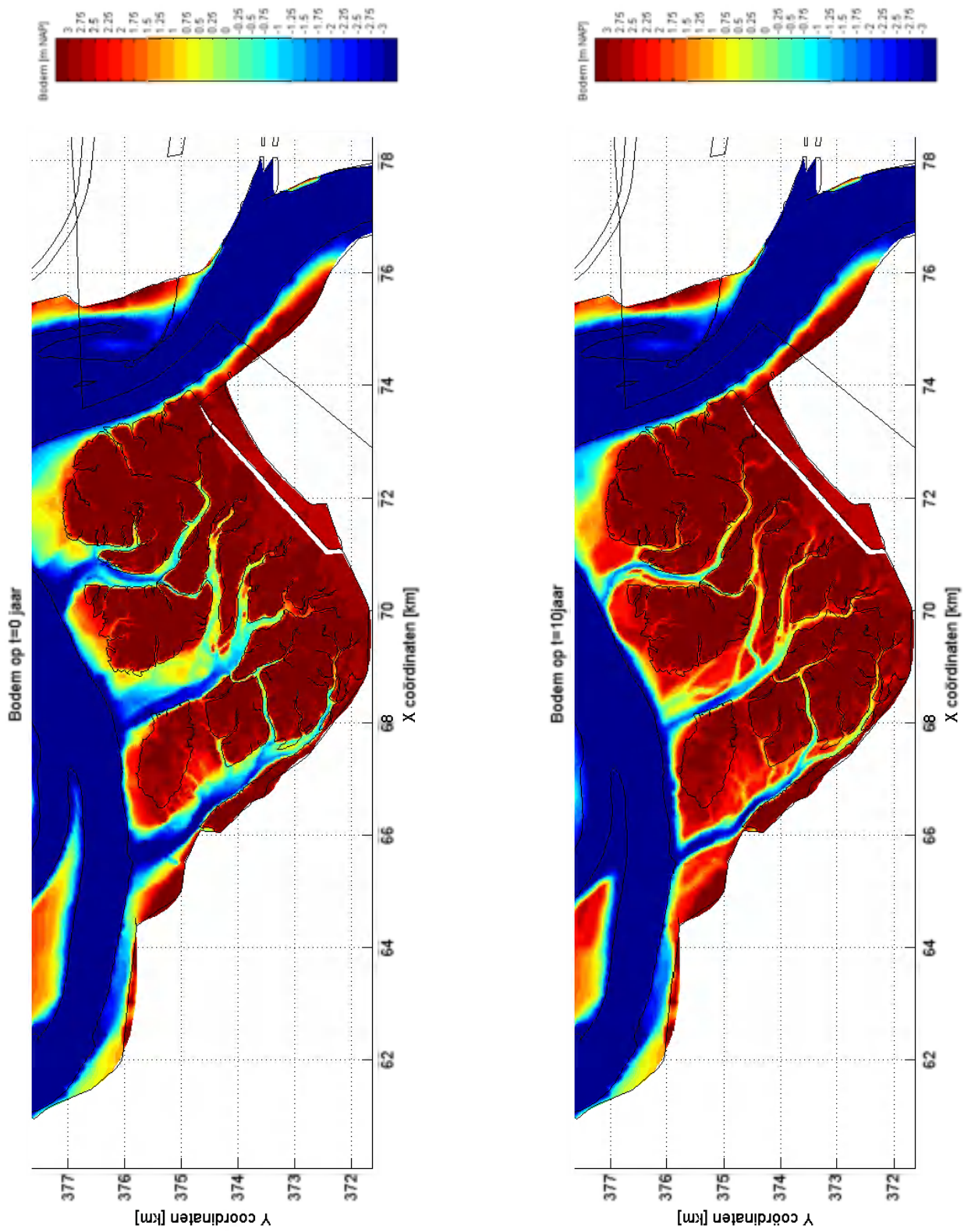
07-Jul-2008



Geomorfologische kaart projectgebied Land van Saefthinge **FIGUUR 12.3**

1480

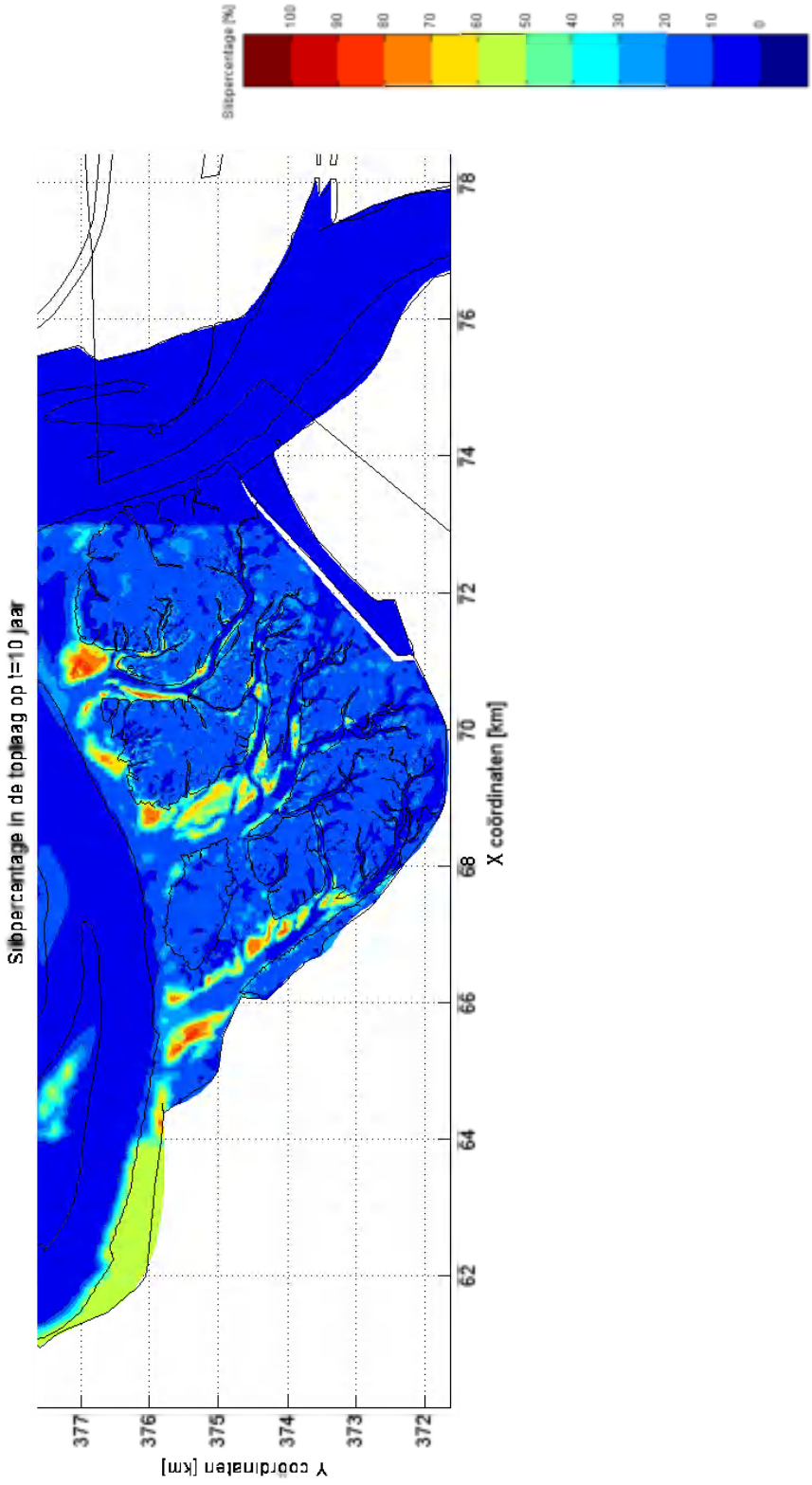
contouren geven max. stroomsnelheid (over geheel getij) in m/s 07-Jul-2008



Uitkomsten Projectgebied Saeftinge met ingreep situatie

Bodem op t=0 en t=10 jaar

FIGUUR 12.4
1480
07-Jul-2008



SVASEK HYDRAULICS

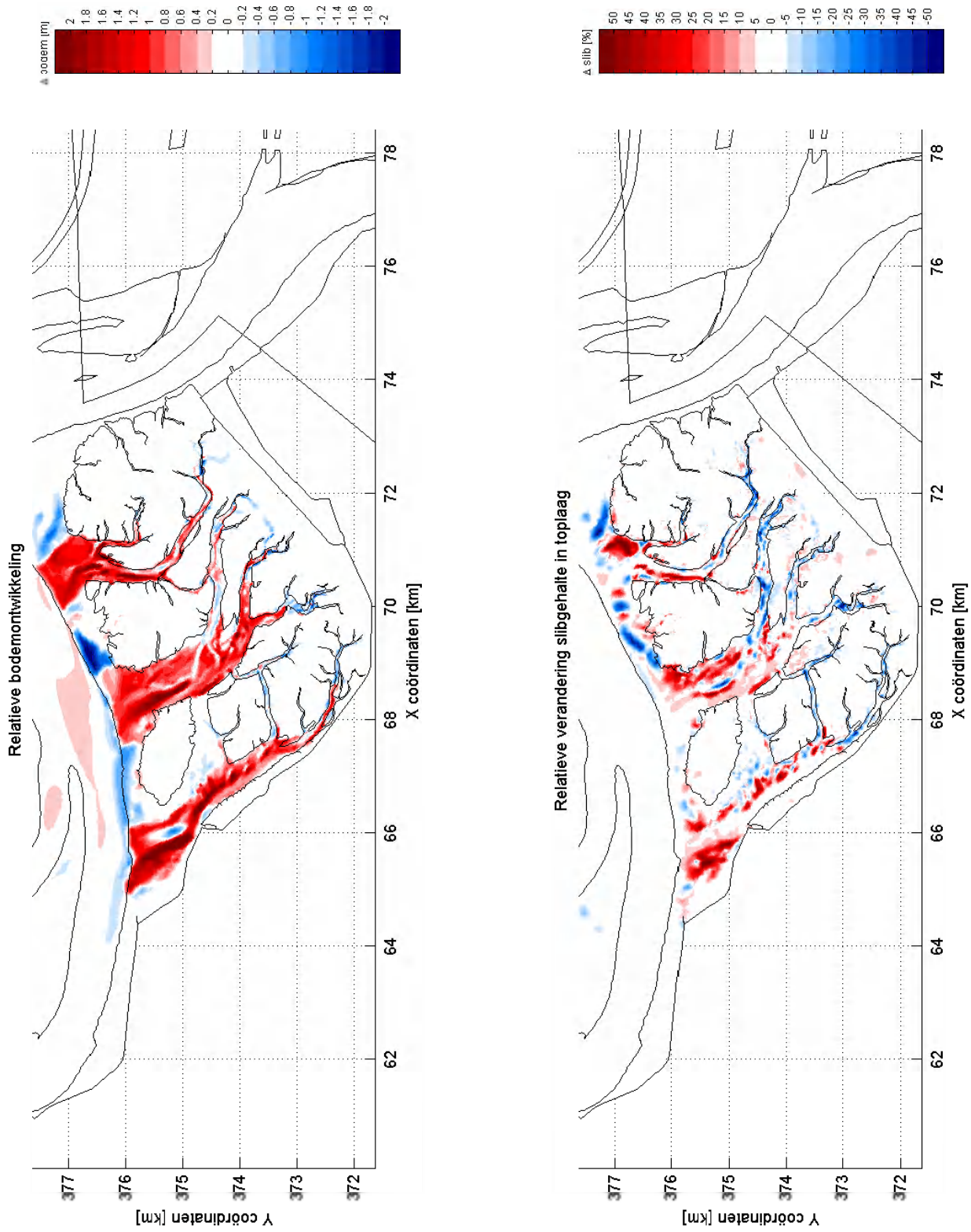
Slibpercentage in de toplaag van de bodem na 10 jaar

Projectgebied Saeflinge

FIGUUR 12.5

1480

07-Jul-2008



SVASEK HYDRAULICS

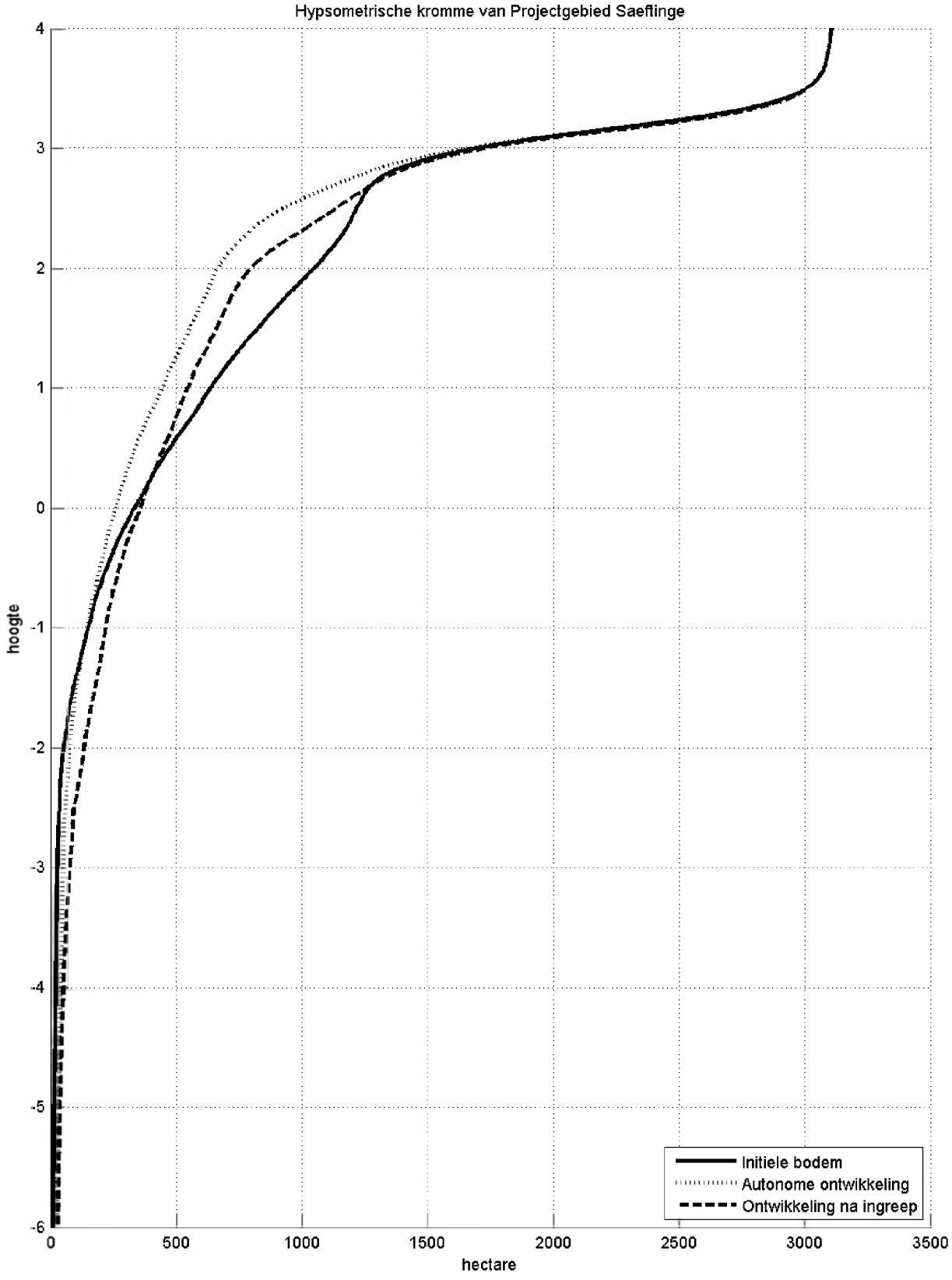
Uitkomsten Projectgebied Saeftinge na 10 jaar

(eindsituatie ingreep - eindsituatie autonome ontwikkeling)

FIGUUR 12.6

1480

07-Jul-2008



SVASEK HYDRAULICS

Hypsometrische kromme van Projectgebied Saeftinge

Initiele bodemligging en ontwikkeling na 10 jaar

FIGUUR 12.7
1480
07-Jul-2008

APPENDIX A: THE MORPHODYNAMIC MODEL FINEL2D

General

FINEL2d is a 2DH numerical model based on the finite elements method and is developed by Svašek Hydraulics. The following sections describe the governing equations of the FINEL2d model. This appendix was partly taken from Dam et. al. (2007).

Hydrodynamic module

The depth-integrated shallow water equations are the basis of the flow module. For an overview on shallow water equations see Vreugdenhil (1994).

The model equations are the continuity equation:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial uD}{\partial x} + \frac{\partial vD}{\partial y} = 0, \tag{1}$$

the x-momentum balance:

$$\frac{\partial Du}{\partial t} + \frac{\partial Du^2}{\partial x} + \frac{\partial Duv}{\partial y} + f_c Dv + gD\frac{\partial h}{\partial x} - \frac{1}{\rho}\tau_{x,b} + \frac{1}{\rho}\tau_{x,w} + \frac{1}{\rho}\tau_{x,r} = 0, \tag{2}$$

and the y-momentum balance:

$$\frac{\partial Dv}{\partial t} + \frac{\partial Duv}{\partial x} + \frac{\partial Dv^2}{\partial y} - f_c Du + gD\frac{\partial h}{\partial y} - \frac{1}{\rho}\tau_{y,b} + \frac{1}{\rho}\tau_{y,w} + \frac{1}{\rho}\tau_{y,r} = 0. \tag{3}$$

where:

u	=depth averaged velocity in x-direction	[m/s];
v	=depth averaged velocity in y-direction	[m/s];
h	=water level	[m];
z_b	=bottom level	[m];
D	=water depth	[m];
f_c	=Coriolis coefficient	[1/s];
g	=gravitational acceleration	[m/s^2];
ρ	=density of water	[kg/m^3];
τ_b	=bottom shear stress	[N/m^2];
τ_w	=wind shear stress	[N/m^2];
τ_r	=radiation stress	[N/m^2];

In addition to the effect of advection and pressure gradients, external forces like the Coriolis force, bottom shear stress, wind shear stress and radiation stress due to surface waves can be taken into account. It is noted that turbulent shear stresses are not taken into account: the application is therefore restricted to advection dominated flows only.

As a solution method, the discontinuous Galerkin method is adopted (Hughes, 1987) in which the flow variables are taken constant in each moment. This method has advantages in dealing with drying elements.

As the momentum equations contain first order derivatives in space, they can be written as:

$$\frac{\partial \boldsymbol{U}}{\partial t} + \nabla \cdot \boldsymbol{F} = \boldsymbol{H} \tag{4}$$

where:

$$\boldsymbol{U} = \begin{pmatrix} h \\ uD \\ vD \end{pmatrix}, \quad \boldsymbol{F} = \begin{pmatrix} uD & vD \\ u^2 D + \frac{1}{2} g h^2 & uvD \\ uvD & v^2 D + \frac{1}{2} g h^2 \end{pmatrix}, \quad \boldsymbol{H} = \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{1}{\rho}\tau_{x,tot} - f_c v D - g D i_{b,x} \\ \frac{1}{\rho}\tau_{y,tot} + f_c u D - g D i_{b,y} \end{pmatrix} \tag{5}$$

in which $\tau_{tot,x}$ and $\tau_{tot,y}$ are summations of the external stresses in x- and y-direction respectively, while $i_{b,x}$ and $i_{b,y}$ are the bed level gradients in x- and y-direction respectively.

The equation can be integrated over an element resulting in:

$$\int_{\Omega_e} \frac{\partial \boldsymbol{U}}{\partial t} \mathrm{d}\Omega + \int_{\Gamma_e} \boldsymbol{F}\,\boldsymbol{n}\,\mathrm{d}\Gamma = \int_{\Omega_e} \boldsymbol{H}\,\mathrm{d}\Omega, \tag{6}$$

where Ω_e denotes an element, Γ_e the associated element boundary,while ***n*** is the outward pointing vector normal to Γ_e.

The problem is now reduced to the determination of the fluxes ***F*** along the boundaries. As the variables are determined at the elements and not at the sides, the flux F is not known beforehand, but involves the solution of a local Riemann problem. An approximate Riemann solver according to Roe (Glaister, 1993) is applied. This method guarantees strict mass and momentum conservation, but suffers from some numerical diffusion in stream-wise direction. An explicit time integration scheme is used. As this method restricts the time step, the time step is controlled automatically for optimum performance.

A special problem in shallow waters like for example estuaries is the drying and flooding of large areas during a tidal cycle. A discontinuous discretisation is used in combination with an explicit time-stepping. In this way this flooding and drying of the elements can be treated relatively easily. If an element tends to dry, the corresponding characteristic wave is partially reflected from this element which guarantees mass conservation.

Sediment transport module

FINEL2d uses the following sediment balance equation for the evolution of the bed level:

$$\frac{\partial z_b}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = 0 \qquad (7)$$

In which z_b [m] is the bed level and (q_x,q_y) [m^2/s] are the components of the sediment flux in x- and y-direction respectively.

In order to determine the non-cohesive part of the sediment fluxes, the transport formula of Engelund and Hansen formula is used (Engelund & Hansen, 1967). Since most of the sand transport in the Western Scheldt is suspended transport, a time lag effect is introduced in the model according to Gallapatti & Vreugdenhil (1985). First a dimensionless equilibrium concentration is calculated:

$$c_e = \frac{S}{D\sqrt{u^2 + v^2}} \qquad (8)$$

where c_e is equilibrium concentration [-] and S the magnitude of the equilibrium sand transport [m^2/s] according to Engelund and Hansen.

The concentration c [-] is then calculated according from:

$$\frac{dc}{dt} = \frac{1}{T_A}\left[c_e(t) - c(t)\right] \qquad (9)$$

In which T_A is a characteristic timescale [s].

Equation 9 shows that if the concentration is lower than the equilibrium concentration erosion will occur (*dc/dt >0*). If the concentration is higher than the equilibrium concentration sedimentation will occur (*dc/dt<0*). The coefficient T_A characterises the time needed for the adjustment of the concentration and is defined as $T_A = h/w_s$; where w_s [m/s] is the settling velocity of the sand particles. In relative shallow areas the time scale is small and the concentration almost immediately adjusts to the equilibrium concentration.

Sand-silt interaction

Introduction

Large scale sand-mud segregation is found in estuaries and tidal basins all over the world. Sand and mud mixtures have been studied separately in the past because of important differences in their behaviour. Mathijs van Ledden has developed a model in his PhD thesis (van Ledden, 2003) which accounts for both sand and mud. This model extends currently used morphodynamic models in a number of ways. Firstly the erosion characteristics of sand and mud depend on the mud content at the bed surface. Secondly the temporal and spatial variations in mud content are taken into account. The bed composition varies due to erosion and deposition of sand and mud at the bed surface and mixing in the bed itself.

Erosion of sand-mud mixtures

A key element in this model is the erosion formulation for sand-mud mixtures. A distinction is made between cohesive and non-cohesive behaviour of these mixtures. A critical mud content ($p_{m,cr}$) is defined for this transition between cohesive and non-cohesive behaviour. In estuaries in the Netherlands a critical mud content of 30% is found.

Non-cohesive behaviour

When the mud content at the bed surface is less than the critical mud content the bed layer is treated as non-cohesive. This implies for the sand fraction the 'normal' sediment transport formula is used. However the erosion flux of sand is limited by the availability of sand in the bed. The erosion of the silt fraction becomes:

$$E_m = p_m M_{nc}\left(\frac{\tau_b}{\tau_{e,nc}} - 1\right) \qquad p_m<p_{m,cr}$$

E_m	=	Erosion flux of mud	[m_2/s]
p_m	=	silt content of the top bed layer	[-]
M_{nc}	=	erosion coefficient of non-cohesive bed	[g/m^2 s]
τ_b	=	bottom shear stress due to current and waves	[Pa]
$\tau_{e,nc}$	=	critical bottom shear stress for non-cohesive bed	[Pa]

Cohesive behaviour

Experiments with cohesive sand-mud mixtures have shown that the erosion characteristics strongly differ from non-cohesive sand-mud mixtures. Therefore erosion of a cohesive bed layer is treated differently in the model.

The following formulas are used for the erosion flux of sand and mud.

$$E_s = (1 - p_m)M_c\left(\frac{\tau_b}{\tau_{e,c}} - 1\right) \qquad p_m>p_{m,cr}$$

$$E_m = p_m M_c\left(\frac{\tau_b}{\tau_{e,c}} - 1\right) \qquad p_m>p_{m,cr}$$

with:

E_s	=	Erosion flux of sand	[m_2/s]
M_c	=	erosion coefficient of cohesive bed	[g/m^2 s]
$\tau_{e,c}$	=	critical bottom shear stress for cohesive bed	[Pa]

Bed module

The bed level change follows directly from the bed load transport gradient of sand and the erosion and the erosion and deposition fluxes of sand and mud (see figure 7.1)

$$(1-\varepsilon_p)\frac{\partial z_b}{\partial t} = -\frac{\partial q_b}{\partial x} - \frac{\partial q_b}{\partial y} + D_s - E_s + D_m - E_m$$

with:

q_b	=	bed load transport rate of sand	[m^2/s]
E_s	=	erosion flux of sand	[m^2/s]
D_s	=	deposition flux of sand	[m^2/s]
E_m	=	erosion flux of mud	[m^2/s]
D_m	=	deposition flux of mud	[m^2/s]
ε_p	=	bed porosity	[-]

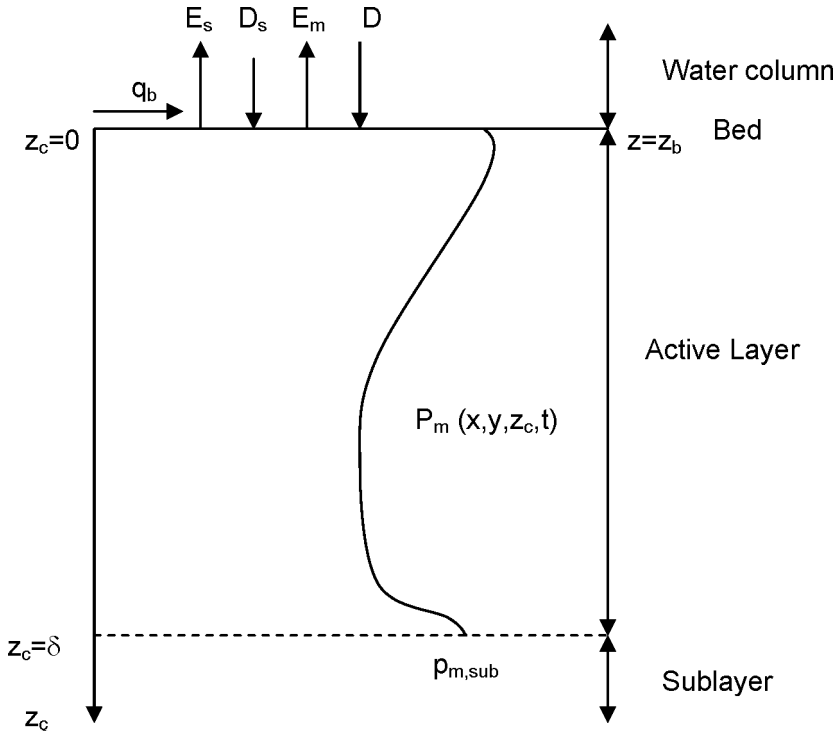


Figure A.1: Bed level and bed composition

Bed composition variations in time and space are induced by three processes: upward and downward fluxes of sand and mud at the bed surface, physical mixing near the bed surface and biological mixing processes in the sediment itself. Several layers in the active bed layer can be defined with a fixed layer thickness (dz). Since the bedlevel zb is not fixed the layers shift accordingly in the vertical direction. The mud content p_m below the bed surface ($-\infty < z < z_b$) then reads:

$$\frac{\partial p_m}{\partial t} + \frac{\partial z_b}{\partial t}\frac{\partial p_m}{\partial z_c} - \frac{\partial}{\partial z_c}\left(\Xi \frac{\partial p_m}{\partial z_c}\right) = 0$$

with:

z	=	vertical co-ordinate	[m]

Ξ	=	mixing coefficient	[m^2/s]
z_c	=	distance below the bed surface z_b	[m]

In the sublayer a fixed silt percentage ($p_{m,sub}$) must be applied. This silt percentage becomes important in an eroding case. In that case this sub layer silt percentage is introduced in the lowest layers.

A Cranck-Nicholson scheme is applied for solving the bed composition equation. See for a further explanation of the numerical implications of the bed module van Ledden (2003).

References

Dam, G., Bliek, A.J., Labeur, R.J., Ides, S. Plancke, Y., 2007, Long term process based morphological model of the Western Scheldt Estuary, Proceedings of the 5th River, Coastal and Estuarine Morphodynamics conference, the Netherlands, p1077-1084.

Engelund, F., Hansen, E., 1967, A monograph on sediment transport in alluvial channels, Teknik Forlag, Copenhagen.

Ledden, M. van, 2003, Sand-mud segregation in estuaries and tidal basins

Gallappatti, R., Vreugdenhil, C. B., 1985, A depth-integrated model for suspended sediment transport. Journal of Hydraulic Research 23, p. 359-277.

Glaister, P. 1993. Flux difference splitting for open-channel flows, Int. J. Num. Meth. Fluids, 16, p. 629-654

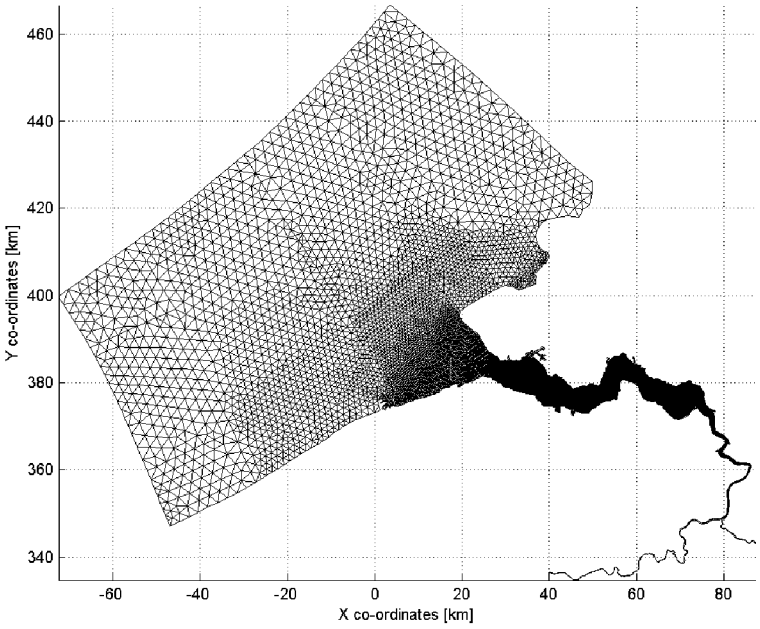
Hughes, T.J.R, 1987, The finite element method, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.

Vreugdenhil, C.B., 1994, Numerical methods for shallow water flow, Institute for Marine and Atmospheric Research Utrecht (IMAU), Utrecht University, The Netherlands

APPENDIX B: BESCHRIJVING INVOERBESTANDEN VOOR FINEL2D

Rekenrooster

Het globale rekenrooster dat gebruikt wordt voor de simulaties wordt getoond in Afbeelding B.1, het omvat de gehele Westerschelde inclusief de Schelde en Rupel. Op zee loopt het rooster globaal van de Belgisch/Franse grens tot aan Goeree-Overflakkee met een strook van ongeveer 60 km breedte. De zeegrenzen zijn gelijk aan het Rijkswaterstaat Kustzuid model. De randvoorwaarden liggen zo voldoende ver van het interessegebied. Op de Westerschelde is de elementgrootte ca. 125 m. Voor de toepassing in dit project is de interesseschaal echter veel kleiner en zijn gridcellen in de orde 15-30 m noodzakelijk. Hiertoe is per deelproject het globale grid locaal verfijnd. Voor elk deelproject is er dus een apart rooster opgezet met fijne gridcellen rondom het deelproject en een gladde overgang naar de grovere gridcellen in het overige rekenrooster. De oriëntatie van de gridcellen bij elk deelproject is parallel aan bepaalde elementen in de bodem, zoals strekdammen en geultjes. Zo worden per deelproject op efficiënte wijze nauwkeurige resultaten bereikt. Alle roosters van de deelprojecten staan afgebeeld in Figuur B.1 tot B.7.



Afbeelding B.1 Globaal rekenrooster

Referentie bodem

Voor de referentie bodem zijn de meest recente bodemgegevens geïnterpoleerd naar het rekenrooster. De referentie bodem maakt gebruikt van de volgende bronnen:

- Voor de geulen van de Westerschelde worden bodemlodingen uit 2007 gebruikt.
- Voor het intergetijde gebied is waar mogelijk laser-altimetrie uit 2004, en waar die onvolledig is, laser-altimetrie uit 2001 gebruikt.
- Voor de overige gebieden (zee, delen van de monding, Zeeschelde en havens) is de bodem uit voorgaand Westerschelde project (Dam *et al.*, 2007, zie Appendix C) gebruikt.

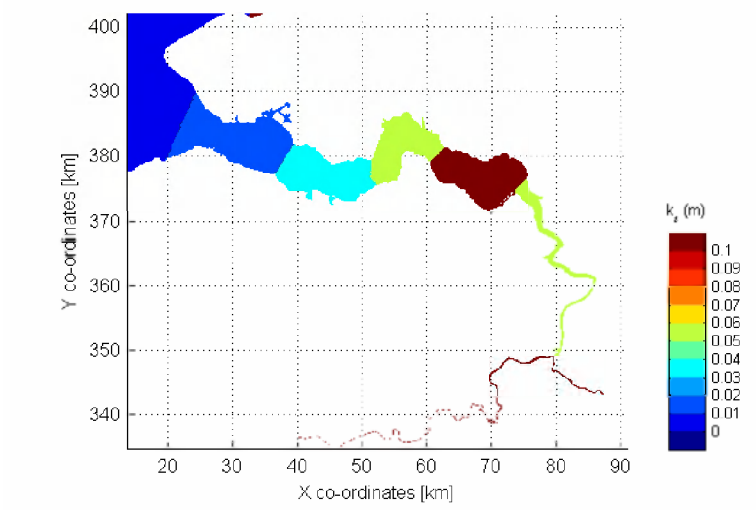
De datadichtheid van de gebruikte bronnen is groot genoeg om te kunnen gebruiken voor elk locaal verfijnd rooster van een deelproject. Strekdammen zijn vaak smaller dan de gridcellen in het rekenrooster. Om te voorkomen dat de strekdammen verdwijnen door de interpolatie naar het rekenrooster, hebben alle gridcellen die (gedeeltelijk) binnen een strekdam vallen de hoogte van de strekdam gekregen. Hierdoor ontstaan strekdammen met de juiste hoogte, maar breder dan in werkelijkheid. Dit is gerechtvaardigd omdat bij dammen vooral de hoogte van belang is voor de stroming. Per deelproject wordt in subfiguur 1 van figuur B.1 tot B.7 de referentie bodem getoond.

Ingreep bodem

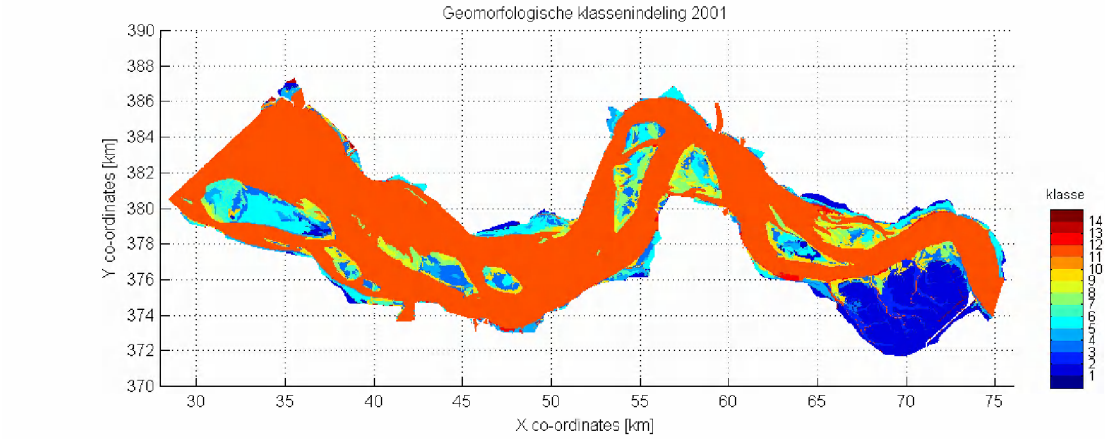
De onderzochte ingrepen bestaan uit strekdammen of een locale bodemaanpassing. Dit wordt beide in de ingreep bodem verdisconteerd. Strekdammen worden met behulp van polygonen geplaatst en krijgen een hoogte van NAP+5 m, waardoor ze altijd droog blijven staan en de stroming blokkeren. De ingreepbodem wordt in subfiguur 2 van figuur B.1 tot B.7 getoond.

Bodem ruwheid

In het eerder uitgevoerde Westerschelde project (Dam *et al.*, 2007) is een uitgebreide calibratieslag uitgevoerd. Hieruit is het ruwheidsveld gekomen zoals weergegeven in Afbeelding B.2, met dit ruwheidsveld wordt de globale waterbeweging in de Westerschelde afdoende gesimuleerd.



Afbeelding B.2: Ruwheidsveld uit calibratie.



Afbeelding B.3: Geomorfologische kaart 2001.

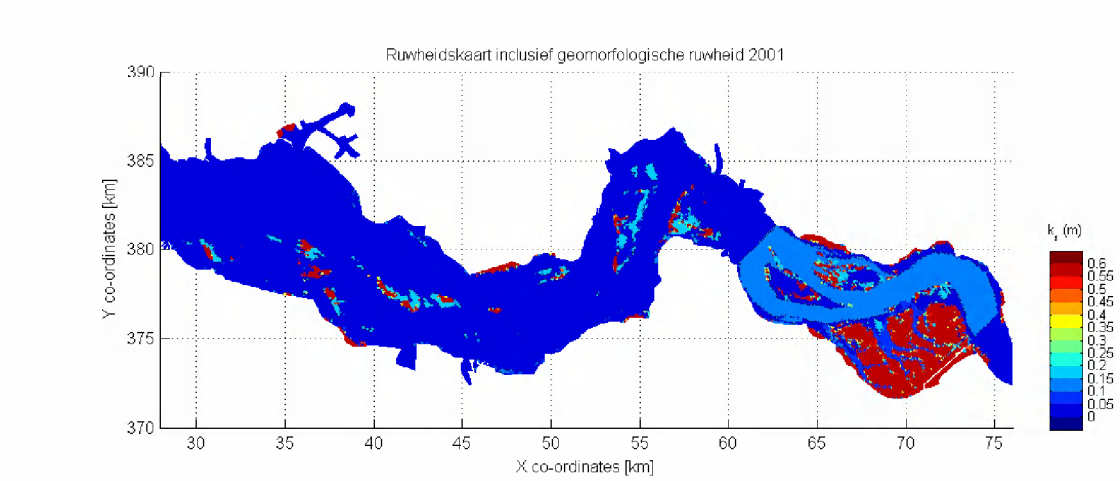
Op de intergetijde gebieden kan de waterbeweging verbeterd worden door voor die gebieden een ruwheid te gebruiken die gebaseerd is op de plaatselijk geomorfologie. Zo zal bijvoorbeeld een dicht begroeide schor veel ruwer zijn dan een gegolfde zandbodem, die op zijn beurt weer veel ruwer is dan een gladde modderplaat. Om dit in het ruwheidsveld mee te nemen is er gebruikt gemaakt van de geomorfologische kaart van Rijkswaterstaat Zeeland. In Figuur B.3 is het exemplaar uit 2001 weergegeven. De geomorfologische klassen zijn aangegeven met getallen. De klassen zijn vertaald naar ruwheden, gebaseerd op korrelgrootte en bodemvormen zie Dam en Jansen (2002, p. 41). Een overzicht van de klassen en bijbehorende ruwheden is weergegeven in Tabel B.1.

code	geomorfologische eenheid	Dynamiek	Beddingsvorm	k_s (m)
1	schor			0.6
2	kreek			0.0912
3	plaat/slik	laagdynamisch	zand	0.0202
4	plaat/slik	laagdynamisch	slib/zand	0.0159
5	plaat/slik	laagdynamisch	slib	0.0078
6	plaat/slik	hoogdynamisch	gegolfd	0.0449
7	plaat/slik	hoogdynamisch	2D megaribbels	0.1801
8	plaat/slik	hoogdynamisch	3D megaribbels	0.5506
9	plaat/slik	hoogdynamisch	vlak	0.0017
10	plaat/slik	ruggen		0.0020
11	plaat/slik	water		n.v.t.
12	hard substraat			0.12
13	duinen			0.0006
14	overige			n.v.t.

Tabel B.1: Geomorfologische klassen en bijbehorende ruwheden.

De geomorfologisch afgeleide ruwheden worden alleen toegepast voor het intergetijde gebied. De klasse ‘water’ (net als ‘overige’), wordt geen ruwheid toegekend. Het uiteindelijke – composiete – ruwheidsveld bestaat dan uit een combinatie van de gecalibreerde bodemruwheid uit Afbeelding B.2 met de geomorfologische ruwheid voor de intergetijde gebieden. Een voorbeeld van een implementatie van zo’n ruwheidsveld is

weergegeven in Afbeelding B.4. De composiete ruwheidsvelden staan per deelproject afgebeeld in subfiguur 3 van figuur B.1 tot B.7.



Afbeelding B.4: Detail van composiet ruwheidsveld (geïnterpoleerd op het globale rekenrooster)

Harde lagen

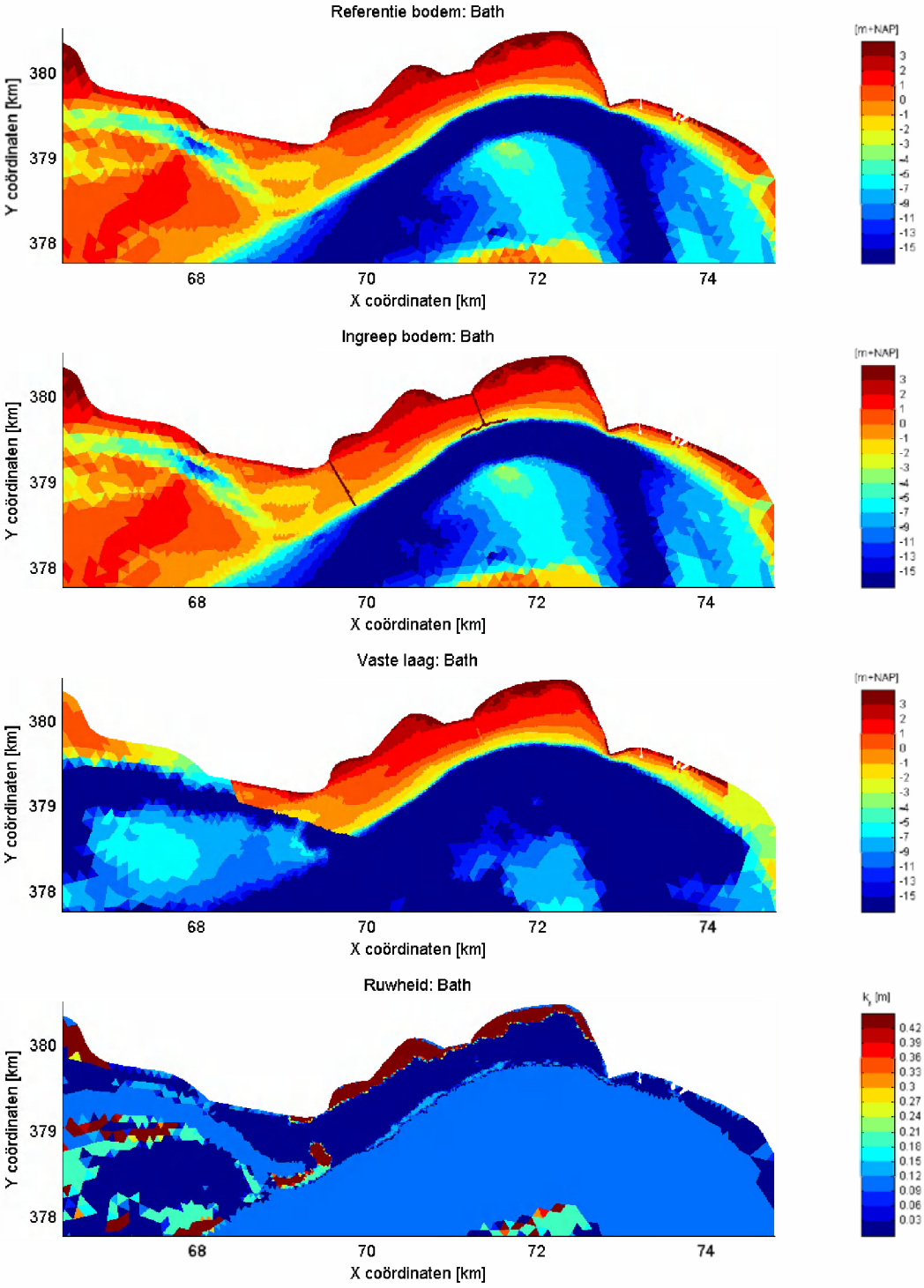
In het FINEL2d model wordt een harde laag opgegeven op de hoogte van de eerste moeilijk erodeerbare laag (Gruijters *et al.*, 2004). Omdat de resolutie van deze kartering onvoldoende is voor specifieke interessegebieden op met name harde veenlagen en geulwandbestortingen is handmatig dit per projectgebied aangepast. In de 3^{e} subplot van de figuren B.8 t/m B.14 is de hoogte van de niet-erodeerbare laag getoond.

Referenties

Dam, G., Bliek, A.J., Labeur, R.J., Ides, S. Plancke, Y., 2007, Long term process based morphological model of the Western Scheldt Estuary, Proceedings of the 5th River, Coastal and Estuarine Morphodynamics conference, the Netherlands, p1077-1084.

Dam, G. & M Jansen (2002). Verbeteren van het SCALWEST model. Royal Haskoning, rapport, projectnr. 1206.

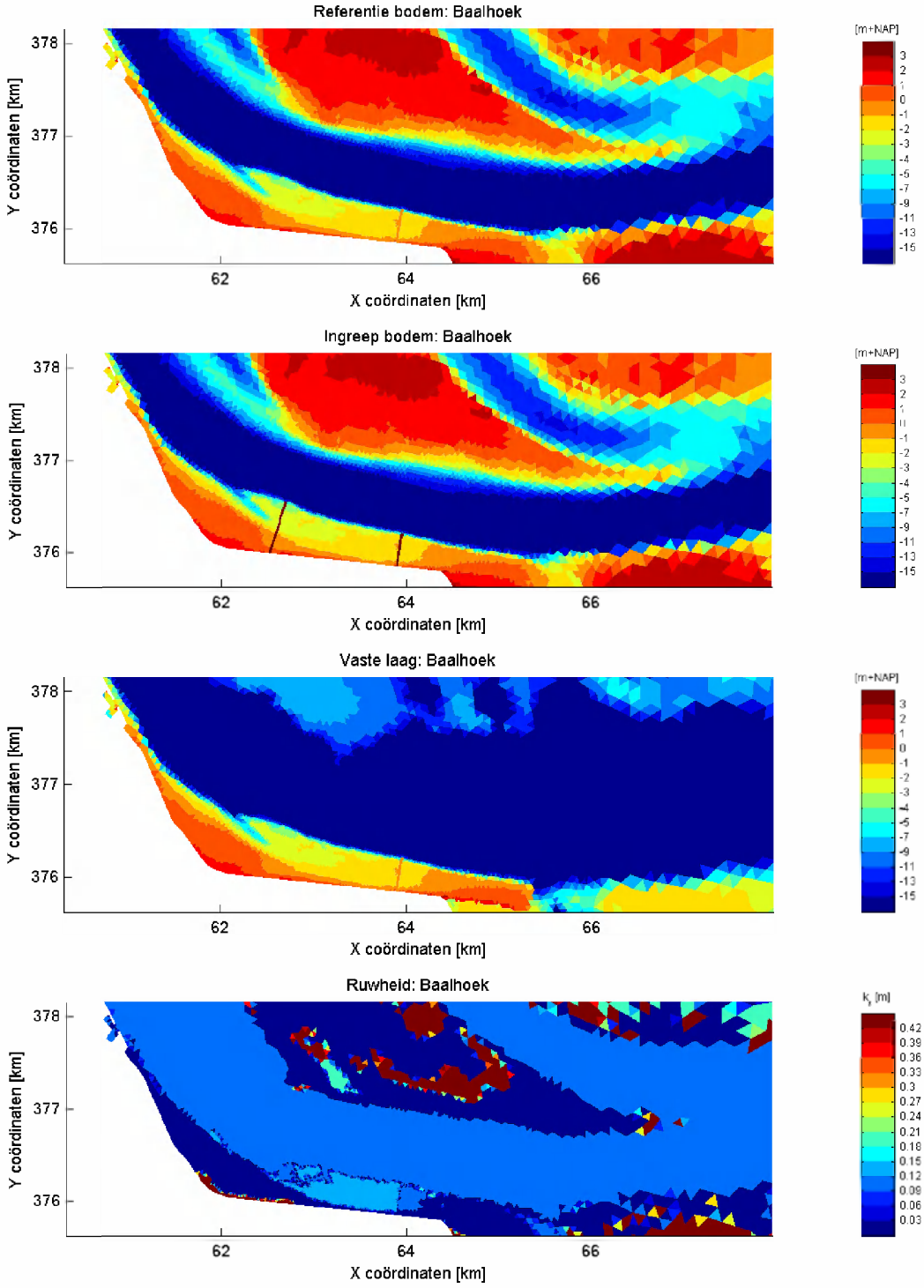
Gruijters, S. H. L. L., Schokker, J., Veldkamp, J. G., 2004, Kartering moeilijk erodeerbare lagen in het Schelde Estuarium, TNO, rapport 03-213-B1208.



SVASEK HYDRAULICS

Invoer FINEL simulatie projectgebied Bath

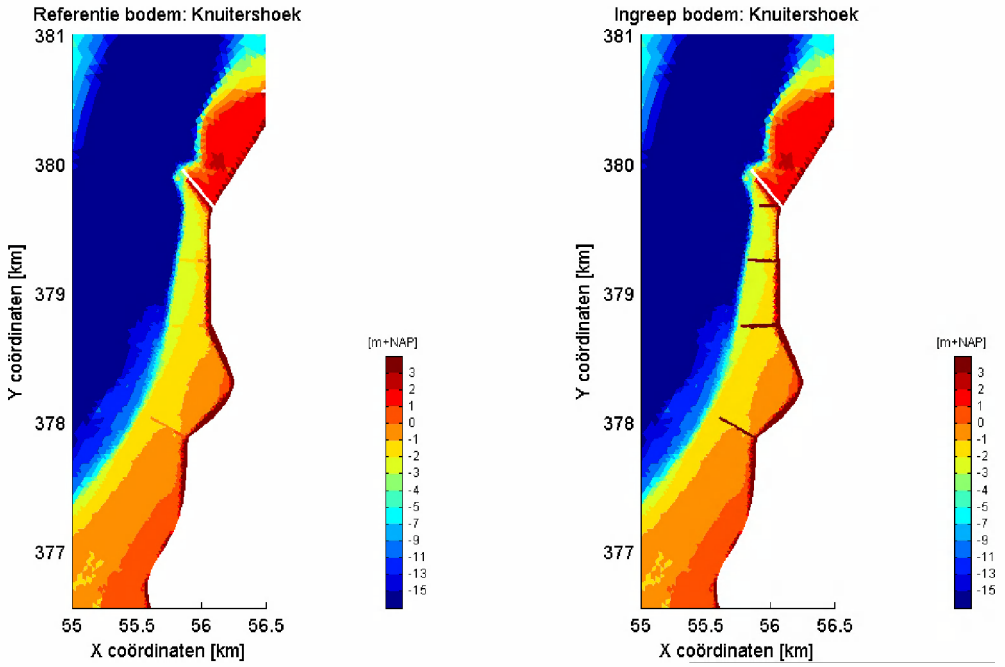
FIGUUR B.1
1480
22-Apr-2008



SVASEK HYDRAULICS

Invoer FINEL simulatie projectgebied Baalhoek

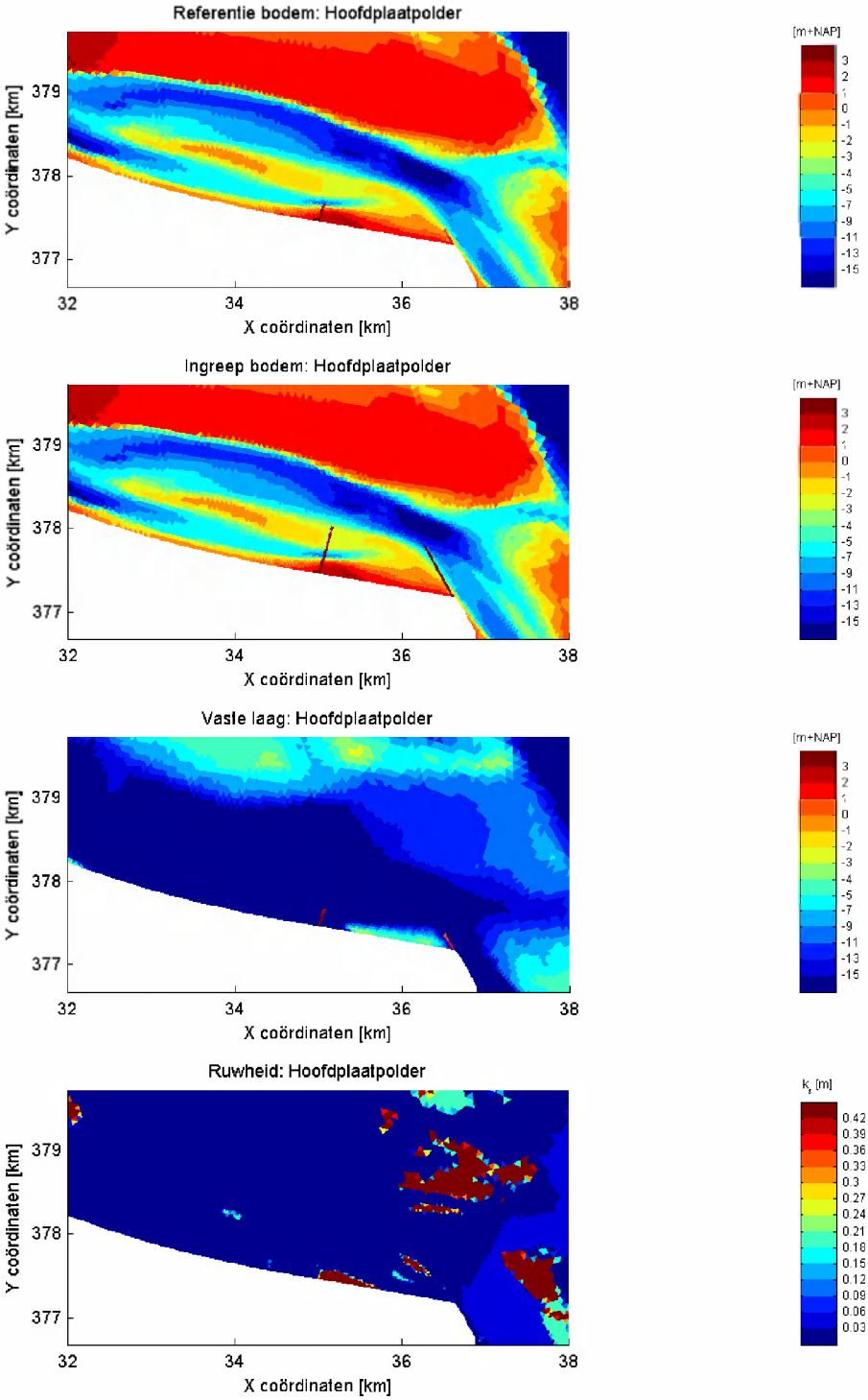
FIGUUR B.2
1480
22-Apr-2008



SVASEK HYDRAULICS

Invoer FINEL simulatie projectgebied Knuitershoek

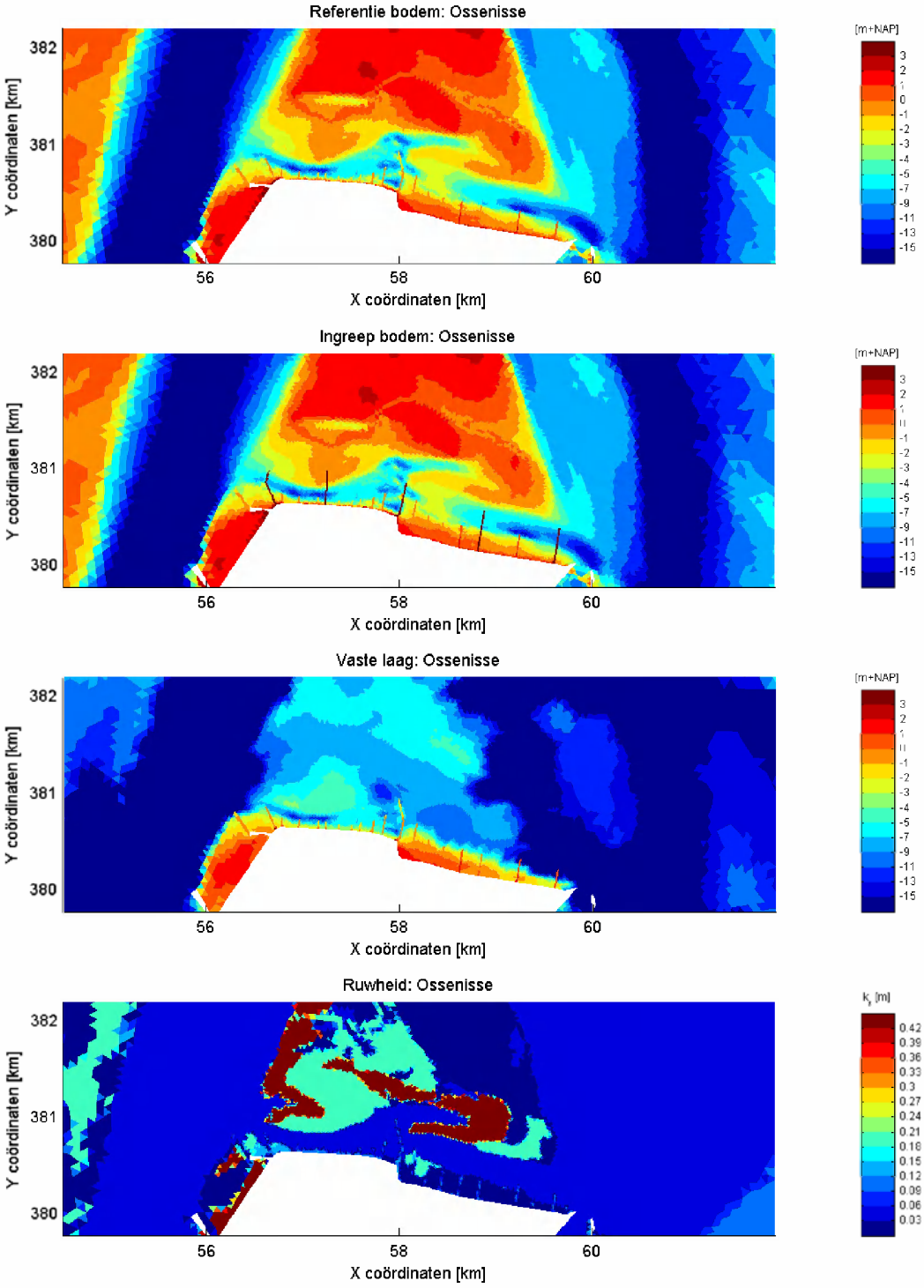
FIGUUR B.3
1480
22-Apr-2008



SVASEK HYDRAULICS

Invoer FINEL simulatie projectgebied Hoofdplaatpolder

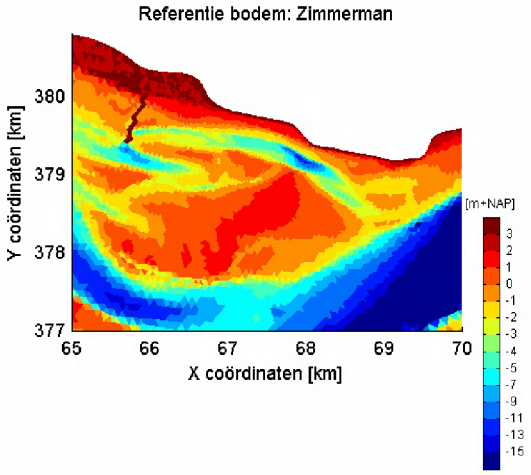
FIGUUR B.4
1480
22-Apr-2008

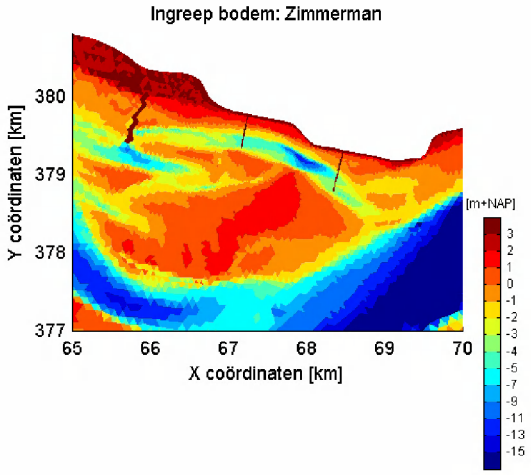


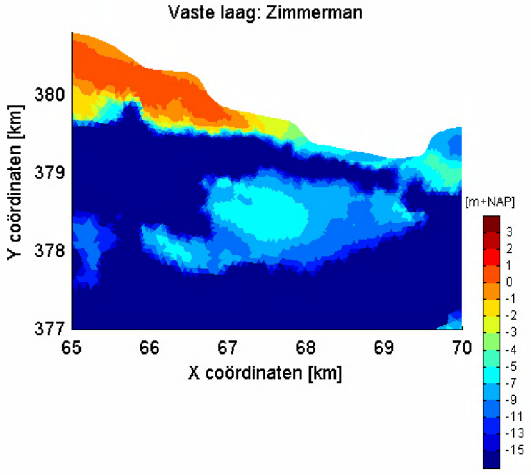
SVASEK HYDRAULICS

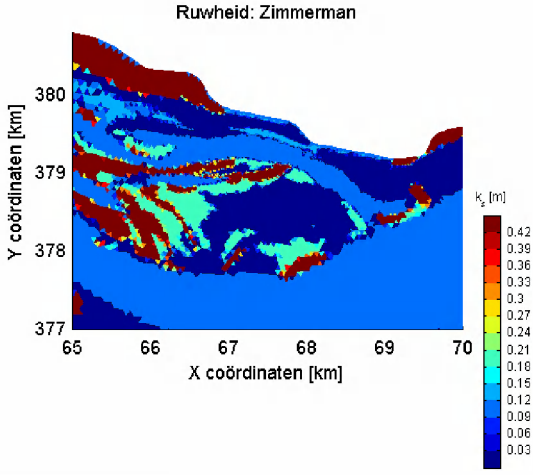
Invoer FINEL simulatie projectgebied Ossenisse

FIGUUR B.5
1480
22-Apr-2008





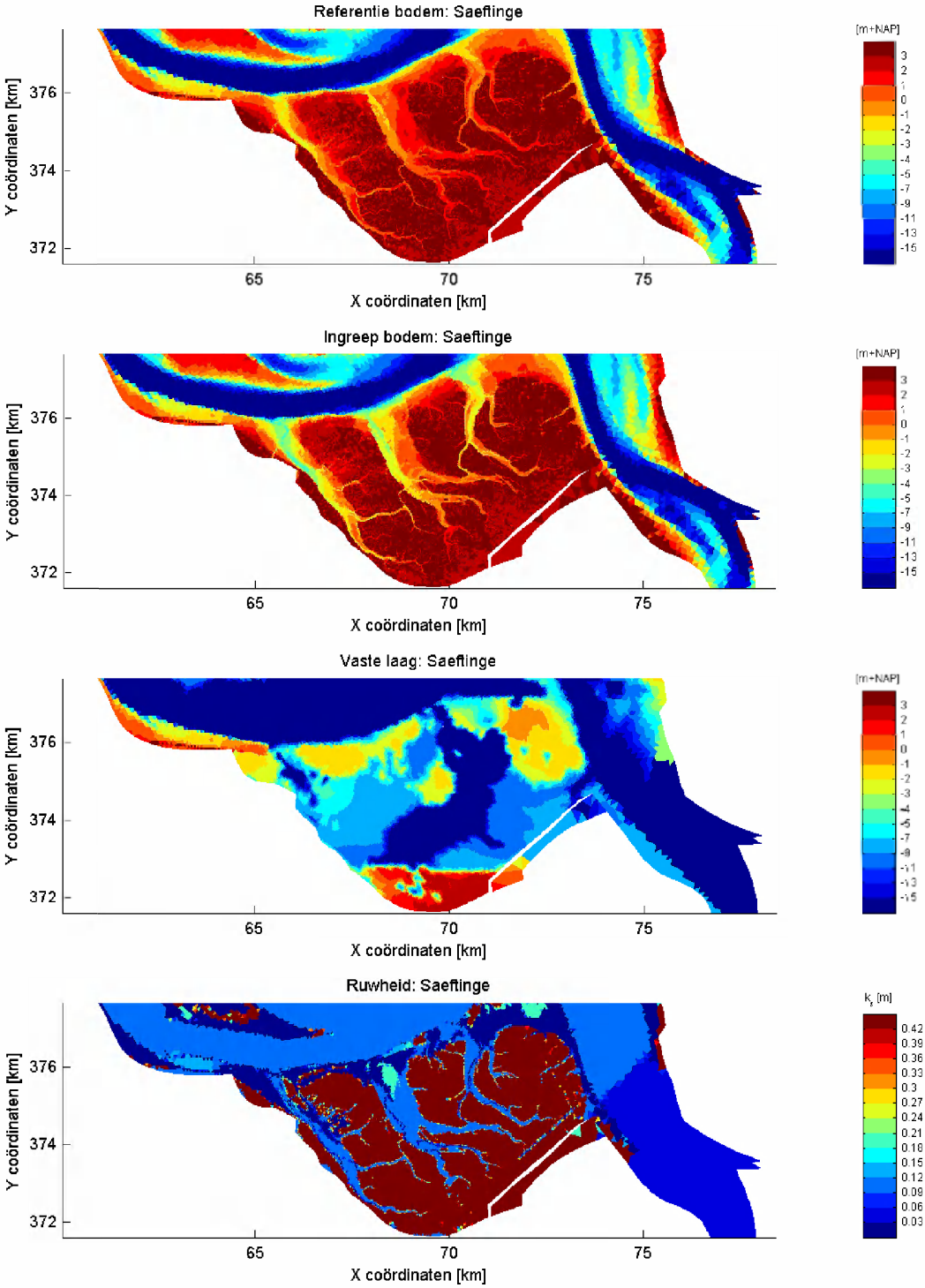




SVASEK HYDRAULICS

Invoer FINEL simulatie projectgebied Zimmerman

FIGUUR B.6
1480
22-Apr-2008



SVASEK HYDRAULICS

Invoer FINEL simulatie projectgebied Saeftinge

FIGUUR B.7
1480
22-Apr-2008

APPENDIX C: FINEL2D MODEL VAN DE WESTERSCHELDE

(Proceedings of the 5th River, Coastal and Estuarine Morphodynamics conference, 2007, Enschede, the Netherlands, p1077-1084)

Long term process-based morphological model of the Western Scheldt Estuary

G. Dam & A.J. Bliek
Svašek Hydraulics, Rotterdam, The Netherlands

R.J. Labeur
Delft University of Technology, Delft, The Netherlands

S. Ides & Y. Plancke
Flanders Hydraulic Research, Antwerp, Belgium

ABSTRACT: A process-based morphological model of the Western Scheldt Estuary based on the finite elements method is presented in this paper. This model is able to successfully hindcast the morphological developments of the Western Scheldt over several decades. The measured sedimentation/erosion pattern versus the pattern calculated by FINEL2d over the period 1965 – 2002 was compared. Good agreement was found in overall patterns, although many differences were still to be seen in detail. It was concluded that the model can be used to evaluate different scenarios, making it a useful tool for decision making processes e.g. future deepenings of the fairway.

1 INTRODUCTION

The Western Scheldt estuary lies in the southwestern part of the Netherlands and is the gateway to the port of Antwerp. A large amount of dredging is necessary to maintain the required depth of the navigation channel to the port of Antwerp.

The morphological developments of this estuary are complex and are governed by natural processes and by human interventions. Since a lot of functions in the Western Scheldt are related to morphology the need for predicting future developments is high. Until now long term morphological predictions were carried out by using (semi)-empirical models, like ESTMORF (Wang et al., 1999). Process-based morphological models were not yet able to reproduce the morphological development very well over decades, partly because of the large amount of computational time involved. Hibma et al., (2003) uses a process-based morphological model with a conceptual model of an estuary like the Western Scheldt.

In this paper a process-based morphological model FINEL2d is presented which is used to reproduce the morphological developments of this estuary during the last decades. A previous successful study prepared with FINEL2d is carried out in the Haringvliet estuary (Dam, et al., 2005).

The calibration of the model was carried out in consecutive parts. A first stage consisted of a calibration of the water motion, next the morphological module was calibrated over the period 1995 until 2002. The calibrated model was then validated from 1965 until 2002.

The content of this paper is as follows: In section 2 the Western Scheldt estuary is introduced. Section 3 describes the FINEL2d model. The model set-up of the Western Scheldt model is discussed in section 4. Section 5 presents the morphological results. Finally in section 6 some conclusions are given.

2 THE WESTERN SCHELDT ESTUARY

The Western Scheldt estuary is a dynamic system that has gone through may changes due to human impacts and natural developments. The morphology of the Western Scheldt is very important for all functions related to this area, e.g. navigation, ecology and sand mining.

The vertical tide in the Western Scheldt ranges from an average 3.9 m in the mouth to 5.0 m near Antwerp. Fresh water discharge from the River Scheldt is limited compared to the tidal volumes.

The Western Scheldt estuary is a multiple channel system. The tidal flats and surrounding ebb and flood channels form morphological macro cells. The entire Western Scheldt consists of such morphological cells, see Figure 1. At the locations where the cells coincide, sills develop, which block the fairway to the port of Antwerp and therefore require regular dredging (Winterwerp et al., 2001).

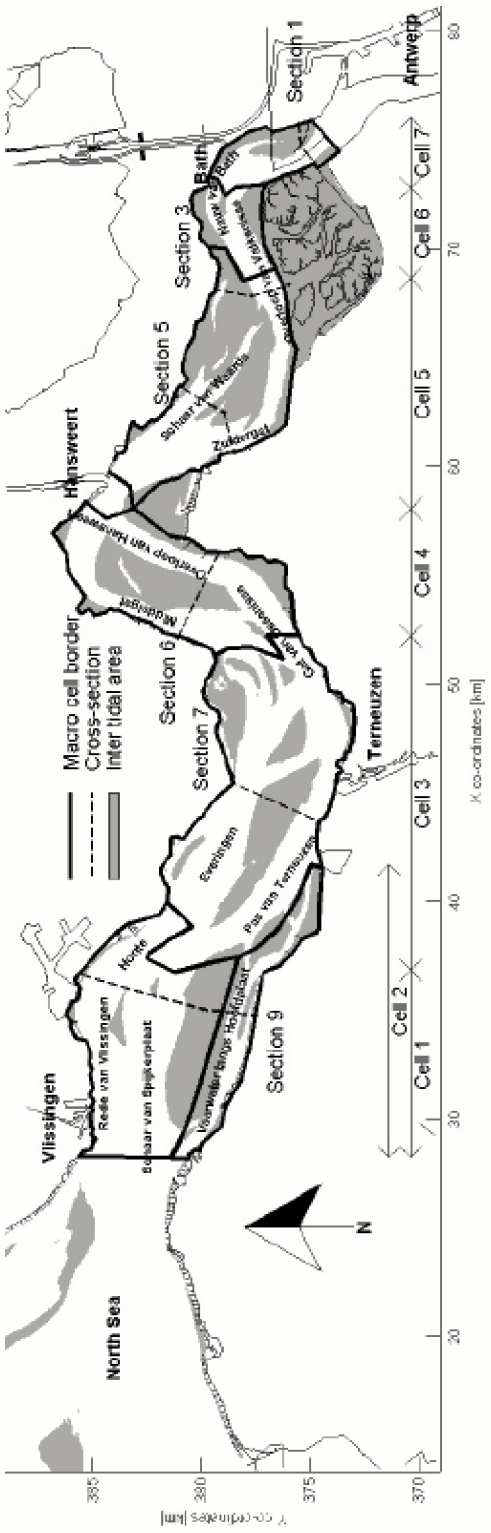


Figure 1: Layout of the Western Scheldt Estuary

In the 1970's and 1990's a deepening of the navigational channel has been carried out to allow vessels with greater draught to enter the port of Antwerp. Most of the dredging had to be done at these sills. The dredging volumes (maintenance plus deepening) range from 5 Mm^3 in 1968 to 14 Mm^3 during the second deepening. After the second deepening the volumes seem to establish around 7 to 8 Mm^3 per year. The dredged material is deposited into the estuary in especially designated areas, usually in the secondary branches.

Sand mining also plays a role in the Western Scheldt. Yearly approximately 2.0 to 2.5 Mm^3 sand is mined. In contradiction to channel dredging this sand is really extracted from the estuary.

The Western Scheldt consists mainly of fine non-cohesive sediments; only at inter tidal areas silt can be found. In the model only non-cohesive sediment is taken into account.

Since the Western Scheldt is fairly sheltered from the waves of the North Sea the morphological development is mainly tidal driven and waves are neglected in this study.

3 THE MORPHODYNAMIC MODEL FINEL2D

3.1 *General*

FINEL2d is a 2DH numerical model based on the finite elements method and is developed by Svašek Hydraulics. The following sections describe the governing equations of the FINEL2d model.

3.2 *Hydrodynamic module*

The depth-integrated shallow water equations are the basis of the flow module. For an overview on shallow water equations see Vreugdenhil (1994).

The model equations are the continuity equation:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial uD}{\partial x} + \frac{\partial vD}{\partial y} = 0, \qquad (1)$$

the x-momentum balance:

$$\frac{\partial Du}{\partial t} + \frac{\partial Du^2}{\partial x} + \frac{\partial Duv}{\partial y} + f_c Dv + gD\frac{\partial h}{\partial x} - \frac{1}{\rho}\tau_{x,b} + \frac{1}{\rho}\tau_{x,w} + \frac{1}{\rho}\tau_{x,r} = 0. \qquad (2)$$

and the y-momentum balance:

$$\frac{\partial Dv}{\partial t} + \frac{\partial Duv}{\partial x} + \frac{\partial Dv^2}{\partial y} - f_c Du + gD\frac{\partial h}{\partial y} - \frac{1}{\rho}\tau_{y,b} + \frac{1}{\rho}\tau_{y,w} + \frac{1}{\rho}\tau_{y,r} = 0. \qquad (3)$$

where u=depth averaged velocity in x-direction [m/s]; v=depth averaged velocity in y-direction [m/s]; h=water level [m]; z_b=bottom level [m]; D=water depth [m]; f_c=Coriolis coefficient [1/s]; g=gravitational acceleration [m/s^2]; ρ=density of water [kg/m^3]; τ_b=bottom shear stress [N/m^2]; τ_w=wind shear stress [N/m^2]; and τ_r=radiation stress [N/m^2];

In addition to the effect of advection and pressure gradients, external forces like the Coriolis force, bottom shear stress, wind shear stress and radiation stress due to surface waves can be taken into account. It is noted that turbulent shear stresses are not taken into account: the application is therefore restricted to advection dominated flows only.

As a solution method, the discontinuous Galerkin method is adopted (Hughes, 1987) in which the flow variables are taken constant in each moment. This method has advantages in dealing with drying elements.

As the momentum equations contain first order derivatives in space, they can be written as:

$$\frac{\partial \boldsymbol{U}}{\partial t} + \nabla \cdot \boldsymbol{F} = \boldsymbol{H} \tag{4}$$

where:

$$\boldsymbol{U} = \begin{pmatrix} h \\ uD \\ vD \end{pmatrix}, \quad \boldsymbol{F} = \begin{pmatrix} uD & vD \\ uD^2 + \frac{1}{2}gD^2 & uvD \\ uvD & vD^2 + \frac{1}{2}gD^2 \end{pmatrix}, \quad \boldsymbol{H} = \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{1}{\rho}\tau_{sw,x} - f_c vD - gD\frac{\partial z_b}{\partial x} \\ \frac{1}{\rho}\tau_{sw,y} + f_c uD - gD\frac{\partial z_b}{\partial y} \end{pmatrix} \tag{5}$$

in which $\tau_{sw,x}$ and $\tau_{sw,y}$ are summations of the external stresses in x- and y-direction respectively, while $z_{b,x}$ and $z_{b,y}$ are the bed level gradients in x- and y-direction respectively. The equation can be integrated over an element resulting in:

$$\int_{\Omega_e} \frac{\partial \boldsymbol{U}}{\partial t} d\Omega + \int_{\Gamma_e} \boldsymbol{F}\, \boldsymbol{n}\, d\Gamma = \int_{\Omega_e} \boldsymbol{H}\, d\Omega, \tag{6}$$

where Ω_e denotes an element, Γ_e the associated element boundary,while $\boldsymbol{n}$ is the outward pointing vector normal to Γ_e.

The problem is now reduced to the determination of the fluxes $\boldsymbol{F}$ along the boundaries. As the variables are determined at the elements and not at the sides, the flux F is not known beforehand, but involves the solution of a local Riemann problem. An approximate Riemann solver according to Roe (Glaister, 1993) is applied. This method guarantees strict mass and momentum conservation, but suffers from some numerical diffusion in stream-wise direction. An explicit time integration scheme is used. As this method restricts the time step, the time step is controlled automatically for optimum performance.

A special problem in shallow waters like for example estuaries is the drying and flooding of large areas during a tidal cycle. A discontinuous discretisation is used in combination with an explicit time-stepping. In this way this flooding and drying of the elements can be treated relatively easily. If an element tends to dry, the corresponding characteristic wave is partially reflected from this element which guarantees mass conservation.

3.3 *Sediment transport module*

FINEL2d uses the following sediment balance equation for the evolution of the bed level:

$$\frac{\partial z_b}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = 0 \tag{7}$$

In which z_b [m] is the bed level and (q_x,q_y) [m^2/s] are the components of the sediment flux in x- and y-direction respectively.

In order to determine the non-cohesive part of the sediment fluxes, the transport formula of Engelund and Hansen formula is used (Engelund & Hansen, 1967). Since most of the sand transport in the Western Scheldt is suspended transport, a time lag effect is introduced in the model according to Gallapatti & Vreugdenhil (1985). First a dimensionless equilibrium concentration is calculated:

$$c_e = \frac{S}{D\sqrt{u^2+v^2}} \tag{8}$$

where c_e is equilibrium concentration [-] and S the magnitude of the equilibrium sand transport [m^2/s] according to Engelund and Hansen.

The concentration c [-] is then calculated according from:

$$\frac{dc}{dt} = \frac{1}{T_s}\left[c_e(t) - c(t)\right] \tag{9}$$

In which T_s is a characteristic timescale [s].

Equation 9 shows that if the concentration is lower than the equilibrium concentration erosion will occur ($dc/dt > 0$). If the concentration is higher than the equilibrium concentration sedimentation will occur ($dc/dt < 0$). The coefficient T_s characterises the time needed for the adjustment of the concentration and is

defined as $T_A = h/w_s$; where w_s [m/s] is the setding velocity of the sand particles. In relative shallow areas the time scale is small and the concentration almost immediately adjusts to the equilibrium concentration.

4 MODEL SET UP

4.1 *Grid schematisation and boundary conditions*

FINEL2d uses unstructured triangular grids. The advantage of such meshes in comparison to for example finite difference grids, is the flexible mesh generation. In this way no nesting techniques are required in regions of specific interest, where a higher degree of resolution is needed, while arbitrary coastlines and complex geometries can be resolved very well.

The seaward boundaries of the computational mesh of the Western Scheldt are chosen approximately 40 km away from the coastline and coincide with the boundaries of existing models. The latter can be used to obtain the corresponding boundary conditions. A significant part of the river system in Belgium is also included in the schematisation. In Figure 2 the overall mesh is shown. In the area of interest, the Western Scheldt, the average grid size is approximately 1.1 ha. Near the seaward boundaries the grid size is approximately 2.5 km^2. The total number of elements (triangles) of the mesh is 44,111.

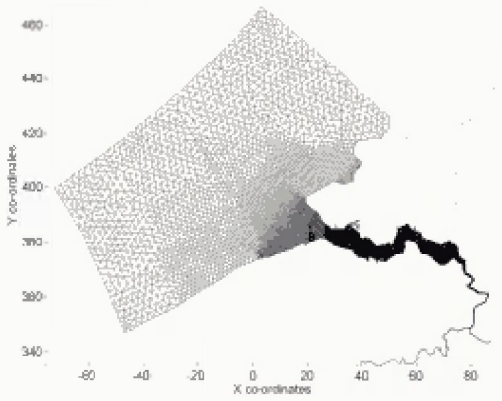


Figure 2: Computational mesh of the FINEL2d model

The river discharge at the river the Scheldt and the Rupel were taken constant at respectively 43 and 65 m^3/s.

4.2 *Calibration of the water motion*

The first step in the calibration of a morphodynamic model is to calibrate the water motion. In this model the water motion is mainly calibrated on measured water levels in the estuary. The calibration parameter is the bottom roughness. A trial and error method was used to find the optimal settings for the bottom roughness. An 8 day calibration period was chosen. In the mouth and the western part of the estuary a Nikuradse roughness height of 0.2 cm was found. The optimal roughness gradually increases from the west to the east of the estuary. In the east a Nikuradse roughness height of 10 cm was found. The difference between measured and computed high water, low water, tidal range and mid water level at the various water level stations are shown in Table 1. See Figure 1 for an overview of the water level stations.

Table 1. Water level deviations (cm)*

Station	HW	LW	Tidal range	Mid
Vlissingen	-8	-5	-4	-6
Terneuzen	-7	-9	2	-8
Hansweert	-3	-12	9	-7
Bath	-6	-10	3	-8
Antwerp	-2	4	-6	1

* Averaged over a 8 day period;

The deviations are usually within a 10 cm accuracy range. With a tidal range of approximately 3 to 5 metres in the estuary this gives a deviation of only 3%.

The next step in the calibration of the water motion concerns the tidal volumes of various cross-sections in the estuary. The cross-sections have been surveyed from 2000 to 2002 using an acoustic current profiler during 13 hours. The same periods were simulated in the model. The results are summarised in Table 2 in which the flood and ebb tidal volume of both the measurement and the simulation are shown. See figure 1 for an overview of the cross-sections.

Table 2. Observed and simulated tidal volumes

Cross-section Nr.	Name	Flood tidal volume O	M	M/O	Ebb tidal volume O	M	M/O*
1b	Bath	200	174	0.87	174	162	0.93
3b	Valkenisse	288	270	0.94	275	264	0.96
5a	Waarde	259	247	0.96	267	253	0.95
5b	Zuidergat	160	159	1.00	151	147	0.97
6a	Ossenisse	369	417	1.13	390	425	1.09
6b	Middelgat	230	200	0.87	180	176	0.98
7a	Terneuzen	344	347	1.01	417	383	0.92
7b	Everingen	539	525	0.97	432	455	1.05
9a	Hoofdplaat	112	112	1.00	113	105	0.93
9b	Spijkerplaat	1051	1118	1.06	1063	1109	1.04

* O=observed volume [Mm^3]; M=model volume [Mm^3]; M/O is the model volume divided by the observed volume.

It is concluded that all observed discharges can be simulated with an accuracy of 15% and usually 10%. Finally, a comparison was made with current data at shallow banks and tidal flats. From the results of the of all calibration steps it can be concluded that the water motion is calibrated decisively.

4.3 *Morphological acceleration factor*

A morphological acceleration factor is used to multiply the calculated bottom changes to accelerate the computational time. A small morphological acceleration factor is preferred from a numerical point of view but is not practical because of the large computational time. In order to investigate the morphological acceleration factor several runs with different factors are carried out in the Western Scheldt model. The total amount of sedimentation and erosion volume after one year is calculated and compared to the calculation with a factor 1, since this is the run without any acceleration.

Table 3. Morphological acceleration factor.

Factor	Sedimentation volume difference*	Erosion volume difference*
1	-	-
5	7.6%	8.4%
24.75	10.3%	14.6%
49.5	48.1%	43.2%

* Difference is calculated relative to factor 1 and after 1 year.

From Table 3 it is concluded that if the acceleration factor is chosen higher the difference is increased as well. The acceleration factor used in this paper is 24.75. This factor shows a reasonable difference of less than 15% and gives reasonable computational times. This factor accelerates one neap spring tidal cycle to one year.

4.4 *Spiral flow*

In the 2DH flow model the effect of spiral flow in curved channels is neglected. In FINEL2d an option is present to include a parameterisation of the spiral flow. The formulation of Booij & Pennekamp (1983) has been used. The model calculates the curvature of the current. Based on this figure the direction of the sediment transport is adjusted.

In figure 3 the morphological effect of the spiral flow is shown for the Zuidergat area over the validation period from 1965 to 2002. As expected, the outer bend shows more erosion due to the spiral flow effect, while the inner bend shows sedimentation. The effect is approximately 5 metres in this channel. From Figure 3 it is concluded that spiral flow cannot be neglected in a morphological hindcast.

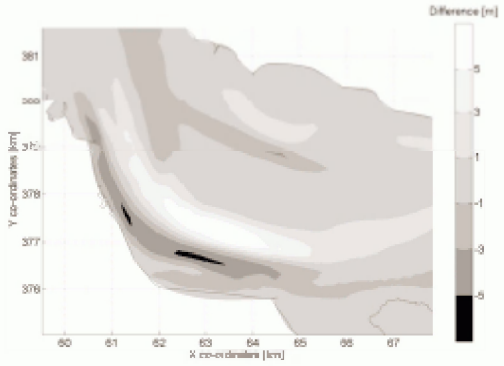


Figure 3: Morphological effect of spiral flow in Zuidergat area

4.5 *Dredging, depositing and sand mining module*

Dredging has a large impact on the morphodynamics in the Western Scheldt. Therefore this needs to be taken into account when performing a hindcast of the morphological developments of the last decades.

In reality a navigational depth is guaranteed between the navigational buoys of the fairway. If the depth becomes too shallow a dredger deepens the area to the required depth.

In FINEL2d a dredging module was developed based on the same principle. For each grid cell in the fairway a required depth is defined. If the depth in the grid cell is insufficient the sand is removed from the element and deposited according to a certain distribution key over depositing sites. The distribution key is established using historical data of the deposited material. For each historical year an input file is defined, since the buoys, the depositing areas and the maintained depth in the fairway may vary over the years.

Sand mining is simulated in the model by removing the mined volume equally spread over the specified sand mining area. Since sand mining quantities and locations differ per year an input file for each year is specified.

The morphodynamics of the estuary due to the combined effects of natural processes and dredge/depositing activities is continuously calculated, and the riverbed is accordingly updated.

4.6 *Calibration of the morphodynamics*

The next step in the set-up of the morphodynamic model is the calibration of the morphology itself. A calibration is carried out for a period of 7 years (1995-2002). Because the goal is to evaluate the

long term morphodynamics the calibration results will not be shown in this paper. See for details Dam et al., (2006). Only the optimal settings of the morphodynamic model found in the calibration are given in Table 4.

Table 4. Settings of the optimal calibration run.

Factor	value	
Grain size	150	µm
Fall velocity of sand	1.5	cm/s
Morphological acceleration factor	24.75	[-]
Hydraulic roughness as described in section 4.2		
Spiral flow included as described in section 4.4		
Non erodable layers where relevant (situation of 2001)		
Morphological start-up period	1	year

5 MORPHODYNAMIC RESULTS

In the hindcast of the years 1965 to 2002 the settings found in the calibration period are used. Starting point is the bathymetry of 1964 and a start-up period of 1 year. This means that the model needs a start-up time to enable for the initialisation of the sand transport and the adaptation of the initial bottom, which was interpolated from GIS data. It was found that a start-up time of 1 year is sufficient to account for these factors.

The simulated erosion and sedimentation pattern of 1965 to 2002 is displayed in Figure 4 together with the observed pattern. At first sight a lot of similarities between the observed and simulated pattern occur. Macro cell 4 which is the Middelgat / Gat van Ossenisse system shows a good resemblance. The Middelgat is sedimentated, while the Gat van Ossenisse is eroded. Also the Zuidergat and the Overloop van Valkenisse shows good agreement.

Inter tidal areas are eroded too much in the model, maybe because in reality cohesive sediments can be found at these shoals, which can make it harder for these areas to erode.

At Cell 1 in the Schaar van Spijkerplaat a large sedimentation can be seen in the model, which in reality does not occur. A possible reason why the Schaar van Spijkerplaat is so heavily sedimentated is the neglecting of wave effects, which might still have a stirring effect in the mouth of the estuary. The waves also cause wave driven currents which might transport the sediment further eastwards with a dominant westward wave direction.

In Table 5 the sand volume changes in the macro cells of the hindcast period are shown. From Table 5 can be seen that the model calculates volume changes that are in order of magnitude of the observed volume changes. The Macro cells 3, 5, 6 and 7 are calculated quantitatively well by the model. In Cell 4 both channels show the right direction, but the sedimentation of the Middelgat channel is too less in the model. Cell 1 and 2 are not correctly calculated.

Table 5. Total sand volume changes 1965- 2002

Cell	Flood channel		Ebb channel		Total	
Nr.	O	M	O	M	O	M *
1	-14	31	1	1	-13	32
2					26	0
3	-20	-12	-8	-43	-29	-55
4	-39	-35	61	22	22	-13
5	12	26	-49	-79	-37	-53
6	-5	-6	-17	-18	-22	-25
7	-5	-1	-16	-16	-22	-18
8					8	-5
9					-2	9
Total					-68	-127
Sand mining					-100	-100
New					+32	-27

* O =observed volume change [Mm^3]; M =modelled volume change [Mm^3]; negative =erosion, positive =sedimentation

The total sand volume change is calculated at −127 Mm^3 for the model while the measurements show a change of −68 Mm^3, see Table 5. Sand mining in this period extracted a total of 100 Mm^3 from the Western Scheldt estuary, which leads to a net export of sand of 27 Mm^3 in 37 years of the model. In reality there was an import of 32 Mm^3. This problem of import versus export needs to be solved in future research, because a lot of policy questions concerning the Western Scheldt are based on a possible change in export/import of sand. Note that the last years there seems to be an export of sand out of the Western Scheldt.

The effect of dredging and depositing is large in the Western Scheldt area. In Figure 5 the actual dredging volumes in the complete Western Scheldt are plotted along with the calculated dredging volumes of FINEL2d. As pointed out in section 2.6 the navigational depth of the shipping channel is guaranteed in the model. If the depth becomes too small the sand is removed and distributed over the depositing sites.

At first notice the model can reproduce the dredging volumes in an accurate way. Around 1974 a large peak in the dredging volumes occurs in the model. This is caused by the deepening of the fairway and the transfer of the fairway from the Middelgat to the Gat van Ossenisse channel.

Around 1996 a second deepening of the channel has taken place. This also causes an increase of the dredging volumes in both the model and in reality, but the model does not show dredging volumes as large as the 1970's deepening.

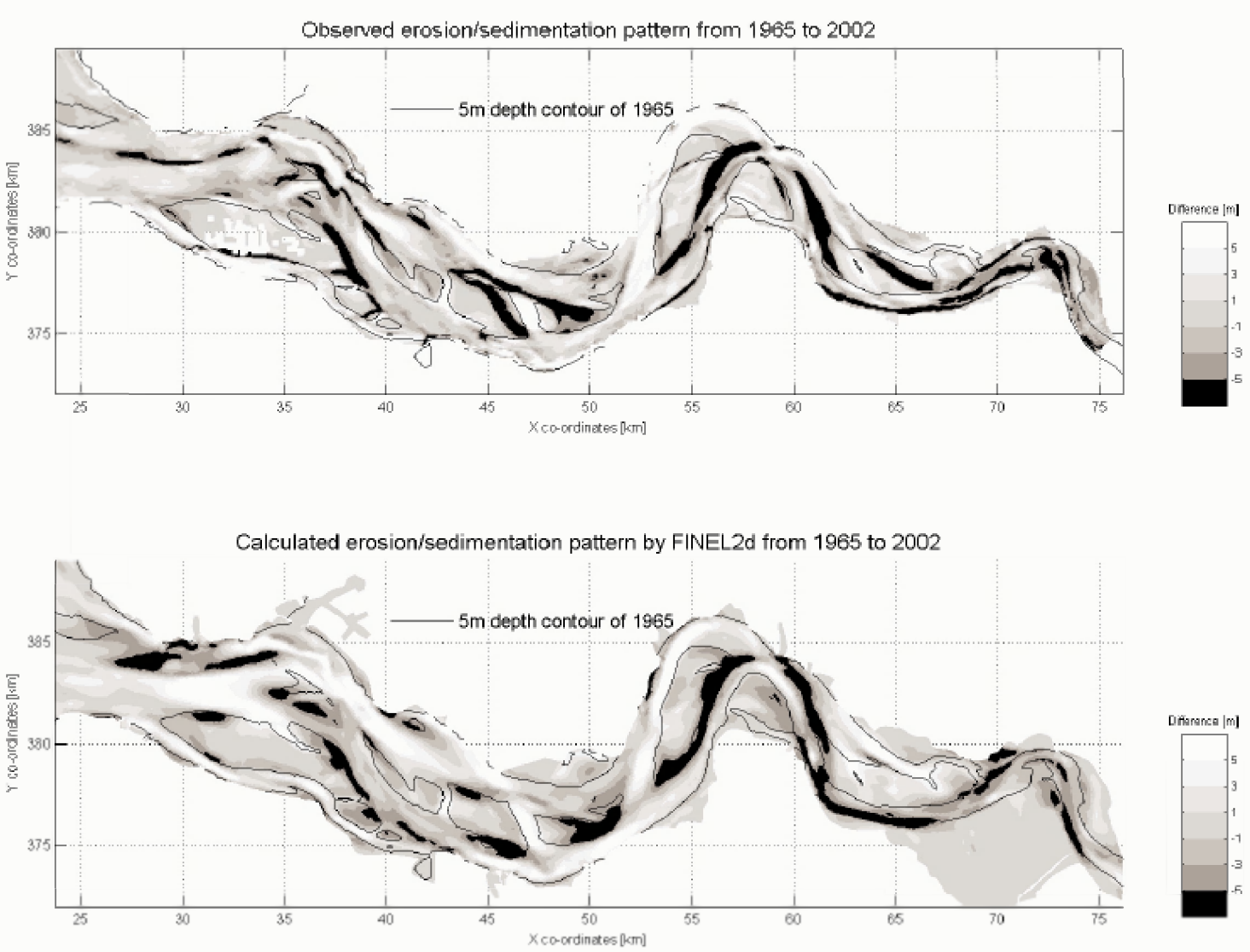


Figure 4: Observed versus calculated erosion/sedimentation pattern from 1965 to 2002

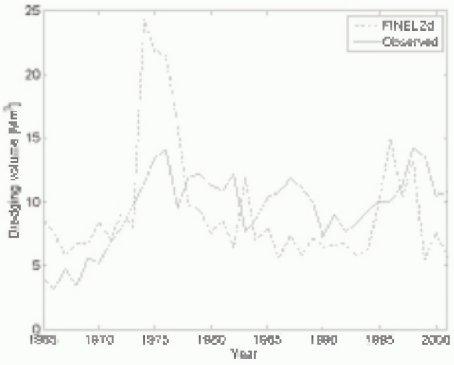


Figure 5: Observed and calculated total dredging volumes

In Figure 6 the simulated total dredging effort of the validation period is shown for the eastern part of the estuary, in which most of the dredging takes place. Also shown are the borders of the actual dredged areas. From Figure 6 it can be concluded that the location of the dredged material in the model gives a good agreement with reality.

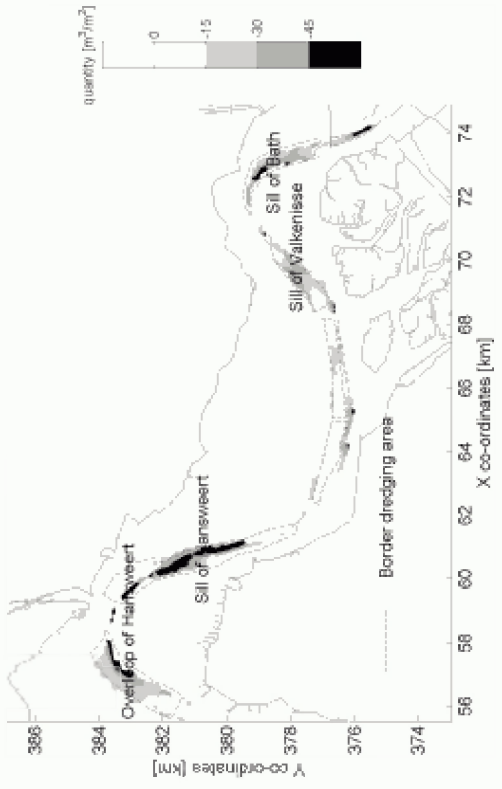


Figure 6: Calculated total dredging quantities [m³/m²]

6 CONCLUSION

The presented FINEL2d morphodynamic model of the Western Scheldt estuary is able to calculate the erosion/ sedimentation pattern fairly accurately over several decades. The results in the different macro cells still require optimisation, especially the import/ export of sand of the complete Western Scheldt. The dredging volumes can be reproduced in a fairly accurate way, although during the deepening of the fairway in the 1970's a further optimisation of this routine of the model is required.

It is concluded that the basis for a good long term process based morphological model is present. Further improvements of the model can be obtained by additional research. However in this state the model can already be used as a decision making tool for large scale human impacts in the Western Scheldt (e.g. further deepening of the fairway).

REFERENCES

Booij, R., Pennekamp, Joh. G.S., 1983, Simulation of main flow and secondary flow in a curved open channel, Report No. 10-83, Department of Civil Engineering, Delft University of Technology.

Dam., G., Bliek, A., J., Bruens, A. W., 2005, Band Width analysis morphological predictions Haringvliet Estuary, Proceedings of 4th IAHR symposium of the River, Coastal and Estuarine Morphodynamics Conference, Urbana, Illinois, USA, Volume 2, p. 171 –179.

Dam, G., Prooijen, B.C., van, Bliek, A.J., 2006, Morfodynamische berekeningen van de Westerschelde met behulp van FINEL2d (in Dutch), Svašek Hydraulics, ref. GD/06119/1339

Engelund, F., Hansen, E., 1967, A monograph on sediment transport in alluvial channels, Teknik Forlag, Copenhagen.

Gallappatti, R., Vreugdenhil, C. B., 1985, A depth-integrated model for suspended sediment transport. Journal of Hydraulic Research 23, p. 359-377.

Glaister, P. 1993. Flux difference splitting for open-channel flows, Int. J. Num. Meth. Fluids, 16, p. 629-654

Hibma, A., Vriend, H.J., de, Stive, M.J.F., 2003, Numerical modelling of shoal pattern formation in well-mixed elongated estuaries, Estuarine, Coastal and Shelf Science, Vol. 57, 5-6, p. 981-999

Hughes, T.J.R, 1987, The finite element method, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.

Vreugdenhil, C.B., 1994, Numerical methods for shallow water flow, Institute for Marine and Atmospheric Research Utrecht (IMAU), Utrecht University, The Netherlands

Wang, Z.B., Langerak, A., Fokkink, R.J., 1999, Simulation of long-term morphological development in the Western Scheldt, Symposium of the International Association for Hydraulic Research, Genova, Italy.

Winterwerp, J. C., Wang, Z. B., Stive, M. J. F. Arends, A., Jeuken, C., Kuijper, C., Thoolen, P. M. C., 2001, A new morphological schematization of the Western Scheldt estuary, the Netherlands, Proceedings of the 2nd IAHR Symposium on River, Coastal and Estuarine Morphodynamics, Obihiro, Japan, p. 525- 534.

APPENDIX D: AREALEN VAN DE PROJECTGEBIEDEN

Projectgebied Bath:	T0 (hectare)	Referentie na 10 jaar (hectare)	Ingreep na 10 jaar (hectare)
Oppervlak < -6m NAP:	21.8	22.9	21.7
Oppervlak tussen -6m en -5m NAP:	2.7	2.8	3.0
Oppervlak tussen -5m en -4m NAP:	4.1	3.0	3.5
Oppervlak tussen -4m en -3m NAP:	6.1	11.0	10.8
Oppervlak tussen -3m en -2m NAP:	18.8	14.2	13.8
Oppervlak tussen -2m en -1m NAP:	55.3	24.5	19.8
Oppervlak tussen -1m en 0m NAP:	64.8	52.3	24.0
Oppervlak tussen 0m en 1m NAP:	60.1	43.9	32.2
Oppervlak tussen 1m en 2m NAP:	70.8	103.5	111.9
Oppervlak tussen 2m en 3m NAP:	30.2	56.1	89.4
Oppervlak tussen 3m en 4m NAP:	10.5	10.8	10.6
Oppervlak > 4m NAP:	8.7	8.7	13.2 (*)
Totaal (hectare) :	353.8	353.8	353.8

Tabel D.1: Areaal projectgebied Bath; (*) = inclusief strekdammen

Projectgebied Baalhoek:	T0 (hectare)	Referentie na 10 jaar (hectare)	Ingreep na 10 jaar (hectare)
Oppervlak < -6m NAP:	22.8	19.7	17.7
Oppervlak tussen -6m en -5m NAP:	2.7	2.3	2.3
Oppervlak tussen -5m en -4m NAP:	3.7	3.7	2.7
Oppervlak tussen -4m en -3m NAP:	6.6	7.9	5.5
Oppervlak tussen -3m en -2m NAP:	28.1	23.5	9.9
Oppervlak tussen -2m en -1m NAP:	40.3	19.6	10.9
Oppervlak tussen -1m en 0m NAP:	39.2	12.1	10.7
Oppervlak tussen 0m en 1m NAP:	48.5	13.3	12.3
Oppervlak tussen 1m en 2m NAP:	11.8	30.0	53.5
Oppervlak tussen 2m en 3m NAP:	0.2	71.7	75.8
Oppervlak tussen 3m en 4m NAP:	0.0	0.1	0.2
Oppervlak > 4m NAP:	0.0	0.0	2.6 (*)
Totaal (hectare) :	203.9	203.9	203.9

Tabel D.2: Areaal projectgebied Baalhoek; (*) = inclusief strekdammen

Projectgebied Knuitershoek:	T0 (hectare)	Referentie na 10 jaar (hectare)	Ingreep na 10 jaar (hectare)
Oppervlak < -6m NAP:	7.3	4.5	5.0
Oppervlak tussen –6m en –5m NAP:	1.0	2.2	1.9
Oppervlak tussen –5m en –4m NAP:	1.5	2.0	1.8
Oppervlak tussen –4m en –3m NAP:	1.8	1.5	1.1
Oppervlak tussen –3m en –2m NAP:	15.7	6.3	1.8
Oppervlak tussen –2m en –1m NAP:	26.7	10.0	3.0
Oppervlak tussen –1m en 0m NAP:	14.3	5.9	3.8
Oppervlak tussen 0m en 1m NAP:	2.1	7.1	7.9
Oppervlak tussen 1m en 2m NAP:	1.1	26.0	29.1
Oppervlak tussen 2m en 3m NAP:	1.3	7.2	15.6
Oppervlak tussen 3m en 4m NAP:	1.2	1.2	1.2
Oppervlak > 4m NAP:	4.8	4.8	6.8 (*)
Totaal (hectare) :	79.0	79.0	79.0

Tabel D.3: Areaal projectgebied Knuitershoek; (*) = inclusief strekdammen

Projectgebied Hoofdplaatpolder:	T0 (hectare)	Referentie na 10 jaar (hectare)	Ingreep na 10 jaar (hectare)
Oppervlak < -6m NAP:	43.9	22.9	22.3
Oppervlak tussen –6m en -5m NAP:	35.9	36.4	19.9
Oppervlak tussen -5m en -4m NAP:	26.0	32.4	31.3
Oppervlak tussen -4m en -3m NAP:	27.7	30.9	25.6
Oppervlak tussen -3m en -2m NAP:	44.3	34.0	35.8
Oppervlak tussen -2m en -1m NAP:	50.1	42.6	30.1
Oppervlak tussen -1m en 0m NAP:	32.9	39.4	18.8
Oppervlak tussen 0m en 1m NAP:	9.9	8.1	26.1
Oppervlak tussen 1m en 2m NAP:	11.6	21.6	64.5
Oppervlak tussen 2m en 3m NAP:	5.2	19.3	11.0
Oppervlak tussen 3m en 4m NAP:	0.7	0.7	0.4
Oppervlak > 4m NAP:	0.3	0.3	2.5 (*)
Totaal (hectare) :	288.4	288.4	288.4

Tabel D.4: Areaal projectgebied Hoofdplaatpolder; (*) = inclusief strekdammen

Projectgebied Zimmerman:	T0 (hectare)	Referentie na 10 jaar (hectare)	Ingreep na 10 jaar (hectare)
Oppervlak < -6m NAP:	8.0	3.6	1.2
Oppervlak tussen -6m en -5m NAP:	2.8	11.2	1.8
Oppervlak tussen -5m en -4m NAP:	11.2	16.9	5.8
Oppervlak tussen -4m en -3m NAP:	22.7	26.3	10.0
Oppervlak tussen -3m en -2m NAP:	28.8	25.1	29.0
Oppervlak tussen -2m en -1m NAP:	56.6	34.2	40.4
Oppervlak tussen -1m en 0m NAP:	64.9	49.3	51.2
Oppervlak tussen 0m en 1m NAP:	31.9	33.7	27.4
Oppervlak tussen 1m en 2m NAP:	25.9	19.7	46.9
Oppervlak tussen 2m en 3m NAP:	17.2	49.2	53.7
Oppervlak tussen 3m en 4m NAP:	13.0	13.7	13.7
Oppervlak > 4m NAP:	10.7	10.7	12.5 (*)
Totaal (hectare) :	293.6	293.6	293.6

Tabel D.5: Areaal projectgebied Zimmermangeul; (*) = inclusief strekdammen

Projectgebied Ossenisse:	T0 (hectare)	Referentie na 10 jaar (hectare)	Ingreep na 10 jaar (hectare)
Oppervlak < -6m NAP:	35.0	6.1	0.3
Oppervlak tussen -6m en -5m NAP:	12.3	30.9	0.5
Oppervlak tussen -5m en -4m NAP:	10.6	35.1	2.3
Oppervlak tussen -4m en -3m NAP:	12.9	13.8	5.4
Oppervlak tussen -3m en -2m NAP:	23.4	11.9	9.4
Oppervlak tussen -2m en -1m NAP:	18.5	13.4	12.4
Oppervlak tussen -1m en 0m NAP:	17.2	12.0	13.7
Oppervlak tussen 0m en 1m NAP:	11.6	14.5	33.5
Oppervlak tussen 1m en 2m NAP:	3.3	5.1	57.8
Oppervlak tussen 2m en 3m NAP:	0.6	2.2	6.4
Oppervlak tussen 3m en 4m NAP:	0.2	0.3	0.1
Oppervlak > 4m NAP:	0.0	0.0	3.4 (*)
Totaal (hectare) :	145.4	145.4	145.4

Tabel D.6: Areaal projectgebied Ossenisse; (*) = inclusief strekdammen

Projectgebied Saeftinge:	T0 (hectare)	Referentie na 10 jaar (hectare)	Ingreep na 10 jaar (hectare)
Oppervlak < -6m NAP:	11.0	24.5	30.6
Oppervlak tussen -6m en -5m NAP:	3.3	8.9	7.4
Oppervlak tussen -5m en -4m NAP:	6.1	7.6	12.9
Oppervlak tussen -4m en -3m NAP:	7.0	8.9	27.7
Oppervlak tussen -3m en -2m NAP:	24.5	28.7	57.7
Oppervlak tussen -2m en -1m NAP:	100.3	68.8	84.3
Oppervlak tussen -1m en 0m NAP:	185.2	113.0	138.0
Oppervlak tussen 0m en 1m NAP:	301.5	186.2	188.9
Oppervlak tussen 1m en 2m NAP:	413.0	222.6	253.1
Oppervlak tussen 2m en 3m NAP:	650.9	1003.9	936.1
Oppervlak tussen 3m en 4m NAP:	1403.0	1432.6	1369.0
Oppervlak > 4m NAP:	79.4	79.4	79.5
Totaal (hectare) :	3185.2	3185.2	3185.2

Tabel D.7: Areaal projectgebied Saeftinge