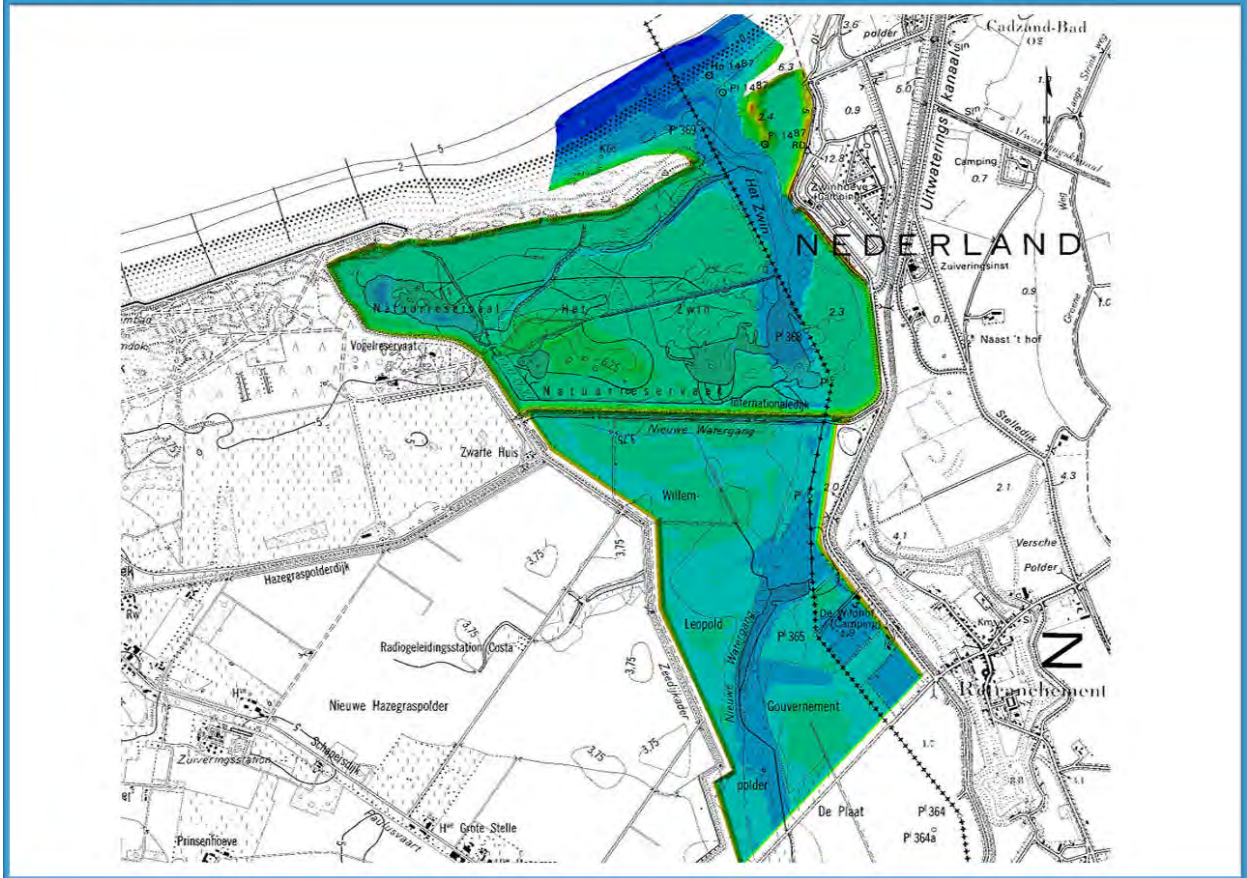


Internationale milieu effectenrapportage voor de uitbreiding van het Zwin

Bestek ZLD0622

Alternatief 5



Hydrodynamische en morfologische vergelijking van de scenario's

27 november 2007

I/RA/11285/07.127/cma

International Marine & Dredging Consultants N.V.

Wilrijkstraat 37-45 Bus 4 – 2140 – Antwerpen – België

Tel: +32.3.270.92.95 Fax: +32.3.235.67.11

E-mail: info@imdc.be Website: www.imdc.be

Documentcontroleblad

Document Identificatie

Titel:	Hydrodynamische en morfologische vergelijking van de scenario's
Project:	MER ZWIN
Opdrachtgever	afdeling Kust
Documentref:	I/RA/11285/07.127/cma
Documentnaam	K:\PROJECTS\11\11285 - Mer Zwin\10-Rap\ra 07127 morfologie v02.doc

Revisies

Versie	Datum	Auteur	Omschrijving
2.0	27/11/2007	CMA	Na overleg met opdrachtgever

Verdeellijst

Naam	# ex.	Bedrijf/overheid	Functie m.b.t. het project
Miguel Berteloot		afdeling Kust	projectleider

Goedkeuring

Versie	Datum	Auteur	Projectleider	Directie
2.0	27/11/2007	CMA	CMA	MSA

INHOUDSTAFEL

1. INLEIDING.....	1
1.1. OPBOUW VAN HET RAPPORT.....	1
2. OVERZICHT VAN DE BESCHOUWDE SCENARIO'S.....	2
2.1. OPBOUW VAN HET HUIDIGE ZWIN	3
2.2. AANPASSINGEN AAN DE BATHYMETRIE.....	4
2.3. BEPALING VAN DE GEULDIMENSIES VOOR DE VERSCHILLENDE SCENARIO'S	5
3. OPBOUW VAN HET MIKE 21 MODEL	9
3.1. BATHYMETRIE.....	9
3.2. RANDVOORWAARDEN	9
3.3. INBRENGEN VAN GEULEN IN HET SYSTEEM.....	10
3.4. MODELOMGEVING.....	11
3.4.1. Rekenroosters	12
3.4.2. Veronderstellingen.....	12
4. HYDRODYNAMISCHE BESPREKING VAN DE VERSCHILLENDE SCENARIO'S.....	13
4.1. SCENARIO 1A/1B	13
4.1.1. Gemodelleerde bathymetrie	13
4.1.2. Stroomsnelheid	14
4.1.3. Schuifspanning.....	16
4.1.4. Overstromingsduur	18
4.1.5. Waterstand.....	20
4.1.6. Effect van het spuien.....	22
4.2. SCENARIO 2C/2D	23
4.2.1. Gemodelleerde bathymetrie	24
4.2.2. Stroomsnelheid	25
4.2.3. Schuifspanning.....	26
4.2.4. Overstromingsduur	29
4.2.5. Waterstand.....	30
4.2.6. Effect van het spuien.....	32
4.3. SCENARIO 3A	33
4.3.1. Gemodelleerde bathymetrie	34
4.3.2. Stroomsnelheid	35
4.3.3. Schuifspanning.....	36

4.3.4.	Overstromingsduur	38
4.3.5.	Waterstand	40
4.4.	SCENARIO 3C	42
4.4.1.	Opmerking over de komberging	42
4.4.2.	Gemodelleerde bathymetrie	43
4.4.3.	Stroomsnelheid	43
4.4.4.	Schuifspanning	45
4.4.5.	Overstromingsduur	48
4.4.6.	Waterstand	50
4.5.	SCENARIO 4A/4B	51
4.5.1.	Gemodelleerde bathymetrie	52
4.5.2.	Stroomsnelheid	53
4.5.3.	Schuifspanning	54
4.5.4.	Overstromingsduur	58
4.5.5.	Waterstand	59
4.5.6.	Effect van het spuien	60
4.6.	SCENARIO'S 5C/5D	62
4.6.1.	Opmerking over de doorlaatconstructie	63
4.6.2.	Gemodelleerde bathymetrie	64
4.6.3.	Stroomsnelheid	64
4.6.4.	Schuifspanning	66
4.6.5.	Overstromingsduur	68
4.6.6.	Waterstand	70
4.6.7.	Effect van het spuien	72
4.7.	SCENARIO'S 4-1/4-2/4-3/4-6/4-7	73
4.8.	SCENARIO 3_WEST	77
4.8.1.	Gemodelleerde bathymetrie	77
5.	BEPALEN VAN DE MORFOLOGISCHE EVOLUTIE VAN HET GEBIED.....	80
5.1.	AANPAK EN REDENEERLIJN	80
5.1.1.	Over de import van sediment naar het Zwin	81
5.1.2.	De ontwikkeling van het Zwin via twee processen	82
5.1.2.1.	Initiële vorming geulen	82
5.1.2.2.	Opvulling van het bekken	82
5.1.3.	De uitbreiding van het Zwin en de stabiliteit van de monding	82
5.2.	HET MORFOLOGISCHE EFFECT VAN DOORLAATCONSTRUCTIES	83
5.3.	HET MORFOLOGISCHE EFFECT VAN SPUIEN	84

5.4.	DE SEDIMENTATIE IN HET (UITGEBREIDE) ZWIN	85
5.4.1.	<i>Discussiepunten</i>	88
5.5.	ONTWIKKELING VAN DE AREALEN	90
5.5.1.	<i>Opmerking over het meestromingseffect</i>	97
5.5.2.	<i>Opmerking over het ontstaan van slikken of schorren</i>	97
6.	DE VERWACHTTE ONTWIKKELING IN BEELD.....	99
7.	VERGELIJKING VAN DE SCENARIO'S –BESLUIT.....	103
7.1.	EFFECT VAN SPUEN	103
7.2.	EFFECT VAN DOORLAATCONSTRUCTIES	104
7.3.	BESPREKING VAN DE HOOFDSCENARIO'S	105
7.4.	ONTWIKKELING EN ONDERHOUD.....	107

LIJST VAN TABELLEN

TABEL 2-1	OVERZICHT VAN DE BEREKENDE EN GEMETEN GETIJPRISMAS IN HET ZWIN	3
TABEL 5-1	BRUUN-PARAMETER ALS MAAT VOOR DE STABILITEIT VAN DE MONDING VAN HET ZWIN, VOOR DE HUIDIGE SITUATIE EN VOOR DE SITUATIE OVER 30 JAAR.	83
TABEL 5-2	GEBRUIKTE WAARDEN VOOR DE GEVOELIGHEIDSANALYSE.....	87
TABEL 5-3	GEBRUIKTE WAARDEN VOOR DE BEREKENINGEN.	88
TABEL 5-4	GEBRUIKTE WAARDEN VOOR DE GEVOELIGHEIDSANALYSE VAN ONTWIKKELING VAN HET AREAAL	92
TABEL 5-5	. AREALEN IN M ² VAN DE GEULEN EN DE SLIKKEN EN SCHORREN PER SCENARIO VOOR EEN AANTAL JAREN. 93	
TABEL 5-6	GETIJPRISMA GEDEELD DOOR DE OPPERVLAKTE VOOR DE VERSCHILLENDE SCENARIO'S.	96
TABEL 7-1	VERGELIJKING VAN DE SCENARIO'S	105

LIJST VAN FIGUREN

FIGUUR 2-1	SCHEMATISCH OVERZICHT VAN DE SCENARIO'S.....	2
FIGUUR 2-2	HUIDIGE VERHOUDING SLIKKEN EN SCHORREN IN HET ZWIN (GEBASEERD OP VITO DATA 2003)	3
FIGUUR 2-3	LIGGING VAN DE VOORNAAMSTE MEERTJES EN GEULEN IN HET ZWIN	4
FIGUUR 2-4:	GEBIEDEN WAAR DE BATHYMETRIE WERD AANGEPAST NAAR AFGEGRAVEN NIVEAU.....	5
FIGUUR 2-5	GRAFIEK WAARIN DE BREEDTE VAN DE GEUL IS UITGEZET TEGEN DE GEMIDDELDE DIEPTE, INCLUSIEF HET VERBAND VOLGENS ALLERSMA	7
FIGUUR 2-6	GRAFIEK WAARIN DE BREEDTE VAN DE GEUL IS UITGEZET TEGEN HET GETIJDEPRISMA.....	7
FIGUUR 3-1:	SPRINGTIJ TE CADZAND, 27 MAART 2005.	9

FIGUUR 3-2: BLOKFUNCTIE SPUIDEBIET MET 55.56 M ³ /S GEDURENDE 1 UUR.....	10
FIGUUR 3-3: VOORBEELD VAN DTM VAN HET TOEKOMSTIGE GEULENSTELSEL (ALTERNATIEF 3A).....	11
FIGUUR 4-1 ALTERNATIEF 1A	13
FIGUUR 4-2 GEBRUIKTE BATHYMETRIE BIJ HET DOORREKENEN VAN HET SCENARIO 1A.....	14
FIGUUR 4-3 MAXIMUM VLOEDSNELHEID BIJ ALTERNATIEF 1A.....	15
FIGUUR 4-4 MAXIMUM EB SNELHEID BIJ ALTERNATIEF 1A.....	15
FIGUUR 4-5 VERSCHIL IN SCHUIFSPANNING TUSSEN DE HUIDIGE TOESTAND EN HET SCENARIO 1A, BIJ HET BEGIN VAN INSTROMING	16
FIGUUR 4-6 SCHUIFSPANNING VOOR ALTERNATIEF 1A, 5 UUR NA LAAGWATER.....	17
FIGUUR 4-7 VERSCHIL IN SCHUIFSPANNING TUSSEN DE HUIDIGE TOESTAND EN HET SCENARIO 1A, BIJ UITSTROMING	17
FIGUUR 4-8 SCHUIFSPANNING VOOR ALTERNATIEF 1A, 9 UUR NA LAAG WATER.....	18
FIGUUR 4-9 OVERSTROMINGSDUUR VOOR ALTERNATIEF 1A.....	19
FIGUUR 4-10 VERSCHIL IN OVERSTROMINGSDUUR TEN OPZICHTE VAN DE HUIDIGE TOESTAND	20
FIGUUR 4-11 WATERSTAND VOOR GEUL B, GEUL D EN DE GEUL IN DE WILLEM LEOPOLDPOLDER.....	21
FIGUUR 4-12 WATERHOOGTE OP 7 H NA LW, WANNEER HET UITSTROMEN BEGINT	21
FIGUUR 4-13 DEBIET DOOR DE MONDING VOOR SIMULATIES MET EN ZONDER SPUEN	22
FIGUUR 4-14 VERHOOGING IN DE SCHUIFSPANNING TEN GEVOLGE VAN HET SPUEN.....	23
FIGUUR 4-15 ALTERNATIEF 2.....	24
FIGUUR 4-16 GEBRUIKTE BATHYMETRIE BIJ HET DOORREKENEN VAN SCENARIO 2	25
FIGUUR 4-17 MAXIMALE STROOMSNELHEID TIJDENS VLOED VOOR SCENARIO 2	26
FIGUUR 4-18 MAXIMALE STROOMSNELHEID TIJDENS EB VOOR SCENARIO 2.....	26
FIGUUR 4-19 VERSCHIL IN SCHUIFSPANNING TUSSEN DE HUIDIGE TOESTAND EN HET ALTERNATIEF 2, 5 UUR NA LAAG WATER	27
FIGUUR 4-20 SCHUIFSPANNING VOOR ALTERNATIEF 2, 5 UUR NA LAAG WATER	27
FIGUUR 4-21 VERSCHIL IN SCHUIFSPANNING TUSSEN DE HUIDIGE TOESTAND EN HET ALTERNATIEF 2, 9 UUR NA LAAG WATER	28
FIGUUR 4-22 SCHUIFSPANNING VOOR ALTERNATIEF 2, 9 UUR NA LAAG WATER	28
FIGUUR 4-23 OVERSTROMINGSDUUR TEN OPZICHTE VAN DE HUIDIGE TOESTAND VOOR SCENARIO 2	29
FIGUUR 4-24 OVERSTROMINGSDUUR VOOR ALTERNATIEF 2	30
FIGUUR 4-25 WATERSTAND VOOR GEUL B, GEUL D EN DE GEUL IN DE WILLEM LEOPOLDPOLDER.....	31
FIGUUR 4-26 WATERSTAND IN HET VOLLEDIGE GEBIED, VOOR HET ALTERNATIEF 2 OP 7 UUR NA LW	31
FIGUUR 4-27 DEBIET DOOR DE MONDING VOOR SIMULATIES MET EN ZONDER SPUEN	32
FIGUUR 4-28 VERHOOGING VAN DE SCHUIFSPANNING TEN GEVOLGE VAN SPUEN	33
FIGUUR 4-29 ALTERNATIEF 3A/B	34
FIGUUR 4-30 GEBRUIKTE BATHYMETRIE BIJ HET DOORREKENEN VAN SCENARIO 3A.....	35
FIGUUR 4-31 MAXIMALE STROOMSNELHEID BIJ INSTROOM VOOR ALTERNATIEF 3A	35
FIGUUR 4-32 MAXIMALE STROOMSNELHEID BIJ UITSTROOM VOOR ALTERNATIEF 3A	36

FIGUUR 4-33 VERSCHIL IN SCHUIFSPANNING TUSSEN DE HUIDIGE TOESTAND EN ALTERNATIEF 3A, 5 UUR NA LAAG WATER	36
FIGUUR 4-34 SCHUIFSPANNING VOOR ALTERNATIEF 3A, 5 UUR NA LAAG WATER.....	37
FIGUUR 4-35 VERSCHIL IN SCHUIFSPANNING TUSSEN DE HUIDIGE TOESTAND EN ALTERNATIEF 3A, 9 UUR NA LAAG WATER	37
FIGUUR 4-36 SCHUIFSPANNING VOOR ALTERNATIEF 3A, 9 UUR NA LAAG WATER.....	38
FIGUUR 4-37 OVERSTROMINGSDUUR VOOR HET ALTERNATIEF 3A.....	39
FIGUUR 4-38 OVERSTROMINGSDUUR TEN OPZICHTE VAN DE HUIDIGE TOESTAND VOOR ALTERNATIEF 3A.....	40
FIGUUR 4-39 WATERSTAND IN HET VOLLEDIGE GEBIED, VOOR HET ALTERNATIEF 3A OP 6 H NA LW	41
FIGUUR 4-40 WATERSTAND IN HET VOLLEDIGE GEBIED, VOOR HET ALTERNATIEF 3A OP 7 H NA LW , DE KLEYNE VLAKE LOOPT EEN UUR ACHTER OP HET ZWIN ZELF.	41
FIGUUR 4-41 WATERSTAND IN DE GEULEN VOOR DE KLEYNE VLAKE EN DE OOSTELIJKE WILLEM LEOPOLDPOLDER	42
FIGUUR 4-42 GEBRUIKTE BATHYMETRIE BIJ HET DOORREKENEN VAN SCENARIO 3C	43
FIGUUR 4-43 MAXIMALE STROOMSNELHEID BIJ INSTROOM VOOR ALTERNATIEF 3C.....	44
FIGUUR 4-44 MAXIMALE STROOMSNELHEID BIJ UITSTROOM VOOR ALTERNATIEF 3C.....	44
FIGUUR 4-45 VERSCHIL IN SCHUIFSPANNING TUSSEN DE HUIDIGE TOESTAND EN HET ALTERNATIEF 3C, VOOR MAXIMALE INSTROOM	45
FIGUUR 4-46 SCHUIFSPANNING VOOR ALTERNATIEF 3C, 5 UUR NA LAAG WATER	46
FIGUUR 4-47 VERSCHIL IN SCHUIFSPANNING VOOR HET ALTERNATIEF 3C TEN OPZICHTE VAN DE HUIDIGE TOESTAND, VOOR MAXIMALE UITSTROOM.....	47
FIGUUR 4-48 SCHUIFSPANNING VOOR ALTERNATIEF 3C, 9 UUR NA LAAG WATER	48
FIGUUR 4-49 VERSCHIL IN OVERSTROMINGSDUUR TEN OPZICHTE VAN DE HUIDIGE TOESTAND VOOR ALTERNATIEF 3C, MET MAXIMALE KLEYNE VLAKE	49
FIGUUR 4-50 OVERSTROMINGSDUUR VOOR HET ALTERNATIEF 3C.....	49
FIGUUR4-51 WATERSTAND VOOR ALTERNATIEF 3C, MAXIMALE WATERSTAND IN HET ZWIN ZELF	50
FIGUUR4-52 WATERSTAND VOOR HET ALTERNATIEF 3C; MAXIMALE WATERSTAND IN DE KLEYNE VLAKE.....	50
FIGUUR 4-53: LANGSPROFIEL VAN HET MIKE11 MODEL (WATERSTAND ONGEVEER 4M) DAT FUNGEERT ALS VERBINDING TUSSEN DE 2D MODELLEN VAN HET ZWIN EN DE WILLEM-LEOPOLDPOLDER. DE DUKERS LIGGEN TUSSEN X=25M EN X=75M.	51
FIGUUR 4-54: DWARSDOORSNEDE VAN DE DOORLAAT TUSSEN HET ZWIN EN DE WILLEM-LEOPOLDPOLDER.	51
FIGUUR4-55 ALTERNATIEF 4A EN 4B	52
FIGUUR4-56 GEBRUIKTE BATHYMETRIE BIJ HET DOORREKENEN VAN SCENARIO 4	53
FIGUUR4-57 MAXIMALE STROOMSNELHEID BIJ INSTROOM VOOR ALTERNATIEF 4 A	53
FIGUUR4-58 MAXIMALE STROOMSNELHEID BIJ UITSTROOM VOOR ALTERNATIEF 4 A	54
FIGUUR 4-59 VERSCHIL IN SCHUIFSPANNING TUSSEN DE HUIDIGE TOESTAND EN ALTERNATIEF 4A, 5 UUR NA LAAG WATER	55
FIGUUR4-60 SCHUIFSPANNING VOOR ALTERNATIEF 4A, 5 UUR NA LAAG WATER.....	56
FIGUUR4-61 VERSCHIL IN SCHUIFSPANNING TUSSEN DE HUIDIGE TOESTAND EN ALTERNATIEF 4A, 9 UUR NA LAAG WATER	57

FIGUUR4-62 SCHUIFSPANNING VOOR ALTERNATIEF 4A, 9 UUR NA LAAG WATER.....	57
FIGUUR4-63 OVERSTROMINGSDUUR VOOR ALTERNATIEF 4A.....	58
FIGUUR4-64 OVERSTROMINGSDUUR VOOR ALTERNATIEF 4A TEN OPZICHTE VAN DE HUIDIGE TOESTAND.	59
FIGUUR4-65 WATERSTAND VOOR GEUL B, GEUL D EN DE GEUL IN DE WILLEM LEOPOLDPOLDER.	59
FIGUUR4-66 MAXIMALE WATERSTAND VOOR SCENARIO 4A, 6 UUR NA HW	60
FIGUUR4-67 : DEBIET DOOR DE MONDING VOOR SIMULATIES MET EN ZONDER SPUEN	61
FIGUUR4-68 ALTERNATIEF 4 SCHUIFSPANNING MET SPUEN	61
FIGUUR4-69 ALTERNATIEF 4 SCHUIFSPANNING ZONDER SPUEN.....	62
FIGUUR4-70 SCENARIO 5C/5D.....	63
FIGUUR4-71 GEBRUIKTE BATHYMETRIE BIJ HET DOORREKENEN VAN SCENARIO 5	64
FIGUUR4-72 MAXIMALE STROOMSNELHEID BIJ INSTROOM VOOR ALTERNATIEF 5C	65
FIGUUR4-73 MAXIMALE STROOMSNELHEID BIJ UITSTROOM VOOR ALTERNATIEF 5C	65
FIGUUR4-74 VERSCHIL IN SCHUIFSPANNING TUSSEN DE HUIDIGE TOESTAND EN ALTERNATIEF 5C UUR NA LAAG WATER 66	
FIGUUR4-75 SCHUIFSPANNING VOOR ALTERNATIEF 5C 5 UUR NA LAAG WATER	67
FIGUUR4-76 VERSCHIL IN SCHUIFSPANNING TUSSEN DE HUIDIGE TOESTAND EN ALTERNATIEF 5C9 UUR NA LAAG WATER 67	
FIGUUR4-77 SCHUIFSPANNING VOOR ALTERNATIEF 5C 9 UUR NA LAAG WATER	68
FIGUUR4-78 OVERSTROMINGSDUUR VOOR ALTERNATIEF 5C.....	69
FIGUUR4-79 OVERSTROMINGSDUUR VOOR ALTERNATIEF 5CEN OPZICHTE VAN DE HUIDIGE TOESTAND.	70
FIGUUR4-80 WATERSTAND VOOR GEUL B, GEUL D EN DE GEUL IN DE WILLEM LEOPOLDPOLDER.	71
FIGUUR4-81 MAXIMALE WATERSTAND IN HET ZWIN VOOR SCENARIO 5C.....	71
FIGUUR4-82 MAXIMALE WATERHOOGTE IN DE WILLEM LEOPOLDPOLDER VOOR ALTERNATIEF 5C.....	72
FIGUUR4-83 DEBIETEN DOOR DE MONDING MET EN ZONDER SPUEN.....	73
FIGUUR4-84 DEBIET DOOR DE MONDING VOOR VERSCHILLENDE BREEDTES DOORLATEN	74
FIGUUR4-85 VERSCHIL IN VERBLIJFTIJD TUSSEN SCENARIO 4-A (DOORLAATCONSTRUCTIE ENKEL GESLOTEN BIJ STORM) EN SCENARIO 4-2 (SPUIEN MET DOORLAATCONSTRUCTIE).....	75
FIGUUR4-86 DEBIET DOORHEEN DE HOOFDGEUL, VOOR SCENARIO 4-4 (NIET SPUEN), IN VERGELIJKING MET SCENARIO'S 4-2 (SPUIEN MET DE DOORLAATCONSTRUCTIE).....	76
FIGUUR4-87 CONTINU SPUEN MET ZOET WATER.	77
FIGUUR4-88 GEBRUIKTE BATHYMETRIE BIJ HET DOORREKENEN VAN HET SCENARIO 3_WEST	78
FIGUUR4-89 VERGELIJKING VAN DE VERBLIJFTIJDEN VOOR DE LOCATIE MET EN ZONDER GEULVERLEGGING.....	79
FIGUUR4-90 VERSCHIL IN SCHUIFSPANNING TUSSEN ALTERNATIEF 3WEST EN ALTERNATIEF 3C.....	79
FIGUUR5-1 HOOGWATER BIJ SPRINGTIJ TE CADZAND. HET GROOTSTE DEEL VAN HET ZWIN LIGT BOVEN TAW 2 M.81	
FIGUUR5-2 DE ONTWIKKELING VAN HET WATERVOLUME VAN SCENARIO 1A/1B.....	86
FIGUUR 5-3 GEVOELIGHEIDSANALYSE VAN DE BEREKENING VAN HET WATERVOLUME VAN SCENARIO 1, GEBRUIKTE WAARDEN IN TABEL 5-2	88

FIGUUR 5-4 ONTWIKKELING VAN HET WATERVOLUME VAN DE VERSCHILLENDE SCENARIO'S. DE GEBRUIKTE WAARDEN STAAN IN TABEL 5-3 EN DAARBIJ HOREN DE BASIS-AANNAMES UIT TABEL 5-2.	89
FIGUUR 5-5 ONTWIKKELING VAN HET AREAAL GEULEN BIJ SCENARIO 1, INCLUSIEF EEN GEVOELIGHEIDSANALYSE VOOR DE DRIE COËFFICIËNTEN, GEBRUIKTE WAARDEN IN TABEL 3.	92
FIGUUR 5-6 ONTWIKKELING VAN HET AREAAL GEULEN BIJ SCENARIO 1A VOOR DE VERSCHILLENDE UITKOMSTEN VAN DE GEVOELIGHEIDSANALYSE VAN DE SEDIMENTATIE (FIGUUR 5-3).	93
FIGUUR 5-7 ONTWIKKELING VAN HET AREAAL GEULEN BIJ DE VERSCHILLENDE SCENARIO'S. TER ILLUSTRATIE IS HET HUIDIGE ZWIN MEEGENOMEN IN DE VERGELIJKING	95
FIGUUR 5-8 ONTWIKKELING VAN HET AREAAL SLIKKEN EN SCHORREN BIJ DE VERSCHILLENDE SCENARIO'S.	96
FIGUUR 5-9 MAXIMALE UITBREIDING VAN DE OVERSPOELING MET GETIJWATER IN DE KLEYNE VLAKTE SCENARIO'S 3A 97	
FIGUUR 6-1 SCHETS VAN ONTWIKKELING VAN SCENARIO 1 IN DWARSDOORSNEDE.....	100
FIGUUR 6-2 SCHETS VAN ONTWIKKELING VAN SCENARIO 1 IN KAART.	101
FIGUUR 6-3 : SCHETS VAN DE ONTWIKKELING VAN HET SCENARIO 3A IN KAART	102
FIGUUR 7-1 HYPSONOMETRISCHE CURVE VAN SCENARIO 1A.....	106

1. INLEIDING

In de nota I/no/11285/06.170/ktr werden de eerste resultaten voor de evaluatie van de verschillende alternatieven voor de uitbreiding van het Zwin gerapporteerd. Uit de aanbevelingen voor het opmaken van het MER Zwin bleek dat nog extra alternatieven bestudeerd dienen te worden. In dit rapport worden de resultaten van de hydrodynamische modellering beschreven voor deze uitbreidingsscenario's, evenals de morfologische evolutie van de verschillende scenario's. De alternatieven a3-1 en a4-1 uit de eerste fase van het project werden in deze fase licht aangepast (oppervlakte en afbakening van het gebied) en opnieuw meegenomen in de vergelijking.

Bijkomend aan dit rapport wordt in de nota I/NO/11285/07.211/cma de westelijke geulverlegging verder onderzocht.

1.1. Opbouw van het rapport

Hoofdstuk 2 geeft een overzicht van de beschouwde scenario's, en de doorgevoerde aanpassingen aan de inrichting van het gebied.

In hoofdstuk 3 wordt de opbouw en de gebruikte invoerdata van het MIKE 21 model beschreven. Eveneens worden de gebruikte aannames bij het modelleren gegeven.

De bespreking per scenario van de resultaten van de hydrodynamische modellering wordt gegeven in hoofdstuk 4.

Hoofdstuk 5 beschrijft de gebruikte redeneerlijn bij het bepalen van de morfologische evolutie van de verschillende scenario's, die in hoofdstuk 6 in beeld wordt gebracht.

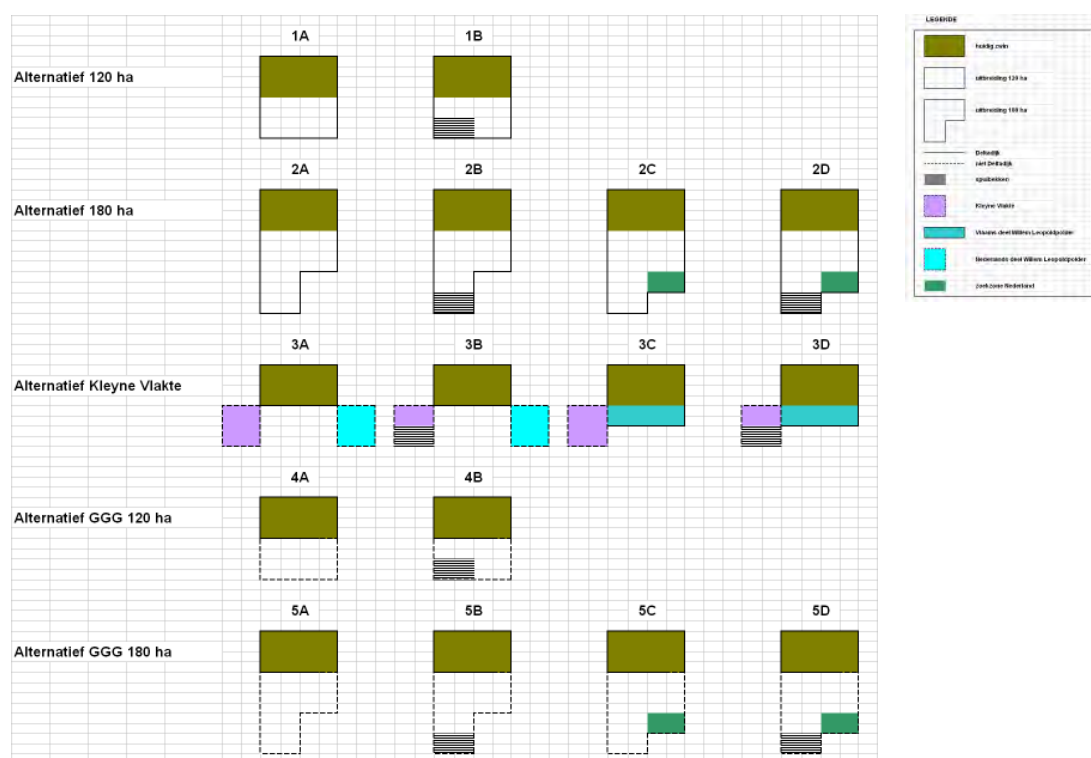
In hoofdstuk 7 ten slotte worden de verschillende scenario's met elkaar vergeleken.

2. OVERZICHT VAN DE BESCHOUWDE SCENARIO'S

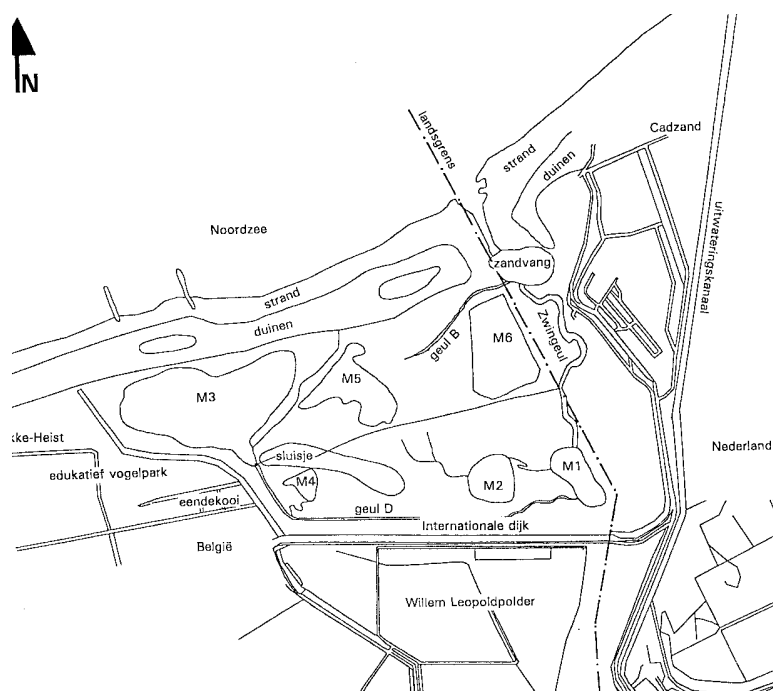
Figuur 2-1 geeft de doorgerekende scenario's schematisch weer. In de modellering worden de scenario's met en zonder zoekzone als één scenario beschouwd. De zoekzone wordt daarbij bij het gebied gerekend, omdat het effect van de zoekzone op de onderlinge morfologische vergelijking van de alternatieven naar verwachting klein is. Het alternatief 1 en 2 komen in grote lijnen overeen met de in de vorige fase besproken alternatieven 25 % en 50 %. De in de figuur aangeduide oppervlaktes zijn enkel ter illustratie.

Bijkomend aan deze scenario's werden nog een aantal berekeningen uitgevoerd om het gebruik van de afsluitconstructie te optimaliseren:

- 4-1 grote opening (72 m, dus 36 buizen van 2 meter)
- 4-2 spuiwerking met zout water, dus de opening wordt ieder getij gesloten en dan bij LW weer geopend
- 4-3 continu pompen van zoet water in het gebied
- 4-6 opening halveren (18 meter)
- 4-7 opening halveren (18 meter) en spuien



Figuur 2-1 schematisch overzicht van de scenario's

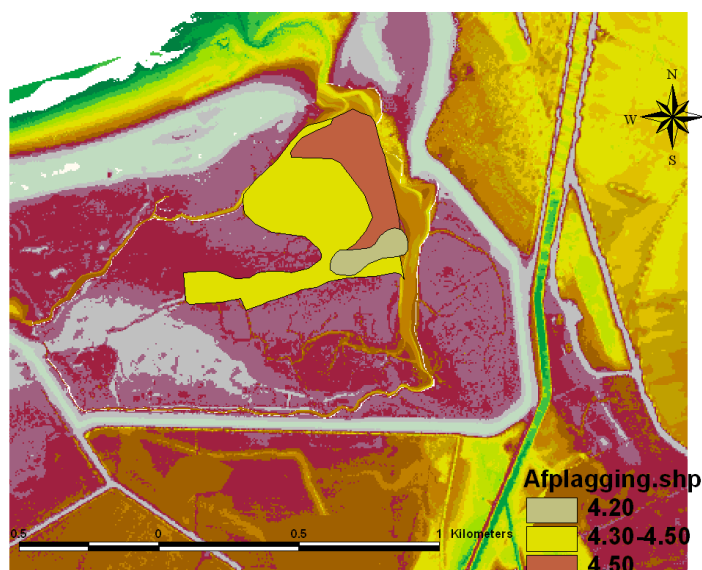


figuur 2-3 ligging van de voornaamste meertjes en geulen in het Zwin

2.2. Aanpassingen aan de bathymetrie

Er werden verschillende aanpassingen aan de huidige bathymetrie doorgevoerd in het model om de toekomstige evolutie weer te geven :

In het huidige Zwin werden afgravingen tussen de hoofdgeul en geul B op drie hoogtes uitgevoerd: 4m20, 4m30 en 4m50 TAW. De bathymetrie van het Zwin werd verlaagd daar waar deze hoger was dan de af te graven hoogte, ter hoogte van bijvoorbeeld geul G werd de huidige (lagere) bathymetrie behouden.



figuur 2-4: Gebieden waar de bathymetrie werd aangepast naar afgegraven niveau.

In de uitbreidingsgebieden werden waar nodig geulen voorzien en werden, indien de gebieden laaggelegen waren, enkele eilanden voorzien om het landschap van reliëf te voorzien. Voor meer detail wordt verwezen naar de individuele bespreking van de scenario's.

2.3. Bepaling van de geuldimensies voor de verschillende scenario's

Het getijdesysteem in het Zwin is in veel opzichten niet vergelijkbaar met grotere en relatief diepere getijdesystemen, zoals de Waddenzee en de Westerschelde. De geulen zijn relatief veel ondieper en breder. Het getij speelt slechts gedurende een deel van de getijcyclus een rol in de waterbeweging vanwege de hoge ligging. Bekende evenwichtsrelaties, die de karakteristieken van het gebied kunnen beschrijven, zijn vanwege de grote verschillen met referentiegebieden niet bruikbaar voor het Zwin.

Daarbij is de mate van ingrijpen buitengewoon groot. Daarom kan niet worden uitgesloten dat het gebied een wezenlijk verandering doormaakt waarbij bijvoorbeeld veel meer subgetijdegeul zal ontstaan.

Het uitgangspunt voor de voorspelling van de grootte van de geulen is het getijprisma in de nieuwe situatie. Het getijprisma is de hoeveelheid water die tijdens vloed in het gebied stroomt. Het getijvolume is de hoeveelheid water die tijdens een getij binnen- en buitenstroomt, dus het dubbele van het getijprisma. De grote toename van het getijprisma ontstaat door het afgraven van een deel van de hoog opgeslibde schorren gebied in het Zwin zelf en door de uitbreiding van het kombergingsoppervlak. De komberging is het volume dat past tussen de hoogteligging van het gebied en het hoogwaterniveau.

Vanwege de grote toename van het getijprisma (met meer dan 500 %) is het niet meer verantwoord om de relatie tussen het getijprisma (P) en het oppervlak van de dwarsdoorsnede van de geul van het huidige Zwin te hanteren voor de toekomstige situatie. Door de grote toename zal de hoofdgeul gedurende een groter deel van het getij in het inter- of subgetijdebereik terechtkomen. De karakteristieken van de stroming in – en uit het Zwin en de karakteristieken van de geul zullen hierdoor wezenlijk anders worden dan in de huidige situatie.

De toekomstige situatie zal een geulenstelsel met andere kenmerken hebben dan de huidige situatie. Maar de toekomstige situatie komt ook niet overeen met de situatie in 'echte getijdebekkens' zoals de Westerschelde of de Waddenzee. Vanwege de intrinsieke onvoorspelbaarheid van de toekomstige situatie zal een aantal scenario's voor de toekomstige relatie tussen het getijprisma (P) en het oppervlak van de dwarsdoorsnede van de geul worden beschreven, die liggen tussen de situatie in het huidige Zwin en in 'echte getijdebekkens'.

Voor de relatie tussen het getijprisma (P) en het oppervlak van de dwarsdoorsnede van de geul (A) wordt uitgegaan van de formule: $A_c = CP^n$

waarin:

A_c = doorstroomoppervlak

C = coëfficiënt

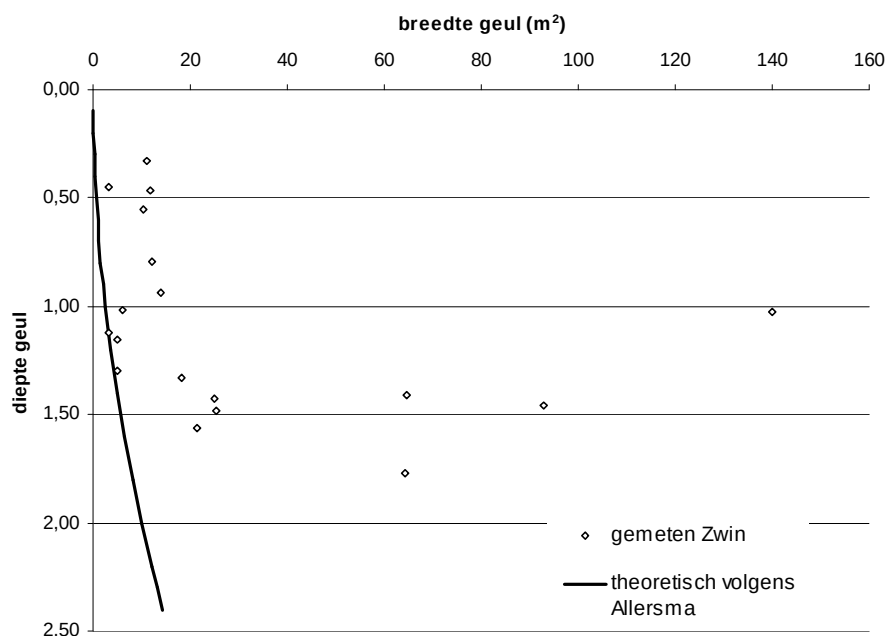
n = coëfficiënt, die in deze situatie 1 is

P = getijprisma

De variabele die de gebiedsomstandigheden beschrijft is C. In het huidige Zwin (zonder de monding) geldt dat $C = 1.000 \times 10^{-6}$. In de Westerschelde geldt dat $C = 80 \times 10^{-6}$.

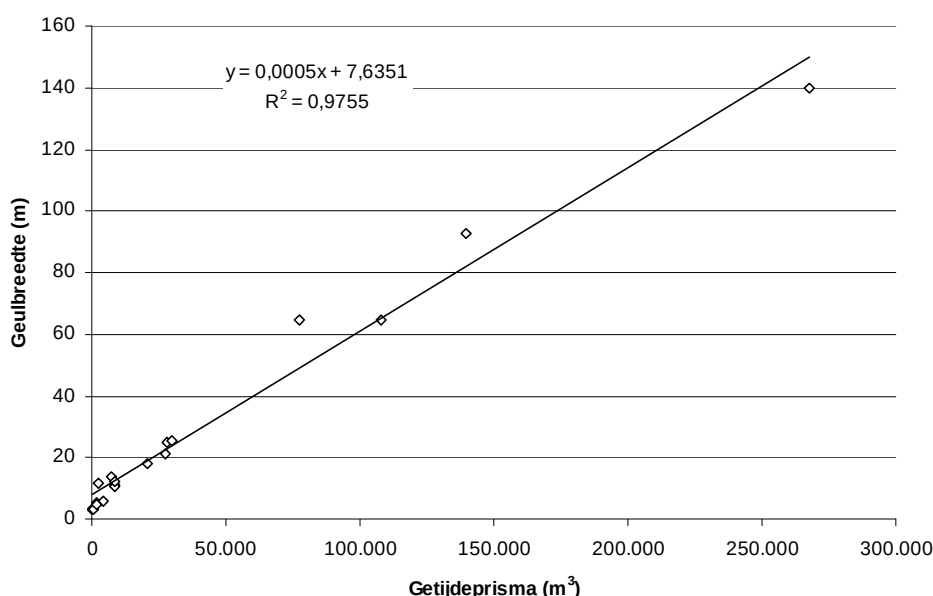
Voor de toekomstige situatie wordt uitgegaan van een C = 100, 200 of 300 die tussen de bovengenoemde extremen in liggen. 200 wordt beschouwd als een standaardwaarde, 100 is een lage waarde.

De bestaande relaties tussen de breedte en diepte van geulen zijn in het algemeen niet geldig voor de relatief kleine en zeer ondiepe geulen waarover hier wordt gerapporteerd. Allersma [1] geeft een relatie tussen breedte (natte omtrek B) en diepte (gemiddelde diepte ~ hydraulische straal h) van geulen: $B = 2,5 \times h^2$.



figuur 2-5 Grafiek waarin de breedte van de geul is uitgezet tegen de gemiddelde diepte, inclusief het verband volgens Allersma.

De relatie van Allersma geeft een overschatting van de diepte van de geulen in het huidige Zwin en dit geldt evenzeer voor andere relaties tussen geuldiepte en breedte. Deze relatie is hiermee niet bruikbaar om een goede schatting van de toekomstige geuldiepte te geven. De dieptes volgens deze relatie geven in het beste geval een maximum.



figuur 2-6 Grafiek waarin de breedte van de geul is uitgezet tegen het getijdeprisma.

De relatie tussen het getijdeprisma (P) en de breedte van de geulen in het Zwin volgt de relatie $B = 0,0005P + 7,64$ (zie figuur 5). Op basis van deze relatie zou de breedte van de geul na het ontpolderen ruim 900 m zijn. Dit lijkt een te brede geul voor dit relatief kleine gebied.

Om in de huidige context een voorspelling te doen van de geuldimensies is gebruik gemaakt van een eenvoudig geometrisch model van de geulen in de huidige situatie en in de situatie na het ontpolderen. In dit model tellen we de geulen 'bij elkaar op', zodat het vertakkende geulstelsel uit de echte wereld er uit ziet als een trapeziumvormige 'bak'

De belangrijkste aanname in dit geometrische model is dat diepte van de kleine geultjes aan het landwaartse einde van het bekken niet verandert en diepte van de geul in de monding afhankelijk is van de afstand tot het eind van het bekken. Het benodigde doorstroomoppervlak in de monding wordt bereikt door de breedte te veranderen, want de diepte is een gegeven.

Voor de lengte van het bekken wordt voor deze schematisatie de afstand van de monding tot aan het achterste einde van de geulen aangehouden.

Op basis van de verwachte getijvolumes en de afstand tot het achterste punt/monding werden de nieuwe hoogteliggingen en breedtes van de geulen berekend.

Bij het inbrengen van de geulen in het model werden volgende aannames gemaakt:

- de geulen worden in het model ingebracht als rechthoekige bakken;

- indien de huidige locale topografie lager ligt dan de diepte die door de relatie bekomen wordt, wordt de huidige topografie overgenomen (de geulen worden niet opgevuld);
- de toestand die wordt doorgerekend is de toestand direct na aanleg;
- In het geval waarin , bij de aansluiting van een geul op de hoofdgeul, de hoogteligging in de zijgeul hoger was dan deze in de hoofdgeul werd de hoogteligging van zijgeul handmatig aangepast zodat deze overgang gelijkmatig, en niet met een sprong verliep;
- de D0 waarde voor alle geulen is 0.7;
- De C factor wordt aangenomen op $200 \cdot 10^{-6}$.
- bij het aantakken een geul op een andere geul (waarbij de hoogteliggingen van beide geulen aan de aantakking verschillend zijn) wordt dit verschil geleidelijk in de geul aangebracht.
- De waterhoogte (gebruikt bij het bepalen van de uiteindelijke hoogteligging van de geul) wordt ingeschat voor de verschillende scenario's.
- Bij de scenario's met spuien wordt er uitgegaan van een spuirom van 20 ha in het gebied zelf en wordt er gedurende één uur 200000 m^3 gespuid.

3. OPBOUW VAN HET MIKE 21 MODEL

Voor het volledige gebied van het huidige Zwin en de mogelijke uitbreidingsgebieden werd een 2D hydrodynamisch model opgezet. In het hiernavolgende hoofdstuk wordt de opbouw van het model beschreven.

3.1. Bathymetrie

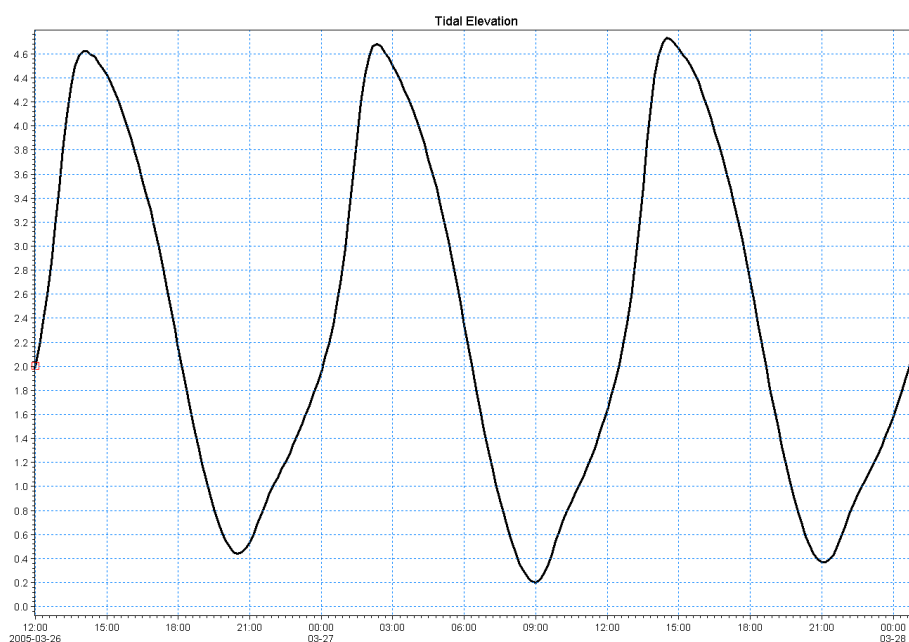
De gebruikte bathymetrie is opgebouwd uit het DHM Vlaanderen (OC Gis (2003), aangevuld met het DHM van het strand (VITO, 2005) en met vooroeverlodingen (AWK, 2003).

Deze DTM werd aangevuld met DGPS metingen uitgevoerd in april 2006 ten einde over nauwkeurige informatie te beschikken over thalweg en dwarsdoorsneden van de belangrijkste geulen in het systeem.

Het model is opgebouwd in mTAW. Dit referentievlak ligt 2.303 meter onder het Nederlandse NAP referentievlak.

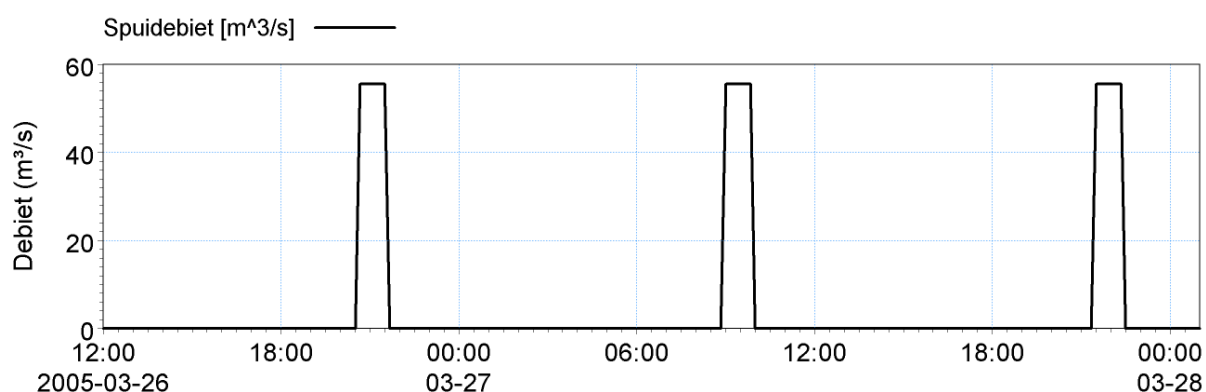
3.2. Randvoorwaarden

De zeewaartse open rand ligt langs de isobath -0.5m TAW en lateraal op strandhelling tot duinvoet. Als getijcurve werd een gemiddeld springtij geselecteerd met een maximale waterstand van $4\text{m}73$ TAW, als opwarming werden twee voorafgaande getijden meegenomen (figuur 3-1). Deze waterstanden werden opgemeten te Cadzand tussen 26 maart 2005 12u en 28 maart 2005 01u.



figuur 3-1: Springtij te Cadzand, 27 maart 2005.

Voor de alternatieven met spuien werd een debiettijdsreeks opgelegd met een blokfunctie overeenkomende met een geloosd volume van $200,000\text{ m}^3$ op 1 uur (figuur 3-2). De randvoorwaarden voor het spuien werden in een eerder fase van de studie afgeleid (I/NO/11285/06.170/ktr en I/NO/11285/06.179/RVL).

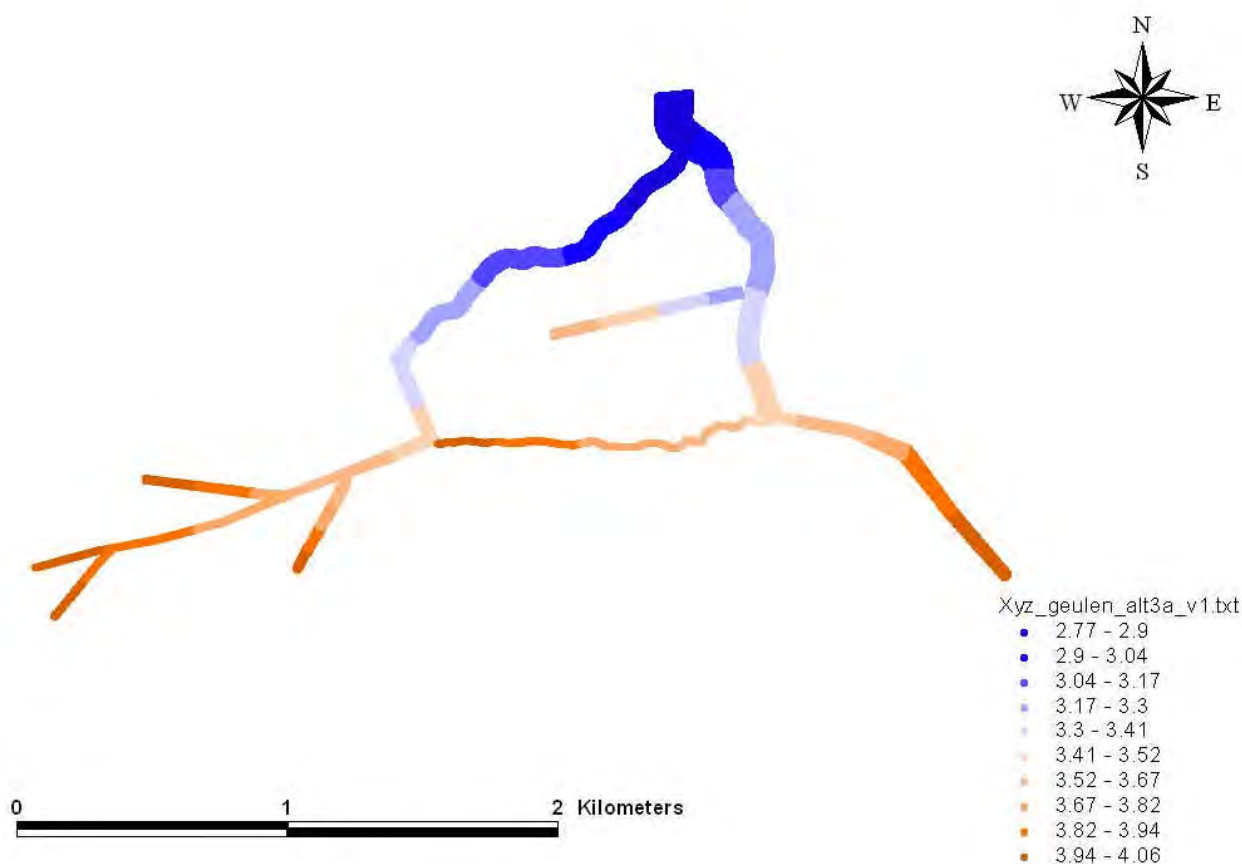


figuur 3-2: Blokfunctie spuidebiet met 55.56 m^3/s gedurende 1 uur.

3.3. Inbrengen van geulen in het systeem

De geulensytemen voor de alternatieven werden steeds afzonderlijk bepaald door ruimtelijke en directionele interpolatie van bodemhoogte en geulbreedte langsheen de thalweg van de huidige geulen. Er werd uitgegaan van een trapeziumvormig profiel.

Na interpolatie van de geulkaracteristieken werd een hoogtemodel weggeschreven dat als basis dient voor de automatische aanpassing van de bathymetrie aan de gewenste eigenschappen van het geulensstelsel (figuur 3-3).



figuur 3-3: Voorbeeld van DTM van het toekomstige geulenstelsel (alternatief 3a).

3.4. Modelomgeving

Het model werd opgezet met MIKE21FM (Flexible Mesh), de variant van MIKE11 waarin met de methode van eindige volumes wordt gerekend. Voor de alternatieven waar met behulp van een kunstwerk een verbinding wordt gelegd tussen Zwin en omliggende polders werd in een MIKE21FM rooster een koppeling gelegd met behulp van MIKE FLOOD waarin een MIKE11 model de waterstanden in en debieten door de structuur doorrekent, de communicatie van beide modellen gebeurt door de MIKE FLOOD module.

In eerste instantie wordt het stromingsveld met bijhorende waterstand in MIKE21FM berekend op tijdstap n , vervolgens wordt een extrapolatie gemaakt van dit stromingsveld op tijdstap $n+1/2$. De waterstanden voor deze 'interim' tijdstap wordt doorgegeven aan MIKE11 en gebruikt voor op- en afwaartse rand voor het 1D model, waarna het debiet doorheen de structuur berekend wordt. Dit debiet wordt vervolgens evenredig verspreid over een lijn in het 2D model, en wordt dus vertaald naar een stroomsnelheid, dit rekeninghoudend met de waterdiepte.

3.4.1. Rekenroosters

Mike21Fm heeft als voordeel dat het rekenrooster is opgebouwd uit driehoekig elementen van variabele afmetingen. Dit voordeel werd geëxploiteerd door de thalweg van zo veel mogelijk geulensystemen in de structuur van het rooster vast te leggen en op die manier vermijden dat smalle geulen worden geblokkeerd door interpolatie tussen geuloevers. Verder werd de resolutie van het rekenrooster variabel gemaakt met elementen van 30m op de platen en elementen van 4 a 5m in en rond de geulen.

3.4.2. Veronderstellingen

Volgende punten werden verondersteld:

- Constante bodemruwheid: Manning coëfficiënt $M=32 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$.
- De invloed van dichtheitsgradienten is verwaarloosbaar (barotropisch).
- Turbulente viscositeit wordt bepaald door het sub-gridscale model van Smagorinsky, met constante Smagorinsky-coëfficiënt $cs=0.28$.
- De schuifspanning aan het wateroppervlak ten gevolge van wind zijn werd niet meegenomen.
- De roosterdichtheid ter hoogte van kleine geulen is voldoende om in het volledige geulensysteem van het Zwin te laten functioneren in het model.
- Een element valt droog bij waterdiepte lager dan 0.25 cm en wordt weer in de berekening opgenomen na stijging van de waterdiepte tot 5 cm.
- Overdracht van momentum tussen de 1D en 2D modellen kan worden verwaarloosd.

4. HYDRODYNAMISCHE BESPREKING VAN DE VERSCHILLENDE SCENARIO'S

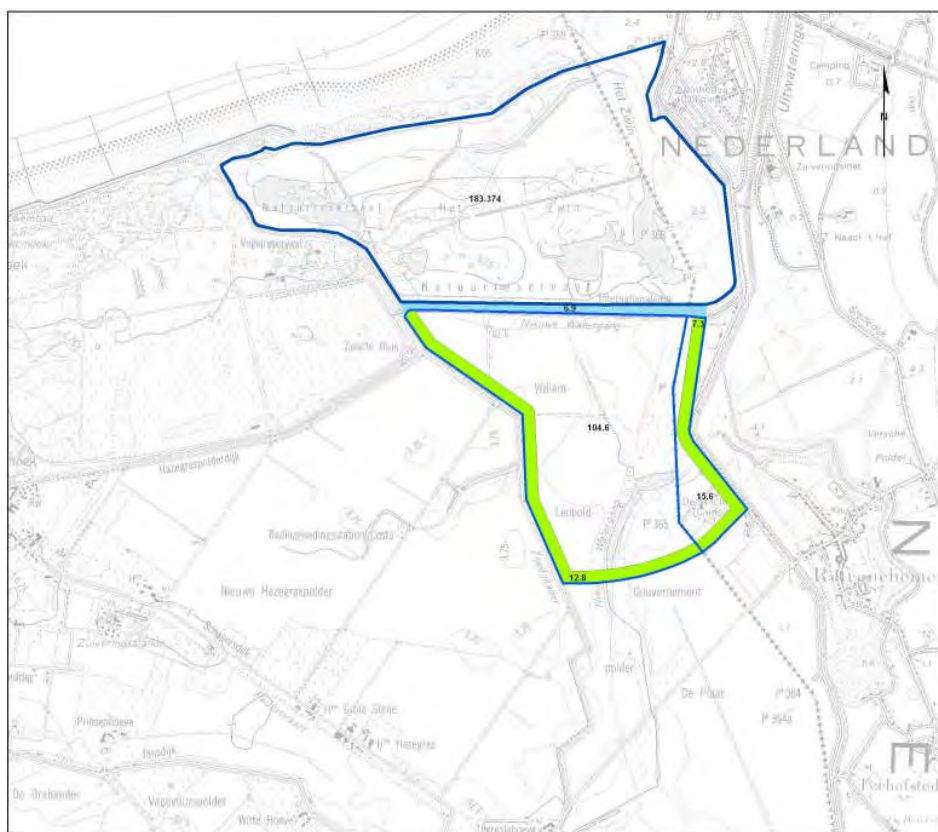
4.1. Scenario 1a/1b

De alternatieven 1a en 1b voorzien in een uitbreiding van het Zwin met de Willem Leopoldpolder ten zuiden van de Internationale Dijk met een oppervlakte van 120 ha, inclusief de primaire zeeverende dijk rond het ontpolderde gedeelte.

De Internationale Dijk wordt afgegraven tot op een hoogte van 4m10 TAW; de kruin van de dijk rond het nieuwe intergetijdegebied werd op 11m10 TAW geplaatst.

Het getijprisma stijgt met 660000 m³ tot 930000 m³. De uitbreiding met de Willem Leopoldpolder zorgt voor een verhoging van 525000 m³. De resterende extra m³ vinden hun oorsprong in het verder verdiepen en verbreden van de geulen in het Zwin.

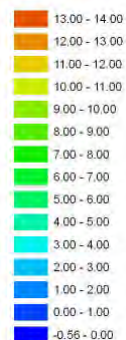
Alternatief 1a houdt geen spuien met zoet water in, alternatief 1b wel.



figuur 4-1 alternatief 1a

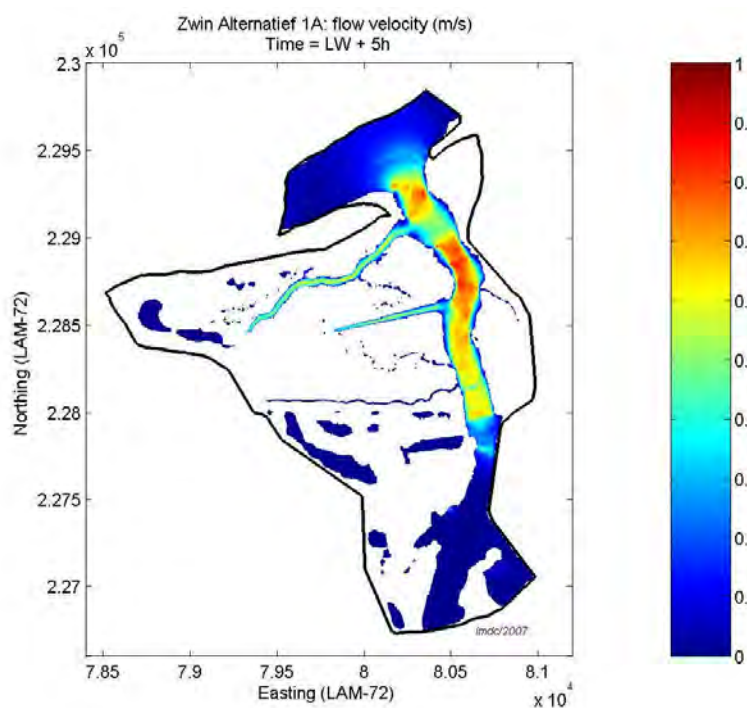
4.1.1. Gemodelleerde bathymetrie

De onderstaande figuur geeft de gebruikte bathymetrie bij het doorrekenen van het scenario 1a. De hoofdgeul wordt doorgetrokken tot in de Willem Leopoldpolder, en in de lager gelegen delen van de Willem Leopoldpolder worden een drietal eilandjes met een hoogte van 4.10 mTAW voorzien teneinde reliëf te creëren in het gebied.

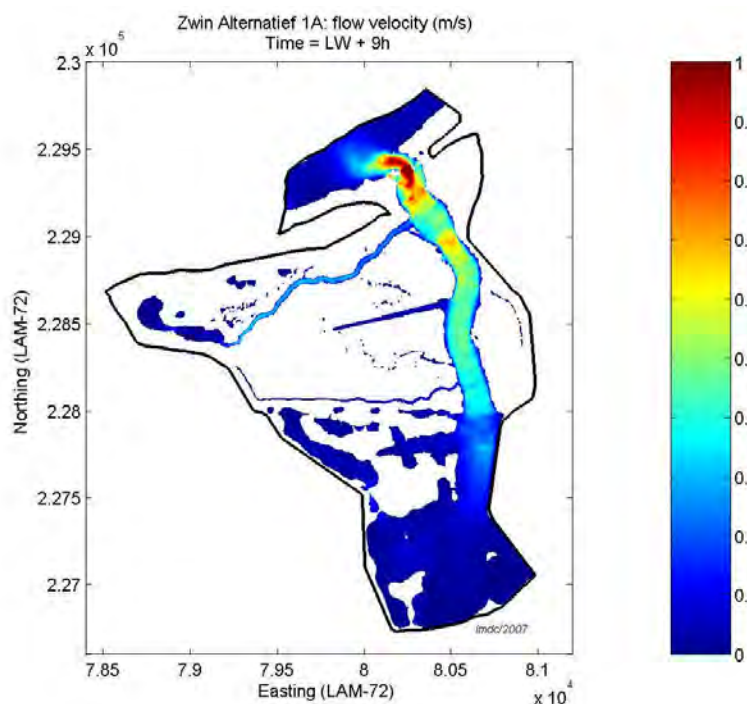


4.1.2. Stroomsnelheid

De vloedperiode is kort en gaat gepaard met snelheden tot 0.9 m/s; de ebperiode is langer uitgesmeerd over de tijd en vertoont lagere snelheden, maar met lokaal hoge maxima in de monding.



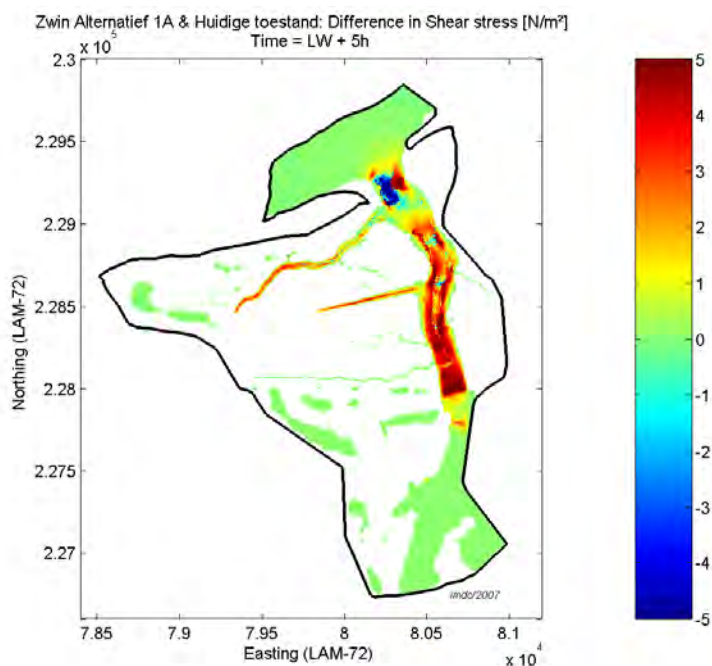
figuur4-3 maximum vloedsnelheid bij alternatief 1a



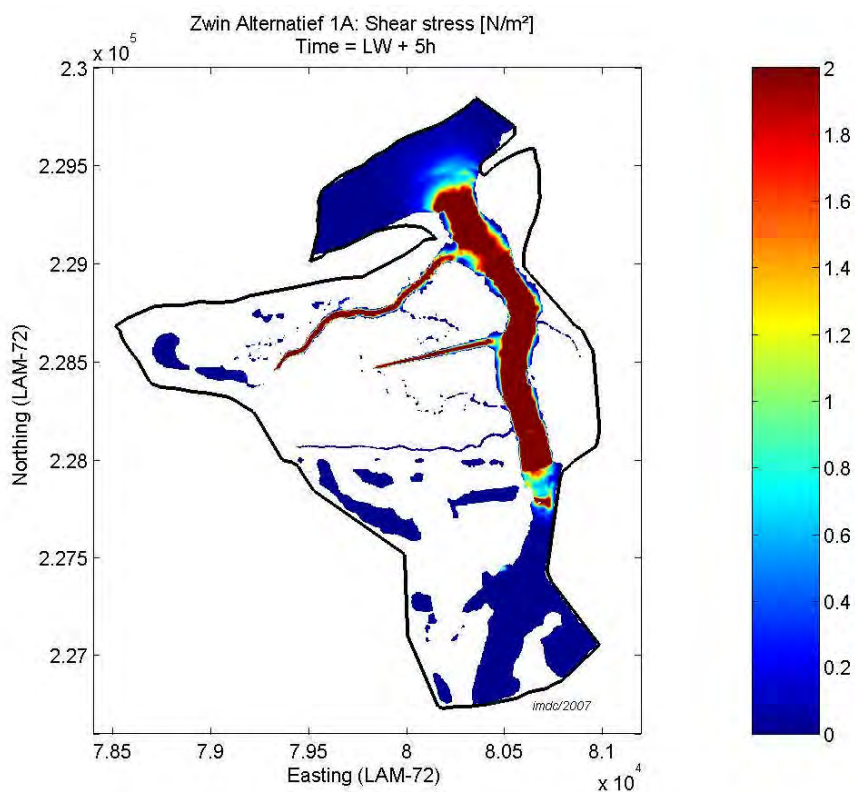
figuur 4-4 maximum eb snelheid bij alternatief 1a

4.1.3. Schuifspanning

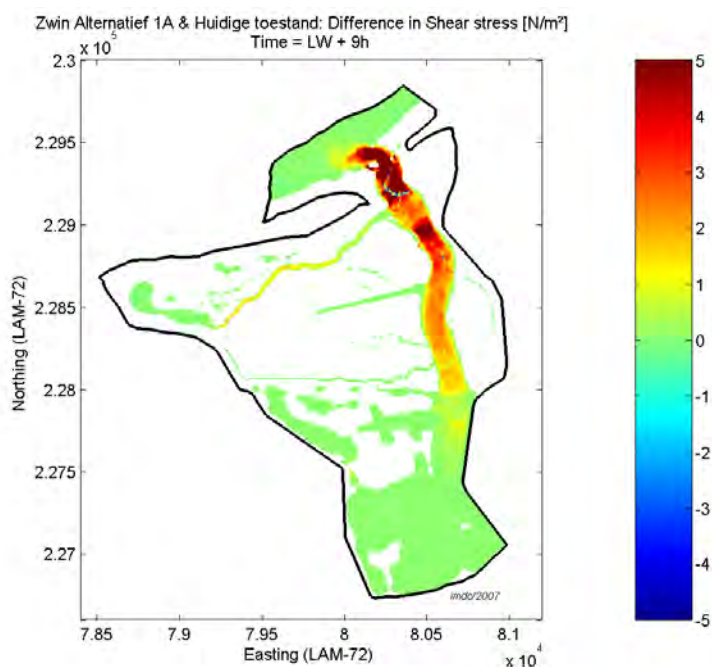
De schuifspanning verhoogt in vergelijking met de huidige toestand, op enkele uitzonderingen na: door het uitgraven van geul B en het wegnemen van de hindernissen verlaagt de schuifspanning lokaal. Ook in de hoofdgeul zijn verlagingen van de schuifspanning te zien. Tijdens vloed verhoogt de schuifspanning in de hoofdgeul en de geulen B en D gevoelig (tot 5 N/m² hoger). Ook tijdens eb verhoogt de schuifspanning in de hoofdgeul tot 5N/m². De veranderingen van de schuifspanning blijven beperkt tot de geulen en de zones in de onmiddellijke nabijheid van de geulen.



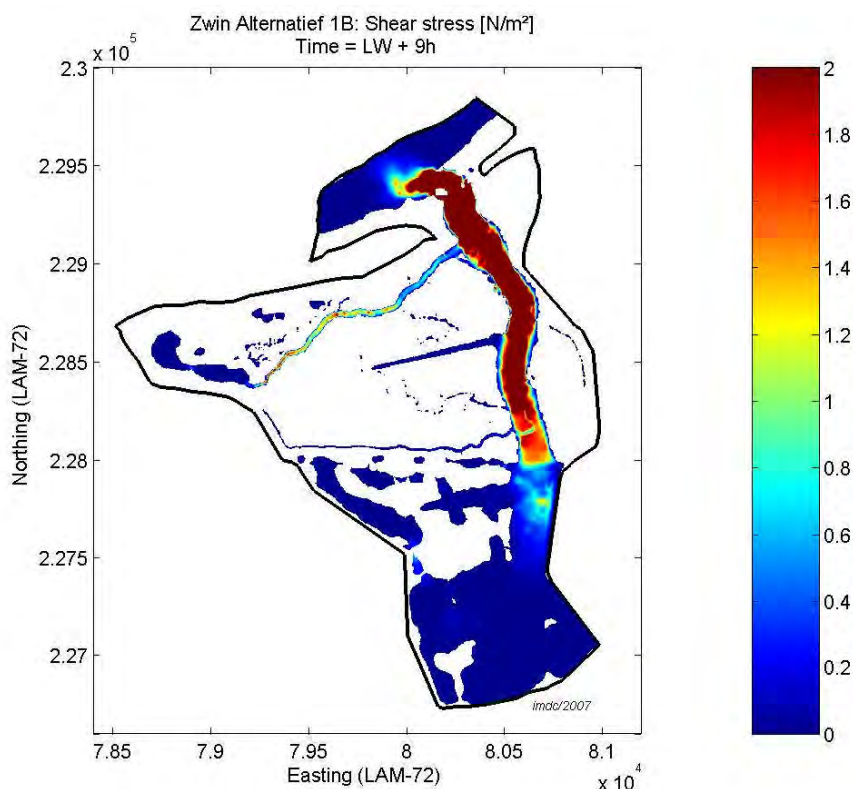
figuur 4-5 verschil in schuifspanning tussen de huidige toestand en het scenario 1a, bij het begin van instroming



figuur 4-6 schuifspanning voor alternatief 1a, 5 uur na laagwater



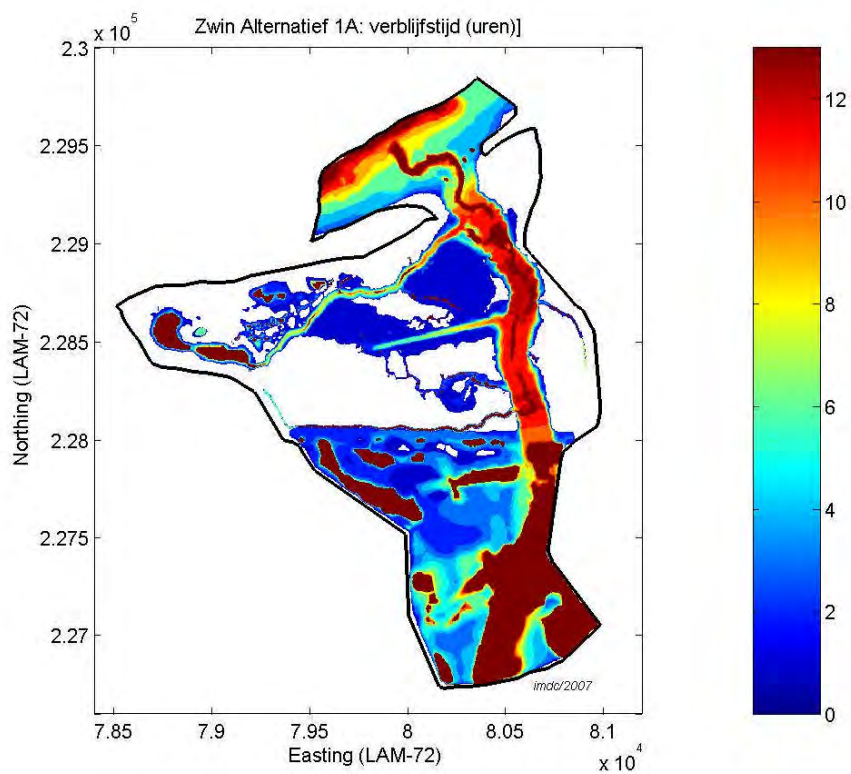
figuur 4-7 verschil in schuifspanning tussen de huidige toestand en het scenario 1a, bij uitstroming



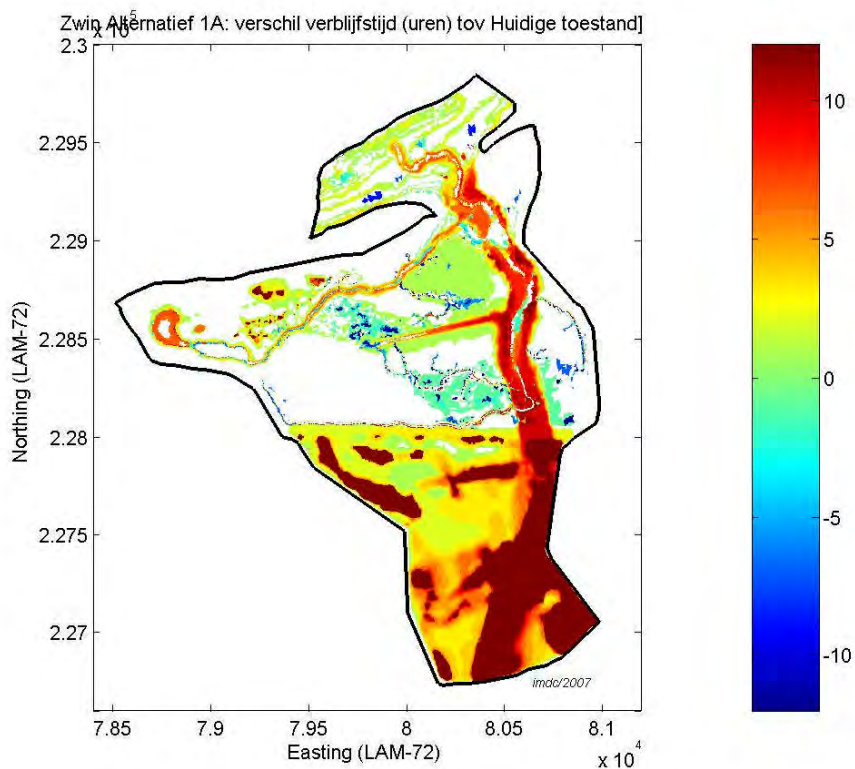
figuur 4-8 schuifspanning voor alternatief 1a, 9 uur na laag water

4.1.4. Overstromingsduur

De overstromingsduur wordt gedefinieerd als het aantal uren dat de waterhoogte op een bepaalde plaats hoger is dan 10 cm. figuur 4-10 geeft het verschil in overstromingsduur met de huidige toestand, figuur 4-9 geeft de overstromingsduur voor het alternatief 1a. Door de lagere gelegen ligging van de Willem Leopoldpolder (de gemiddelde hoogte in de polder bedraagt ongeveer 3.5-4 mTAW in de polder zelf, en ongeveer 2.5-3 TAW in de geulen) blijft er een groot gedeelte van de Willem Leopoldpolder langdurig onder water. Het betreft hier voornamelijk de reeds in het landschap bestaande geulen (de zogenaamde Nieuwe Waterweg). Indien men gaat vergelijken met de huidige toestand dan vergroten de overstromingsduren in de zones van de Westelijke Meertjes (door het vrijmaken van geul B) en in de zone tussen geul B en geul D (door het afgraven van de hogergelegen schorren)



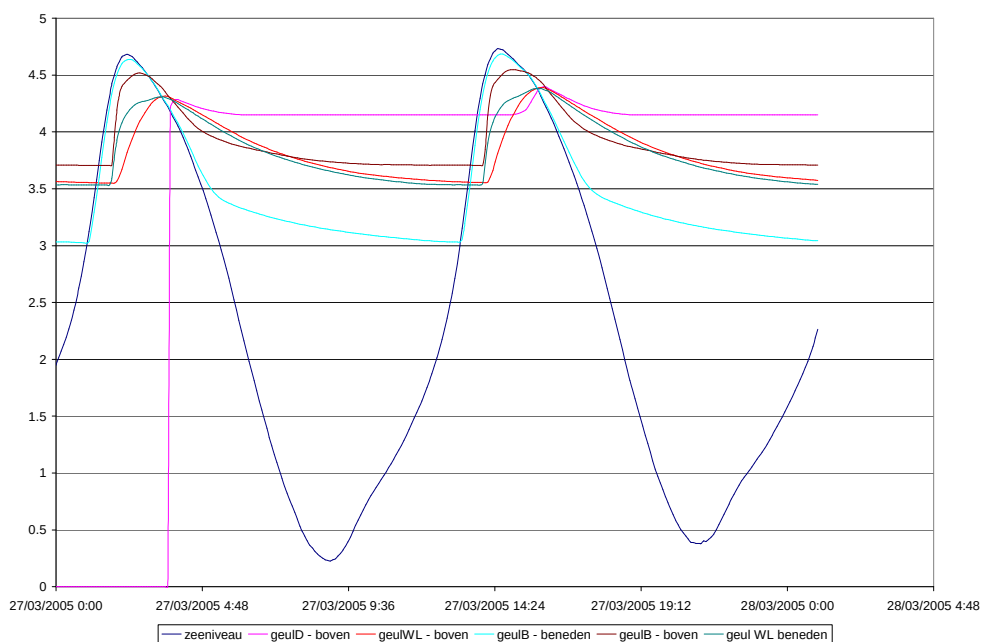
figuur 4-9 overstromingsduur voor alternatief 1a



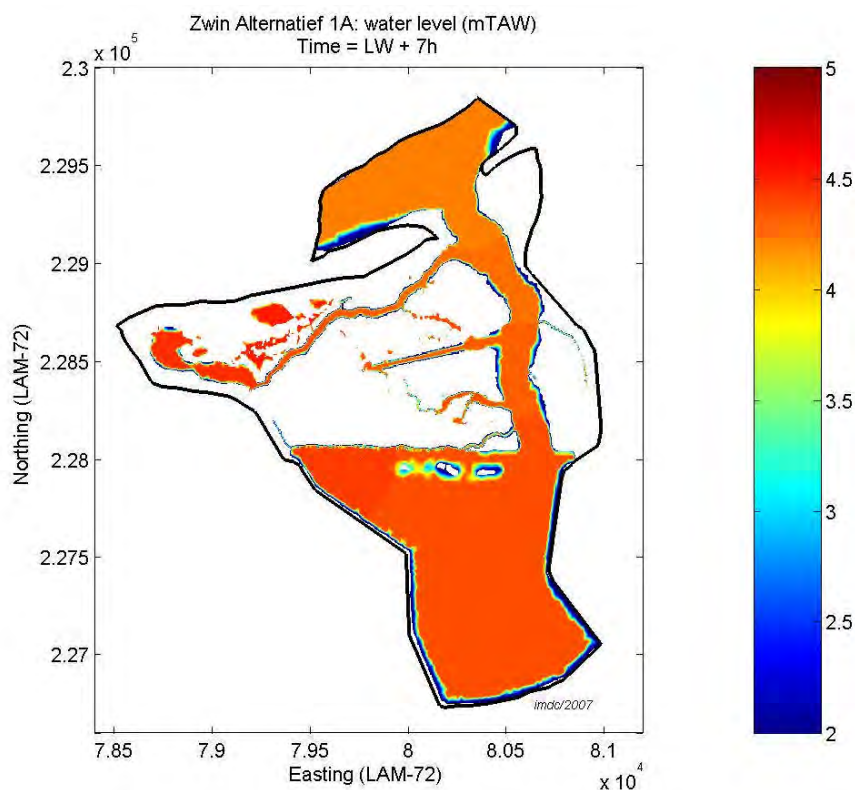
figuur 4-10 verschil in overstromingsduur ten opzichte van de huidige toestand

4.1.5. Waterstand

De maximale waterstand in het gebied wordt bereikt op 6-7 h na LW, vlak voor het uitstromen begint. De Willem Leopoldpolder loopt ongeveer een uur achter op het Zwin. De waterstand in de Willem Leopoldpolder bereikt een maximum op 4.4 mTAW.



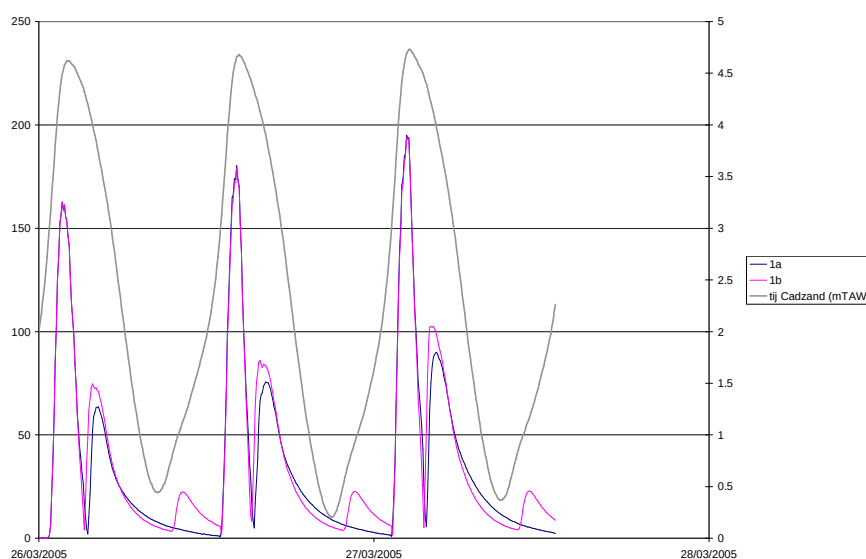
figuur 4-11 waterstand voor geul B, geul D en de geul in de Willem Leopoldpolder.



figuur 4-12 waterhoogte op 7 h na LW, wanneer het uitstromen begint

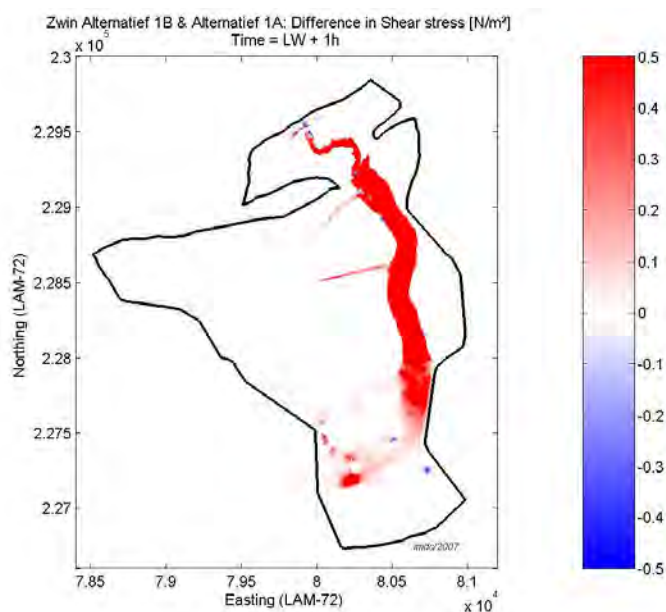
4.1.6. Effect van het spuien

figuur 4-13 geeft het debiet door de monding voor de alternatieven 1a en 1b, respectievelijk zonder en met spuien. Doordat het spuibekken in het gebied is ingebracht vermindert de komberging van het gebied, wat de toename in uitstroomvolume door het spuien enigszins nuanceert. De verhoging in het uitstroomvolume bedraagt ongeveer 120000 m³ ten opzichte van de scenario's zonder spuien. Het feit dat er geen volledige verhoging met 200000 m³ kan gezien worden kan enerzijds verklaard worden door het feit dat het spuibekken in het gebied zelf gelegen is (wat de komberging ten opzichte van de scenario's zonder spuien verlaagd) en anderzijds zoals in de figuur kan gezien worden door het feit dat het spuivolume niet de volledige tijd heeft om uit te stromen.



figuur 4-13 debiet door de monding voor simulaties met en zonder spuien

Het spuien veroorzaakt een verhoging in de schuifspanning. Deze verhoging is merkbaar over de volledige geul, zoals kan gezien worden in figuur 4-14.



figuur 4-14 verhoging in de schuifspanning ten gevolge van het spuien

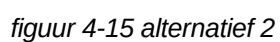
4.2. Scenario 2c/2d

De alternatieven 2c en 2d voorzien in een uitbreiding van het Zwin met de Willem Leopoldpolder ten zuiden van de Internationale Dijk met een oppervlakte van 180 ha, inclusief de primaire zeeverende dijk rond het ontpolderde gedeelte.

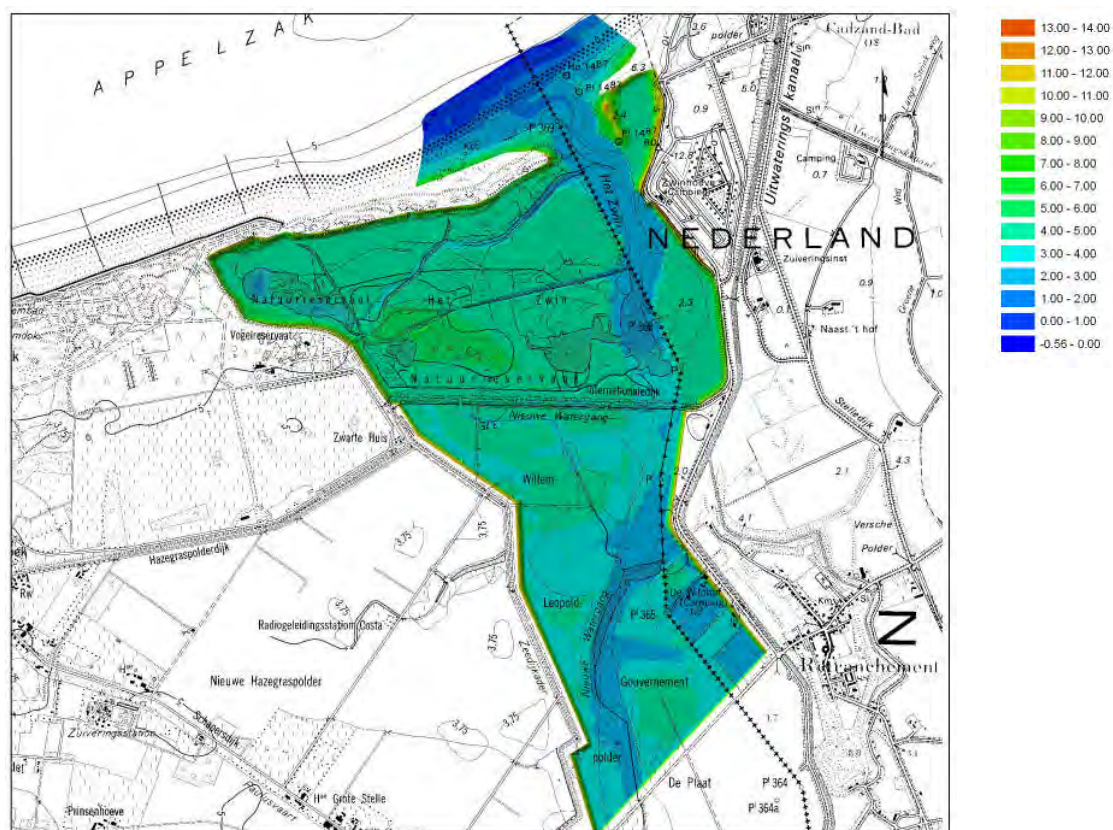
De Internationale Dijk wordt afgegraven tot op een hoogte van 4m10 TAW; de kruin van de dijk rond het nieuwe intergetijdegebied werd op 11m10 TAW geplaatst.

Het getijprisma stijgt met 1.3 Mio m³ tot 1.57 Mio m³. De uitbreiding met de Willem Leopoldpolder zorgt voor een verhoging van 950000 m³. De resterende extra m³ vinden hun oorsprong in het verder verdiepen en verbreden van de geulen in het Zwin.

Alternatief 2c houdt geen spuien met zoet water in, alternatief 2d wel.



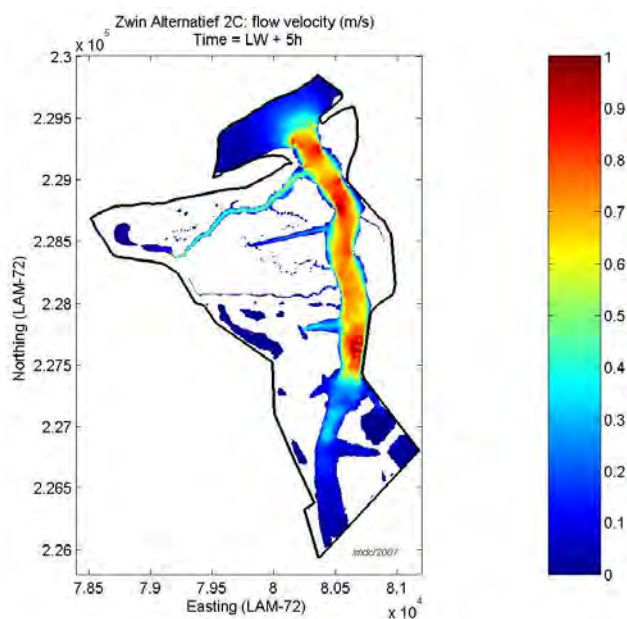
Figuur 4-16 geeft de gebruikte bathymetrie bij het doorrekenen van het alternatief 2 mee.



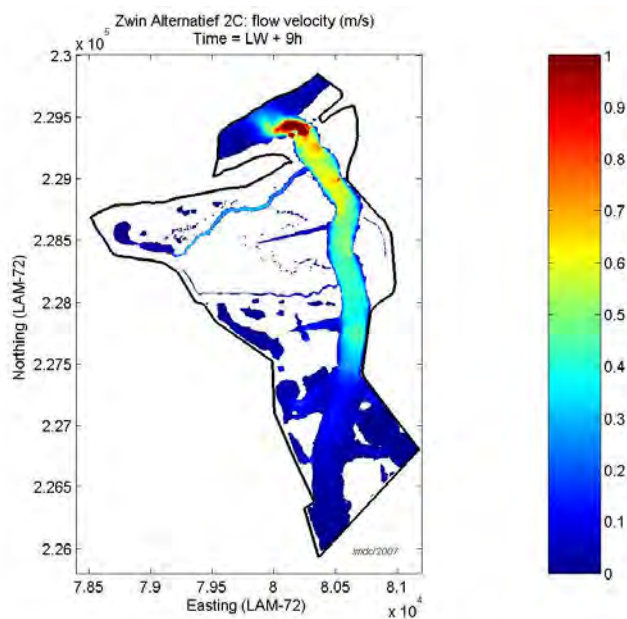
Figuur 4-16 gebruikte bathymetrie bij het doorrekenen van scenario 2

4.2.2. Stroomsnelheid

De stroomsnelheid bij instromen is maximaal op 5 uur na laagwater, en bereikt snelheden tot 1 m/s. Tijdens het uitstromen wordt de maximale snelheid bereikt op 8 – 9 uur na laagwater. De stroomsnelheden in de hoofdgeul zijn lager en bereiken snelheden tot 0.6 m/s.



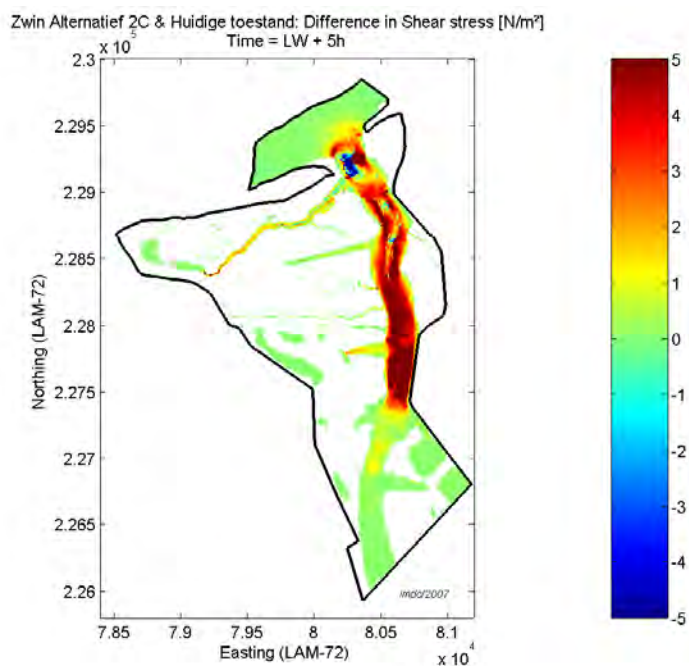
figuur 4-17 maximale stroomsnelheid tijdens vloed voor scenario 2



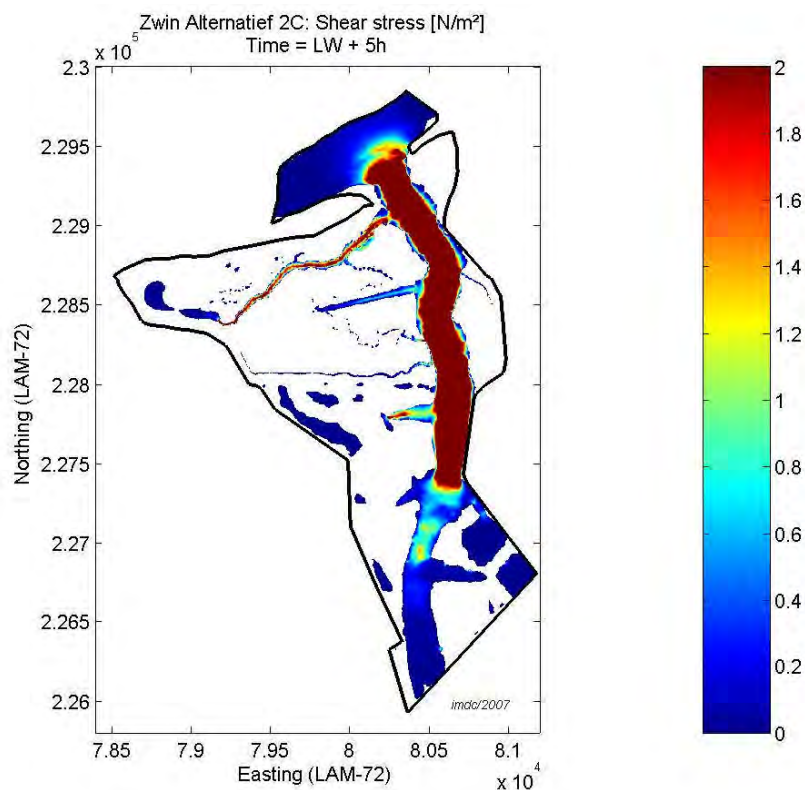
figuur 4-18 maximale stroomsnelheid tijdens eb voor scenario 2

4.2.3. Schuifspanning

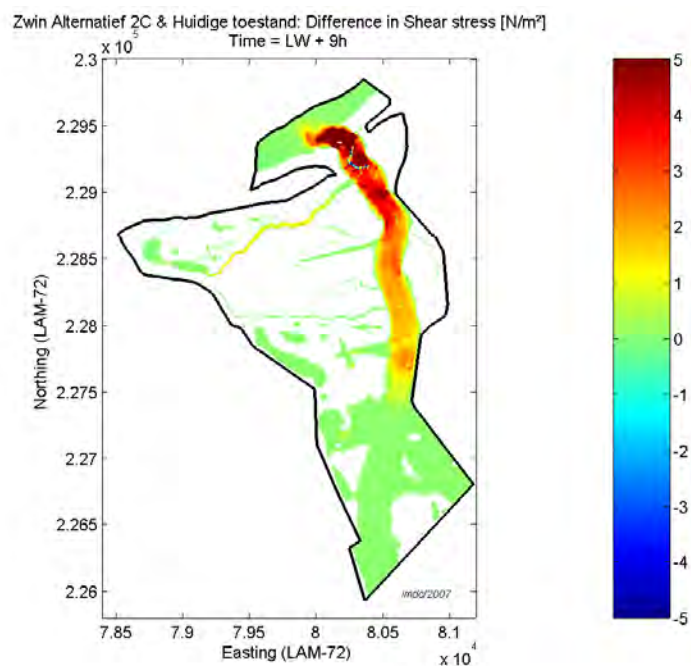
De schuifspanning verhoogt in vergelijking met de huidige toestand, op enkele uitzonderingen na: in de hoofdgeul zijn verlagingen van de schuifspanning te zien. Tijdens vloed verhoogt de schuifspanning in de hoofdgeul en de geulen B en D gevoelig (tot 5 N/m² hoger). Ook tijdens eb verhoogt de schuifspanning in de hoofdgeul tot 5 N/m². De veranderingen van de schuifspanning blijven beperkt tot de geulen en de zones in de onmiddellijke nabijheid van de geulen.



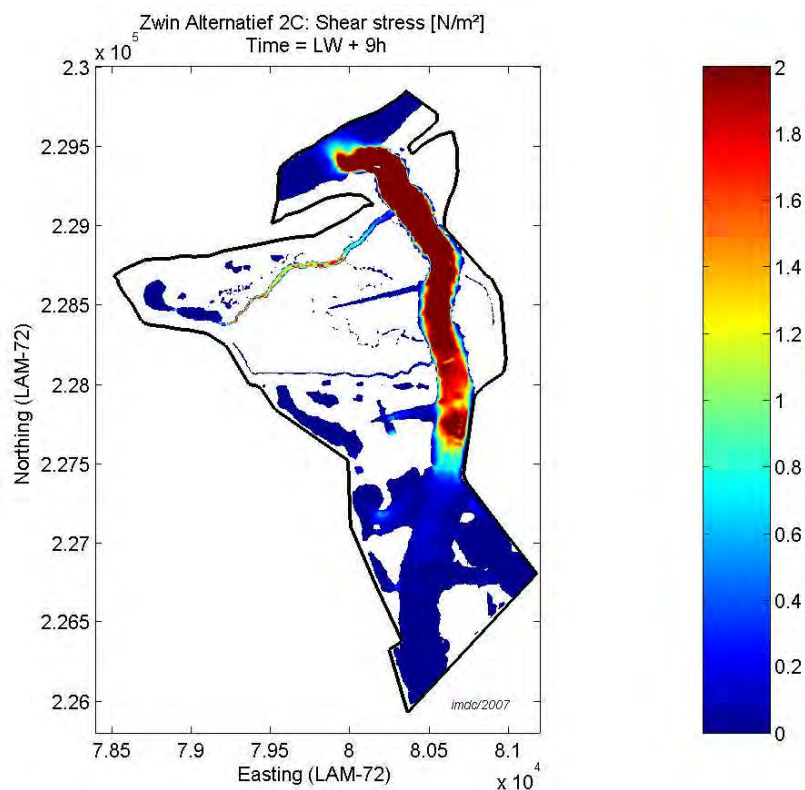
figuur 4-19 verschil in schuifspanning tussen de huidige toestand en het alternatief 2, 5 uur na laag water



figuur 4-20 schuifspanning voor alternatief 2, 5 uur na laag water



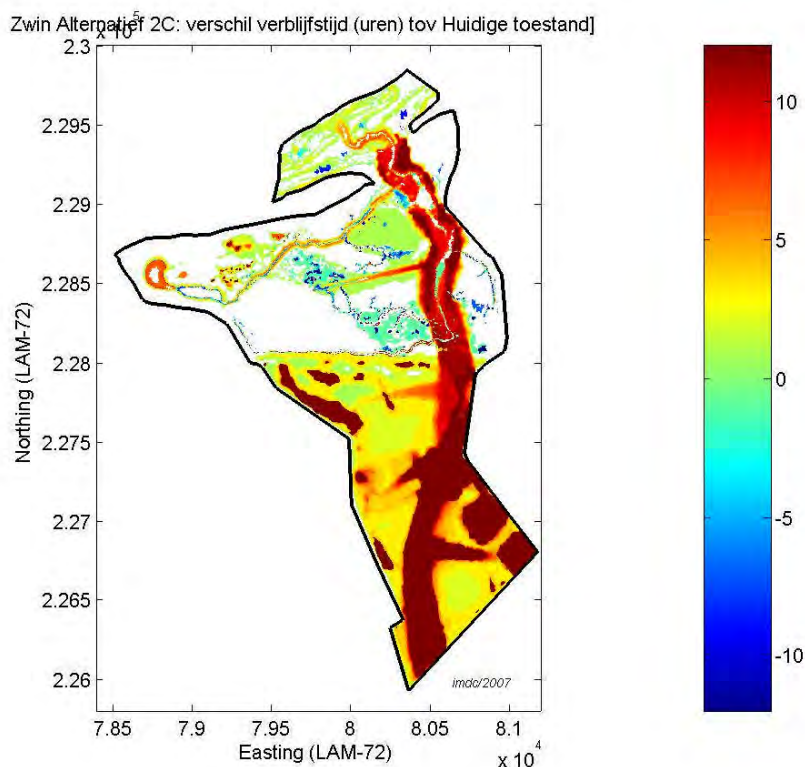
figuur 4-21 verschil in schuifspanning tussen de huidige toestand en het alternatief 2, 9 uur na laag water



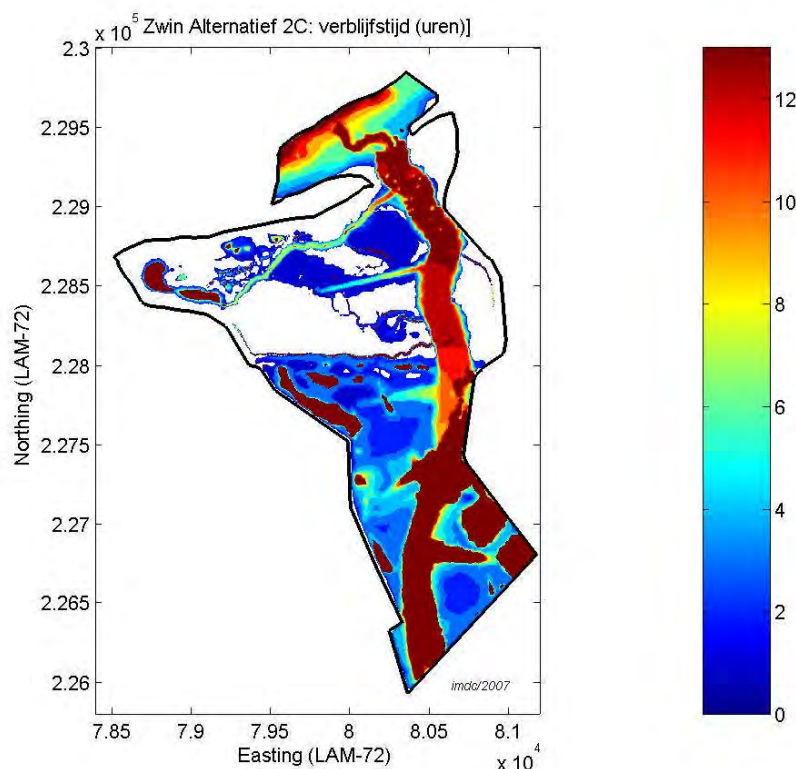
figuur 4-22 schuifspanning voor alternatief 2, 9 uur na laag water

4.2.4. Overstromingsduur

De overstromingsduur wordt gedefinieerd als het aantal uren dat de waterhoogte op een bepaalde plaats hoger is dan 10 cm. figuur 4-23 geeft het verschil in overstromingsduur met de huidige toestand, figuur 4-9 geeft het verschil met de huidige toestand. Door de lagere gelegen ligging van de Willem Leopoldpolder (de gemiddelde hoogte in de polder bedraagt ongeveer 3.5-4 mTAW in de polder zelf, en ongeveer 2.5-3 TAW in de geulen) blijft er een groot gedeelte van de Willem Leopoldpolder langdurig onder water. Het betreft hier voornamelijk de reeds in het landschap bestaande geulen (de zogenaamde Nieuwe Waterweg). Indien men gaat vergelijken met de huidige toestand dan vergroten de overstromingsduren in de zones van de Westelijke Meertjes (door het vrijmaken van geul B) en in de zone tussen geul B en geul D (door het afgraven van de hogergelegen schorren)



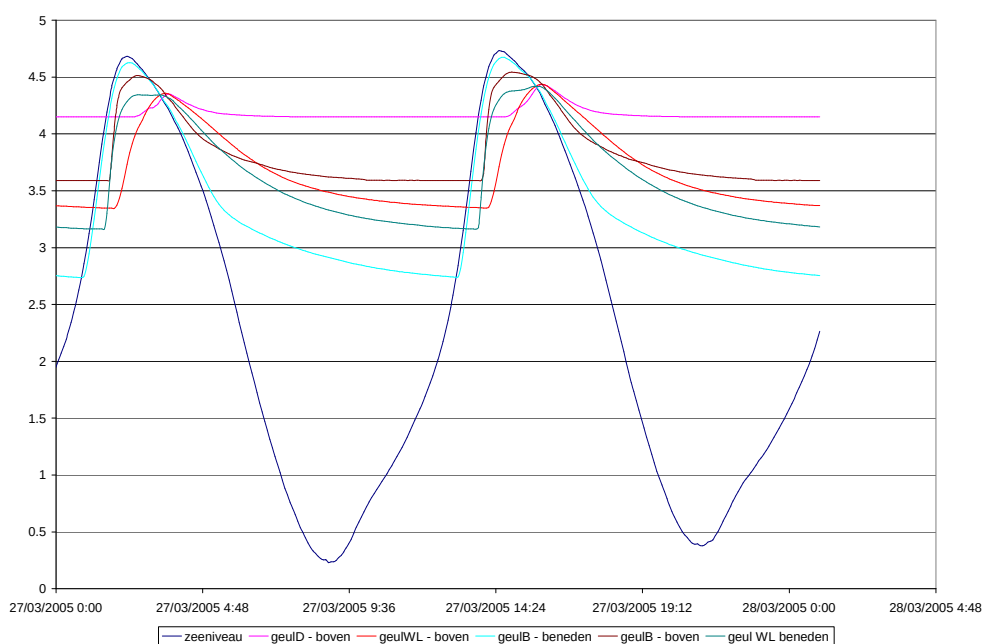
figuur 4-23 overstromingsduur ten opzichte van de huidige toestand voor scenario 2



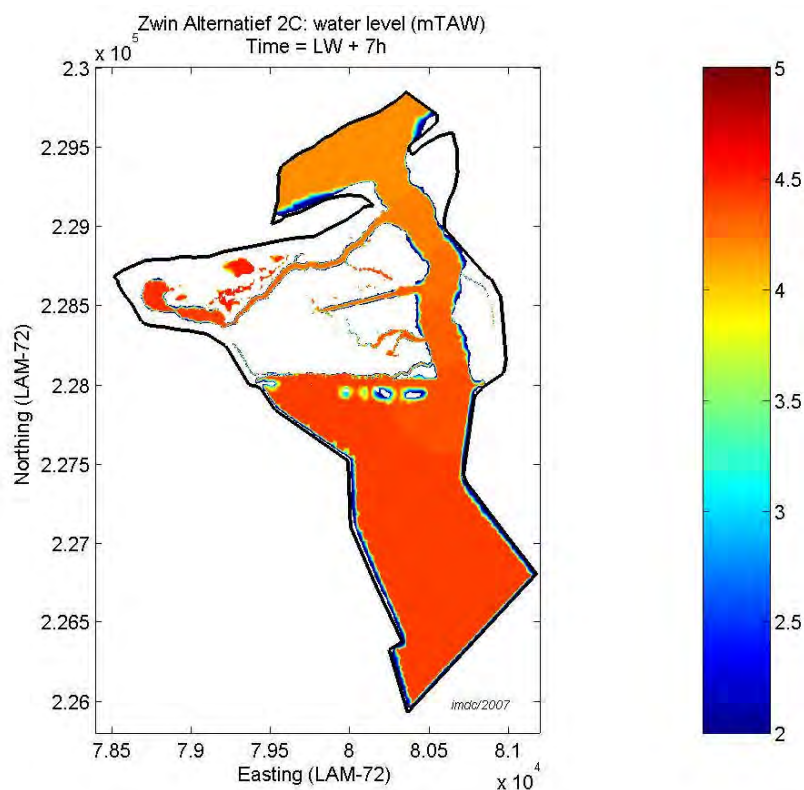
figuur 4-24 overstromingsduur voor alternatief 2

4.2.5. Waterstand

De maximale waterstand in het gebied wordt bereikt op 6-7 h na LW, vlak voor het uitstromen begint. De Willem Leopoldpolder loopt ongeveer een uur achter op het Zwin. De waterstand achter in de Willem Leopoldpolder bereikt een maximum op 4.4 mTAW.



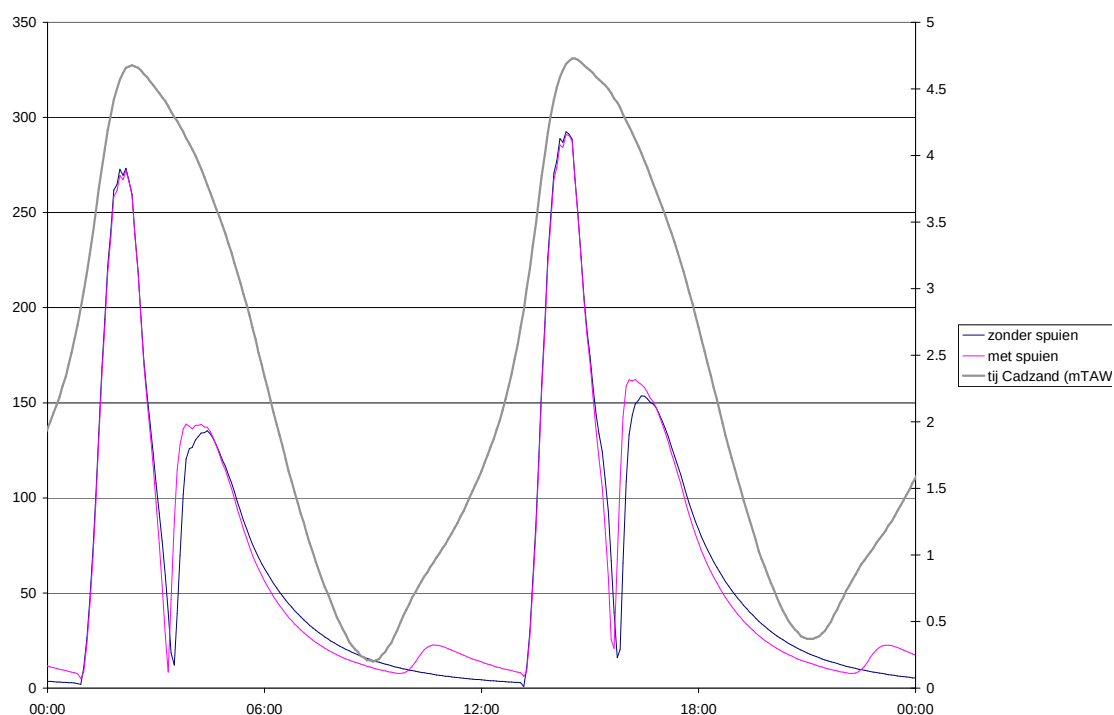
figuur 4-25 waterstand voor geul B, geul D en de geul in de Willem Leopoldpolder.



figuur 4-26 waterstand in het volledige gebied, voor het alternatief 2 op 7 uur na LW

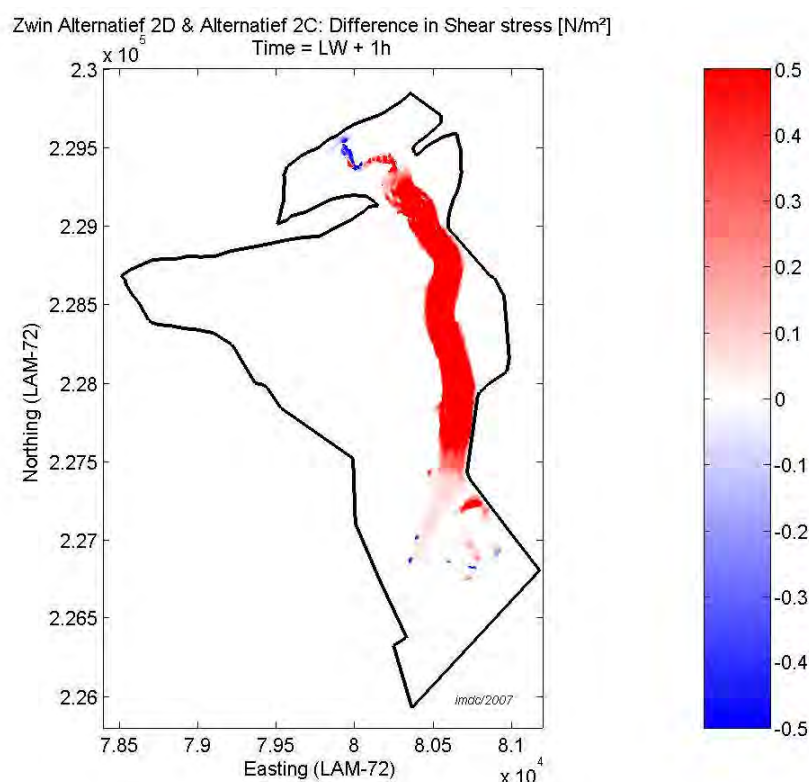
4.2.6. Effect van het spuien

figuur 4-27 geeft het debiet door de monding voor de alternatieven 2c en 2c, respectievelijk met en zonder spuien. Doordat het spuibecken in het gebied is ingebracht vermindert de komberging van het gebied, wat de toename in uitstroomvolume door het spuien enigszins nuanceert. De verhoging in het uitstroomvolume bedraagt ongeveer 115000 m^3 ten opzichte van de scenario's zonder spuien. Het feit dat er geen volledige verhoging met 200000 m^3 kan gezien worden kan enerzijds verklaard worden door het feit dat het spuibecken in het gebied zelf gelegen is (wat de komberging ten opzichte van de scenario's zonder spuien verlaagd) en anderzijds zoals in de figuur kan gezien worden door het feit dat het spuivolume niet de volledige tijd heeft om uit te stromen.



figuur 4-27 debiet door de monding voor simulaties met en zonder spuien

Het spuien veroorzaakt een verhoging in de schuifspanning. Deze verhoging is merkbaar over de volledige geul, zoals kan gezien worden in figuur 4-28.



figuur 4-28 verhoging van de schuifspanning ten gevolge van spuien

4.3. Scenario 3a

In het scenario 3a wordt de Kleyne Vlakte aangesloten op Het Zwin ter hoogte van de bocht in de huidige geul D in het Zuidwesten van het huidige Zwin. Geul B werd echter verlengd en diende als voornaamste verbinding met de hoofdgeul en De Noordzee wegens de kortere aanvoerroute voor zout water bij vloed. Deze verbinding heeft de volgende karakteristieken:

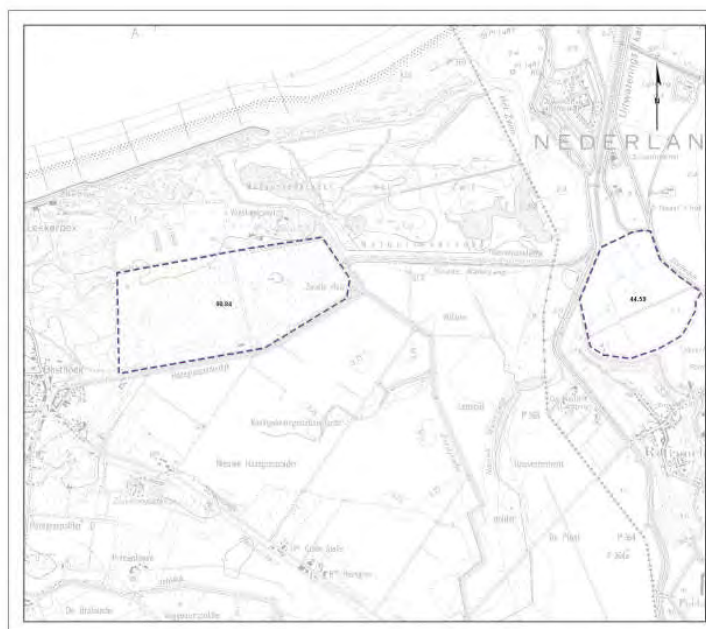
- 8 buizen;
- 2m breed en 2m hoog;
- Debiet verspreid over breedte van 45m;
- Lengte = 35m

Bijkomend werd het Oostelijk deel van de Willem-Leopoldpolder verbonden met het Zwin via een sifonnering onder het Retrachementkanaal.

De sifon naar de Oostelijke Willem Leopold Polder heeft volgende eigenschappen:

- 8 buizen;
- 2m breed en 2m hoog;
- Debiet verspreid over breedte van 80m;
- Lengte = 100m

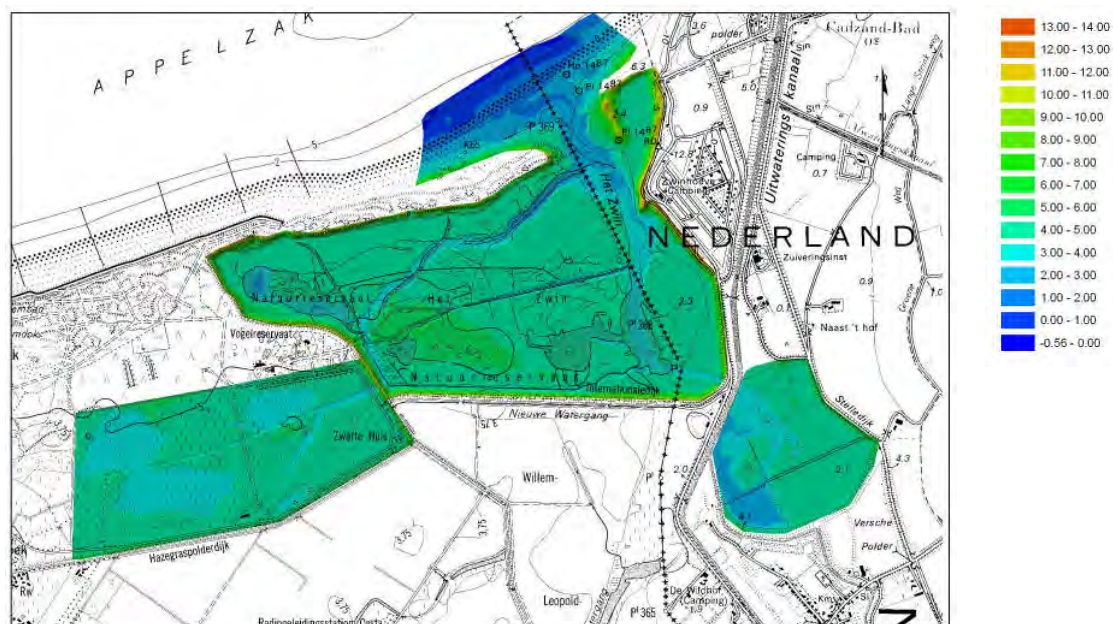
Het getijprisma stijgt met 300000 m³ tot 570000 m³. De uitbreiding met de Kleyne Vlakte zorgt voor een zeer kleine verhoging van 40000 m³. De komberging van de oostelijke Willem Leopoldpolder bedraagt 80000 m³. De hoofdmoot van de extra m³ vinden hun oorsprong in het verder verdiepen en verbreden van de geulen in het Zwin. Het opvullen van de Kleyne Vlakte start zeer laat in de vloed, waardoor ook de komberging niet ten volle kan benut worden.



figuur 4-29 alternatief 3a/b

4.3.1. Gemodelleerde bathymetrie

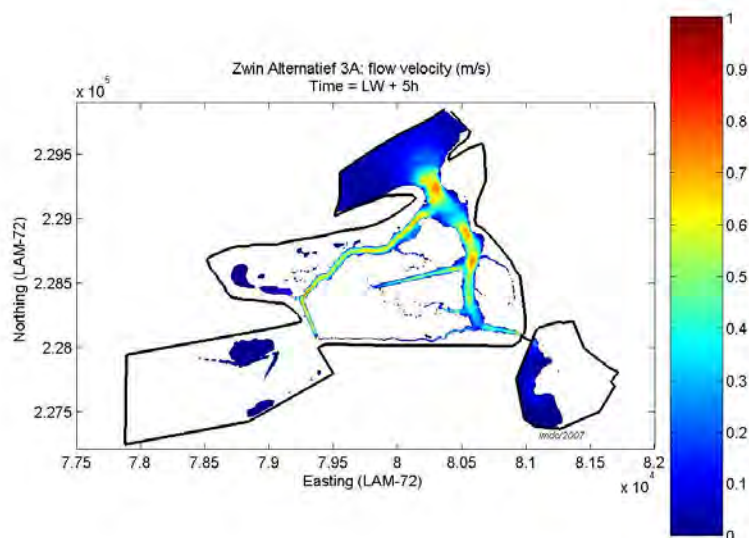
Figuur 4-30 geeft de gebruikte bathymetrie bij het doorrekenen van het scenario 3a.



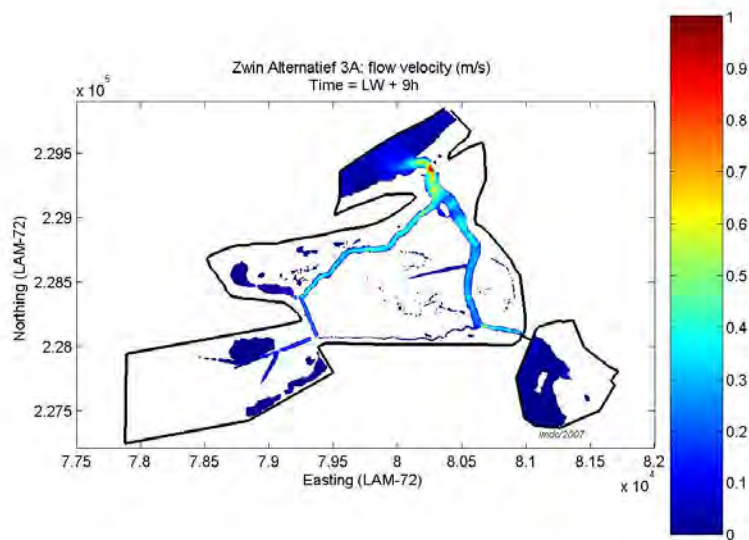
Figuur 4-30 gebruikte bathymetrie bij het doorrekenen van scenario 3a

4.3.2. Stroomsnelheid

De stroomsnelheid bij vloed is maximaal op vijf uur na LW, en bereikt snelheden tot 0.8-0.9 m/s. De maximale stroomsnelheid bij het uitstromen wordt bereikt op 9-10 uur na LW en de maximumwaarde ligt bij 0.4-0.5 m/s.



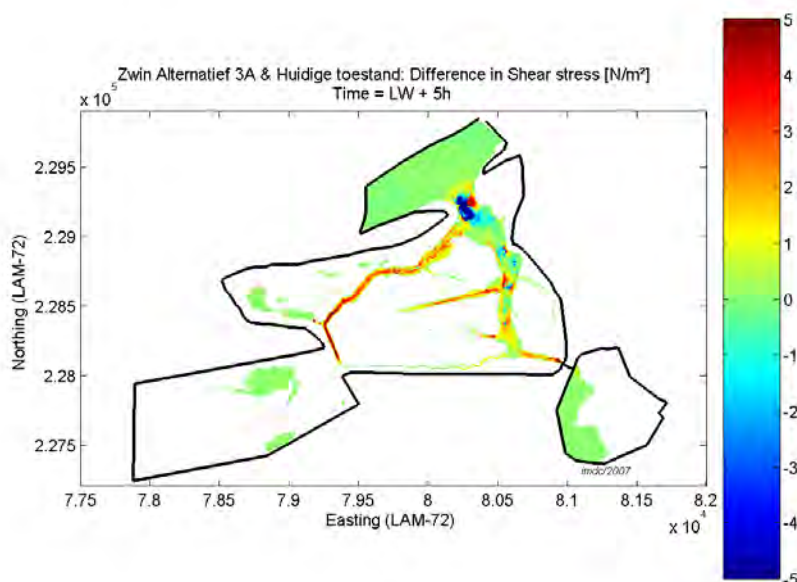
figuur4-31 maximale stroomsnelheid bij instroom voor alternatief 3a



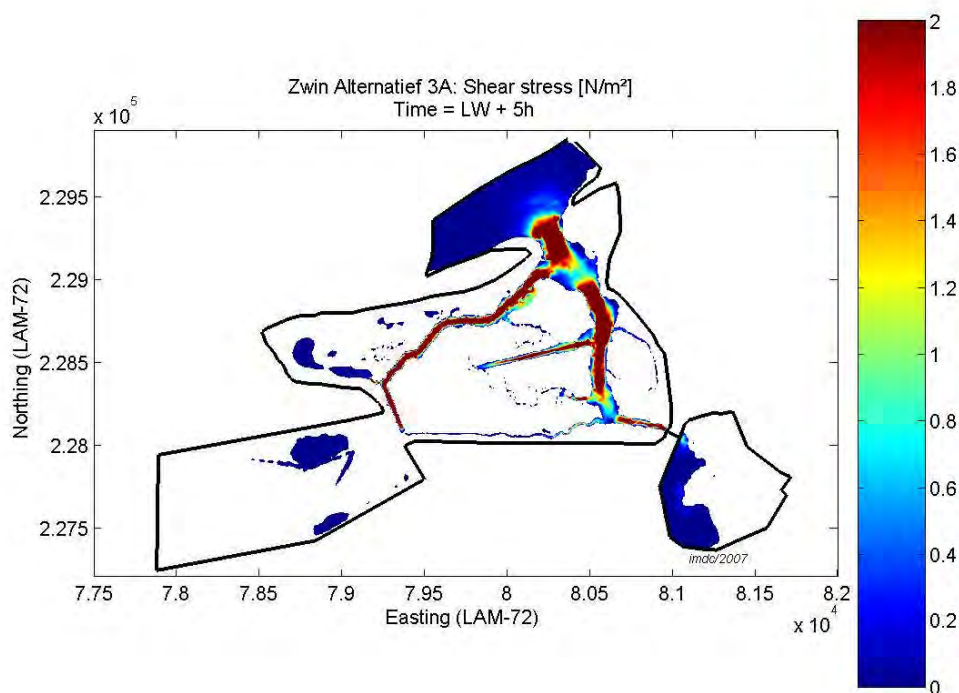
figuur 4-32 maximale stroomsnelheid bij uitstroom voor alternatief 3a

4.3.3. Schuifspanning

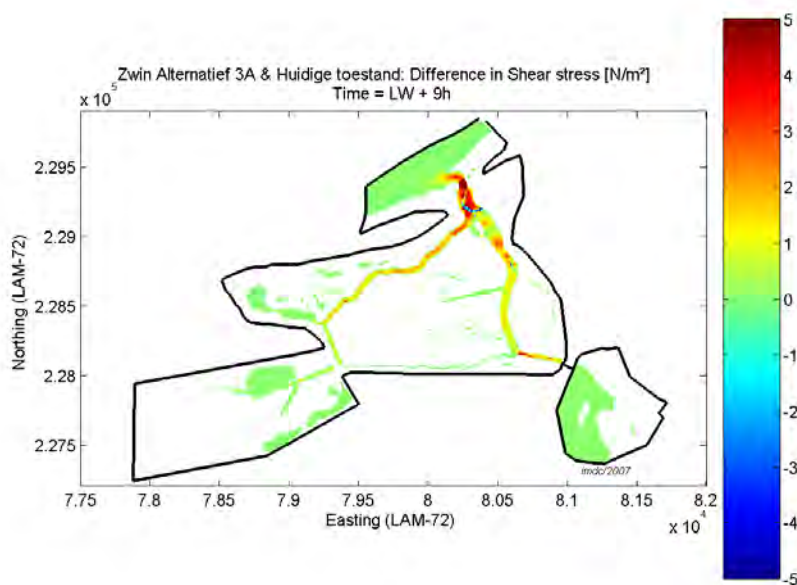
De schuifspanning verhoogt met ongeveer 2-3 N/m² ten opzichte van de huidige toestand. In geul B is een verlaging van de schuifspanning te zien, waarschijnlijk veroorzaakt door het breder maken van de geul en het weghalen van de versperringen.



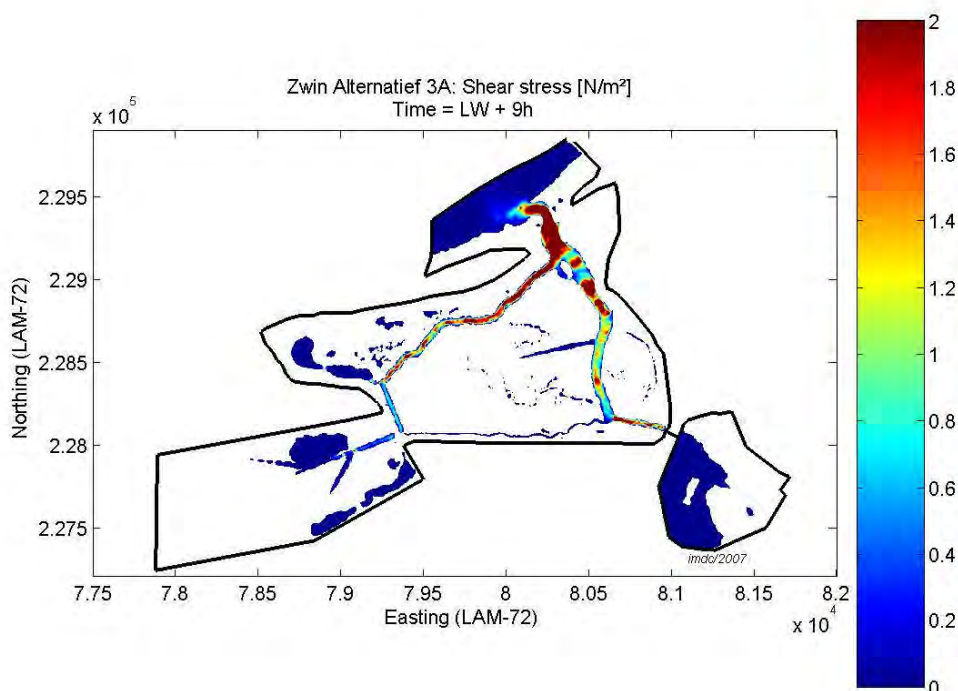
figuur 4-33 verschil in schuifspanning tussen de huidige toestand en alternatief 3a, 5 uur na laag water



figuur 4-34 schuifspanning voor alternatief 3a, 5 uur na laag water



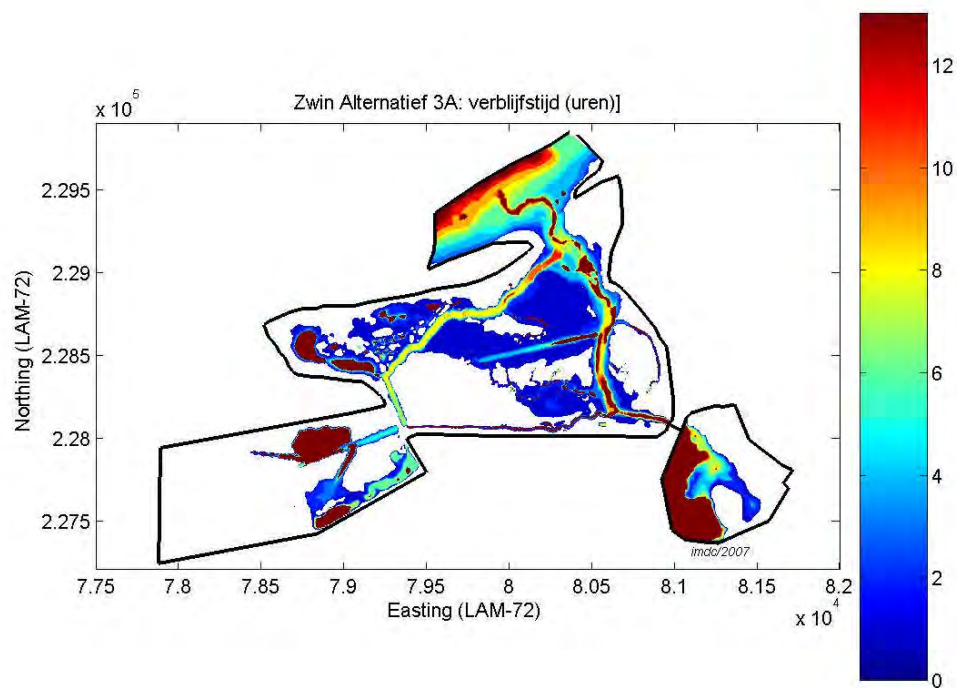
figuur 4-35 verschil in schuifspanning tussen de huidige toestand en alternatief 3a, 9 uur na laag water



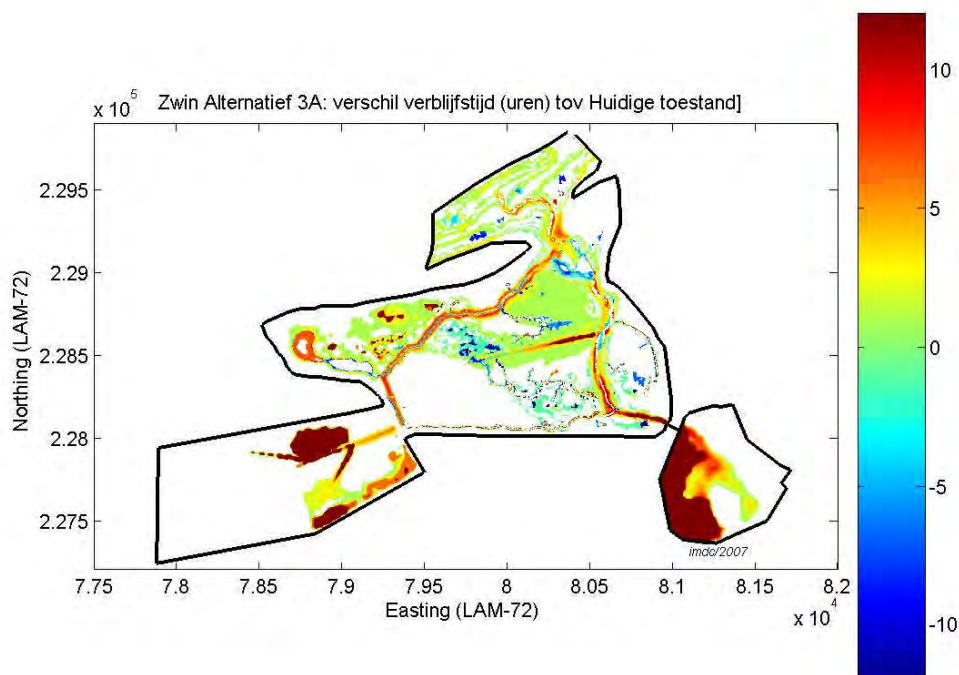
figuur 4-36 schuifspanning voor alternatief 3a, 9 uur na laag water

4.3.4. Overstromingsduur

De overstromingsduur is licht hoger in vergelijking met de huidige toestand. In de zone tussen de geulen B en D is de overstromingsduur minder lang dan de huidige toestand, wat waarschijnlijk veroorzaakt wordt door een betere afwatering van de schorren richting geul B en D. Op deze figuren is opnieuw duidelijk te zien dat slecht zeer weinig water de Kleyne Vlakte bereikt.



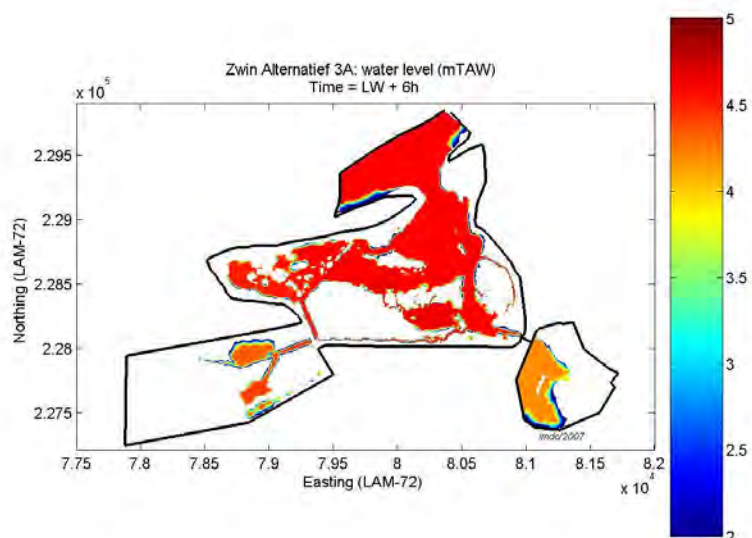
figuur 4-37 overstromingsduur voor het alternatief 3a



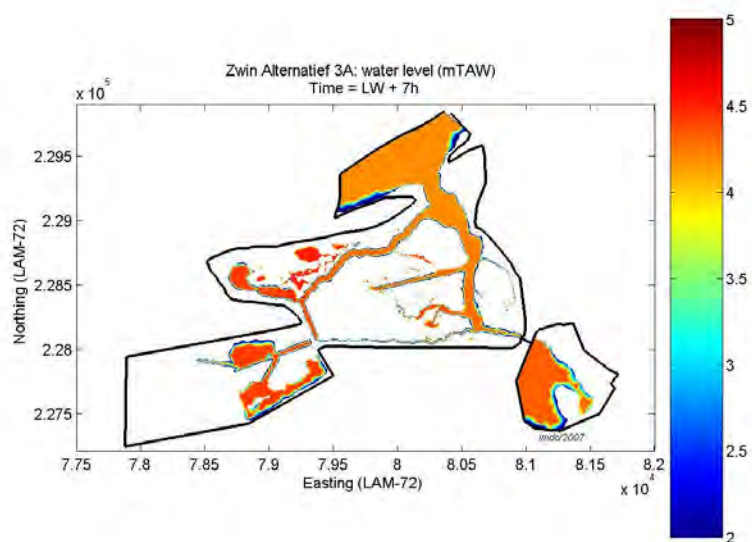
figuur 4-38 overstroomingsduur ten opzichte van de huidige toestand voor alternatief 3a

4.3.5. Waterstand

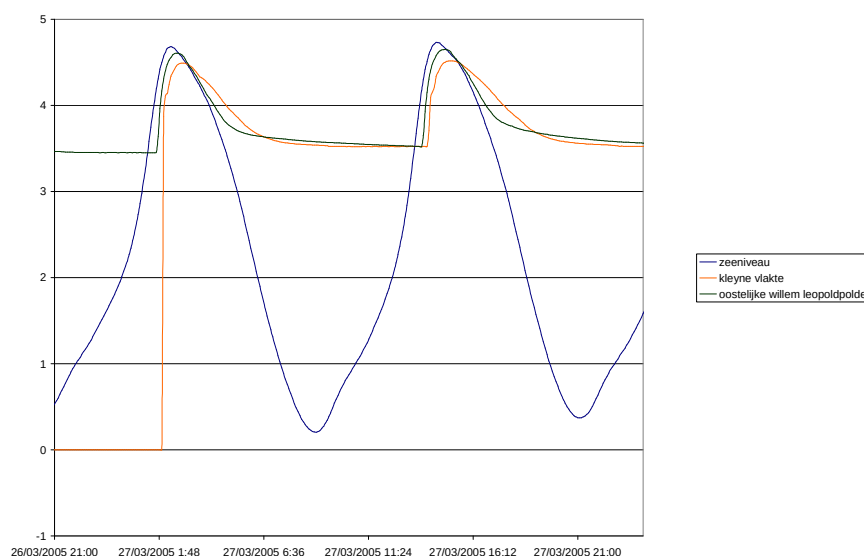
De maximale waterstand in het gebied wordt bereikt op 6-7 h na LW. De onderstaande figuur geeft het globale beeld. De Kleyne Vlakte loopt ongeveer een uur achter op het Zwin zelf in het bereiken van de maximale waterstand.



figuur 4-39 waterstand in het volledige gebied, voor het alternatief 3a op 6 h na LW



figuur 4-40 waterstand in het volledige gebied, voor het alternatief 3a op 7 h na LW , de Kleyne Vlakte loopt een uur achter op het Zwin zelf.



figuur 4-41 waterstand in de geulen voor de Kleyne Vlakte en de Oostelijke Willem Leopoldpolder

4.4. Scenario 3c

Voor het scenario 3c wordt de Kleyne Vlakte aangesloten op Het Zwin ter hoogte van de bocht in de huidige geul D in het Zuidwesten van het huidige Zwin. Geul B werd echter verlengd en diende als voornaamste verbinding met de hoofdgeul en De Noordzee wegens de kortere aanvoerrote voor zout water bij vloed. Deze verbinding heeft de volgende karakteristieken:

- 8 buizen;
- 2m breed en 2m hoog;
- Debiet verspreid over breedte van 45m;
- Lengte = 35m

Het alternatief 3c werd uitgevoerd met een uitbreiding met, naast de Kleyne Vlakte, ongeveer 25ha van de Willem-Leopoldpolder. De verbinding met de Willem-Leopoldpolder werd hierbij gemaakt door de Internationale Dijk af te graven tot een niveau van ongeveer 4m10 TAW. De hoofdgeul met de gepaste morfologische karakteristieken wordt doorgetrokken tot in de polder.

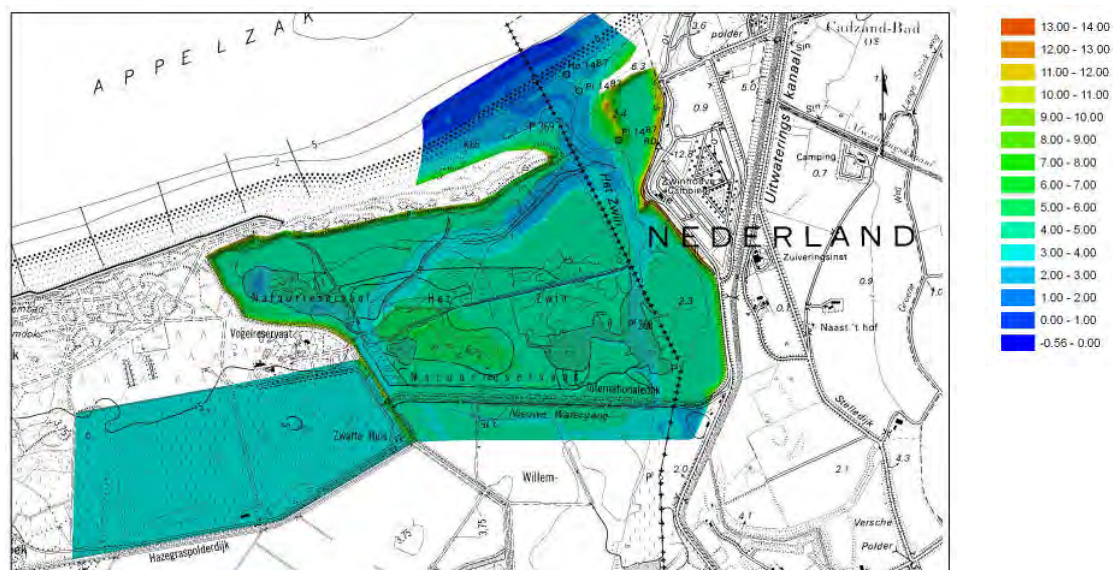
De komberging in het gebied bedraagt 575000 m³. Hiervan wordt 40000 m³ aangeleverd door de Kleyne Vlakte, en 90000 m³ door de WLP.

4.4.1. Opmerking over de komberging

Er werd een tweede simulatie uitgevoerd waarbij de Kleyne Vlakte maximaal afgegraven werd om de potentiële komberging zo hoog mogelijk te maken. Uit de evenwichtsrelaties blijkt dat de hoogte van de Kleyne Vlakte bij aansluiting op het Zwin op ongeveer 3.5 meter ligt. De logische inrichting van een getijdebekken is wanneer de hogergelegen gedeeltes achteraanliggen. Daarom werd de hoogte van de Kleyne Vlakte stelselmatig richting oosten verhoogd tot 4 mTAW. Deze voorgestelde afgraving levert een potentiële komberging van 500000 m³ op. Uit de modellering blijkt echter dat deze potentiële komberging niet benut wordt, en het getijprisma slechts 1/5 daarvan bedraagt nl 100000 m³. De Kleyne Vlakte lager afgraven dan de 3.5 mTAW gaat tegen de logische opbouw van het Zwin in.

4.4.2. Gemodelleerde bathymetrie

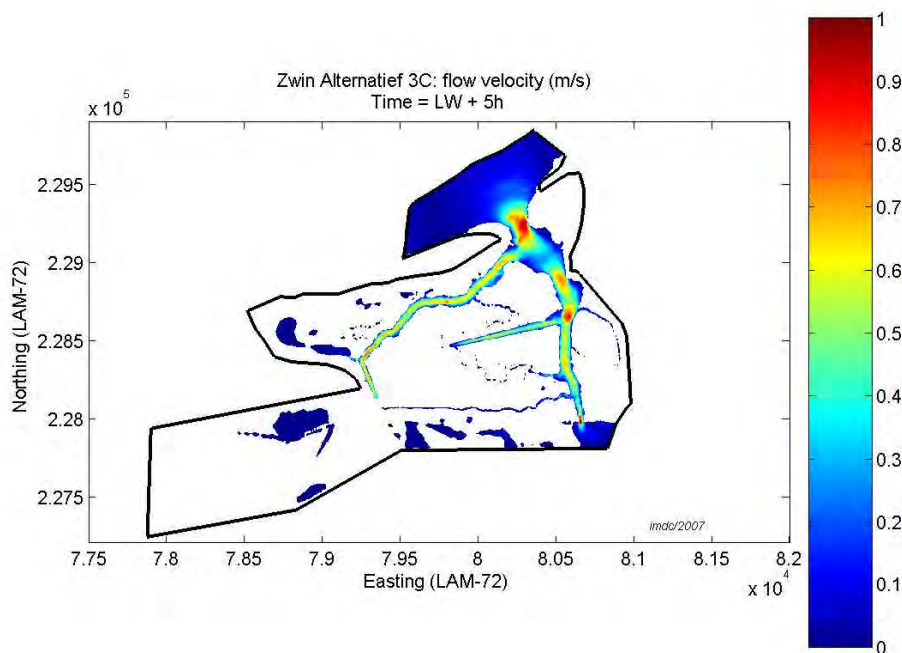
De onderstaande figuur geeft de gebruikte bathymetrie bij het doorrekenen van het scenario 3c.



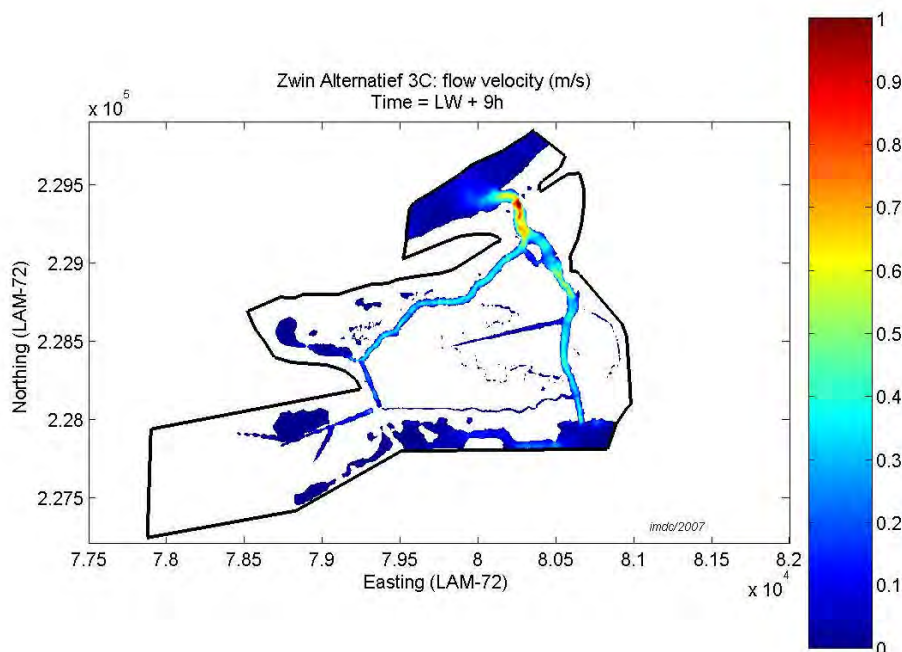
Figuur 4-42 gebruikte bathymetrie bij het doorrekenen van scenario 3c

4.4.3. Stroomsnelheid

De maximale stroomsnelheid tijdens vloed wordt bereikt om 5 uur na LW, met peeksnelheden tot 0.9 m/s. Tijdens eb liggen de maximale snelheden lager, rond 0.3-0.4 m/s, behalve in de monding.



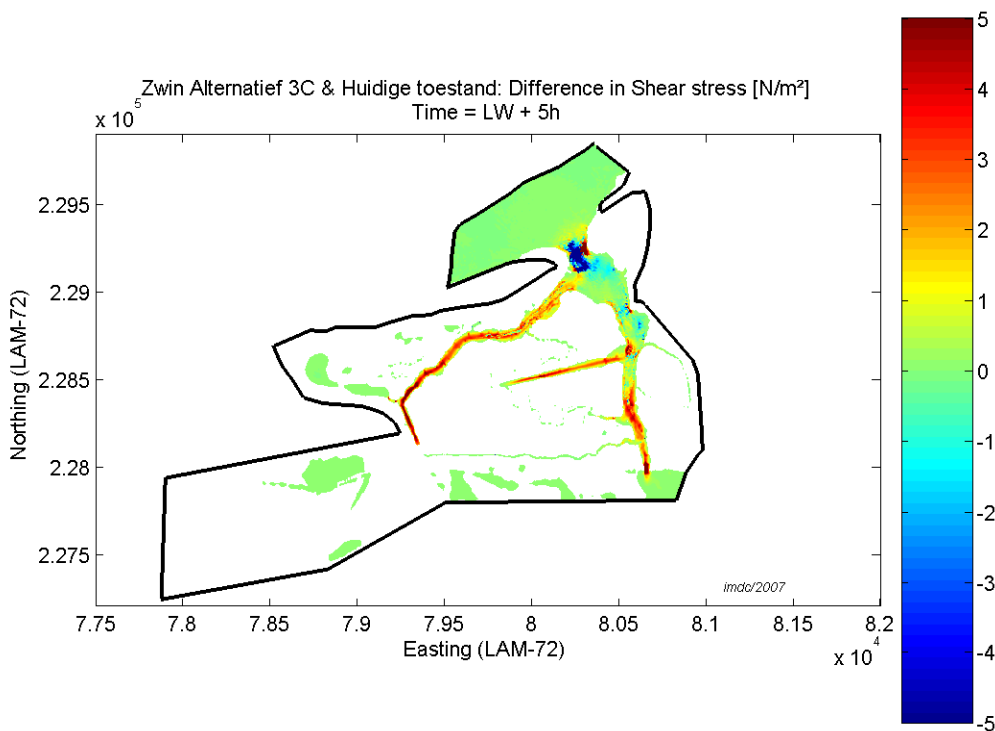
figuur 4-43 maximale stroomsnelheid bij instroom voor alternatief 3c



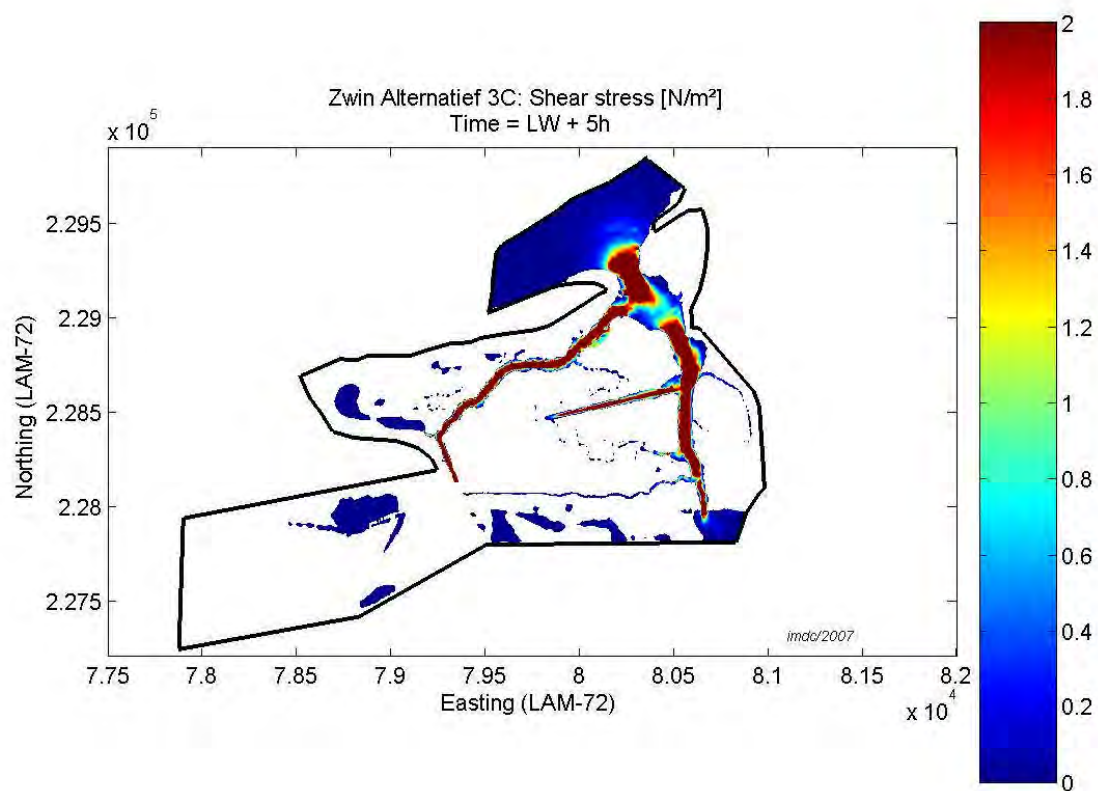
figuur 4-44 maximale stroomsnelheid bij uitstroom voor alternatief 3c

4.4.4. Schuifspanning

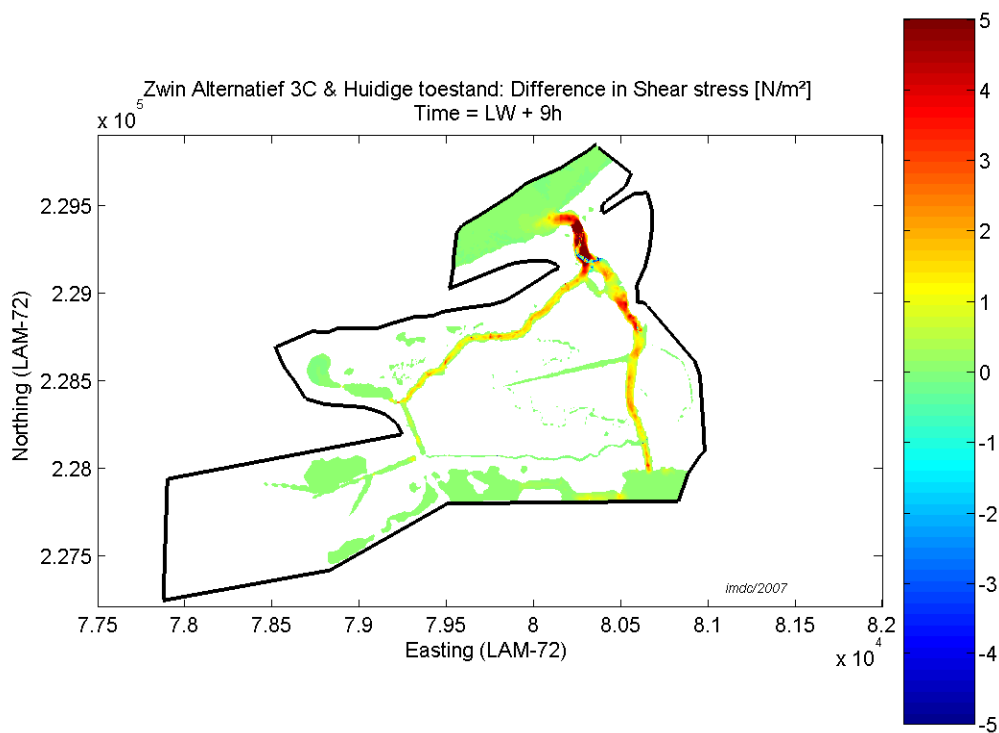
De schuifspanning verhoogt met ongeveer 2-3 N/m² ten opzichte van de huidige toestand. In geul B is een verlaging van de schuifspanning te zien, waarschijnlijk veroorzaakt door het breder maken van de geul en het weghalen van de versperringen.



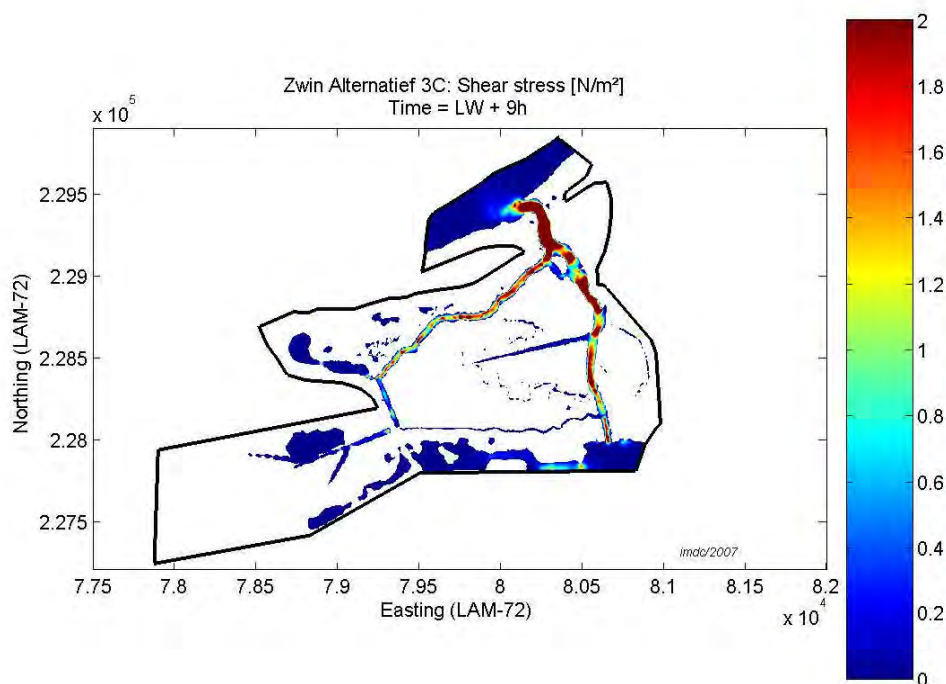
figuur 4-45 verschil in schuifspanning tussen de huidige toestand en het alternatief 3C, voor maximale instroom



figuur 4-46 schuifspanning voor alternatief 3c, 5 uur na laag water



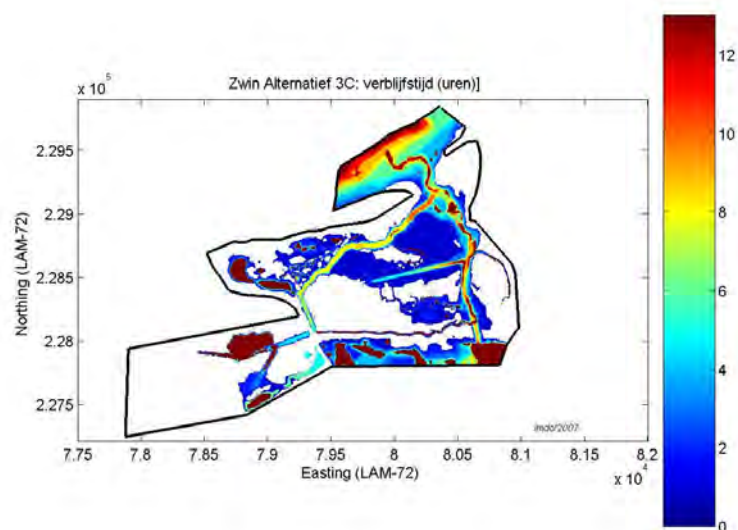
figuur 4-47 verschil in schuifspanning voor het alternatief 3c ten opzichte van de huidige toestand, voor maximale uitstroom



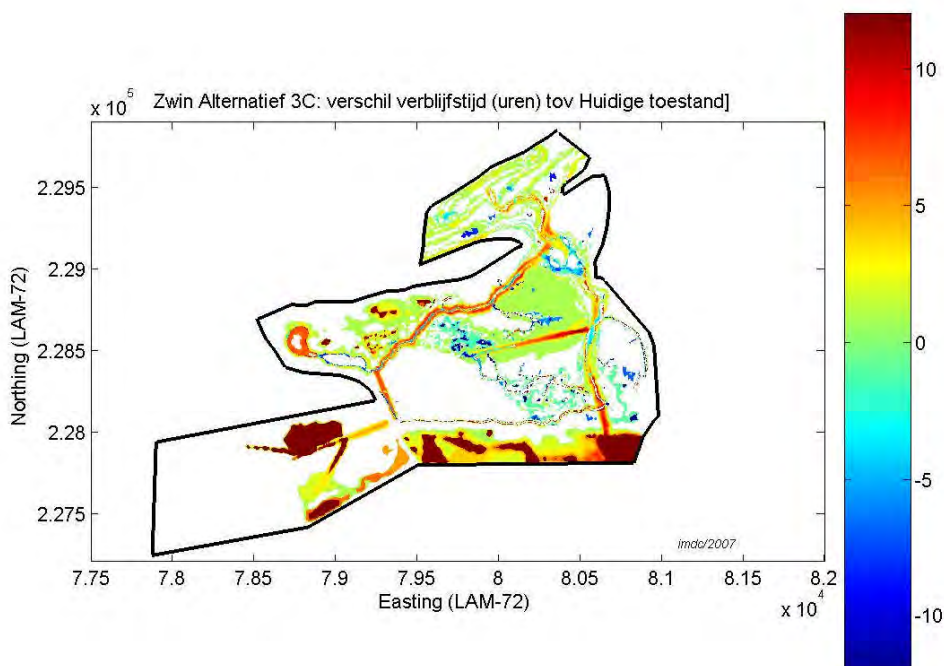
figuur 4-48 schuifspanning voor alternatief 3c, 9 uur na laag water

4.4.5. Overstromingsduur

De overstromingsduur is voor de hoger gelegen gedeeltes gelijk gebleven in vergelijking met de huidige toestand. Voor de geulen en dan vooral geul B is deze gestegen. Voor enkele hogergelegen gebieden (voornamelijk gesitueerd tussen geul B en geul G) is de verblijfstijd verkort: dit kan waarschijnlijk verklaard worden door een betere afwatering langsheen geul B en G. Een aantal gebieden (in de Kleyne Vlakte en het kleine stukje Willem Leopoldpolder) staan quasi continu onder water.



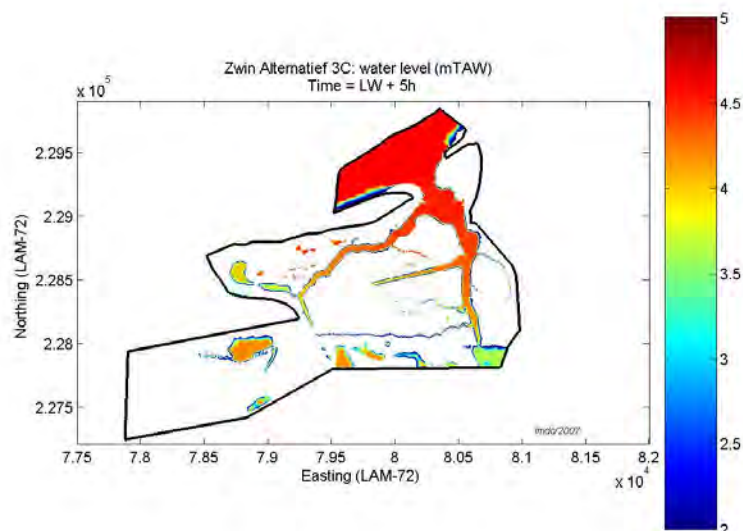
figuur 4-49 verschil in overstromingsduur ten opzichte van de huidige toestand voor alternatief 3C, met maximale Kleyne Vlake



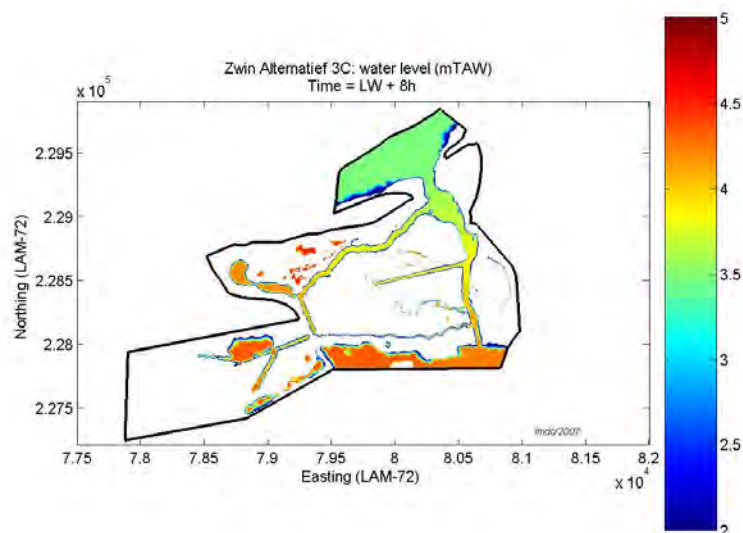
figuur 4-50 overstromingsduur voor het alternatief 3C

4.4.6. Waterstand

Een duidelijk verschil kan gezien worden tussen de Kleyne Vlakte en het Zwin zelf: in het Zwin zelf wordt de maximale waterstand bereikt op ongeveer 6 h na LW, in de Kleyne Vlakte gebeurt dit zo'n twee uur later, als in de rest van het Zwin de uitstroom reeds opnieuw begonnen is.



figuur4-51 waterstand voor alternatief 3c, maximale waterstand in het Zwin zelf



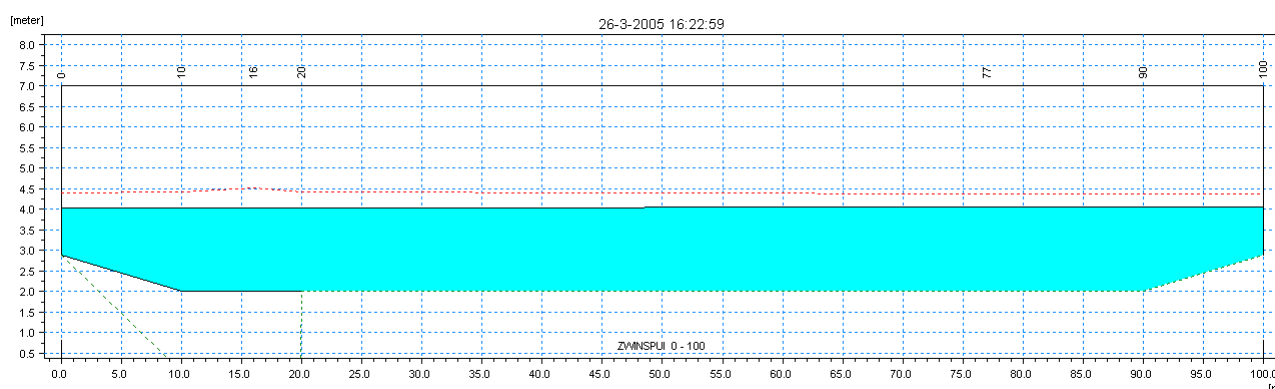
figuur4-52 waterstand voor het alternatief 3c; maximale waterstand in de Kleyne Vlakte

4.5. Scenario 4a/4b

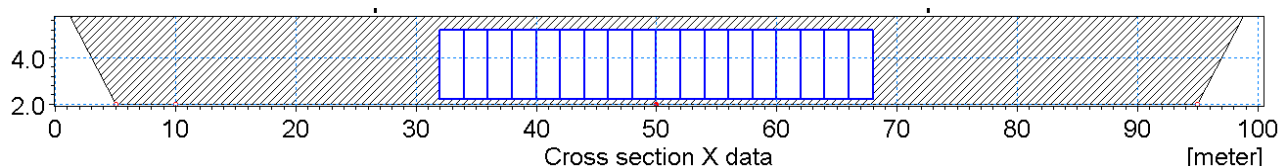
Alternatieven 4a en 4b komen grotendeels overeen met resp. Alternatieven 1a en 1b. Het verschil is dat voor alternatief 4 de Internationale Dijk niet wordt afgegraven en dus functie als primaire zeewering behoudt. Hierdoor wordt een kunstwerk noodzakelijk tussen het Zwin en de Willem-Leopoldpolder. Volgend ontwerp werd met MIKE11 gesimuleerd:

- 18 elementen;
- 2m breed en 3m hoog;
- Debiet verspreid over breedte van 100m;
- Lengte = 50m

De drempel waarboven de waterstand moet komen om de doorgang actief te maken blijft liggen op de bodemhoogte van de aanpalende geul. Bij een waterstand van 4m TAW wordt dus een doorstroomoppervlak bekomen van $18 \times 2 \times 2 = 72 \text{ m}^2$ (figuur 4-53).



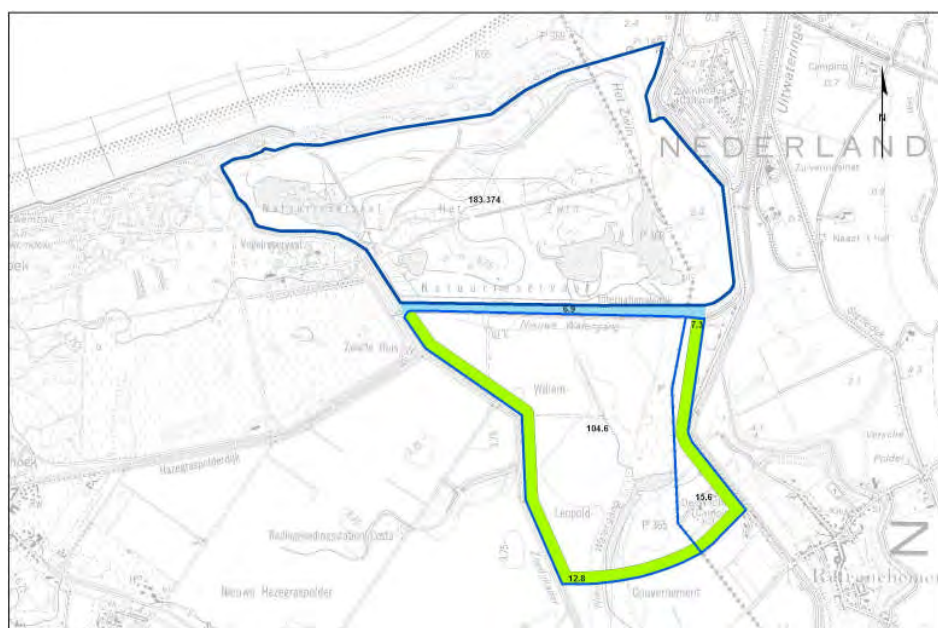
figuur 4-53: Langsprofiel van het Mike11 model (waterstand ongeveer 4m) dat fungeert als verbinding tussen de 2D modellen van Het Zwin en de Willem-Leopoldpolder. De duikers liggen tussen $x=25\text{m}$ en $x=75\text{m}$.



figuur 4-54: Dwarsdoorsnede van de doorlaat tussen Het Zwin en de Willem-Leopoldpolder.

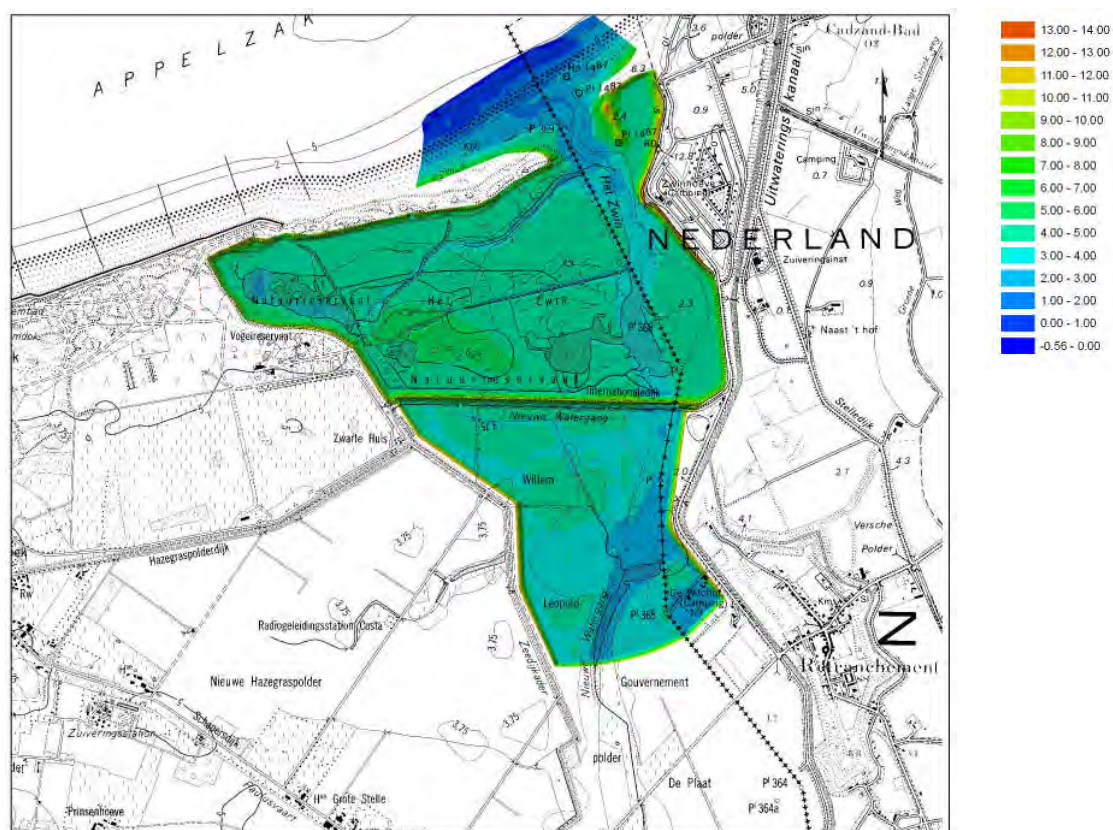
Het tijprisma stijgt met 600000 m^3 tot 900000 m^3 . De Willem Leopoldpolder draagt hiervan 400000 m^3 bij, de uitbreiding van het Zwin (afgraven en verdiepen en verbreden van de geulen) 200000 m^3 .

Alternatief 4a houdt geen spuien met zoet water in, alternatief 4b wel.



figuur4-55 alternatief 4a en 4b

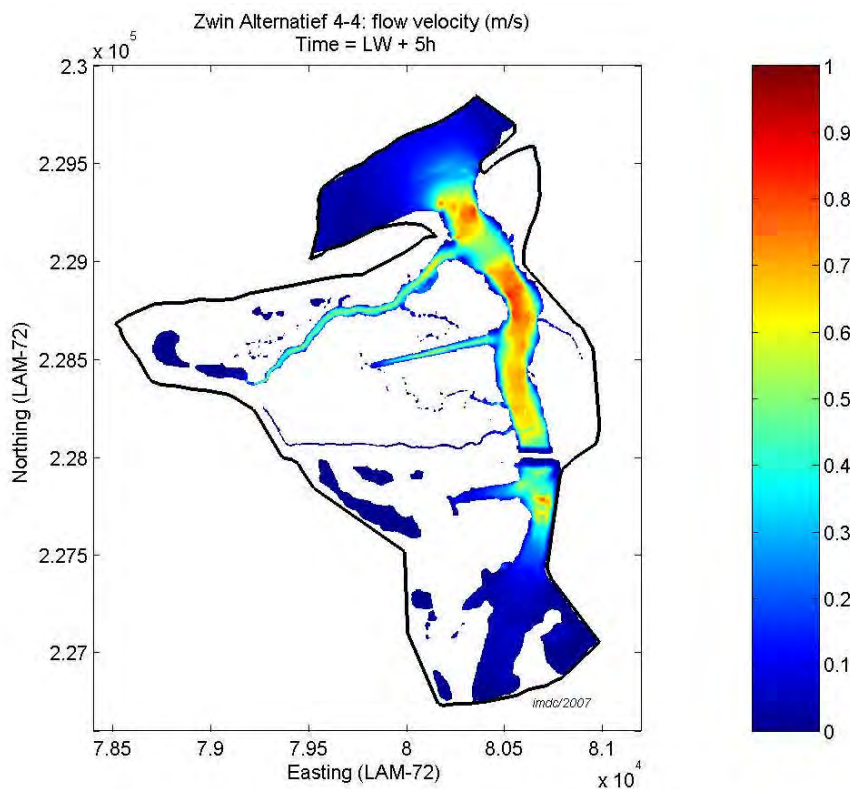
4.5.1. Gemodelleerde bathymetrie



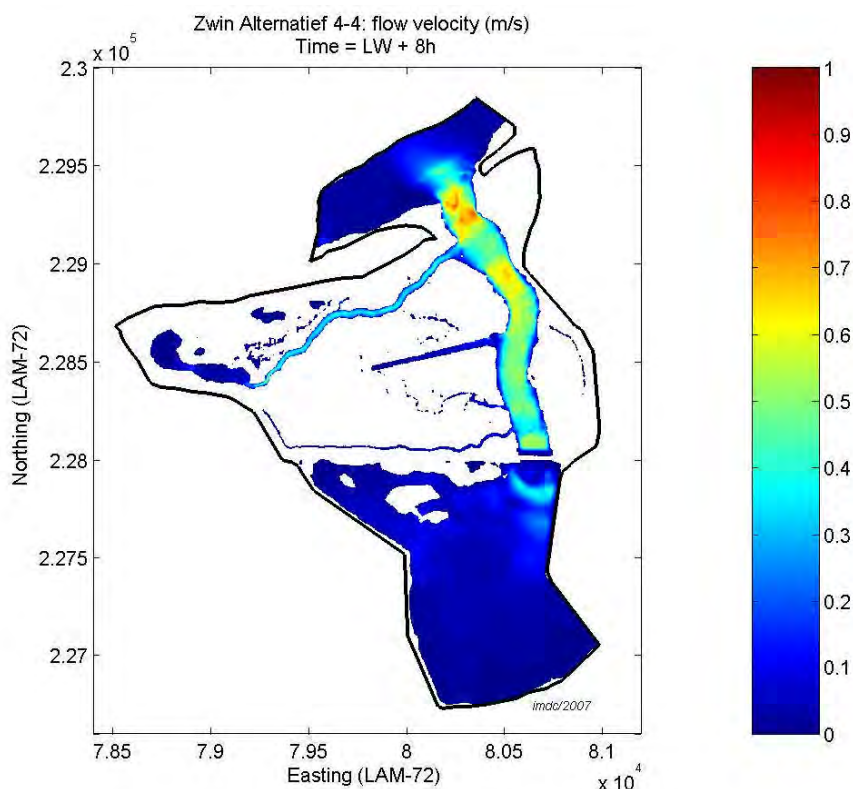
figuur4-56 gebruikte bathymetrie bij het doorrekenen van scenario 4

4.5.2. Stroomsnelheid

De maximale stroomsnelheid tijdens vloed wordt bereikt op 5 uur na laag water, de maximale uitstroomsnelheid wordt bereikt op ongeveer 7-8 uur na laag water.



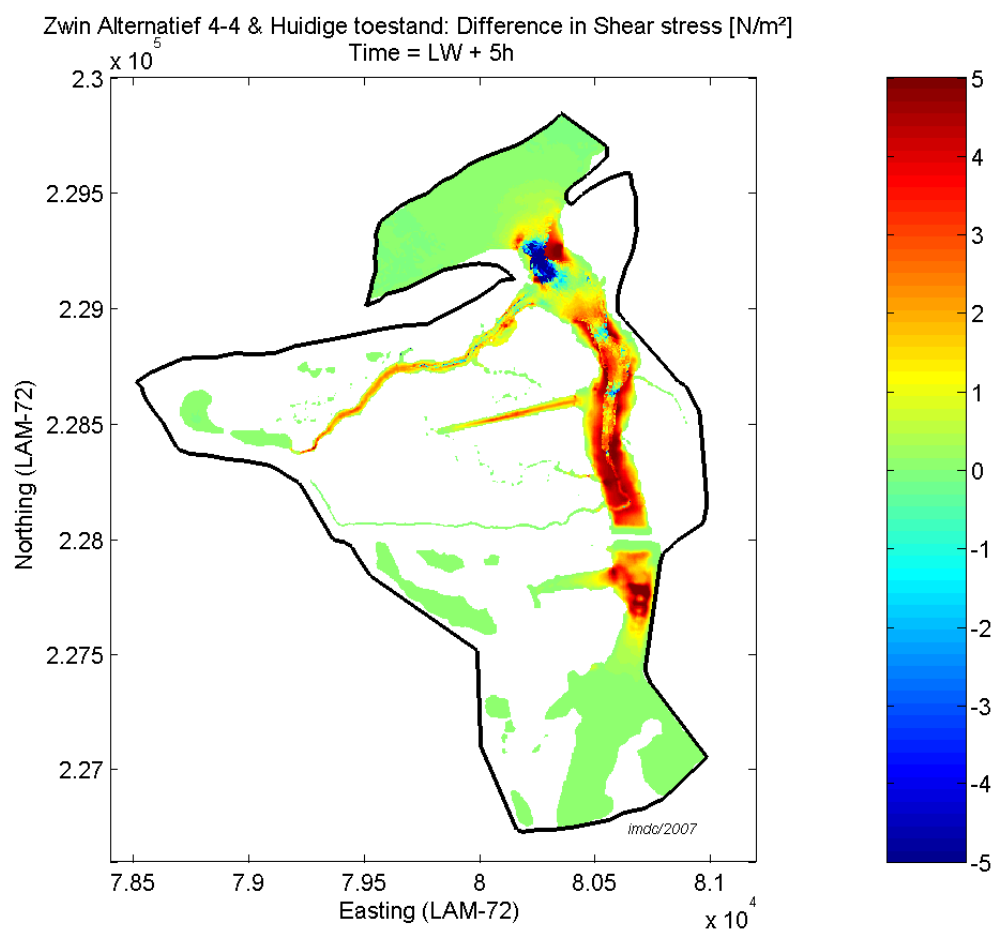
figuur4-57 maximale stroomsnelheid bij instroom voor alternatief 4 a



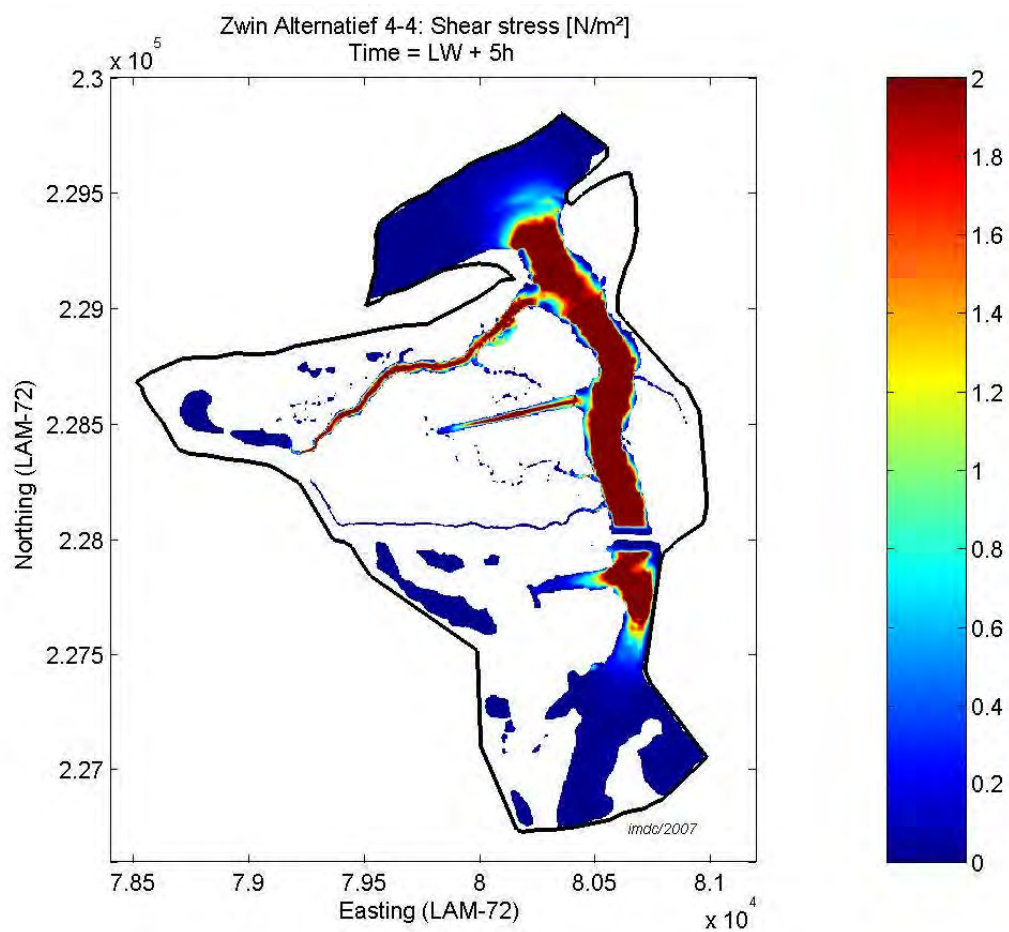
figuur4-58 maximale stroomsnelheid bij uitstroom voor alternatief 4 a

4.5.3. Schuifspanning

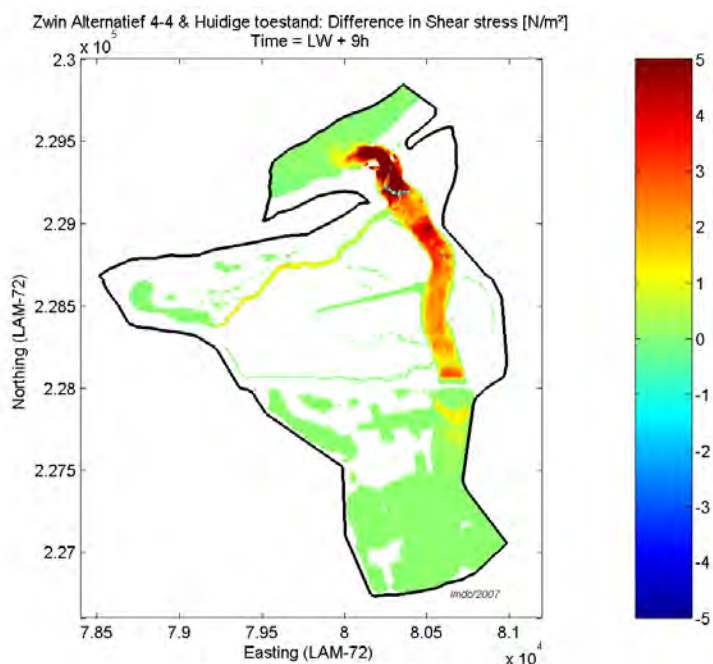
De schuifspanning in de geulen verhoogt tijdens eb en vloed. Tijdens vloed kan de schuifspanning tot 5N/m² hoger liggen in vergelijking met de huidige toestand, tijdens eb is de verhoging in de hoofdgeul ongeveer 3-4 N/m²; in de monding tot 5N/m².



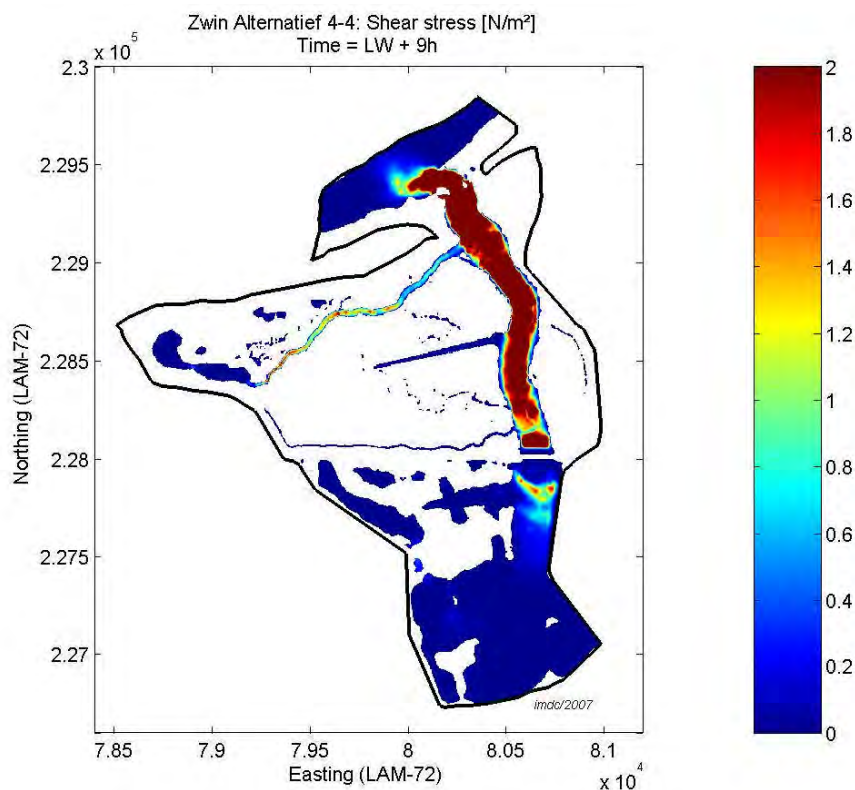
figuur 4-59 verschil in schuifspanning tussen de huidige toestand en alternatief 4a, 5 uur na laag water



figuur4-60 schuifspanning voor alternatief 4a, 5 uur na laag water



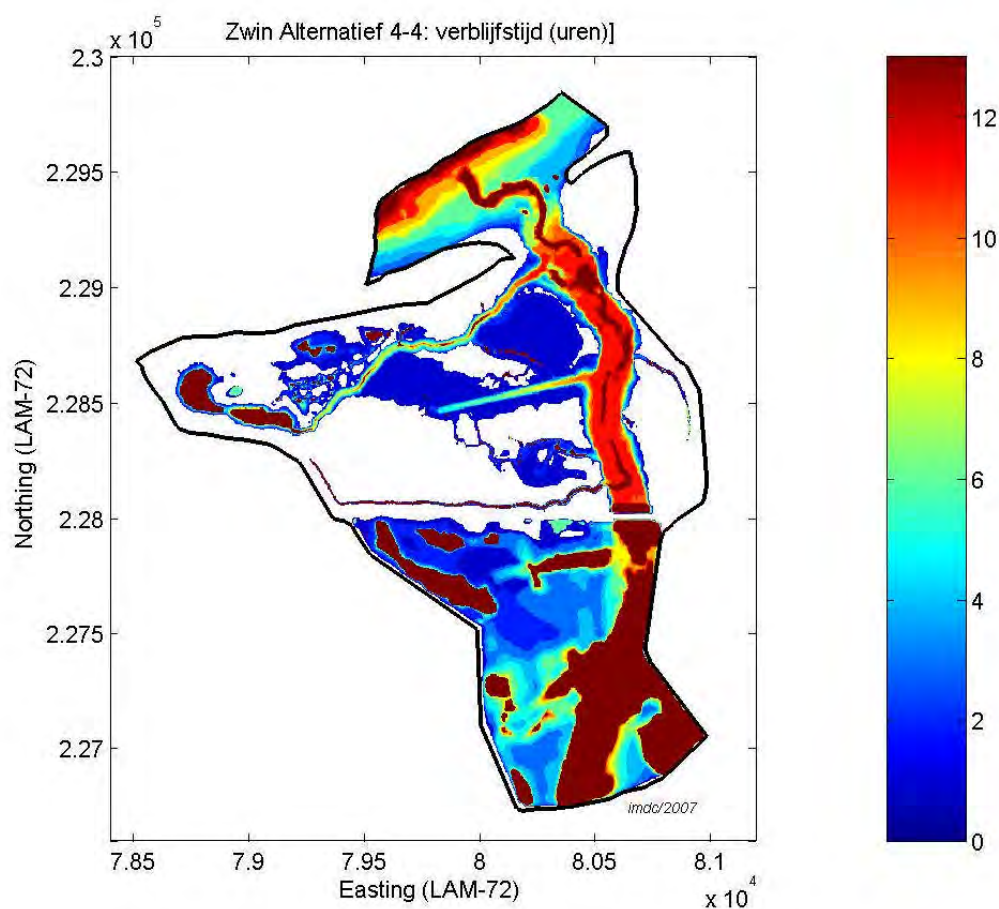
figuur4-61 verschil in schuifspanning tussen de huidige toestand en alternatief 4a, 9 uur na laag water



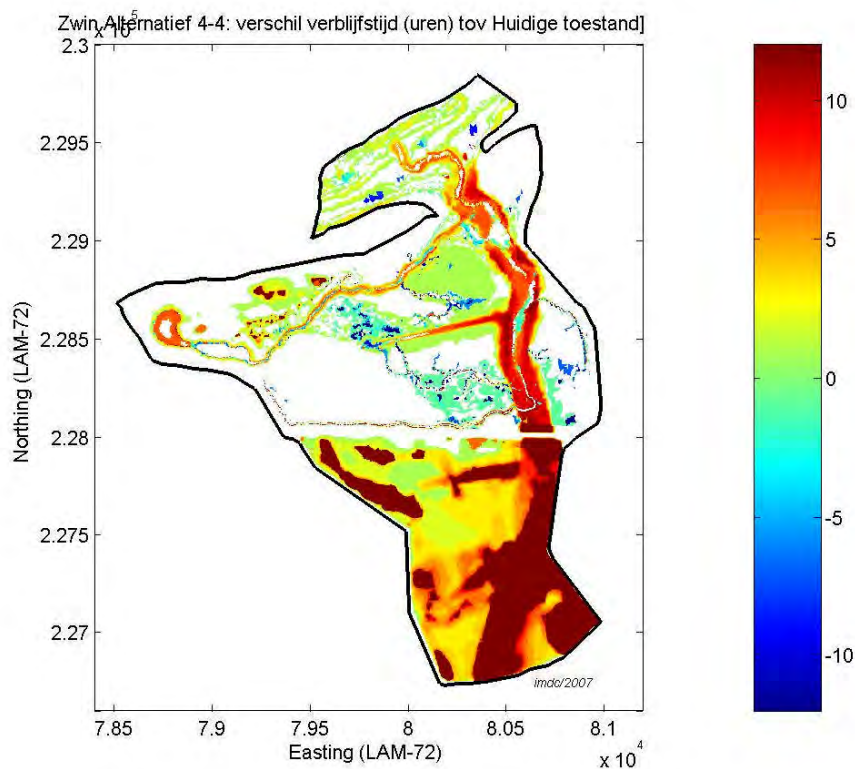
figuur4-62 schuifspanning voor alternatief 4a, 9 uur na laag water

4.5.4. Overstromingsduur

De overstromingsduur wordt gedefinieerd als het aantal uren dat de waterhoogte op een bepaalde plaats hoger is dan 10 cm. figuur4-63 geeft het verschil in overstromingsduur met de huidige toestand, figuur4-64 heeft de overstromingsduur voor het scenario 4a. Door de lagere gelegen ligging van de Willem Leopoldpolder (de gemiddelde hoogte in de polder bedraagt ongeveer 3.5-4 mTAW in de polder zelf, en ongeveer 2.5-3 TAW in de geulen) blijft er een groot gedeelte van de Willem Leopoldpolder langdurig onder water. Het betreft hier voornamelijk de reeds in het landschap bestaande geulen (de zogenaamde Nieuwe Waterweg). Indien men gaat vergelijken met de huidige toestand dan vergroten de overstromingsduren in de zones van de Westelijke Meertjes (door het vrijmaken van geul B) en in de zone tussen geul B en geul D (door het afgraven van de hogergelegen schorren)



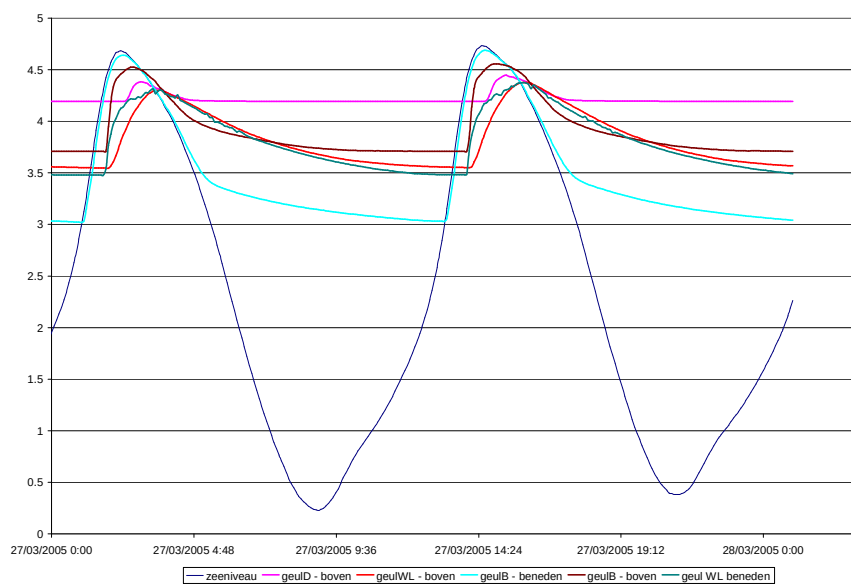
figuur4-63 overstromingsduur voor alternatief 4a



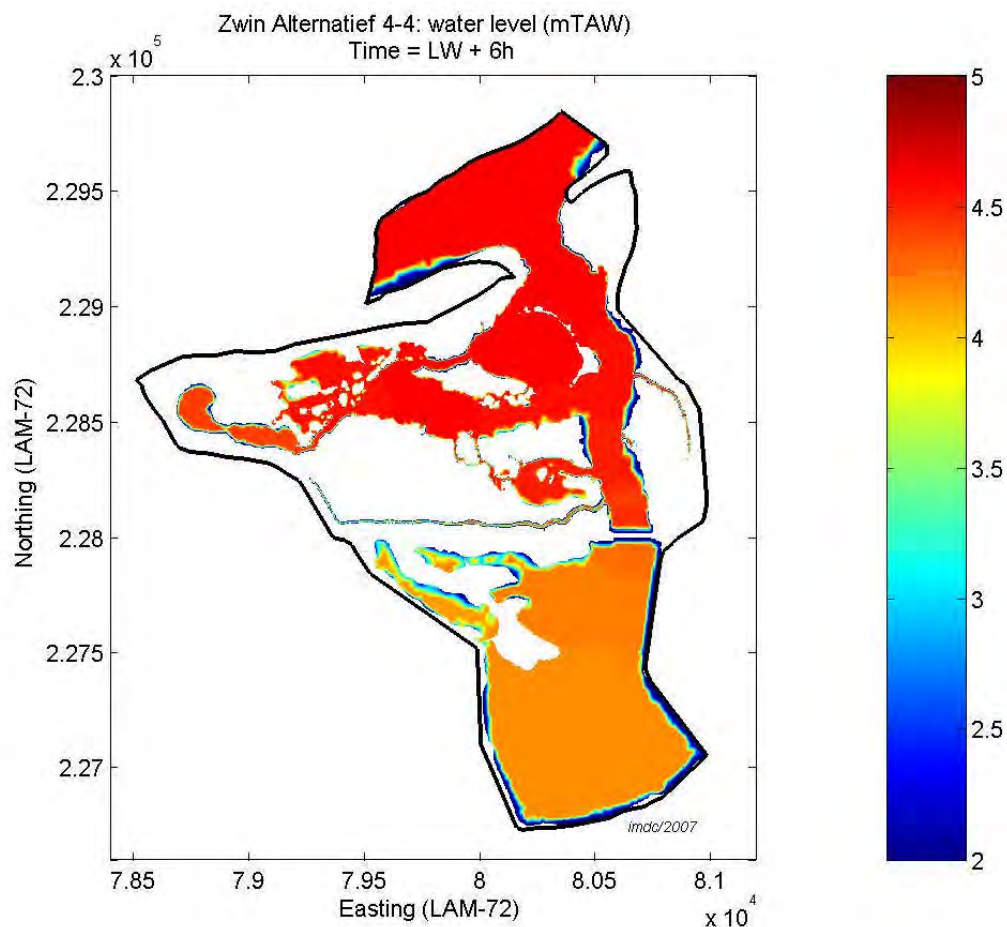
figuur4-64 overstroomingsduur voor alternatief 4a ten opzichte van de huidige toestand.

4.5.5. Waterstand

De maximale waterstand wordt bereikt 5 a 6 uur na laagwater. De maximale waterstand achteraan in de Willem Leopoldpolder bedraagt 4.30 mTAW.



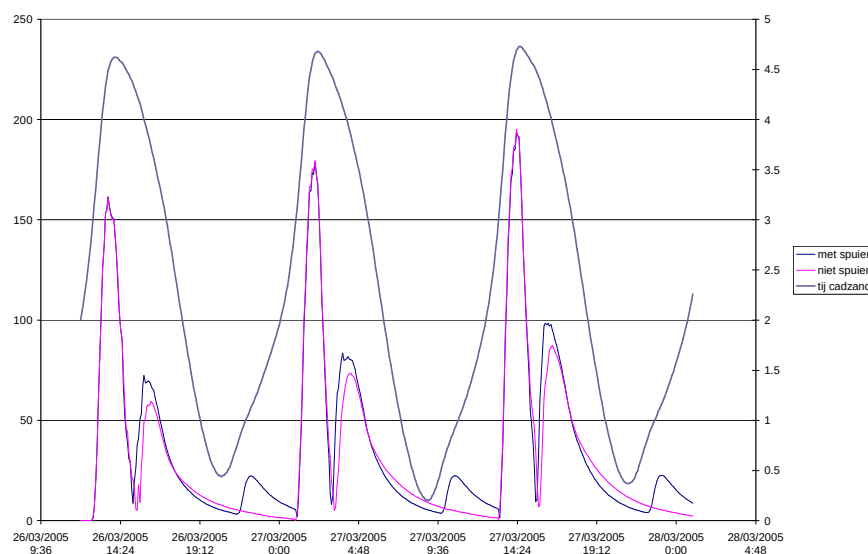
figuur4-65 waterstand voor geul B, geul D en de geul in de Willem Leopoldpolder.



figuur4-66 maximale waterstand voor scenario 4a, 6 uur na HW

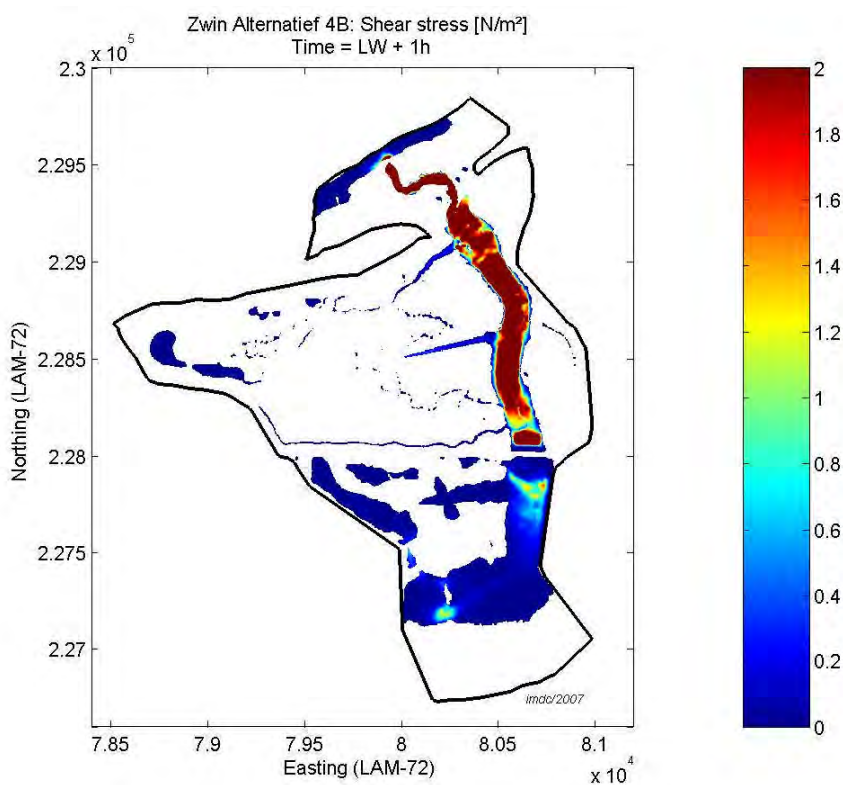
4.5.6. Effect van het spuien

figuur4-67 geeft het debiet door de monding voor de alternatieven 4a en 4b, respectievelijk met en zonder spuien. Doordat het spuibekken in het gebied is ingebracht vermindert de komberging van het gebied, wat de toename in uitstroomvolume door het spuien enigszins nuanceert. De verhoging in het uitstroomvolume bedraagt ongeveer 120000 m³ meer ten opzichte van de scenario's zonder spuien. Het feit dat er geen volledige verhoging met 200000 m³ kan gezien worden kan enerzijds verklaard worden door het feit dat het spuibekken in het gebied zelf gelegen is (wat de komberging ten opzichte van de scenario's zonder spuien verlaagd) en in mindere mate ook door het feit dat zoals in de figuur kan gezien worden het spuivolume niet de volledige tijd heeft om uit te stromen.

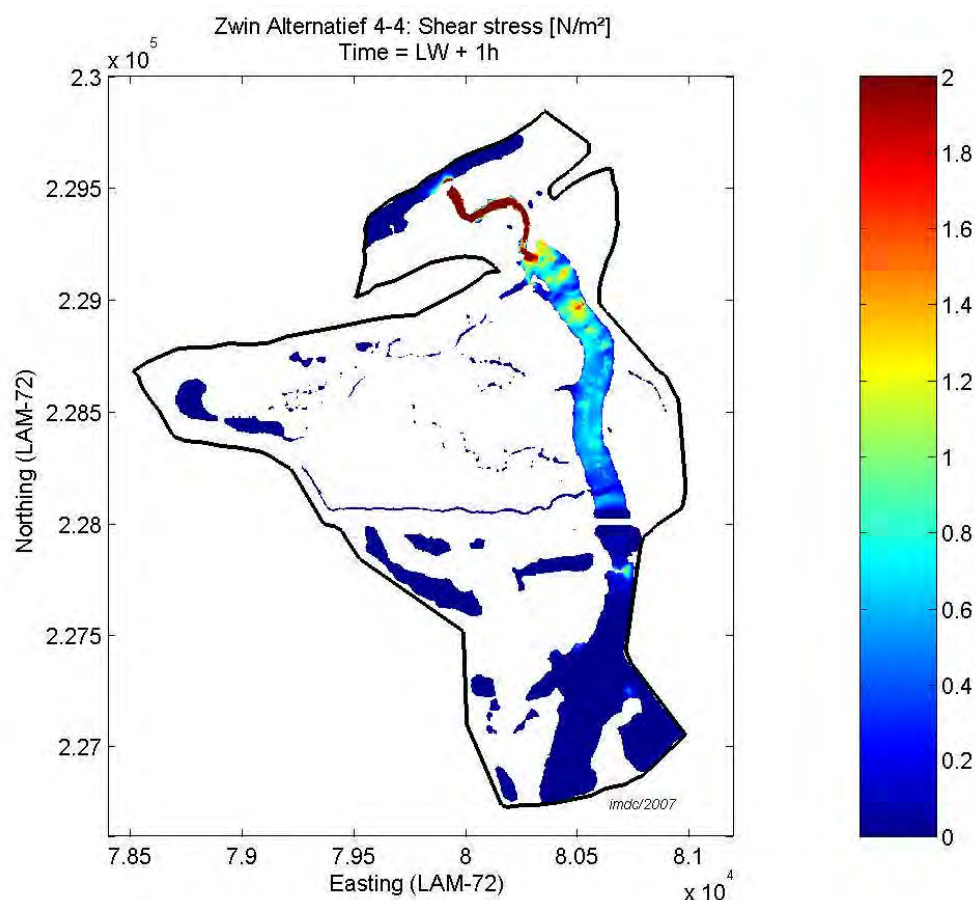


figuur4-67 : debiet door de monding voor simulaties met en zonder spuien

Het spuien veroorzaakt een tijdelijke in de schuifspanning. Deze verhoging is merkbaar over de volledige geul, zoals kan gezien worden in



figuur4-68 alternatief 4 schuifspanning met spuien



figuur4-69 alternatief 4 schuifspanning zonder spuien

4.6. Scenario's 5c/5d

Alternatieven 5c en 5d komen grotendeels overeen met resp. Alternatieven 2c en 2d. Het verschil is dat voor alternatief 5 de Internationale Dijk niet wordt afgegraven en dus functie als primaire zeewering behoudt. Hierdoor wordt een kunstwerk noodzakelijk tussen het Zwin en de Willem-Leopoldpolder.

Voor de alternatieven 5, met uitbreiding met 180ha van de Willem-Leopoldpolder, wordt het aantal duikerelementen behouden op 18 (zie ook 4.6.1)

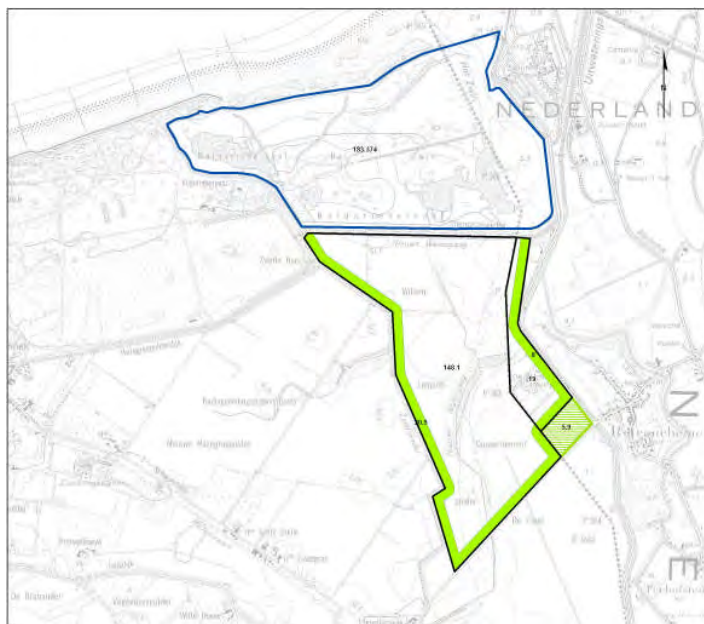
- 18 buizen;
- 2m breed en 3m hoog;
- Debiet verspreid over breedte van 100m;
- Lengte = 50m

Het totale getijprisma bedraagt 1.3 Mio m³ dus een verhoging van 1 Mio m³. Hiervan is 0.9 Mio afkomstig uit de Willem Leopoldpolder, en 400000 m³ afkomstig uit de interne uitbreidingen in het Zwin zelf (afgravingen, verbreden en verdiepen van de geulen).

Door de overgangsconstructie vermindert het volume water dat in de Willem Leopoldpolder kan instromen in vergelijking met het scenario 2c. De waterstand in het Zwin zal hoger worden in vergelijking met alternatief 2.

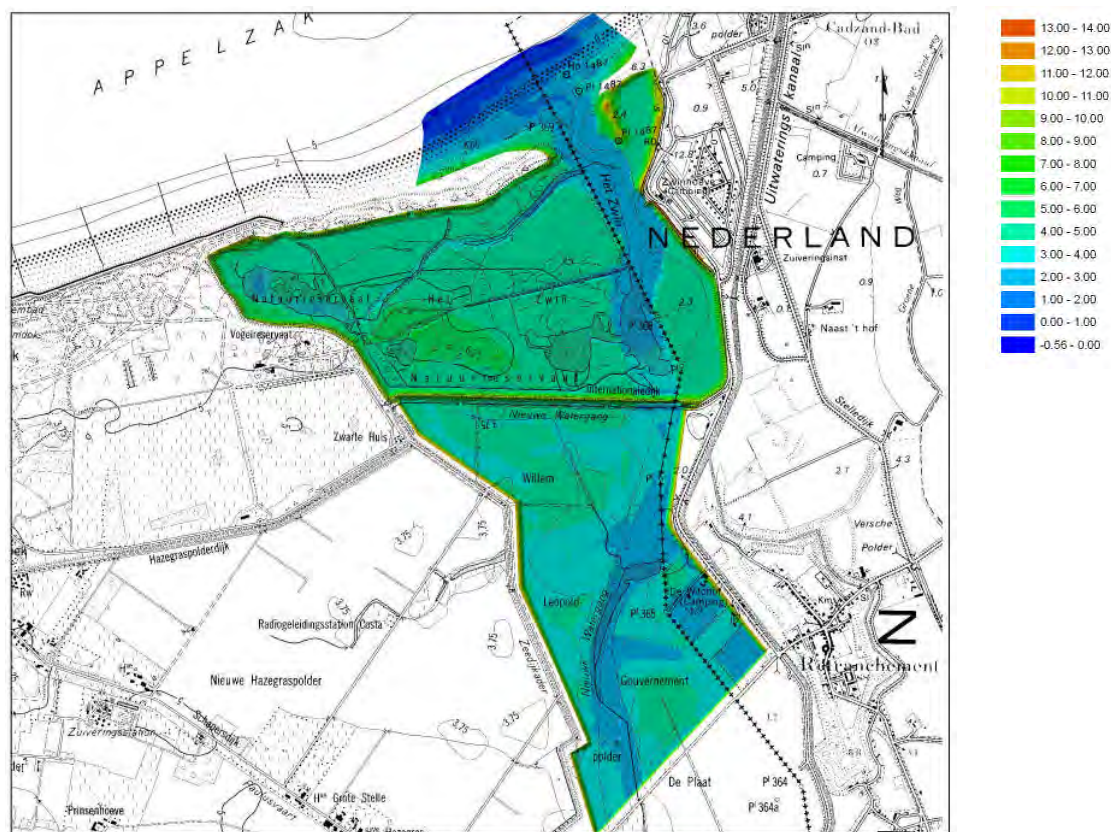
4.6.1. Opmerking over de doorlaatconstructie

Indien met een bredere doorlaatconstructie gewerkt wordt als bij het alternatief 4, dwz met een totale doorstroombreedte van 36 meter, verhoogt de komberging tot 1.46 Mio m³, slechts 100000 m³ minder dan bij het alternatief 2.



figuur4-70 scenario 5c/5d

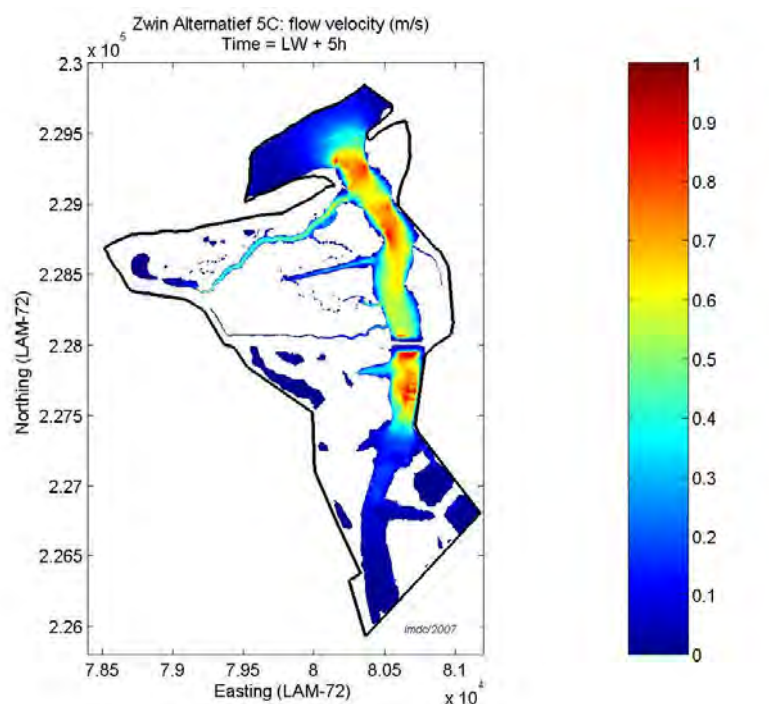
4.6.2. Gemodelleerde bathymetrie



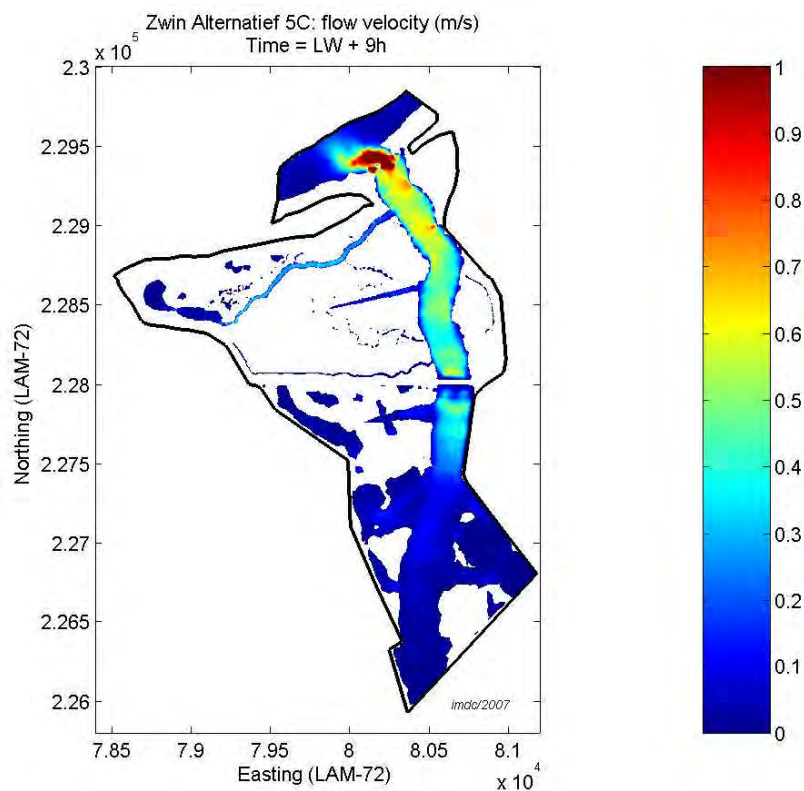
figuur4-71 gebruikte bathymetrie bij het doorrekenen van scenario 5

4.6.3. Stroomsnelheid

De maximale stroomsnelheid tijdens vloed wordt bereikt op 5 uur na laag water, de maximale uitstroomsnelheid wordt bereikt op ongeveer 7-8 uur na laag water.



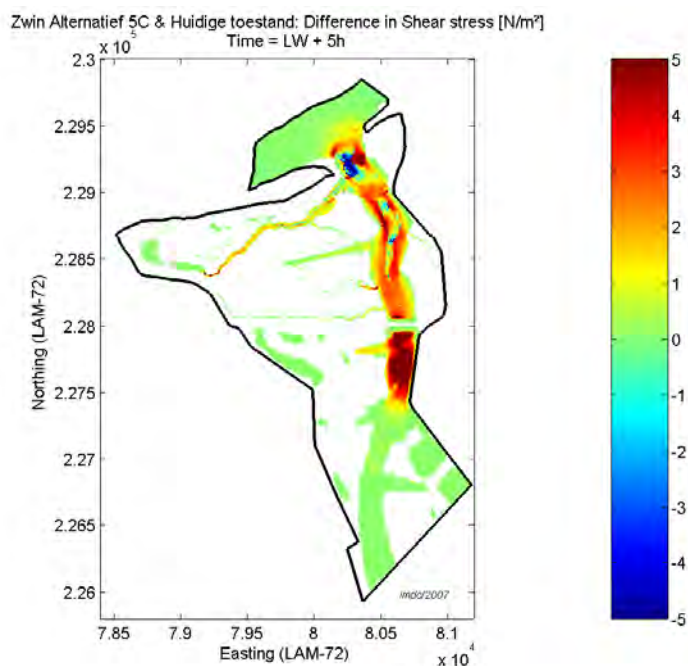
figuur4-72 maximale stroomsnelheid bij instroom voor alternatief 5c



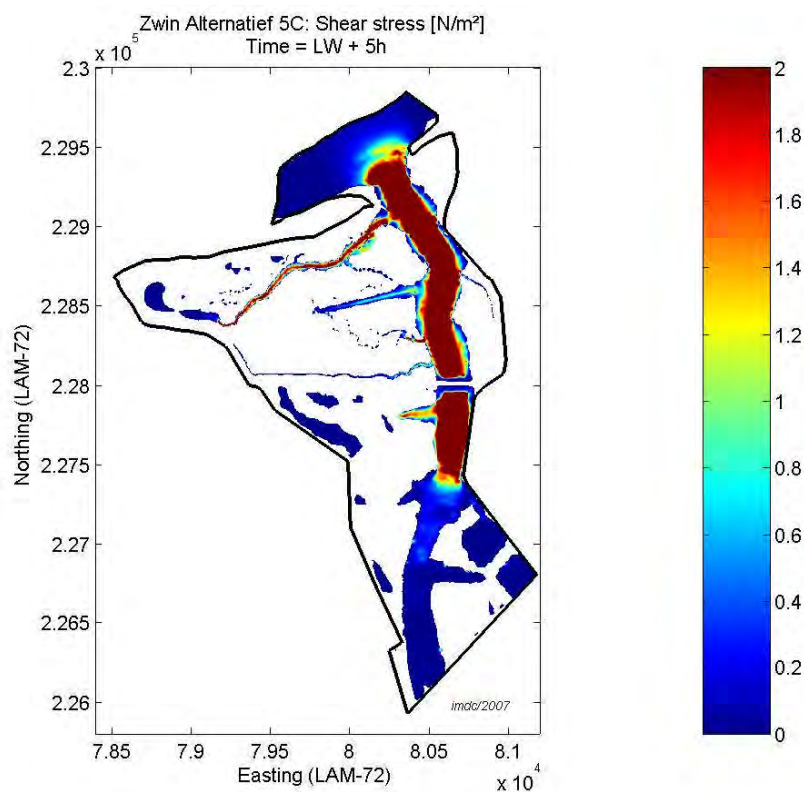
figuur4-73 maximale stroomsnelheid bij uitstroom voor alternatief 5c

4.6.4. Schuifspanning

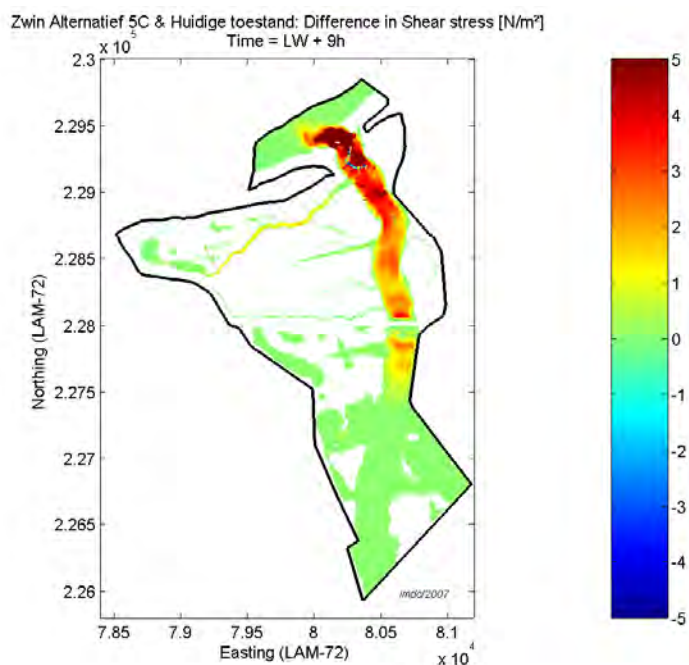
De schuifspanning in de geulen verhoogt tijdens eb en vloed ten opzichte van de huidige toestand. Tijdens vloed kan schuifspanning tot 5N/m² hoger liggen in vergelijking met de huidige toestand, tijdens eb is de verhoging in de hoofdgeul ongeveer 3-4 N/m²; in de monding tot 5N/m². Lokaal (in de monding) zijn ook verlagingen van de schuifspanning te zien.



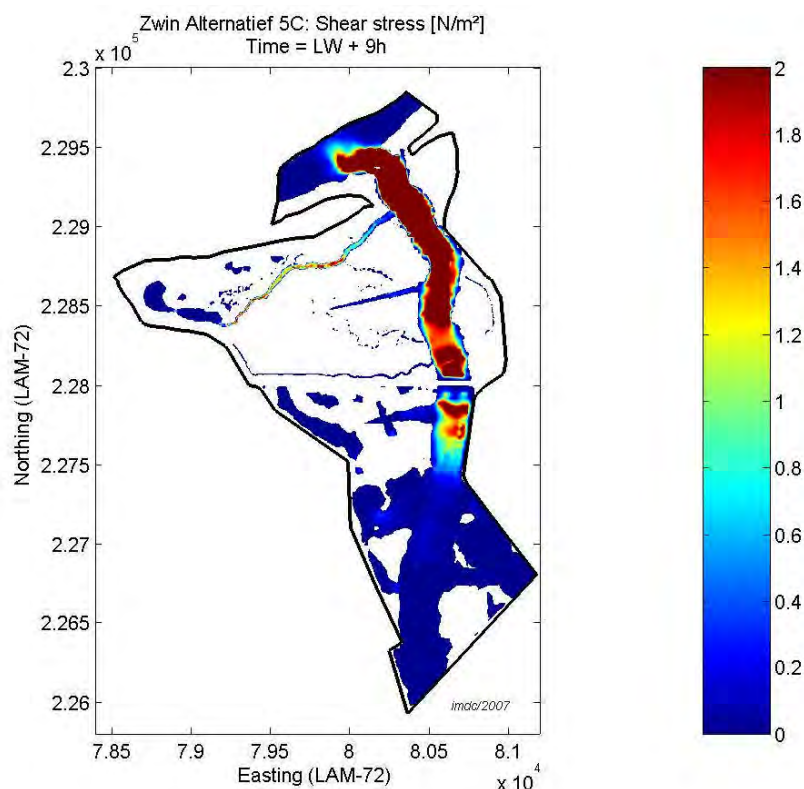
figuur4-74 verschil in schuifspanning tussen de huidige toestand en alternatief 5c uur na laag water



figuur4-75 schuifspanning voor alternatief 5c 5 uur na laag water



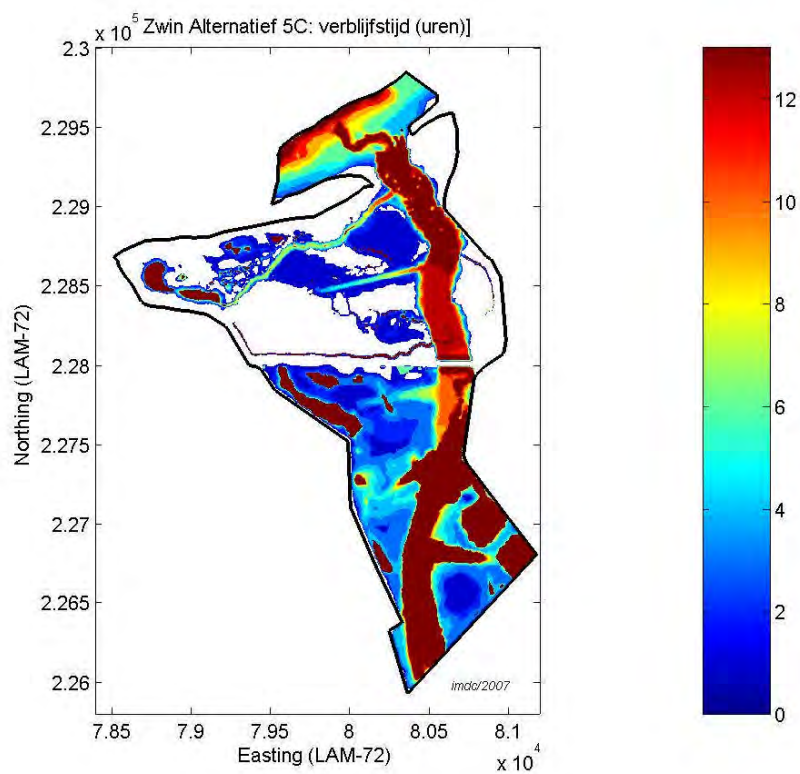
figuur4-76 verschil in schuifspanning tussen de huidige toestand en alternatief 5c9 uur na laag water



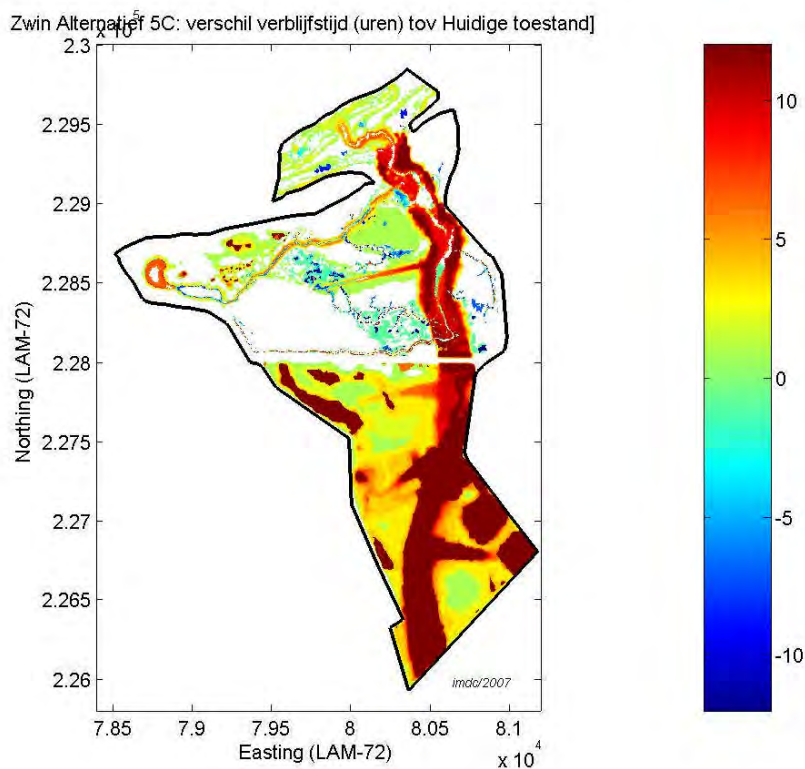
figuur4-77 schuifspanning voor alternatief 5c 9 uur na laag water

4.6.5. Overstromingsduur

De geulen, en dan voornamelijk de hoofdgeul en de geul in de Willem Leopoldpolder staan quasi continu onder water. Bijkomen zijn er enkele lagergelegen delen van de WLP waar er zich in eerste instantie ook continu water zal bevinden, daar deze zeer laag liggen.



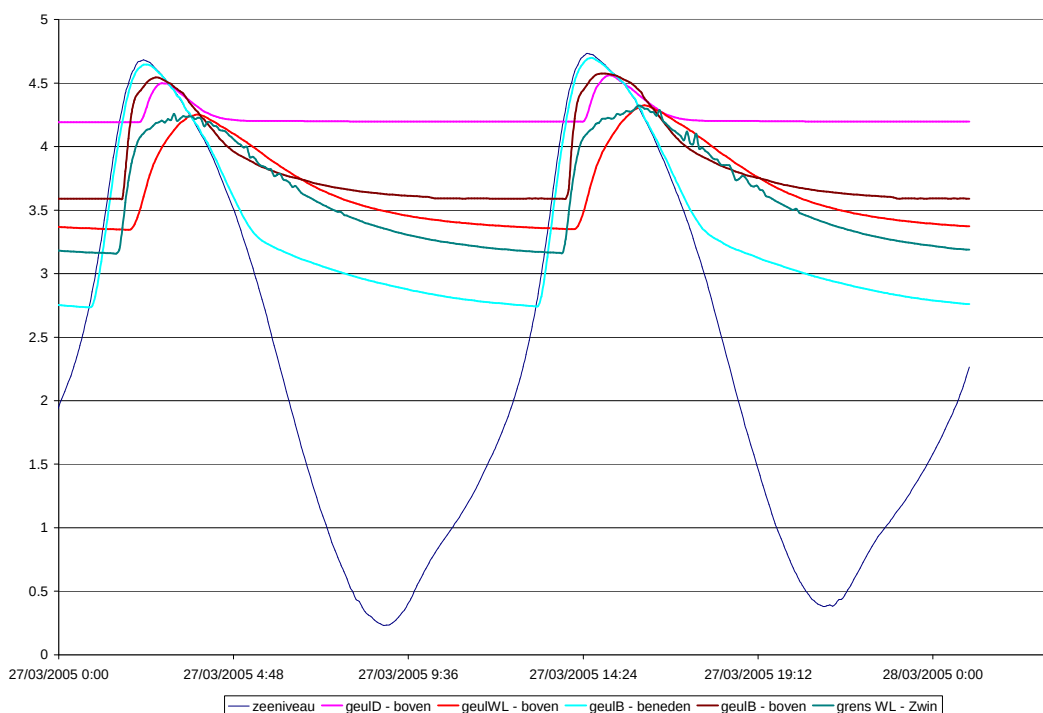
figuur4-78 overstromingsduur voor alternatief 5c



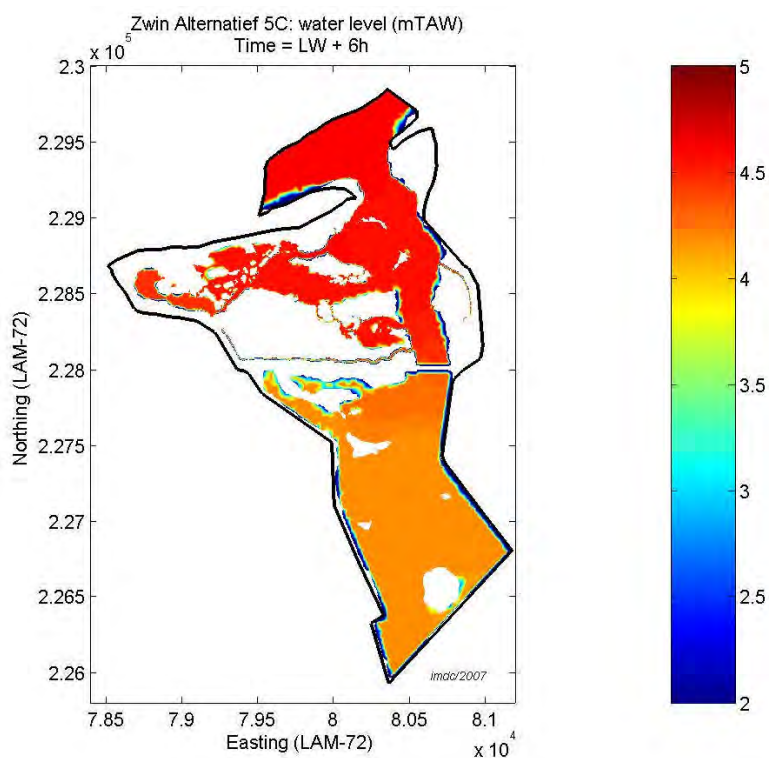
figuur4-79 overstromingsduur voor alternatief 5cen opzichte van de huidige toestand.

4.6.6. Waterstand

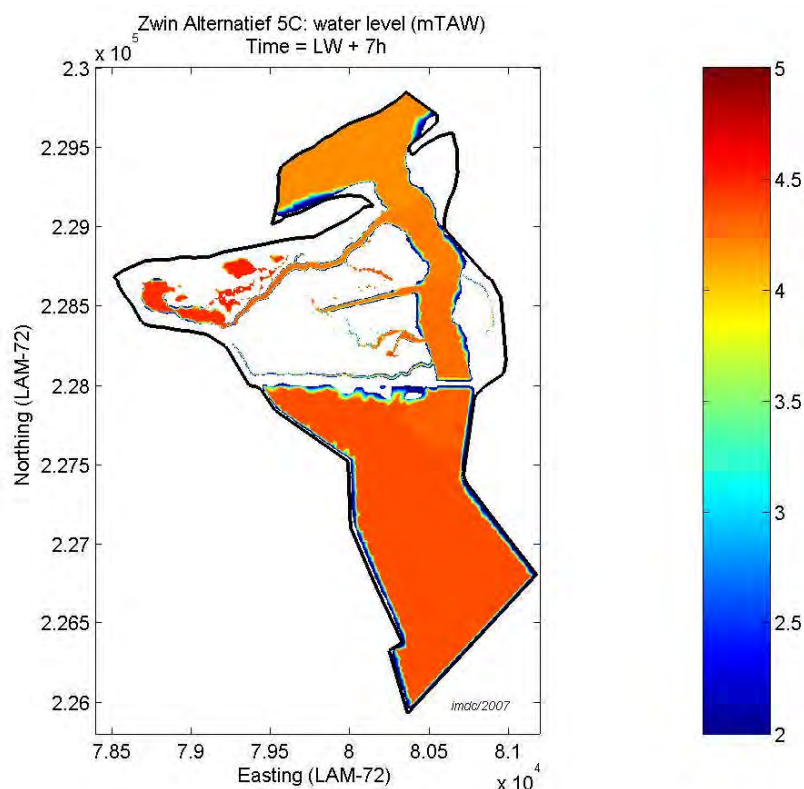
De maximale waterstand wordt bereikt 5 a 6 uur na laagwater. De maximale waterstand achteraan in de Willem Leopoldpolder bedraagt 4.22 mTAW.



figuur4-80 waterstand voor geul B, geul D en de geul in de Willem Leopoldpolder.



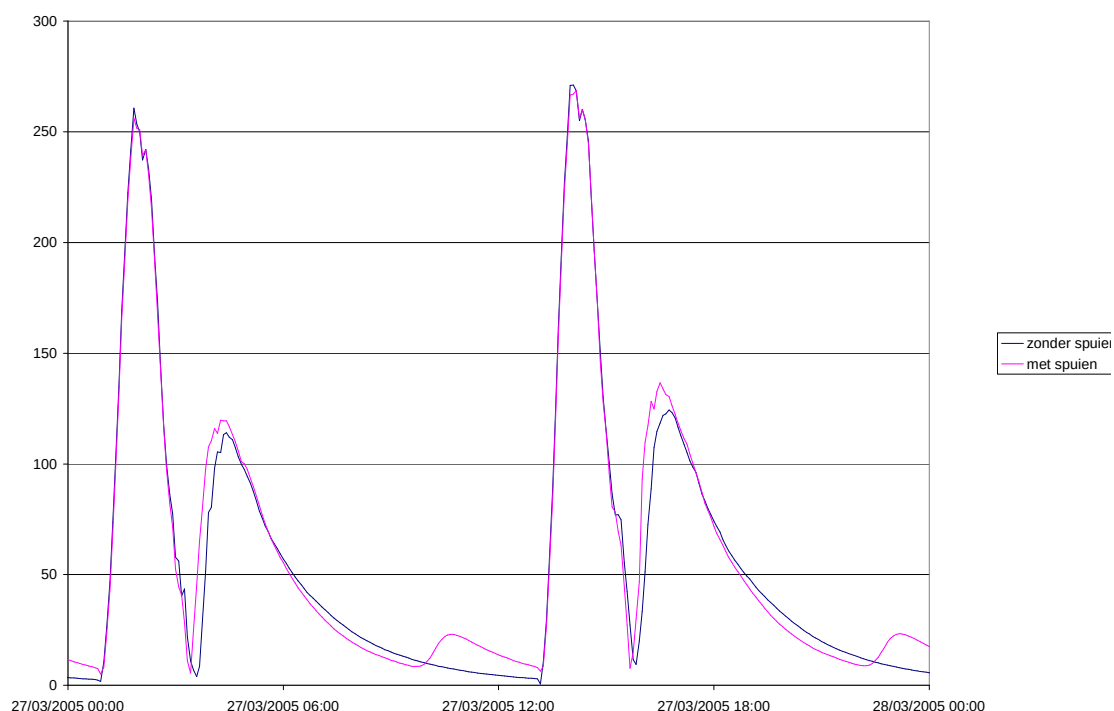
figuur4-81 maximale waterstand in het Zwin voor scenario 5c



figuur4-82 maximale waterhoogte in de Willem Leopoldpolder voor alternatief 5c

4.6.7. Effect van het spuien

figuur4-83 geeft het debiet door de monding voor de alternatieven 5c en 5d, respectievelijk met en zonder spuien. Doordat het spuibecken in het gebied is ingebracht vermindert de komberging van het gebied, wat de toename in uitstroomvolume door het spuien enigszins nuanceert. De verhoging in het uitstroomvolume bedraagt ongeveer 115000 m^3 meer ten opzichte van de scenario's zonder spuien. Het feit dat er geen volledige verhoging met 200000 kan gezien worden kan enerzijds verklaard worden door het feit dat het spuibecken in het gebied zelf gelegen is (wat de komberging ten opzichte van de scenario's zonder spuien verlaagd) en in mindere mate ook door het feit dat zoals in de figuur kan gezien worden het spuivolume niet de volledige tijd heeft om uit te stromen.



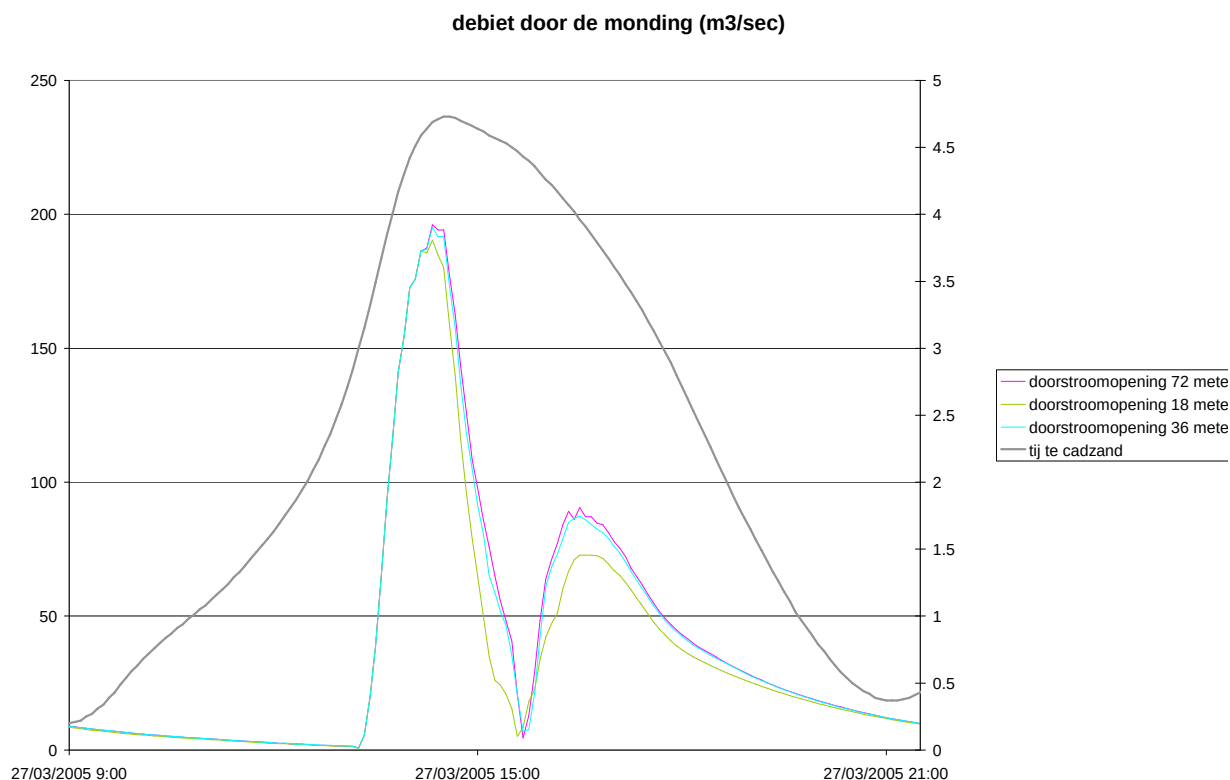
figuur4-83 debieten door de monding met en zonder spuien

4.7. Scenario's 4-1/4-2/4-3/4-6/4-7

In deze scenario's wordt het gebruik van de doorlaatconstructie verder uitgetest. Het effect van een grote doorlaatconstructie (dubbele breedte) wordt getest, evenals het effect van een kleine doorlaatconstructie (halve breedte); bijkomend wordt nagegaan of er een positief effect bekomen wordt door het spuien met zout water dmv de doorgangsconstructie.

- 4-1 grote opening (72 m, dus 36 buizen van 2 meter)
- 4-2 spuiwerking met zout water, dus de opening wordt ieder getij gesloten en dan bij LW weer geopend
- 4-3 continu pompen van zoet water in het gebied
- 4-6 opening halveren (18)
- 4-7 opening halveren (18) en spuien

Onderstaande figuur geeft het debiet door de monding voor de simulaties 4-1, 4-6 en 4-a (72 meter opening, 36 meter opening en 18 meter opening). In figuur4-84 wordt duidelijk dat tussen de doorstroomopening van 72 meter en deze van 36 meter er weinig of geen verschil is. Indien de doorstroombreedte nogmaals gehalveerd wordt tot 18 meter wordt er wel verschil merkbaar.

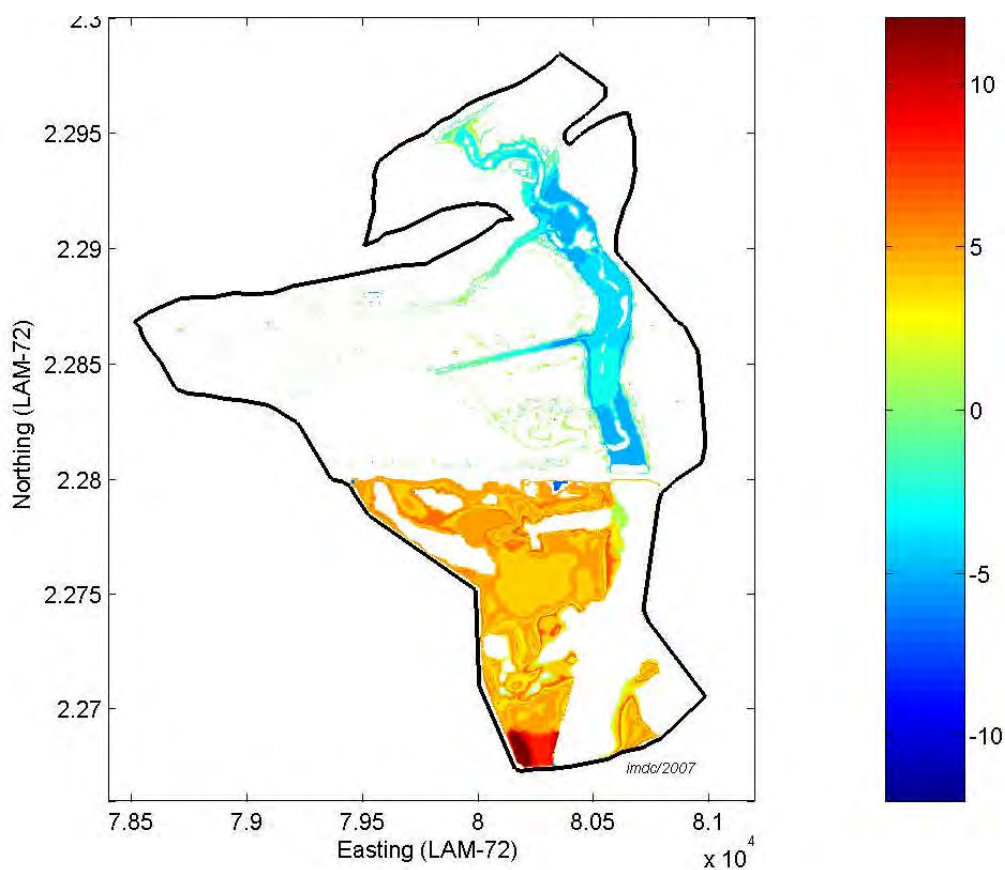


figuur4-84 debiet door de monding voor verschillende breedtes doorlaten

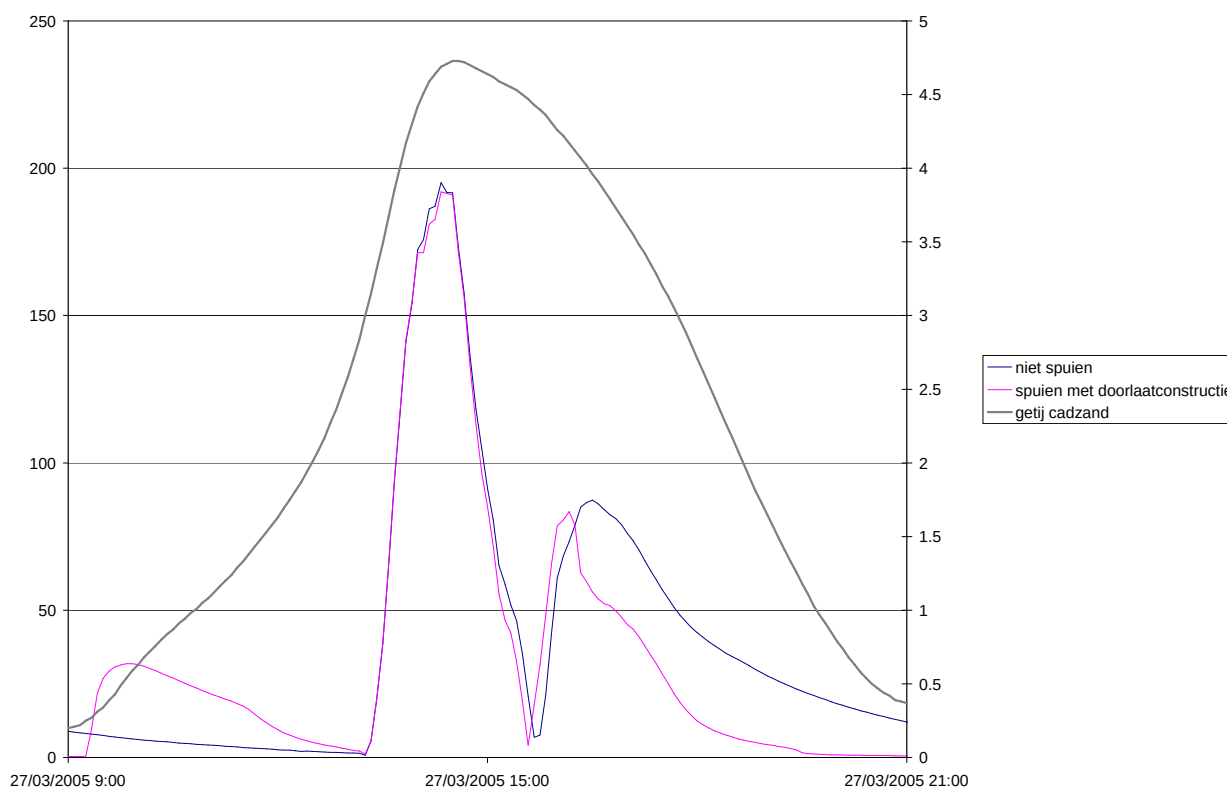
De totale komberging voor de 72 meter brede opening bedraagt 922000 m³, deze voor de 36 meter brede opening 900000 m³; voor de 18 meter brede opening is deze 800000.

De 72 meter brede opening geeft geen echt significante verbetering meer van de toestand (debieten, komberging) ten opzichte van de 36 meter brede opening. Er werd dan ook besloten met de doorstroomopening van 36 meter te werken.

Er werd ook onderzocht of het mogelijk was alternatieve spui scenario's uit te voeren in het gebied. In scenario 4-2 werd onderzocht of het mogelijk was te spuien met behulp van de doorlaatconstructie. Dit betekent dat de doorlaatconstructie slechts op bepaald ogenblikken open kan gaan en weer kan sluiten. Dit betekent dat de verblijfstijd van het water in de polder gevoelig stijgt, zoals kan gezien worden in onderstaande figuur (vergelijking tussen 4-2, en 4-a). Het ebgetij wordt opgesplitst in twee afzonderlijke fases zoals kan gezien worden in figuur4-86. Dit heeft enerzijds tot gevolg dat de snelheden in de hoofdgeul gedurende de eerste fase van het getij lager zullen zijn dan deze zonder het spuien, in de tweede fase zullen deze hoger zijn, dan in vergelijking met het spuien. Indien gespuid wordt met de overgangsconstructie betekent dit ook dat er in de WLP zelf géén invloed van de schurende werking zal zijn, en dat deze zich enkel zal beperken tot de hoofdgeul. Doordat het water langere fases stilstaat in de WLP zal de sedimentatie daar zeer hoog zijn (het sediment heeft immers alle tijd om uit te zakken) en zal beduidend onderhoud nodig zijn om de komberging en dus de spuicapaciteit te behouden.

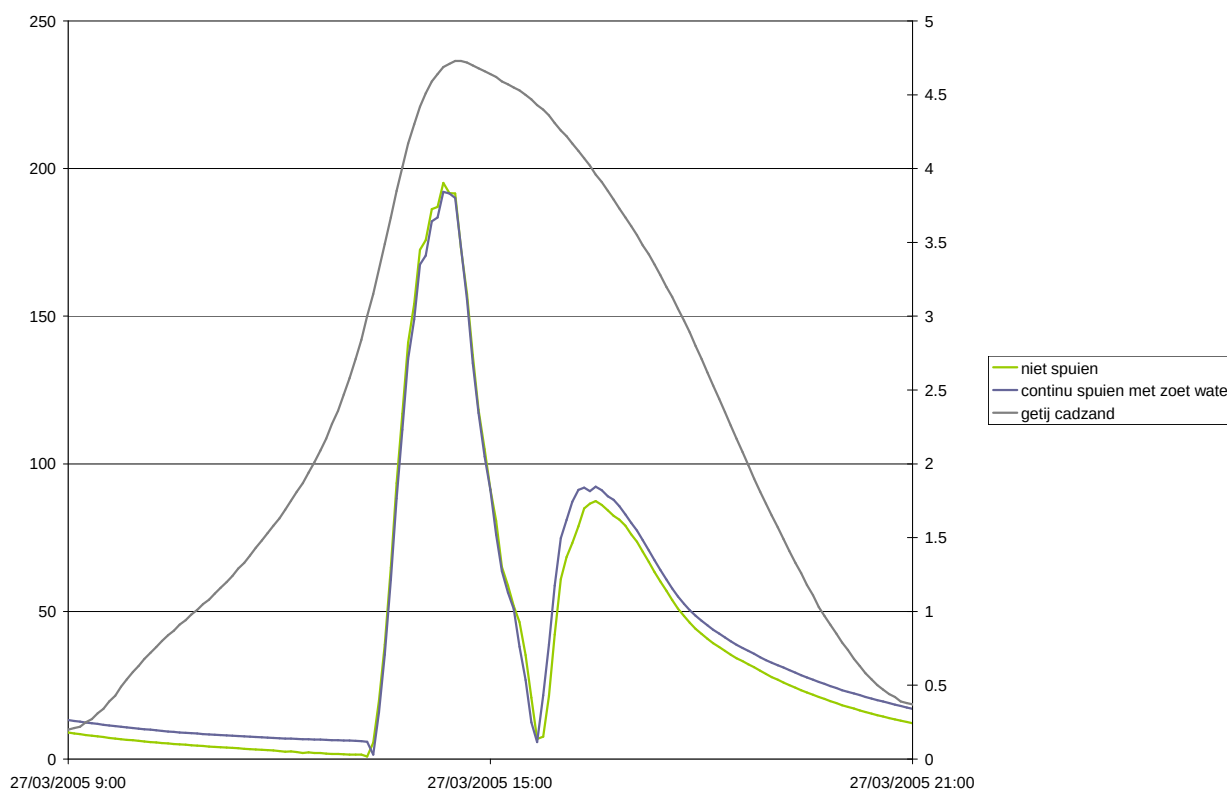


figuur4-85 verschil in verblijfstijd tussen scenario 4-a (doorlaatconstructie enkel gesloten bij storm) en scenario 4-2 (spuien met doorlaatconstructie)



figuur4-86 debiet doorheen de hoofdgeul, voor scenario 4-4 (niet spuien), in vergelijking met scenario's 4-2 (spuien met de doorlaatconstructie)

Een tweede spui mogelijkheid is het spuien met zoet water, waarbij er continu zoet water uit de polder in de Willem Leopoldpolder wordt gepompt. Dit houdt een herstel van de oude natuurlijke toestand in, waarin de polders via het Zwin afwaterden. Op figuur4-87 kan gezien worden dat het debiet gedurende eb licht hoger ligt dan in het geval waarin er niet wordt afgevoerd. Een nadeel hiervan is wel dat het water dat zich in de hoofdgeul van het Zwin en de WLP zal bevinden brak zal zijn in plaats van zout. De komberging verhoogt licht, maar de schuifspanning verhoogt niet merkbaar door de verhoging van het debiet, zodat geen extra schurende werking kan verwacht worden.



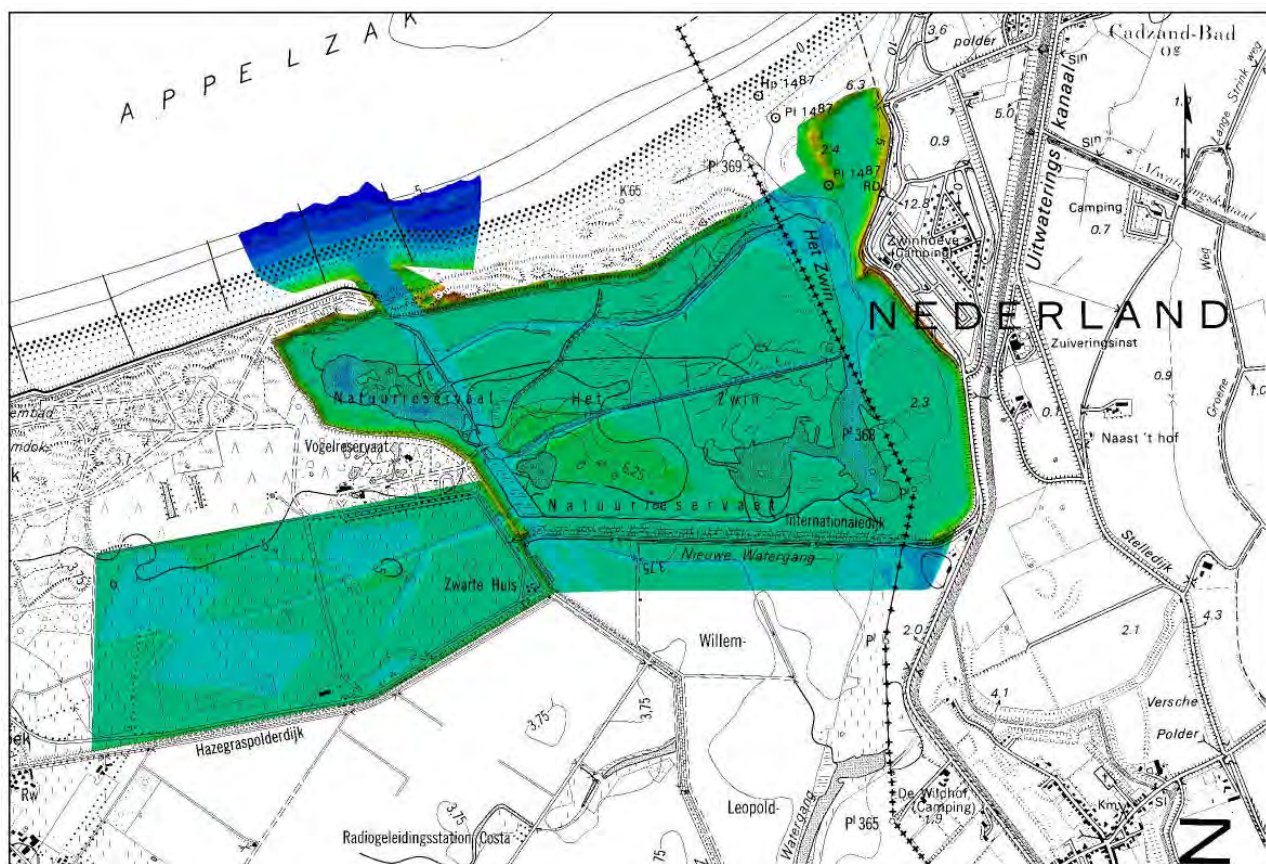
figuur4-87 continu spuien met zoet water.

4.8. Scenario 3_West

Dit bijkomende scenario werd uitgerekend om de effecten van het westwaarts verleggen van de geul verder te bestuderen. Voor een bespreking van het westwaarts verleggen van de geul wordt verwezen naar de nota I/NO/11285/07.211/cma

4.8.1. Gemodelleerde bathymetrie

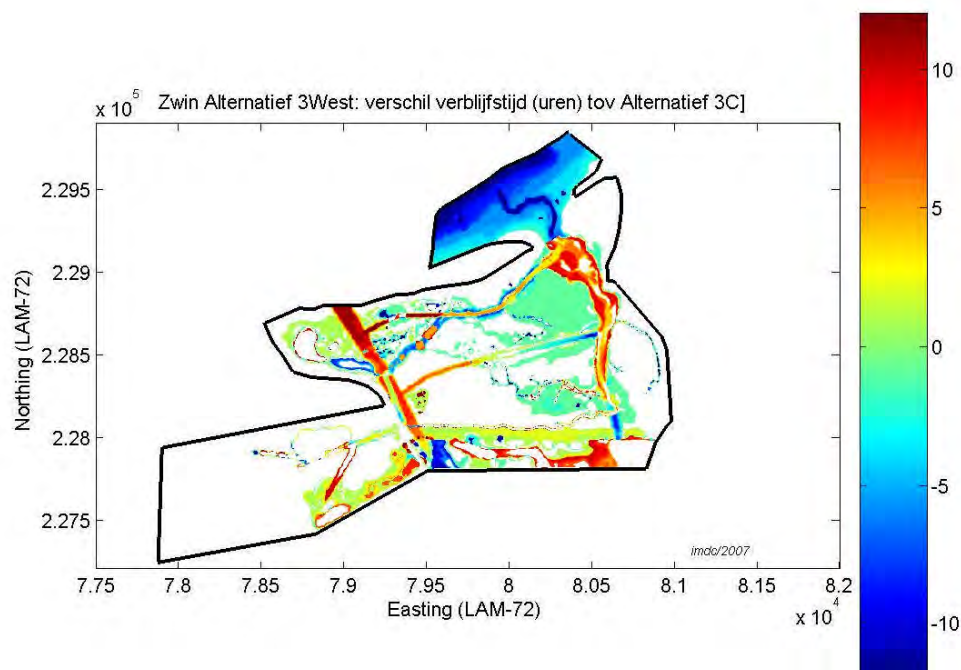
Dit scenario komt overeen met het scenario 3a; maar hierbij wordt de toegangsgeul verlegd naar het Westen, zodat deze ten oosten van het laatste strandhoofd komt te liggen. Hierbij wordt ook de interne organisatie van het Zwin aangepast.



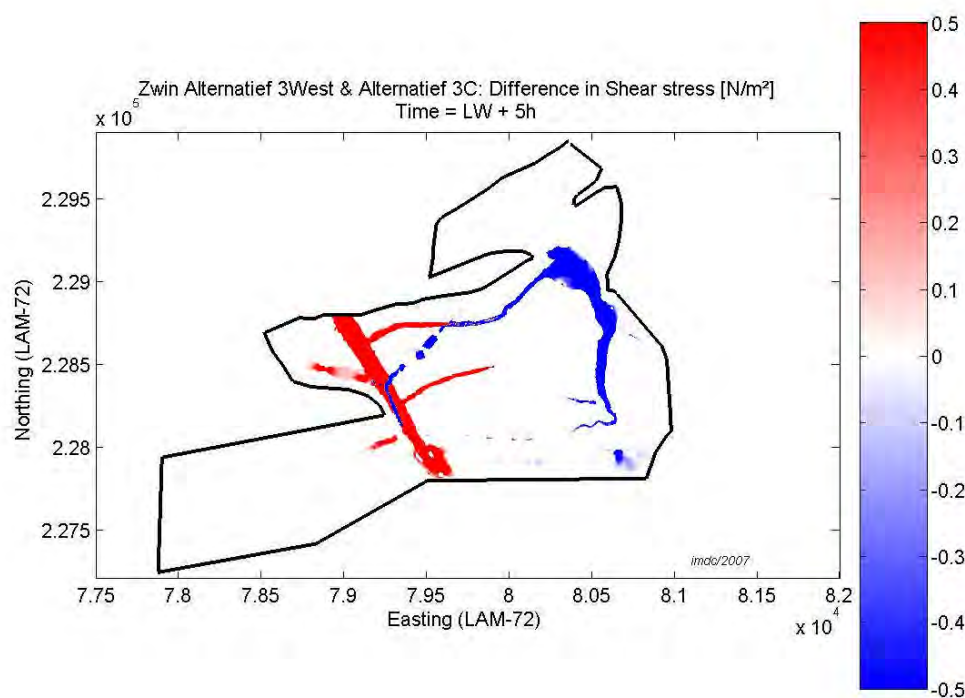
figuur4-88 gebruikte bathymetrie bij het doorrekenen van het scenario 3_west

De verblijfstijden van het water in het Zwin zullen met de verlegde geul anders zijn zoals kan gezien worden in figuur4-89 : het water in de huidige hoofdgeul zal langer blijven staan (aangezien deze een soort kreek zal vormen), en ook op de locaties van de nieuwe geul zal er meer water in het Zwin komen. Aangezien het water over grotere oppervlaktes zal blijven staan zal de volledige potentiële komberging van het Zwin niet benut worden (het stilstaande water beperkt de instroom van vers water). De instroom in de Kleyne Vlakte is laag (door de hogere ligging), het zwaartepunt van de waterhoeveelheid van het gebied ligt in de zone van de vroeger hoofdgeul

De verdeling van de schuifspanning verandert: in de oude hoofdgeul is nog weinig stroming, in de nieuwe geul is er wel stroming. Dit kan duidelijk gezien worden op figuur4-90.



figuur4-89 vergelijking van de verblijfstijden voor de locatie met en zonder geulverlegging



figuur4-90 verschil in schuifspanning tussen alternatief 3west en alternatief 3C

5. BEPALEN VAN DE MORFOLOGISCHE EVOLUTIE VAN HET GEBIED

In het volgende hoofdstuk wordt op basis van de in hoofdstuk 4 beschreven resultaten van de hydrodynamische modellering de morfologische evolutie van het gebied geschetst.

5.1. Aanpak en redeneerlijn

Voor de vergelijking en voor de morfologische voorspellingen zijn hydrodynamische berekeningen uitgevoerd van de initiële situatie. Op basis van deze berekeningen zal worden beredeneerd welke veranderingen zullen optreden in de bathymetrie van het gebied. Hiervoor worden twee eenvoudige modellen geïntroduceerd, een voor de sedimentatie in het bekken en een voor de ontwikkeling van het areaal geulen en slikken en schorren.

Er wordt van uitgegaan dat binnen de randvoorwaarden van het gebied, die worden gegeven door de ruimtelijke begrenzing, het getij bij de monding en het aanbod van sediment, een natuurlijk getijdelandchap zal ontstaan. Het natuurlijke getijdelandchap waarvan we verwachten dat het ontstaat is vergelijkbaar met het huidige Zwin en omvat geulen¹, intergetijde slikken en supragetijde schorren. Het doorstroomoppervlak van de geulen is in overeenstemming met het getijprisma. Een natuurlijke getijdelandchap is veranderlijk: de arealen van slik, schor, geulen veranderen, de grootte van de geulen en de hoogte van het inter- en supragetijdearealen zal veranderen. Voor de morfologische veranderingen in het natuurlijke getijdelandchap van het Zwin zijn de vormende kracht van het water en de bronnen (*sources*) en putten (*sinks*) van sediment tezamen de bepalende factoren. In de nieuwe situatie zal, net als in de huidige situatie, oeverwegend sedimentatie plaatsvinden, zodat de hoogte van het gebied zal toenemen en het getijprisma zal afnemen.

Wat betreft de bronnen en putten van het sediment wordt verondersteld dat:

1. Het sediment op de schorren in het huidige Zwin daar permanent aanwezig zal blijven. Erosie van de bovenzijde van het schor en sedimentatie elders (herverdeling van sediment binnen het gebied) zal naar verwachting niet plaatsvinden.
2. Erosie langs de randen van het schor nauwelijks plaatsvindt. Deze erosie is beperkt omdat het schor in het Zwin relatief beschermt ligt ten opzichte van de golfaanval. Dit is het geval in de huidige situatie en dit zal bij een uitbreiding niet wezenlijk veranderen. Ook de erosie door de migratie van geulen is zeer beperkt, omdat de geulen min of meer verankerd liggen door de aanwezigheid van de vegetatie.
- 1 + 2. Een natuurlijke verjonging van het schor slecht zeer beperkt zal plaatsvinden.
3. De geulen in het huidige zwin bij uitbreiding zo worden gedimensioneerd dat deze in evenwicht zijn met hun getijprisma. Deze geulen zullen niet eroderen en vormen derhalve geen bron voor sediment. Overigens vormen deze geulen ook in het huidige Zwin geen bron voor sediment, het zijn wel de transportpaden voor het sediment dat via de monding wordt aangevoerd.

¹ Bij de studies naar het Zwin is en wordt steeds gesproken over 'geulen'. In feite zijn alle geulen in het Zwin kreken, omdat ze door schorren omsloten worden en geheel boven het niveau van laagwater liggen. Dit zal ook in de nieuwe situatie het geval worden, ongeacht welke uitbreiding wordt uitgevoerd.

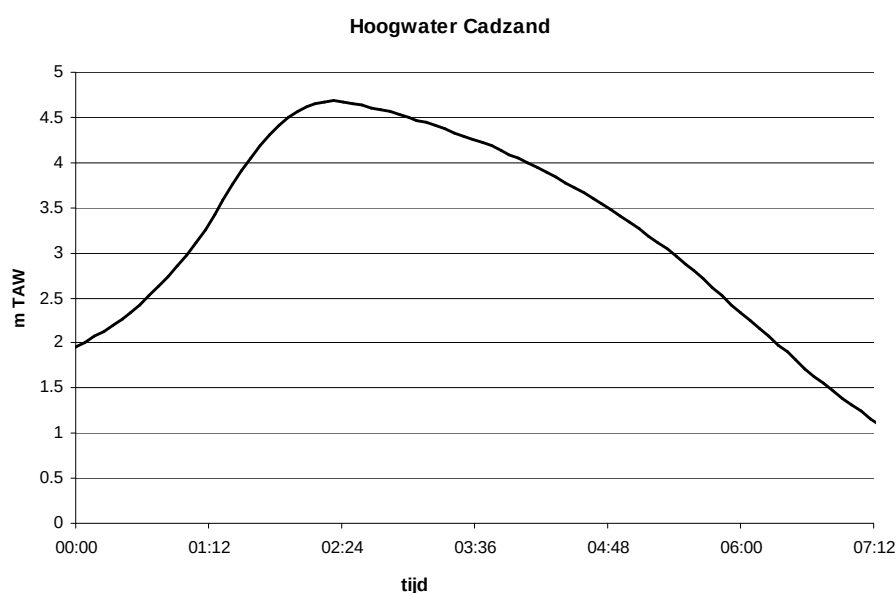
4. Bij de vorming van de geulen in de uitbreidingsgebieden wel erosie kan plaatsvinden. De vorming van deze geulen in het inter- en supragetijde deel van de uitbreidingsgebieden is een tijdelijke bron van sediment. Wel geldt dat de geulen die worden aangelegd en zijn gedimensioneerd op basis van het getijprisma in de nieuwe situatie geen bron van sediment vormen, omdat deze reeds een evenwichtsdiepte hebben bereikt. Het sediment zal waarschijnlijk binnen het uitbreidingsgebied lokaal worden afgezet in de diepere delen. Op de korte termijn (0-10 jaar) is dit proces de belangrijkste oorzaak voor morfologisch veranderingen.
5. Zand en slib van buiten het Zwin naar binnen wordt aangevoerd. Deze sedimentaanvoer is op de lange termijn (10-30 jaar) de belangrijkste oorzaak voor de morfologische veranderingen in het gebied.

Over de vormende kracht van het water is al opgemerkt dat de doorstroomprofielen van de geulen is gekoppeld aan hun getijprisma. Daarbij verwachten we dat de stroming die in de nieuwe gebieden initieel nog breed uitwaaiert deze gebieden gaandeweg geconcentreerd zal worden in de geulen.

5.1.1. Over de import van sediment naar het Zwin

In paragraaf 5.1 is opgemerkt dat zand en slib van buiten het Zwin naar binnen wordt aangevoerd. De belangrijkste reden voor de aanvoer van sediment naar het Zwin is dat bij de monding en in het Zwin de stroomsnelheden bij vloed groter zijn dan de stroomsnelheden bij eb. Deze verschillen in de stroomsnelheden zijn het gevolg van de waterstanden bij de monding en van de hoogteligging van het Zwin, waardoor een drempel gecreëerd wordt. De vloedduur is veel korter dan de ebduur (figuur5-1). Oftewel de waterstand stijgt snel bij vloed en daalt daarna langzamer bij eb.

De getij-asymmetrie aan de monding en de hogere stroomsnelheden bij vloed dan bij eb veranderen niet door de uitbreiding van het Zwin of door andere ingrepen in het Zwin (bijvoorbeeld veranderingen in de verhouding tussen de breedte en de diepte van de hoofdgeul). In het Zwin is dus een duidelijk naar het bekken gericht sedimenttransport.



figuur5-1 Hoogwater bij springtij te Cadzand. Het grootste deel van het Zwin ligt boven TAW 2 m.

5.1.2. De ontwikkeling van het Zwin via twee processen

Na de uitbreiding van het zwin zal de ontwikkeling van het natuurlijke getijdelandchap in het uitbreidingsgebied via twee processen verlopen:

5.1.2.1. *Initiële vorming geulen*

Het begin van de morfologische ontwikkeling wordt gekarakteriseerd door de vorming van de geulen. De aanzet voor de geulen zijn al in het landschap aanwezig in de vorm van natuurlijke verdiepingen in het landschap (oude geulen) en in de vorm van de gegraven geultracés. De stroming van de (iets) hogere delen naar de geulen zal in toenemende mate worden geconcentreerd in geulen. Dit is een zelfversterkende proces, dat vergelijkbaar is met de vorming van een drainagepatroon van geultjes (*gullies*) op hellingen. Het sediment dat vrijkomt bij de erosie van de geulen zal waarschijnlijk door de ebstroom worden meegevoerd en in de diepere delen van de uitbreidingsgebieden worden afgezet. Met de vorming van de geulen worden ook de contouren zichtbaar van de slikken en de schorren.

Omdat dit proces deels wordt gestuurd door toevalligheden is het niet mogelijk om te voorspellen op welke locaties de geulen zullen worden gevormd.

Deze vorming van geulen verloopt relatief snel. Afhankelijk van de grootte van de uitbreiding en de mate waarin al een geulpatroon aanwezig is, duurt dit één tot tien jaar. Bij de vorming van de geulen vindt een lokale herverdeling van het sediment plaats.

5.1.2.2. *Opvulling van het bekken*

Indien het uitbreidingsgebied een bekken vormt, dat wil zeggen een zekere watervolume heeft onder GLWS, dan zal dit bekken opgevuld worden met sediment. De reden voor de sedimentatie in het bekken is de doorgaande import van sediment naar het Zwin. De sedimentatie zal in ieder geval voor een deel bestaan uit slib.

De opvulling van het bekken is een proces dat langzamer verloopt naarmate het bekken verder opgevuld raakt. Afhankelijk van de grootte en de vorm van het bekken (en de mate waarin de doorlaatconstructie sediment doorlaat) zal de opvulling enkele tientallen jaren tot honderd jaar in beslag nemen.

5.1.3. De uitbreiding van het Zwin en de stabiliteit van de monding

De stabiliteit van de monding betreft de mate waarin de monding van nature open blijft. Het gaat hierbij niet om de locatiestabiliteit van de monding. Voor de stabiliteit van de monding is de verhouding tussen het getijprisma van het bekken (die de mondingsgeul open houdt) en het sedimenttransport langs de kust (die de mondingsgeul 'dichtdrukt') bepalend. Deze verhouding wordt de r parameter van Bruun genoemd ($r = P/M_{\text{tot}}$, waarbij P het getijprisma is en M_{tot} het totale dwarstransport). Hoe groter de r -parameter, des te stabielere de monding zal zijn. De Bruun-parameter is voor de verschillende scenario's en voor de huidige situatie weergegeven in tabel 1. Hierbij is uitgegaan van een waarde van 100.000 m³ voor M , omdat alleen met het voor de relatief ondiepe monding effectieve totale langstransport moet worden gerekend. Deze waarde van de Bruun-parameter mag alleen onderling worden vergeleken tussen de scenario's.

In de loop van de tijd zal het getijprisma van het Zwin afnemen, omdat sedimentatie in het bekken plaatsvindt. De stabiliteit van de monding zal daardoor ook gaandeweg afnemen. Ter indicatie hiervan zijn in Tabel 5-1 ook de berekende getijprisma uit de morfologische

ontwikkeling en de daaruit voortvloeiende Bruun-parameters weergegeven. Ook hier geldt dat de getallen alleen onderling vergeleken mogen worden.

Tabel 5-1 Bruun-parameter als maat voor de stabiliteit van de monding van het Zwin, voor de huidige situatie en voor de situatie over 30 jaar.

	Huidige Zwin	Alt. 1A	Alt. 2C	Alt. 3A	Alt. 3C	Alt. 4A	Alt. 5C
Getijprisma bij aanvang	270.000	930.000	1.570.000	570.000	570.000	900.000	1.300.000
r (=P/M)	2.7	9.3	15.7	5.7	5.7	9	13
na 30 (20–60) jaar		326.000	476.000	258.000	218.000	327.000	472.000
r (=P/M)		3.3	4.8	2.6	2.2	3.3	4.7
na 30 (20–60) jaar							

5.2. Het morfologische effect van doorlaatconstructies

In de scenario's 3A/3B, 4A/4B en Scenario 5C/5D is sprake van uitbreidingen van het gebied met behulp van een doorlaatconstructie. Uitgangspunt is dat de doorlaatconstructies worden gedimensioneerd op de situatie direct na uitbreiding. De constructies vormen dan geen belemmering voor het in- en uitstromen van het bekken. Bij het kleiner uitvoeren van de doorstroomopeningen wordt het getij in het uitbreidingsgebied 'geknepen', zodat het getijprisma kleiner zal zijn.

De globale effecten op de morfologische ontwikkeling van de overlaat zijn voor de scenario's vergelijkbaar. Door de sedimentatie in de het bekken neemt het getijprisma af en wordt de doorstroomopening van de doorlaatconstructie in de loop van de tijd te groot. Afhankelijk van het type constructie is het gevolg dat (een toename van de) sedimentatie plaats kan vinden in de constructie. In een situatie zonder constructie zal in dit geval sedimentatie in de geul plaatsvinden, omdat het doorstroomoppervlakte van de geul in evenwicht zal blijven met het getijprisma.

De doorlaatconstructies zullen worden gesloten bij condities waarbij het peil in de Willem-Leopoldpolder het overschrijdingsniveau voor de bestaande dijk nadert. Een eerste inschatting, uitgaande van een toelaatbaar overslagdebiet van 1 l/s/m (deze norm is zowel gebaseerd op het beschermen van het achterland tegen overstromingen, als op het toelaatbare overslagdebiet voor een grasdijk), geeft aan dat gemiddeld 5 keer per jaar de doorlaatconstructie zou moeten worden gesloten indien uitgegaan wordt van een dijkhoogte van 5.5 meter voor de huidige dijken, en 6 meter voor de nieuw te bouwen dijk aan de Retranchementstraat.

De sifon wordt geoptimaliseerd op een maatgevende stromingsconditie. Dat betekent dat de constructies tijdens stormcondities de instroming of volledig stoppen of beperken. Het gevolg is dat de sedimentatie en erosie op de hogere delen in het bekken wordt beperkt. Een sifon beperkt ook de aanvoer van zand, omdat dit in de zandvang van de constructie wordt afgevangen. In het Nederlandse deel van de Willem-Leopold polder, achter de sifon, zal daarom alleen sedimentatie van slib plaatsvinden.

Lokaal kan ontgronding optreden aan beide zijden van de constructie. Het voorkomen hiervan vereist een doordacht ontwerp van de aansluitconstructie.

De doorlaatconstructies zullen ten minste enkele keren per jaar moeten worden gesloten. Het morfologische effect van de sluiting van de constructie zal daarom een merkbaar effect hebben op de morfologische ontwikkelingen. In het uitbreidingsgebied zal de sedimentatiesnelheid lager worden dan in de situaties zonder springtijkering. Er wordt minder vaak minder vaak water en sediment aangevoerd naar het bekken. En juist de situaties met naar verwachting veel aanvoer en sedimentatie (springtij en stormen) worden uitgesloten. De ontwikkeling in het uitbreidingsgebied wordt dus vertraagd.

In het bestaande Zwin worden de geulen groter (gemaakt), omdat deze de aanvoer van water naar het uitbreidingsgebied moet opvangen. Ook tijdens springtij en stormen zijn de geulen groter dan in de huidige situatie. Dat betekent dat de stroming het huidige Zwin in en uit in die situaties makkelijker verloopt. Het gevolg zal zijn dat de waterstanden in het Zwin bij springtij en stormen waarschijnlijk iets hoger worden. En daarmee zal de sedimentatie op de hoge delen van het Zwin waarschijnlijk ook iets toenemen.

Bij het stijgen van de zeespiegel, of eigenlijk in het geval van het Zwin, bij het stijgen van het niveau van het hoogwater gaat de aanwezigheid van een doorlaatconstructie een belangrijke rol spelen. Zonder constructie kan in het gehele gebied de hoogwaterstand toenemen. Hierdoor kan steeds hoger in het gebied sedimentatie plaatsvinden en hiermee wordt de levensduur van het Zwin verlengd. Bij de gebieden achter de doorlaatconstructies mag de waterstand slechts beperkt verder stijgen, door de beperkende hoogte van de dijken. Dat betekent dat deze gebieden een minder positief effect op de levensduur ondervinden van de stijgende zeespiegel. Verder betekent het dat na verloop van tijd de constructies steeds vaker zullen moeten worden gesloten, met alle negatieve gevolgen voor de ecologie daarvan.

Een doorlaatconstructie vormt een rigide element in het natuurlijke systeem. De dimensionering van de constructie is gericht op één situatie en niet op het ontwikkelde getijdelandchap. En de constructie kan de aanvoer van sediment beperken. Vanwege deze aspecten wordt een doorlaatconstructie als minder wenselijk gezien voor de morfologische ontwikkelingen. Van de verschillende typen constructies is een sifon de meest bezwaarlijke, vanwege beperkingen op de waterstand en de sedimentaanvoer.

5.3. Het morfologische effect van spuien

Het gebruik van een spuibekken achter in het bekken leidt tot een kortdurende piek van hoge stroomsnelheden. Deze hoge stroomsnelheden verplaatsen zich met de golf van spuiwater naar de monding. De hoogste stroomsnelheden treden op in de directe nabijheid van het spuibekken en nemen af naar de monding. Dit effect is het gevolg van het groter worden van de geul naar de monding en het afvlakken van de golf van spuiwater. De stroomsnelheden bij de monding zijn vergelijkbaar met de stroomsnelheden tijdens de piek van de ebstroom. Weliswaar levert het spuien een groter volume aan uitstromend water, maar deze toename betekent niet dat het getijprisma (dat wordt gebruikt voor het berekenen van de stabiliteit van de monding) met hetzelfde volume toeneemt.

De initiële situatie zal veranderen, omdat de hoge stroomsnelheden in de nabijheid van de spui kom waarschijnlijk zullen resulteren in het ontstaan van een ontgrondingskuil. Het sediment dat daarbij vrijkomt zal worden afgezet in de vorm van een drempel. De ontstane configuratie van ontgrondingskuil en drempel zal een dempend effect hebben op de uitstroming van het spuiwater. De stroomsnelheden die worden bereikt in de geul zullen daardoor afnemen.

De aanleg en het gebruik van een spuirom achter in het Zwin levert een extra onzekerheid op voor de ontwikkeling van het gebied. De kans is niet nul dat spuien met zoetwater leidt tot een afname van de levensduur van het intergetijdegebied. Weliswaar is een estuariene circulatie tijdens het uitstromen min of meer uitgesloten door de beperkte waterdiepte, maar tijdens de daaropvolgende vloed kan het resterende zoete water resulteren in dichtheidsgedreven stromingen. Mogelijk leiden deze stromingen tot een residueel sedimenttransport naar de Willem-Leopold polder en daarmee tot een verhoogde sedimentatie (van slib) in dat gebied.

Door het feit dat het spuibekken (20 ha) groot in het gebied gelegen is, zal de oppervlakte waarin estuariene natuur kan ontwikkelen met 20 ha gereduceerd worden. Ook de komberging zal effect hiervan ondervinden: de waterstand in de Willem Leopoldpolder zal sneller stijgen, waardoor er meer water in het Zwin zelf zal blijven staan en minder water in de polder zal geborgen worden. Hierdoor wordt de totale komberging van het gebied verminderd. Dit komt neer op een vermindering van ongeveer 50000 m³ voor de scenario's 1 en 4; en 70000 m³ voor de scenario's 2 en 5.

5.4. De sedimentatie in het (uitgebreide) Zwin

Voor het bepalen van de globale morfologische ontwikkeling, namelijk het opvullen van het bekken, is een eenvoudige kwantitatieve benadering gekozen. In deze benadering wordt de opvulling van het bekken berekend aan de hand van:

C: de sedimentconcentratie bij de monding van het Zwin (langjarige gemiddelde over de gehele monding)

P: het getijprisma

ρ_s : de dichtheid van het sediment

E: de *trapping efficiency* van het bekken

t: de getijfactor

De sedimentatie per getij S_{tij} wordt dan gegeven door:

$$S_{tij} = E * (P * C) / \rho_s$$

De sedimentatie per jaar wordt gegeven door het aantal getijden per jaar (740) en de factor t die de bijdrage van springtij ten opzichte van het doottij en normaal tij relateert, volgens:

$$S_{jaar} = 740 * t * S_{tij}$$

En het volume van het bekken in de loop van de tijd wordt gegeven door:

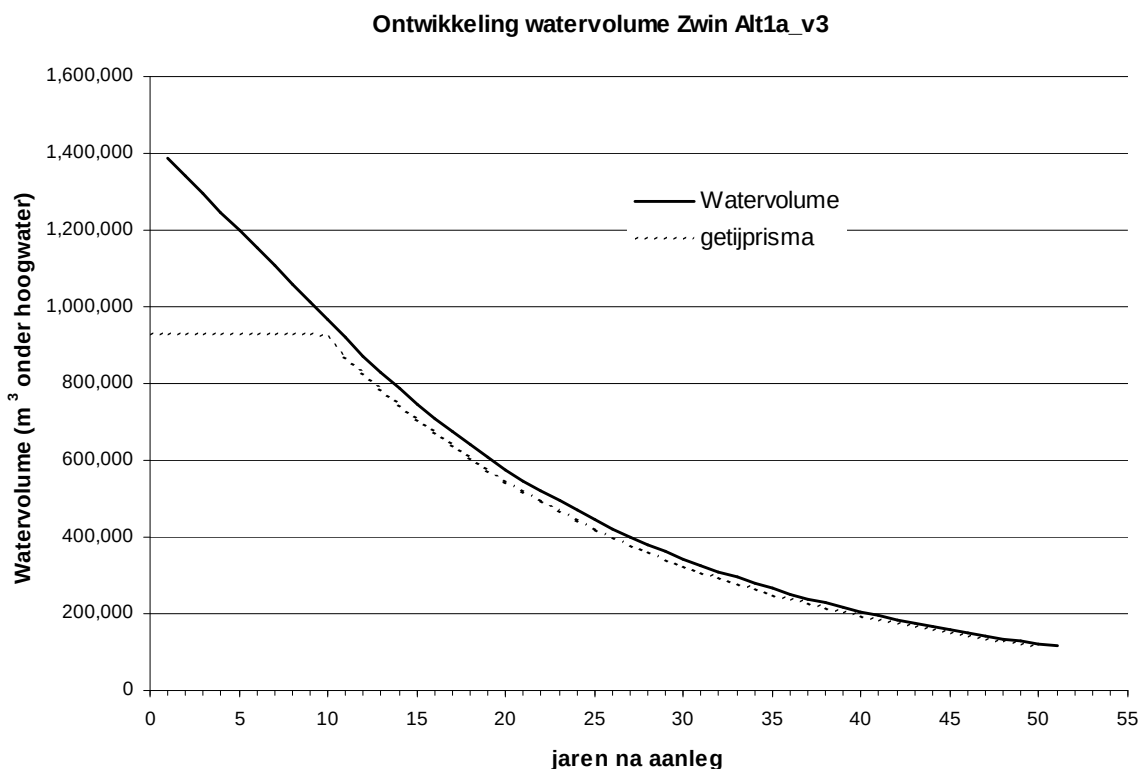
$$V_{water, t=n+1} = V_{water, t=n} - S_{jaar}$$

Zolang het watervolume van het bekken groter is dan het getijprisma, verandert het getijprisma niet. Wanneer het watervolume in het bekken kleiner dreigt te worden dan het getijprisma, dan wordt het getijprisma gelijkgesteld aan het watervolume in het bekken. Het watervolume wordt bepaald onder het lokale hoogwater in het Zwin en in de uitbreidingen.

De resultaten van de berekening van de sedimentatie en de ontwikkeling van het watervolume van het bekken zijn weergegeven in figuur 5-2 voor scenario 1A/1B. Voor deze berekening zijn

waarden gebruikt van $C = 200 \text{ mg/l}$, $P = 930.000 \text{ m}^3$, $\rho_s = 1650 \text{ kg/m}^3$, $E = 75\%$ en $t = 0,75$. De initiële sedimentatie is bijna 47.000 m^3 per jaar en dat is uitgesmeerd over het gehele gebied onder hoogwater (van 254 ha) ongeveer 2 cm sedimentatie per jaar. De veranderingen gaan snel in de eerste 25 tot 30 jaar en vlakken daarna af.

In de bovenstaande berekeningen en in de gebruikte getallen zitten nogal wat onzekerheden. Het is bijvoorbeeld niet bekend wat de langjarige gemiddelde sedimentconcentratie in de monding van het Zwin is. Ook is niet bekend wat de *trapping efficiency* van het bekken is en wat het in de nieuwe situatie zal worden. En de relatieve bijdrage van de verschillende waterstanden aan de sedimentatie in het Zwin is ook niet bekend. Vandaar dat ook de gevoeligheid van de berekeningen voor deze factoren ook is getest. De gebruikte waarden zijn weergegeven in tabel 2 en de resultaten van de berekeningen zijn gepresenteerd in figuur 5-3. De sedimentconcentratie heeft de grootste invloed op de berekeningen. Bij een sedimentconcentratie van 300 mg/l duurt de afname tot $0,9 \text{ M m}^3$ (afname met $1/3$) 7 jaar en bij 100 mg/l is dat 20 jaar. Ten opzichte van de 10 jaar in het basis-scenario levert dit dus een bandbreedte van – 3 en plus 10 jaar. De andere factoren beïnvloeden de ontwikkeling in iets minder mate, maar ook hier is sprake van jaren.



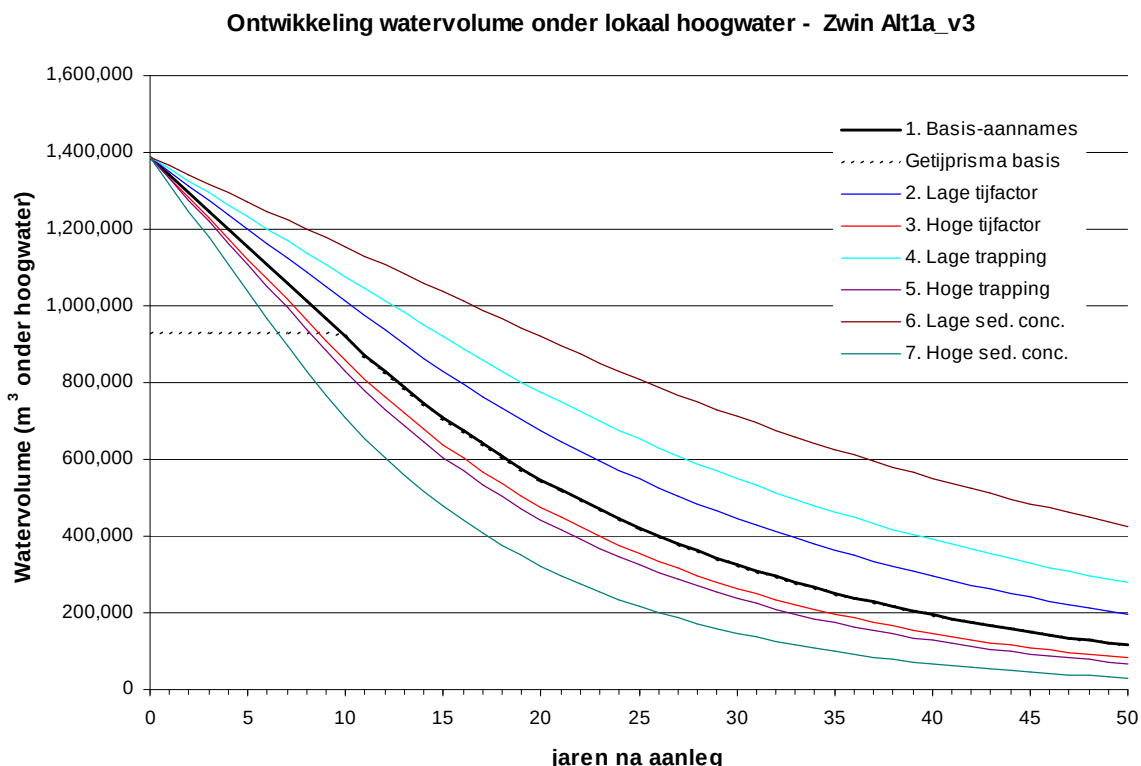
figuur5-2 De ontwikkeling van het watervolume van scenario 1A/1B.

Tabel 5-2 Gebruikte waarden voor de gevoeligheidsanalyse

	Sedimentconcentratie (mg/l)	Springtij/doodtijfactor	Trapping efficiency (%)
1. Basis-aannames	200	0.75	75
2. Lage tijfactor	200	0.6	75
3. Hoge tijfactor	200	0.85	75
4. Lage trapping	200	0.75	50
5. Hoge trapping	200	0.75	90
6. Lage sed. conc.	100	0.75	75
7. Hoge sed. conc.	300	0.75	75

De factoren die zijn gebruikt voor het berekenen van de bandbreedte van de ontwikkelingen liggen in het realistische bereik voor het Zwin. Gegevens om een keuze te maken tussen de ene of andere waarde ontbreken en het is derhalve verstandig om bij de voorspelling van de morfologische ontwikkelingen een bandbreedte te hanteren. We gebruiken het basis scenario voor het vergelijken van de ontwikkelingen van de verschillende scenario's. Waar wordt gesproken over de 5 jaar wordt feitelijk gesproken over de situatie na 3 tot 10 jaar, bij 10 jaar gaat het feitelijk om 6 tot 20 jaar en bij de voorspelling over 30 jaar betreft het 20 tot 62 jaar.

De berekening van de ontwikkeling van het watervolume is ook uitgevoerd voor de andere scenario's. De gebruikte gegevens zijn weergegeven in tabel 2 en de resultaten staan in figuur 5-4. Voor deze berekeningen is gebruik gemaakt van de basis aannames uit Tabel 5-1. In figuur 5-4 is zichtbaar dat de verschillende scenario's convergeren naar dezelfde situatie. De snelheid waarmee dat gebeurt is het grootst voor de gebieden met het grootste initiële watervolume. De oorzaak voor de snelheidsverschillen van de ontwikkelingen is overigens niet het verschil watervolume, maar het verschil in de grootte van het getijprisma. Naarmate het getijprisma groter is, zal volgens dit model meer sedimentatie plaatsvinden. Het effect van het getijprisma verklaart ook , samen met het oppervlakteverschil door het al dan niet weghalen van de internationale dijk , de verschillen tussen de scenario's 1 en 4 en 2 en 5.



figuur 5-3 Gevoeligheidsanalyse van de berekening van het watervolume van scenario 1, gebruikte waarden in Tabel 5-2

Tabel 5-3 Gebruikte waarden voor de berekeningen.

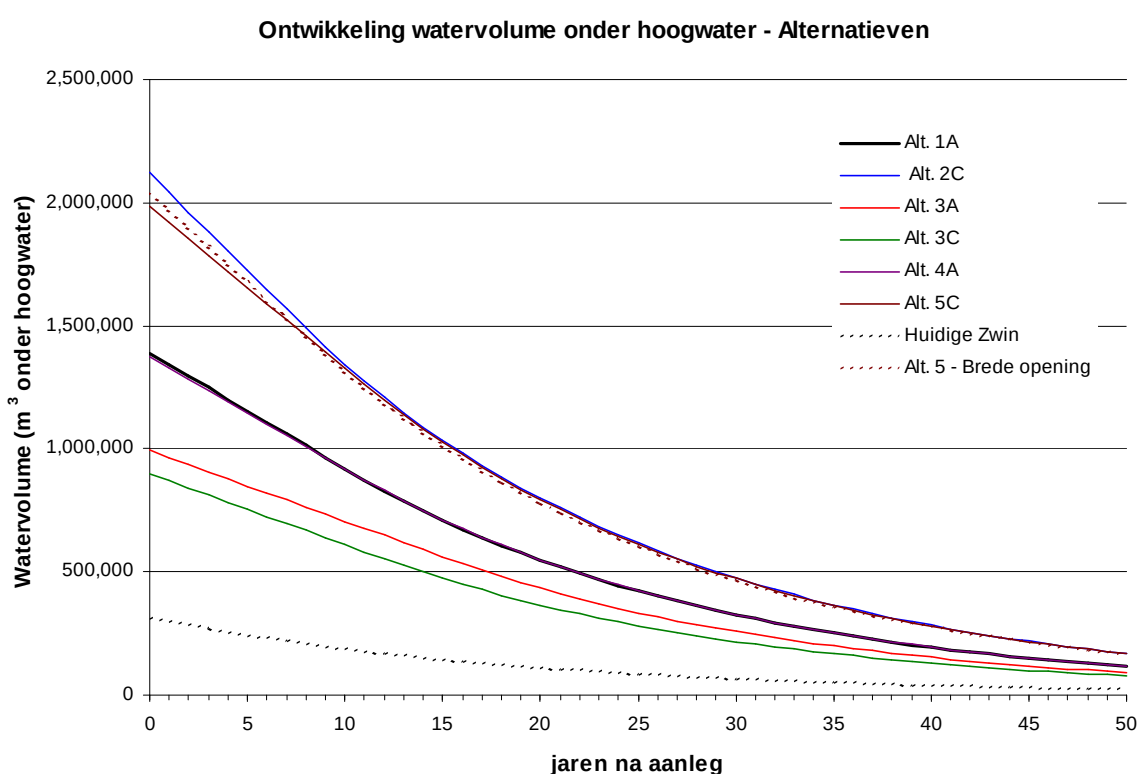
	Alt.1A	Alt. 2C	Alt. 3A	Alt. 3C	Alt. 4A	Alt.5C
Totaal oppervlakte bij lokaal hoogwater (m ²)	2.208.190	2.705.605	2.109.987	2.067.459	2.182.324	2.736.311
Totaal watervolume bij lokaal hoogwater (m ³)	1.388.376	2.121.267	993.135	898.041	1.374.231	1.983.794
Getijprisma (uit Mike-simulatie; m ³)	930.000	1.570.000	570.000	570.000	900.000	1.300.000

5.4.1. Discussiepunten

De ontwikkeling van het sedimentvolume is berekend met een eenvoudig model. Enkele opmerkingen om de voorspellingen te nuanceren zijn op hun plek.

In het model wordt er van uitgegaan dat het getijprisma alleen afneemt wanneer watervolume kleiner dreigt te worden dan het getijprisma. In feite betekent dit dat de sedimentatie alleen plaatsvindt in de diepere delen van het gebied (meertjes) die geen bijdrage leveren aan het getijprisma. In de praktijk zal ook in andere delen van het gebied sedimentatie plaatsvinden en zal het getijprisma al vanaf het begin iets afnemen.

In het model wordt verondersteld dat de *trapping efficiency* hetzelfde is in de tijd en hetzelfde is voor de verschillende scenario's. In werkelijkheid spelen verschillende factoren een rol waardoor de *trapping efficiency* voor de verschillende scenario's waarschijnlijk anders is en in de loop van de tijd verandert. De mate waarin sediment in het bekken wordt gevangen is bijvoorbeeld afhankelijk van de hoogte van het slik en schor in het bekken. Naarmate het slik en schor hoger wordt zal minder sediment in die gebieden worden gevangen. De sedimentatiesnelheid in het Zwin zal naar verwachting het hoogst zijn in de diepe delen van het gebied en lager bij de hogere delen. In de delen die als geul ontwikkeling zal geen of beperkte sedimentatie plaatsvinden. Bij toename van de hoogte tot boven het hoogwater bij doortij (3.79 m TAW) zal de sedimentatiesnelheid afnemen omdat het gebied steeds minder vaak wordt overstroomd en de aanvoer van sediment afneemt. Ook de aanwezigheid van vegetatie beïnvloedt het invangen van sediment, net als de vorm van het bekken.



figuur 5-4 Ontwikkeling van het watervolume van de verschillende scenario's. De gebruikte waarden staan in Tabel 5-3 en daarbij horen de basis-aannames uit Tabel 5-2.

Vanwege deze aspecten is de *trapping efficiency* waarschijnlijk lager voor de scenario's die relatief hoge gebieden toevoegen aan het Zwin (met name scenario 3). Verder is het waarschijnlijk dat de *trapping efficiency* in de loop van de tijd zal afnemen, omdat de gemiddelde diepte van het gebied afneemt. Er zijn echter geen criteria beschikbaar om deze verwachte aspecten door te vertalen in het model.

In het model is geen rekening gehouden met de voorspelde toename van het hoogwater onder invloed van de stijgende zeespiegel. De toename van het niveau van hoogwater leidt tot een toename van het niveau van hoogwater in het Zwin. Deze toename van het niveau van hoogwater leidt tot een toename van het getijprisma die een deel van de afname van het

getijprisma door de sedimentatie compenseert. De snelheid waarmee deze ontwikkeling plaatsvindt is afhankelijk van de lokale stijging van het hoogwaterniveau bij Cadzand.

In deze studie is geen onderscheid gemaakt tussen de sedimentatie van zand en van slib. Waarschijnlijk zal in de diepe gelegen uitbreidingsgebieden initieel relatief veel slib sedimenteren. De lage stroomsnelheden in deze gebieden, in combinatie met de lange verblijftijd van het water, geven goede omstandigheden voor de sedimentatie van slib. Naarmate een patroon van geulen en slikken ontstaat zal de sedimentatie van slib worden beperkt tot de slikken, omdat de stroomsnelheden in de geulen hoger zijn geworden. Kwantitatieve uitspraken over de sedimentatie van slib en zand kunnen echter niet worden gedaan, omdat hiervoor gegevens nodig zijn over de aanvoer zand en slib.

5.5. Ontwikkeling van de arealen

In eerdere fase van het MER Zwin is een geometrisch model opgesteld voor de geulen in het toekomstige Zwin. Dit model is gebruikt om de evenwichtsgeometrie van de geulen direct na aanleg te bepalen, zoals deze zijn opgenomen in de modelbodems. Dit geometrische model alleen is niet voldoende om de geularealen te berekenen, vandaar dat een eenvoudige model is gemaakt om het areaal van de geulen te bepalen.

In het model voor het areaal van de geulen wordt een relatie gelegd met het getijprisma, de lengte van het bekken en de gemiddelde waterdiepte van het bekken. Dit model heeft beperkingen wanneer het uitbreidingsgebied een groot areaal en een klein getijprisma heeft, zoals bij scenario 3. Bij de bespreking van de uitkomsten zal hierop nader worden ingegaan. Hieronder zal het hoe en waarom van deze relaties worden toegelicht.

De veronderstelling dat de grootte van de geulen in evenwicht is met het getijprisma, wordt algemeen toe gepast in getijdebekken. De relatie met de vorm:

$$A_c = CP^n;$$

met A_c = doorstroomoppervlak,

C = coëfficiënt, n = coëfficiënt, die in deze situatie 1 is

P = getijprisma, is gebruikt voor het afleiden van de evenwichtsdieptes van de geulen in het Zwin.

De lengte van het bekken wordt gebruikt omdat volgens het geometrische model de diepte van de geulen wordt bepaald door de lengte van het bekken. De lengte van het bekken fungeert daarbij tevens als maat voor de vorm van het bekken. Het vereist relatief meer geulen en dus meer geulareaal, om een smal en langgerekt bekken te vullen en te legen dan om dat bij een kort en breed bekken te doen.

De gemiddelde hoogte van het bekken wordt gebruikt als een maat voor de hoogte van de slikken en schorren. Wanneer naast de geulen relatief lage slikken liggen, dan zullen deze gedurende een deel van het getij meestromen. Het doorstroomoppervlak is op die momenten groter dan het doorstroomoppervlak van de geul alleen. Naarmate de slikken naast geul de hoger liggen, moet de geul zelf een steeds groter deel van de stroming accommoderen en het doorstroomoppervlak van de geul zal derhalve groter moeten zijn.

Bovenstaande relaties komen samen in de formule voor het areaal geulen:

$$O_{\text{geulen}} = ((C \cdot P) \cdot (\beta \cdot L)) / (\gamma \cdot \sqrt{d_{\text{gemiddeld}}})$$

$C \cdot P$ in deze relatie legt de verbinding met het getijprisma, waarin C dezelfde coëfficiënt is als in de relatie: $A_c = CP^n$, ,

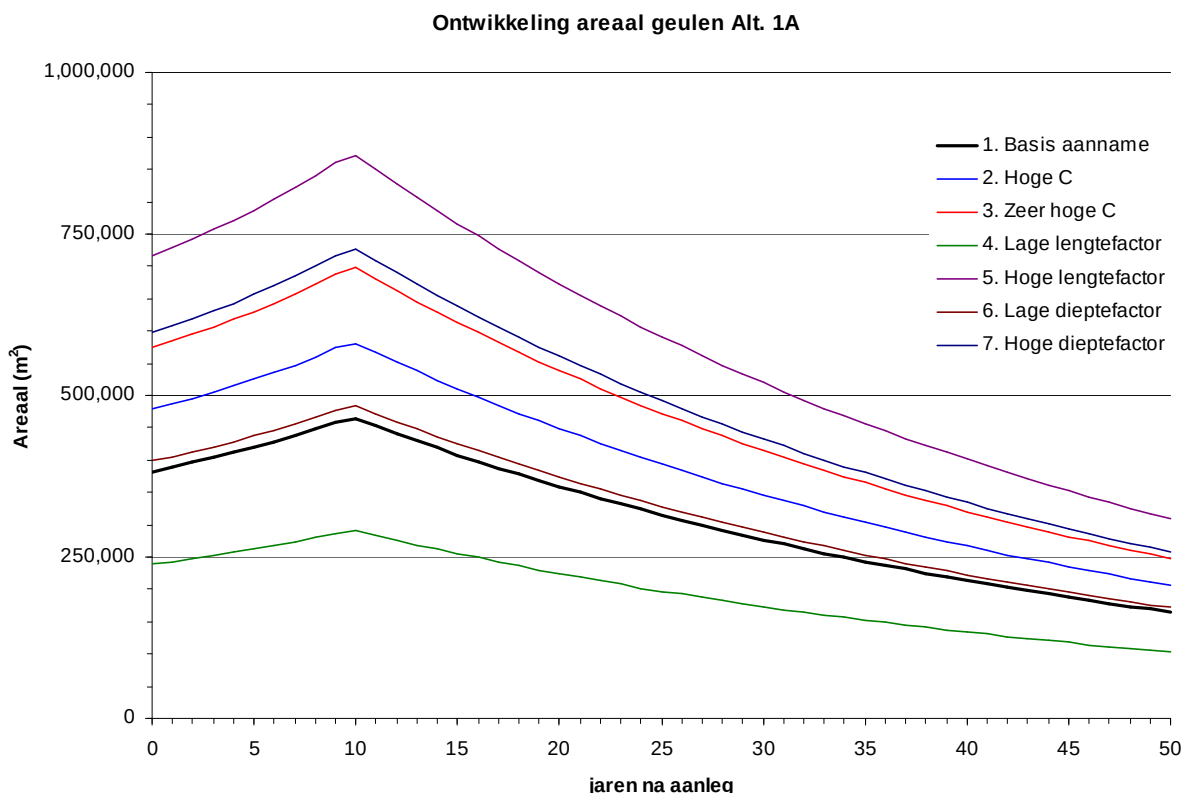
In $\beta \cdot L$ staat de L voor de lengte van het bekken en β is de lengtefactor, een coëfficiënt die de bijdrage van de L regelt.

Het effect van de diepte wordt benaderd door $\gamma \cdot \sqrt{d_{\text{gemiddeld}}}$, waarin $d_{\text{gemiddeld}}$ wordt gegeven door het watervolume van het bekken onder het lokale hoogwater gedeeld door de totale oppervlakte en γ de dieptefactor is, een coëfficiënt die deze bijdrage afregelt.

De resultaten van de berekening van het areaal geulen voor scenario 1 zijn weergegeven in figuur 5-5. In deze figuur is ook gevarieerd met de waarde voor de drie coëfficiënten in de formule. Het overall patroon van de ontwikkeling van het geulareaal in figuur 5-5 is hetzelfde, ongeacht de coëfficiënten, namelijk een toename van het areaal geulen, gevolgd door een afname van het areaal geulen. De toename van het areaal is het gevolg van de afhankelijkheid van de gemiddelde waterdiepte. Naarmate meer sedimentatie in het bekken plaatsvindt en de gemiddelde waterdiepte afneemt, zullen de geulen meer van het getijprisma moeten accommoderen. De afname van het areaal is het gevolg van het afnemen van het getijprisma. Zodra het getijprisma gaat afnemen, omdat het watervolume in het bekken afneemt tot onder het oorspronkelijke getijprisma, neemt het areaal van de geulen af. Deze afname wordt deels gecompenseerd omdat het effect van de waterdiepte steeds doorgaat.

De geularealen die voortkomen uit de verschillende coëfficiënten verschillen sterk. Het is niet mogelijk om een keuze te maken voor een 'beste' instelling, omdat gegevens om dit te verifiëren ontbreken. De uitkomsten van de berekeningen van de arealen moeten daarom alleen in relatieve zin worden gebruikt, namelijk om de geularealen van de verschillende scenario's onderling te vergelijken.

In figuur 5-5 is duidelijk zichtbaar dat de verschillende coëfficiënten het areaal geulen beïnvloeden, maar het patroon van een toename gevolgd door een afname is hetzelfde. Het knikpunt in de curve ligt steeds op hetzelfde tijdstip, na 10 jaar (met een bandbreedte van 6 tot 20 jaar, zie de gevoeligheidsanalyse) verandert de toename in een afname. Het tijdstip van het knikpunt is namelijk afhankelijk van het moment waarop het getijprisma begint af te nemen. Om dit effect inzichtelijk te maken zijn de gegevens van de gevoeligheidsanalyse van de sedimentatie, zoals weergegeven in figuur 5-3, gebruikt om de arealen van de geulen te berekenen. De resultaten van deze berekeningen zijn weergegeven in figuur 5-6. Duidelijk is dat het moment waarop de overgang van toename naar afname plaatsvindt, verschuift. Deze verschuiving is afhankelijk van het moment waarop het getijprisma gaat afnemen. De bandbreedtes die zijn genoemd bij de sedimentatie berekeningen zijn ook van toepassing op de arealen. Het knikpunt in de ontwikkeling dat volgens de basisaannames bij 10 jaar, zou dus ook na 6 of 20 jaar bereikt kunnen worden.



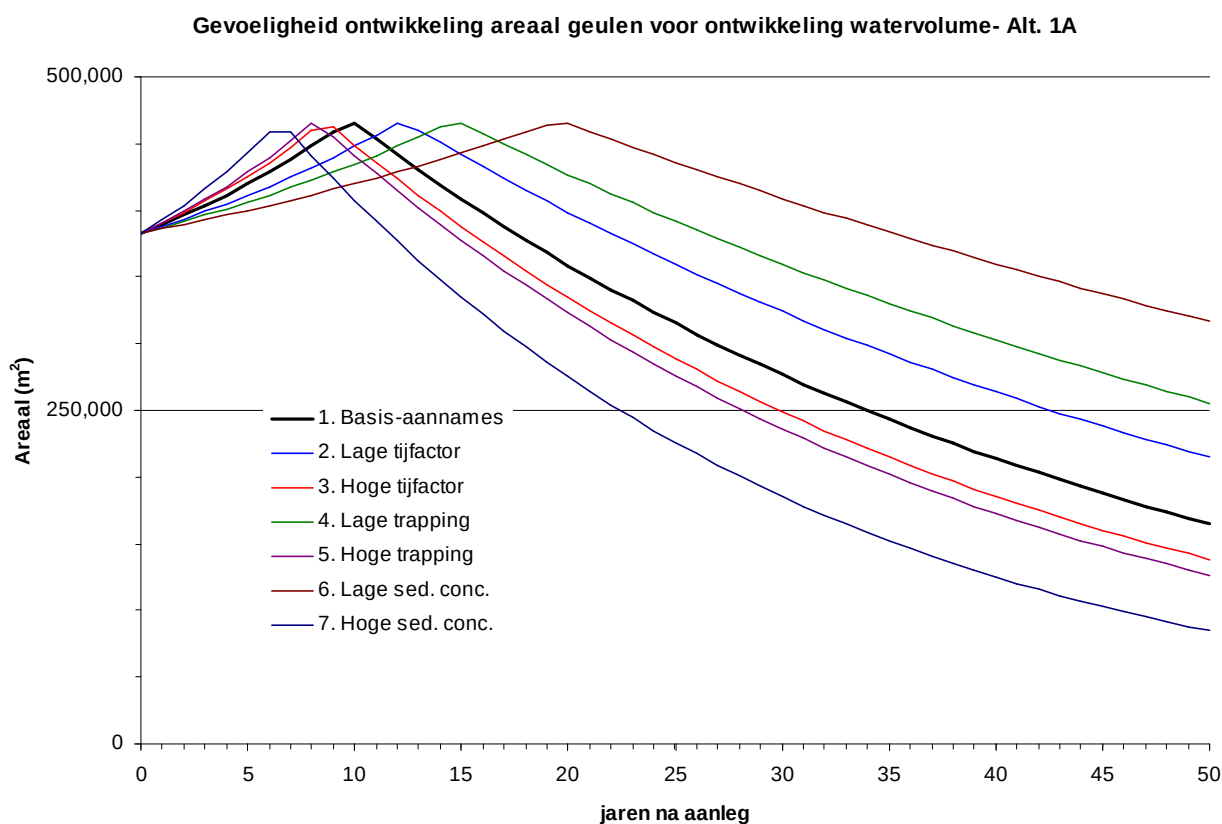
figuur 5-5 Ontwikkeling van het areaal geulen bij scenario 1, inclusief een gevoeligheidsanalyse voor de drie coëfficiënten, gebruikte waarden in tabel 3.

Tabel 5-4 Gebruikte waarden voor de gevoeligheidsanalyse van ontwikkeling van het areaal

	C	lengtefactor β	dieptefactor γ
1. Basis-aannames	0.00020	0.50	1
2. Hoge C	0.00025	0.50	1
3. Zeer hoge C	0.00030	0.50	1
4. Lage lengtefactor β	0.00025	0.25	1
5. Hoge lengtefactor β	0.00025	0.75	1
6. Lage dieptefactor γ	0.00025	0.50	1.2
7. Hoge dieptefactor γ	0.00025	0.50	0.8

De berekening van het areaal is uitgevoerd voor de verschillende scenario's met waarden van de basisaannames. De geularealen uit deze berekeningen zijn gepresenteerd in figuur 5-7. Het areaal slik en schor is berekend door van het totale areaal van het scenario het geulareaal af te trekken. Het areaal slikken en schorren is gepresenteerd in figuur 5-8. De uitkomsten zijn ook weergegeven in Tabel 5-4, in de vorm van de arealen geul en slikken en schorren na 5, 10,

15, 20, 25 en 30 jaar per scenario. De getallen in deze tabel en de waarden in de grafieken moeten alleen worden gebruikt voor een onderlinge vergelijking van de scenario's.



figuur5-6 Ontwikkeling van het areaal geulen bij scenario 1A voor de verschillende uitkomsten van de gevoeligheidsanalyse van de sedimentatie (figuur 5-3).

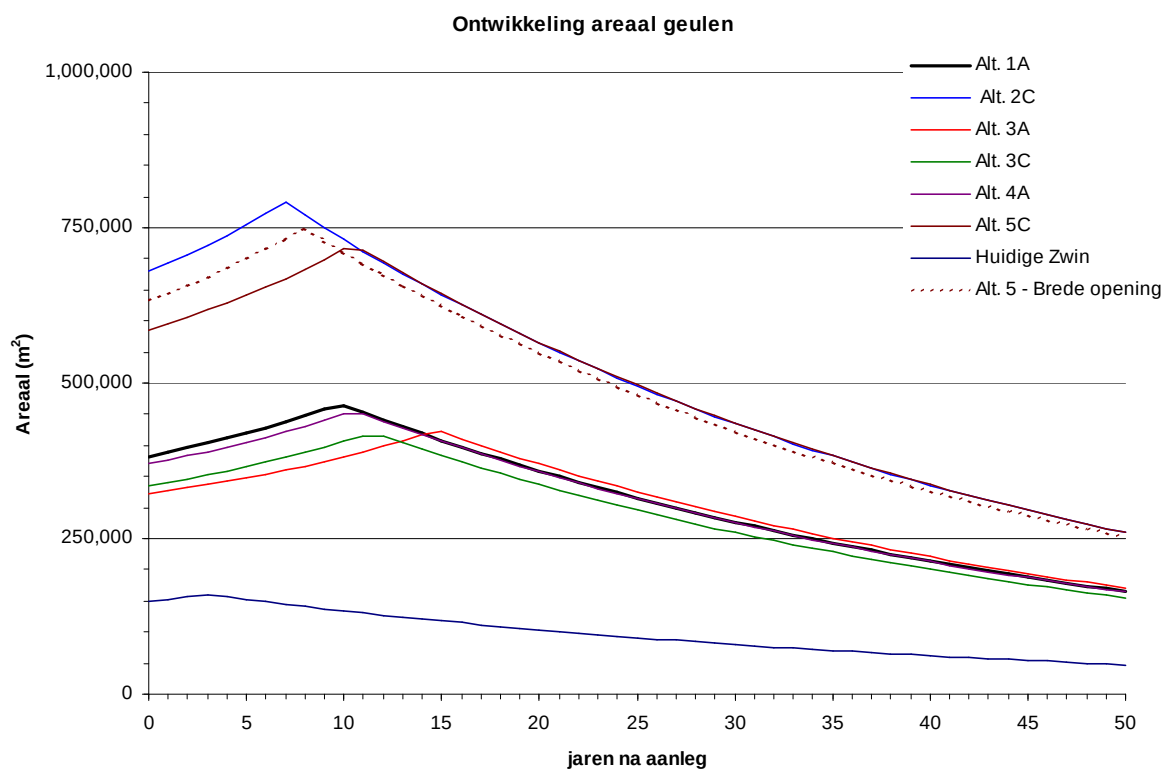
Tabel 5-5 . Arealen in m² van de geulen en de slikken en schorren per scenario voor een aantal jaren.

Jaren	Alt 1A		Alt. 2C		Alt. 3A	
	areaal geul	areaal slik & schor	areaal geul	areaal slik & schor	areaal geul	areaal slik & schor & ruigte ¹
0	382.706	1.825.485	680.517	2.025.087	321.696	1.788.291
5	419.817	1.788.373	754.601	1.951.004	347.864	1.762.123
10	464.866	1.743.324	731.162	1.974.443	381.670	1.728.317
15	408.430	1.799.760	642.396	2.063.208	421.547	1.688.440
20	358.845	1.849.345	564.407	2.141.198	370.370	1.739.617
25	315.280	1.892.910	495.886	2.209.719	325.406	1.784.582
30	277.004	1.931.187	435.684	2.269.921	285.900	1.824.087

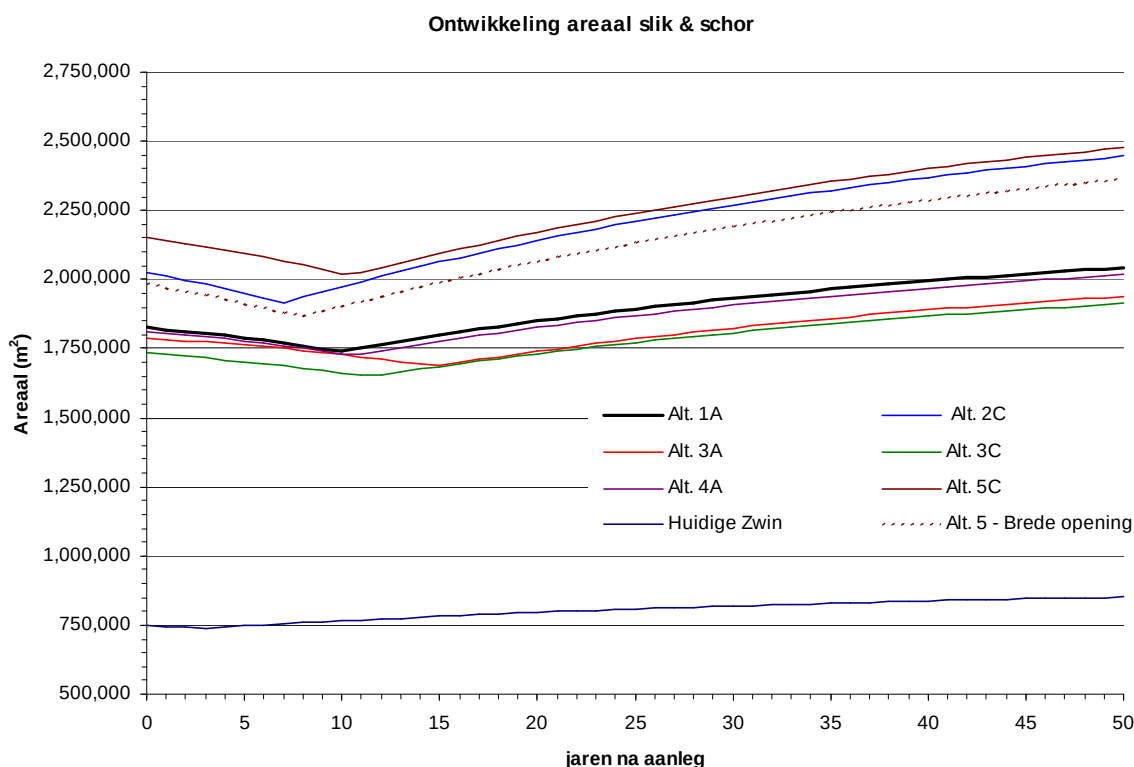
	Alt. 3C	Alt. 4A	Alt. 5C
--	---------	---------	---------

Jaren	areaal geul	<i>areaal slik & schor & ruigte¹</i>	areaal geul	areaal slik & schor	areaal geul	areaal slik & schor
0	334.873	1.732.585	370.075	1.812.249	585.980	2.150.331
5	365.403	1.702.055	405.044	1.777.280	641.390	2.094.922
10	406.166	1.661.293	452.264	1.730.060	716.227	2.020.084
15	383.057	1.684.402	406.486	1.775.838	643.131	2.093.180
20	336.552	1.730.906	357.137	1.825.187	565.053	2.171.259
25	295.694	1.771.765	313.779	1.868.545	496.453	2.239.858
30	259.795	1.807.663	275.685	1.906.639	436.182	2.300.129

1: Bij de scenario's 3A en 3C zal slechts een beperkt deel van de areaal dat hier is aangeduid met slik en & schor daadwerkelijk ontwikkelen als schor. Dit is het gevolg van de beperkte invloed en indringing van het zoute water in de Kleyne vlakte. Dit wordt in de tekst nader toegelicht.



figuur 5-7 Ontwikkeling van het areaal geulen bij de verschillende scenario's. Ter illustratie is het huidige Zwin meegenomen in de vergelijking



figuur 5-8 Ontwikkeling van het areaal slikken en schorren bij de verschillende scenario's.

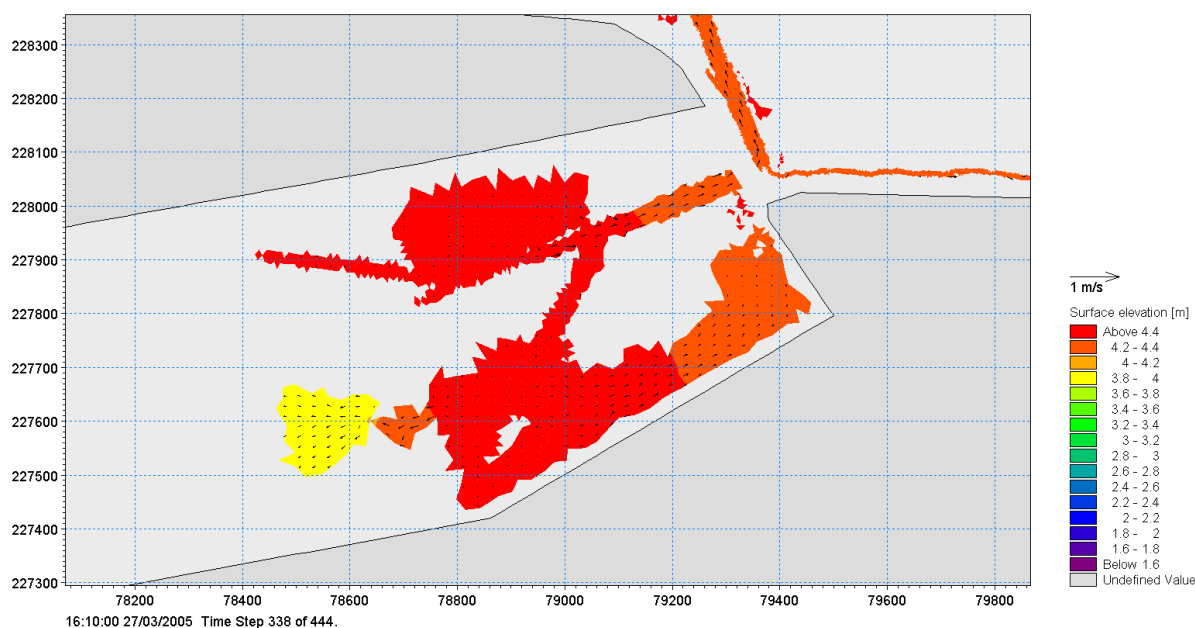
De berekeningen van het areaal van de geulen en van de slikken en schorren laten grote verschillen zien tussen de scenario's. De verschillen treden zowel op in de snelheid waarmee de arealen toe- en afnemen, als in de momenten waarop de overgang van de toe naar afname plaatsvindt.

Het areaal slikken en schorren van beide scenario's 3 is relatief groot, omdat het getijprisma klein is. In werkelijkheid zal is het getijprisma bij beide scenario's 3 zó klein dat niet het hele gebied in het zoutwaterbereik terechtkomt. Dit wordt geïllustreerd met een figuur van de maximale overstroming in scenario 3A. Het gebied dat wordt overspoeld heeft een oppervlakte van 400.000 m² .en dat is minder dan de helft van het totale areaal van de Kleyne vlakte. Dit kan bijkomend worden geïllustreerd door per scenario het getijprisma te delen door het areaal: deze 'gemiddelde getijoverspoelingsdiepte' is het kleinst voor de scenario's 3.

Tabel 5-6 Getijprisma gedeeld door de oppervlakte voor de verschillende scenario's.

	Alt1a	Alt2c	Alt3a	Alt3c	Alt4a	Alt5c
Getijprisma/oppervlakte	0.42	0.58	0.27	0.32	0.41	0.48

Het meest landwaartse deel van de uitbreiding in de Kleyne vlakte zal ontwikkelen als een ruigte en niet als schor. Omdat de opvulling van het bekken veel tijd in beslag neemt, duurt het lang voordat de afname van het areaal slikken en schorren is omgebogen in een toename. Het gevolg is dat op termijn het areaal slikken en schorren van scenario 3 op vrijwel dezelfde grootte uitkomt als bij scenario 1, maar hiervan is het grootste deel in scenario 3A ruigte en geen slik of schor.



figuur 5-9 maximale uitbreiding van de overspoeling met getijwater in de Kleyne Vlakte scenario's 3A

5.5.1. Opmerking over het meestromingseffect

In de beschikbare literatuur voor getijdebekkenen die vergelijkbaar zijn met het Zwin (dus relatief hoog ten opzichte van het getij, met een groot areaal schorren), zijn geen relaties aangetroffen voor het bepalen van het areaal geulen, slikken en schorren. Vanwege het ontbreken van een dergelijke relaties is gekozen voor het gebruik van het eenvoudige model. Bij dit model zijn wel enkele op- en aanmerkingen te plaatsen.

Zoals opgemerkt zijn geen gegevens beschikbaar om te bepalen welke waarde moet worden gebruikt voor de coëfficiënten. Het is zelfs niet mogelijk om vast te stellen of het model een juiste weergave is van de ontwikkelingen. De ontwikkelingen die worden voorspeld komen overeen met de ontwikkelingen zoals die tentatief worden verwacht en dat geeft ons voldoende vertrouwen om het model te gebruiken voor een onderlinge vergelijking van de scenario's.

In de berekening wordt gebruik gemaakt van de gemiddelde diepte $d_{\text{gemiddeld}}$, die berekend wordt uit het watervolume van het bekken onder GHWS gedeeld door het totale oppervlakte van het gebied. Door deze berekeningswijze dragen de diepe delen in de Willem-Leopold polder bij aan een grotere gemiddelde diepte. Maar deze diepe delen zullen niet gaan meestromen met de geulen, omdat deze achter in het bekken liggen, waar de stroming beperkt is. Door toch de gemiddelde diepte van het gehele gebied wordt het meestromingseffect in de scenario's 2 en 5 iets overdreven. Dit geldt in mindermate ook voor de scenario's 1 en 4.

5.5.2. Opmerking over het ontstaan van slikken of schorren

Met het model voor het berekenen van het areaal geulen kan het totale areaal slikken en schorren worden berekend. Wat niet kan worden vastgesteld hoe dat areaal verdeeld is over de slikken en de schorren. Met de gebruikte aanpak kan wel een gemiddelde sedimentatie en gemiddelde waterdiepte van het gehele gebied worden berekend, maar kan niet worden berekend hoe deze sedimentatie is verdeeld over de verschillende delen. De ontwikkeling van

de hoogte kan dus niet worden berekend. Het ontstaan van schorren is daarbij niet alleen een functie van de hoogte, maar ook van de ontwikkeling van de kweldervegetatie. De ontwikkeling van de kweldervegetatie versterkt de sedimentatie ter plaatse en versterkt daarmee de ontwikkeling van de schorren.

Wel kan worden gesteld dat de ontwikkeling van schorren langer zal duren naarmate de uitbreidingsgebieden relatief diep liggen.

Het is niet bekend wat het effect van de doorlaatconstructies zal zijn op het ontstaan en de ontwikkeling van schorren. De doorlaatconstructie zal een beperking opleggen aan de maximale waterstand in de uitbreidingsgebieden, zodat de sedimentatie daar niet hoger zal kunnen plaatsvinden dan dat niveau. Maar het is niet bekend of het maximaliseren van de waterhoogte en daarmee het minimaliseren van het effect van stormen betekent dat de schorren op lagere niveaus zullen ontstaan en verder ontwikkelen, of dat de geen of een ander type schor zal ontstaan. De doorlaatconstructies introduceren hierdoor een onzekerheid in de ontwikkeling van de uitbreidingsgebieden.

6. DE VERWACHTTE ONTWIKKELING IN BEELD

In de figuur 6-1 en figuur 6-2 is in dwarsdoorsneden en in een kaart de ontwikkeling van het scenario 1 geschetst. De ontwikkeling is een schets, waarbij de tijdspanne waarin de situatie zich ontwikkeld heeft een bandbreedte zoals die eerder is dient meegenomen te worden. De schets dient als een illustratie van de ontwikkelingen zoals die hierboven zijn beschreven en berekend. Hier zal kort worden stilgestaan bij de belangrijkste aspecten van de schetsten en bij vergelijkbare ontwikkelingen en verschillen in de andere scenario's.

In de dwarsdoorsnede (figuur 6-1) is duidelijk zichtbaar dat het uitbreidingsgebied in de Willem-Leopold polder duidelijker dieper ligt dan het oorspronkelijk Zwin. De ontwikkelingen in het oorspronkelijke Zwin wijken daardoor ook af van de ontwikkelingen in de uitbreiding. In het oorspronkelijk Zwin gaat de sedimentatie op de schor langzaam. De sedimentatiesnelheid op het schor neemt af, omdat de hoogte steeds verder toeneemt en er steeds minder vaak steeds minder sediment de schorren bereikt. Op het afgegraven deel van de schorren zal de sedimentatiesnelheid hoger zijn, totdat het gebied op hetzelfde niveau is aanbeland als het niet afgegraven deel. Omdat de dwarsdoorsnede (diepte en breedte) van de geul is aangepast op het nieuwe getijprisma, zal de diepte van de geul in het Zwin niet wijzigen. In de loop van de tijd zullen deze geulen wel smaller worden, zoals zichtbaar is in de schetskaart (figuur 6-2). In de uitbreiding ligt een belangrijk deel van het gebied onder het evenwichtsniveau van de geulen, zodat hier sedimentatie zal plaatsvinden totdat de evenwichtsdiepte is bereikt. De rest van het gebied ligt ook relatief diep en hier zal doorgaande sedimentatie plaatsvinden. De snelheid waar mee de sedimentatie plaatsvindt zal in de loop van de tijd afnemen.

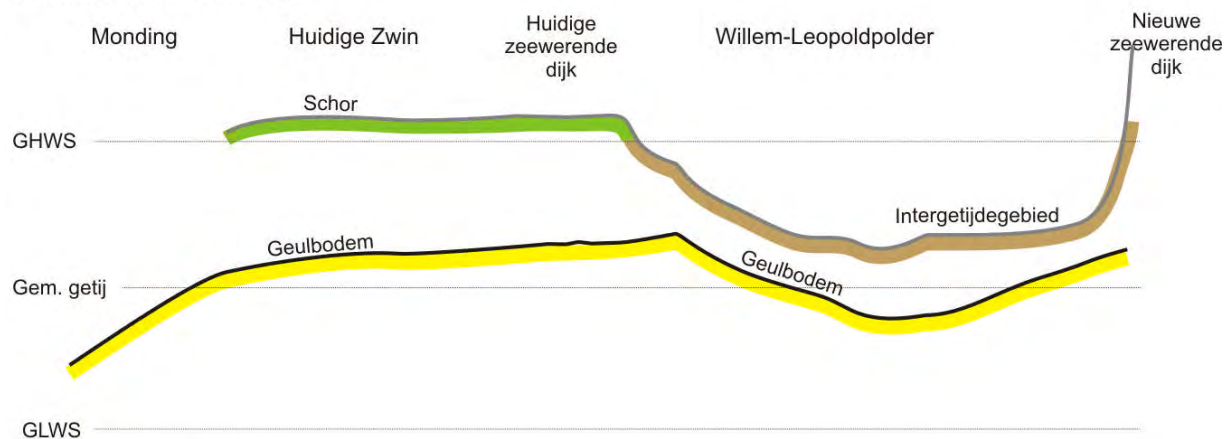
De sedimentatie in het uitbreidingsgebied zal leiden tot een steeds meer geprononceerd patroon van geulen en platen, zoals zichtbaar is kaart B in figuur 6-2. Na verloop van tijd neemt de breedte van de geulen af, omdat het bekken vol sedimenteert en het getijprisma afneemt. De vorming van schorren zal waarschijnlijk op de hoge delen in de uitbreiding en vanaf de buitenranden van het gebied plaatsvinden.

Het geschetste patroon in de figuur 6-1 en figuur 6-2 gaat vrijwel gelijk op voor scenario 4, waarbij de verbinding tussen het huidige Zwin en de uitbreiding uit een doorlaatconstructie zal bestaan. Het belangrijkste verschil ontstaat rond de aansluitconstructie, waar mogelijk ontgrondingen zullen plaatsvinden. Daarnaast houdt de doorlaatconstructie zijn oorspronkelijke breedte, terwijl de breedte van de aangrenzende geulen afneemt.

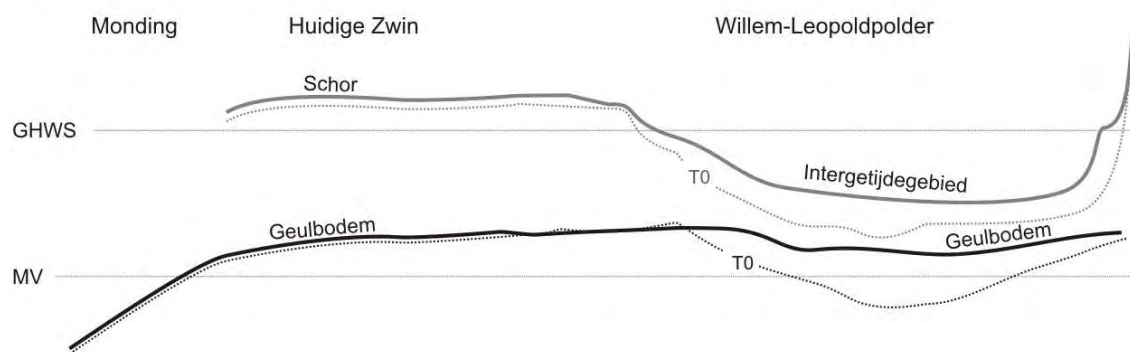
De geschetste patronen zullen op andere schaal en locaties ook ontstaan in de scenario's 2 en 5, met een grotere uitbreiding in de WL-polder.

In scenario 3 wordt met de Kleyne vlakte een relatief hoog deel gelegen gebied aan het Zwin toegevoegd. De verbinding met het Nederlandse deel van de Willem-Leopoldpolder levert beperkingen op voor de sedimentatie van zand in dat bekken. De ontwikkeling van scenario 3 is geschetst in de kaarten in figuur 6-3. Scenario 3 verschilt met de andere scenario's door de relatief hoog gelegen uitbreiding in de Kleyne vlakte, in combinatie met een beperkte toename van het getijprisma. Het getijprisma is te klein om in de gehele Kleyne vlakte een schor te overstromen en te draineren. In een groot deel van deze uitbreiding zal daarom geen schor, maar ruigte ontstaan (1. in figuur 6-3). In het Nederlandse deel van de WL polder zal voornamelijk slib sedimenteren, omdat het aangevoerde zand wordt afgevangen in de sifon. De lage stroomsnelheden in het Nederlandse deel van de Willem-Leopoldpolder zullen de vorming van een geulpatroon vertragen.

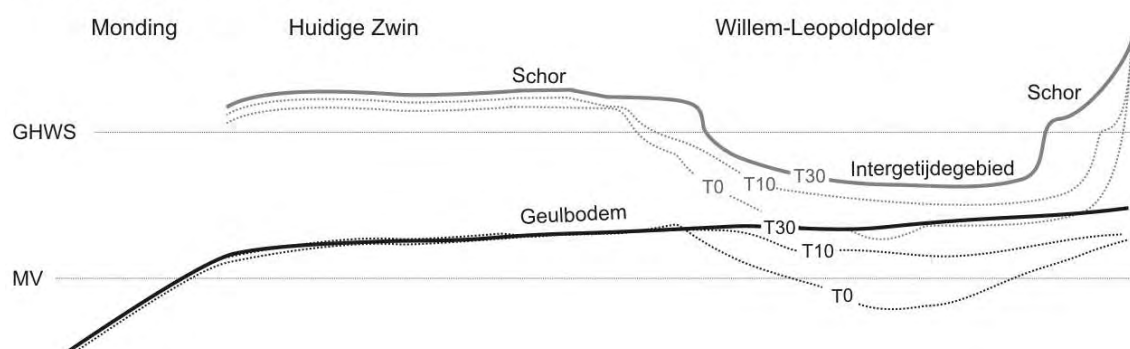
A. Situatie direct na aanleg



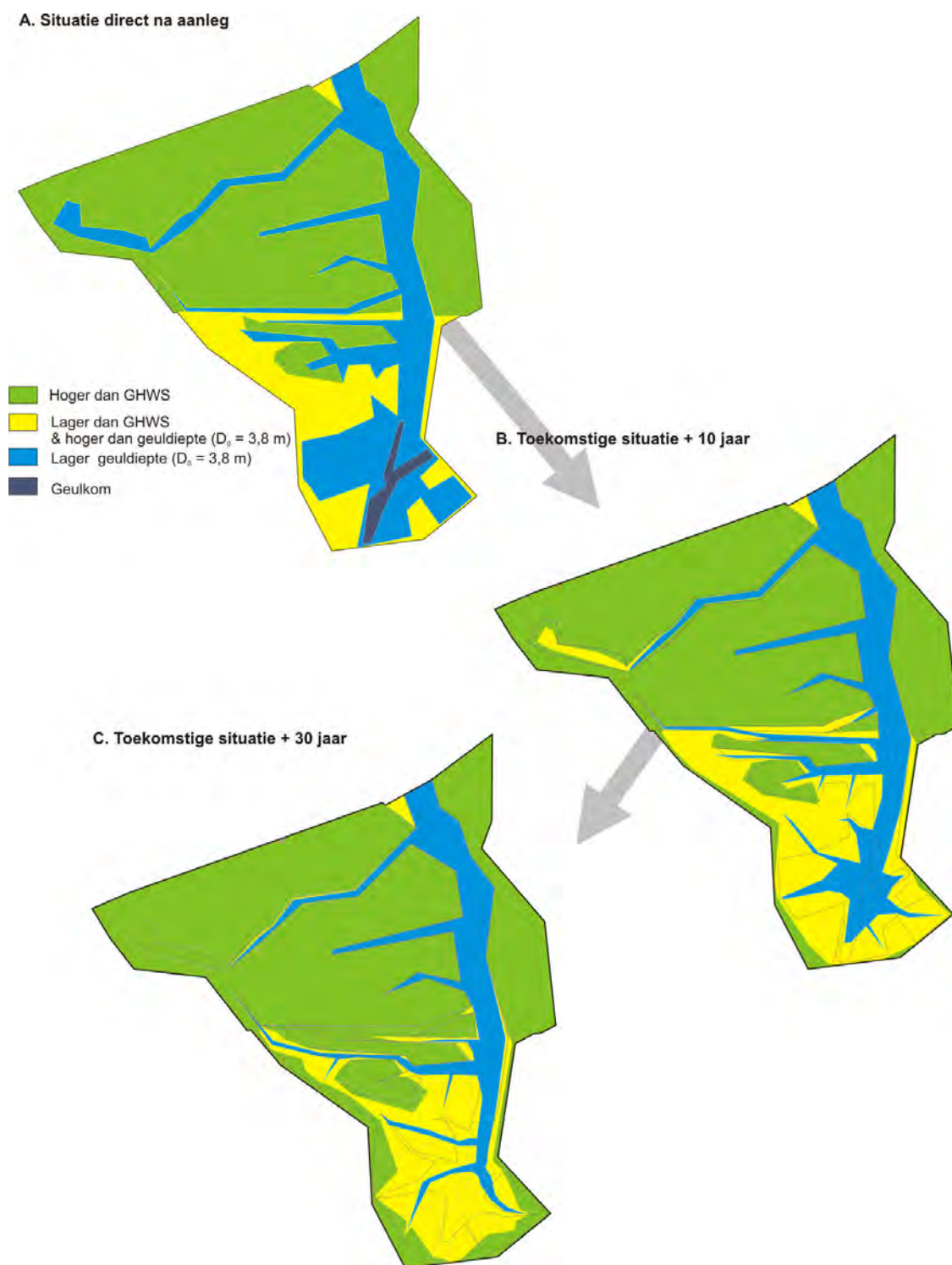
B. Toekomstige situatie + 10 jaar



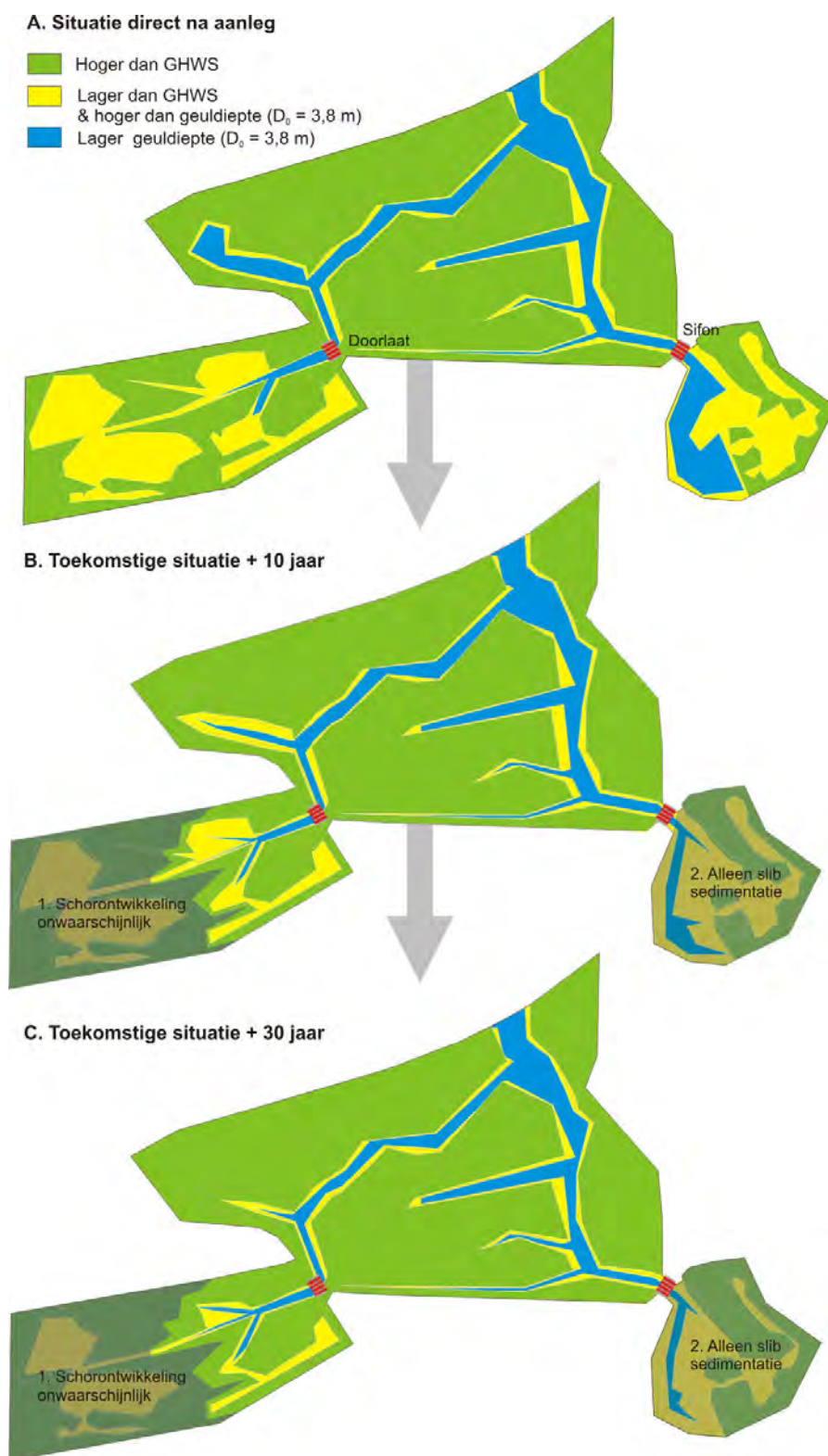
C. Toekomstige situatie + 30 jaar



figuur 6-1 Schets van ontwikkeling van scenario 1 in dwarsdoorsnede



figuur 6-2 Schets van ontwikkeling van scenario 1 in kaart.



figuur 6-3 : Schets van de ontwikkeling van het scenario 3A in kaart

7. VERGELIJKING VAN DE SCENARIO'S –BESLUIT

Zes verschillende hoofdsenario's werden beschouwd voor de uitbreiding van het Zwin

- Scenario 1 : uitbreiding van het Zwin met de achterliggende Willem Leopoldpolder, waarbij de zeewerende functie aan de zuidwaartse rand van de uitbreiding gebracht wordt;
- Scenario 2 : uitbreiding van het Zwin met de uitgebreide achterliggende Willem Leopoldpolder, waarbij de zeewerende functie aan de zuidwaartse rand van de uitbreiding gebracht wordt
- Scenario 3a : uitbreiding van het Zwin met de Kleyne Vlakte en met de Nederlandse Willem Leopoldpolder. De verbinding naar de Kleyne Vlakte wordt uitgevoerd als een afsluitbare doorlaatconstructie, de verbinding naar de Nederlandse Willem Leopoldpolder wordt uitgevoerd dmv een sifon
- Scenario 3c : uitbreiding van het Zwin met de Kleyne Vlakte en een deel van de Willem Leopoldpolder. De zeewerende functie wordt aan de zuidwaartse rand van de uitbreiding gebracht, de verbinding naar de Kleyne Vlakte gebeurt door middel van een afsluitbare doorlaatconstructie.
- Scenario 4 : uitbreiding van het Zwin met de achterliggende Willem Leopoldpolder, waarbij de zeewerende functie aan de huidige grens van het Zwin behouden blijft en de doorgang naar de Willem Leopoldpolder gemaakt wordt door middel van een afsluitbare doorlaatconstructie, die op die manier een GGG wordt.
- Scenario 5 : uitbreiding van het Zwin met de uitgebreide achterliggende Willem Leopoldpolder, waarbij de zeewerende functie aan de huidige grens van het Zwin behouden blijft en de doorgang naar de Willem Leopoldpolder gemaakt wordt door middel van een afsluitbare doorlaatconstructie, die op die manier een GGG wordt.

Bijkomend aan deze basisscenario's werden nog volgende varianten getest

- Spuien met zoet polderwater
- Optimalisatie van de inrichting van de GGG gebieden

Hoofdstuk 3 en 4 beschrijft de hydrodynamische modellering van deze scenario's.

Op basis van de resultaten van de hydrodynamische modellering werd de morfologische evolutie van het gebied ingeschat. De gebruikte redeneerlijn en aannames worden gegeven in hoofdstuk 5, de verwachte ontwikkeling in beeld wordt gegeven in hoofdstuk 6.

7.1. Effect van spuien

Het spuien met zoet polderwater op 1 uur geeft een locale verhoging van de schuifspanning in de geulen. Deze verhoging is gedurende 3-4 uur te merken. Deze schuifspanning is vooral duidelijk in de geul dicht bij de spui-opening, en verzwakt naarmate de spuigolf zich verder verwijderd van de spui installatie. De behaalde snelheden in de geulen zijn vergelijkbaar met deze tijdens de piek ebstroom. Door het feit dat het spuibekken in het gebied zelf dient geïnstalleerd te worden gaat 20 ha aan estuariene natuur verloren. Doordat de komberging van de Willem Leopoldpolder wordt ingeperkt, wordt ook de komberging verminderd. Deze vermindering wordt wel deels gecompenseerd door het extra uitstromende spuiwater tijdens de getijden wanneer er gespuid

wordt. Het water in de geulen zal ten gevolge van het spuien brak worden, maar een stabiele gradient zal ontbreken, wat minder positief is voor de ecologie.

Het continu spuien met zoet polderwater (waarbij het water dus constant wordt afgevoerd en niet eerst verzameld in een bekken maar direct in het Zwin gepompt wordt) geeft een kleine verhoging van het debiet door de monding, maar het verschil in schurende werking is miniem.

Een derde spui mogelijkheid is het spuien door middel van de doorlaatconstructie, waarbij ieder getij de Willem Leopoldpolder na het volstromen wordt afgesloten, om dan gecontroleerd op het einde van het ebgetij leeg te stromen. Door de lange verblijftijd van het water in de Willem Leopoldpolder is het de verwachting dat de ontwikkeling van slikken en schorren bij deze optie verstoord zal zijn. De sedimentatie in de Willem Leopoldpolder zal bovendien hoog zijn, waardoor, indien niet in voldoende onderhoud wordt voorzien, de komberging en dus ook de effectiviteit van de spui kom zal dalen.

7.2. Effect van doorlaatconstructies

Het plaatsen van een doorlaatconstructie vermindert de landschappelijke impact van het uitbreiden van het Zwin, aangezien de huidige dijken omheen de Willem Leopoldpolder behouden blijven. In dit rapport is uitgegaan van een hoogte van de dijk omheen de Willem Leopoldpolder van 5.5 mTAW, gebaseerd op de gegevens uit dtm vlaanderen. De nieuw op te bouwen dijk aan de Retranchementstraat wordt op +6 mTAW gebracht om te compenseren voor de potentieel langere fetchlengte, dit is de afstand waarover de wind over het wateroppervlak kan waaien en de golven tijd hebben om zich te vormen. Bij normale waterstanden zal de doorlaatconstructie geen effect hebben op de hydrodynamica en morfologie in het gebied. Naarmate het gebied evolueert en de komberging vermindert zal een gedeelte van de overlaatconstructie buiten gebruik raken.

De doorlaatconstructies zullen worden gesloten bij condities waarbij het peil in de uitbreidingsgebieden het overschrijdingsniveau voor de bestaande dijk nadert. Dit betekent dat gedurende stormcondities het waterpeil en het aangevoerde water naar deze gebieden zal beperkt zijn, wat gevolgen zal hebben op de morfologische ontwikkelingen. In het uitbreidingsgebied zal de sedimentatiesnelheid lager worden dan in de situaties zonder springtijkering. Er wordt minder vaak minder vaak water en sediment aangevoerd naar het bekken. En juist de situaties met naar verwachting veel aanvoer en sedimentatie (springtij en stormen) worden uitgesloten. De ontwikkeling in het uitbreidingsgebied wordt dus vertraagd. In het bestaande Zwin worden de geulen groter (gemaakt), omdat deze de aanvoer van water naar het uitbreidingsgebied moet opvangen. Ook tijdens springtij en stormen zijn de geulen groter dan in de huidige situatie. Dat betekent dat de stroming het huidige Zwin in en uit in die situaties makkelijker verloopt. Het gevolg zal zijn dat de waterstanden in het Zwin bij springtij en stormen waarschijnlijk iets hoger worden. En daarmee zal de sedimentatie op de hoge delen van het Zwin waarschijnlijk ook iets toenemen.

De sifon wordt geoptimaliseerd op een maatgevende stromingsconditie. Dat betekent dat de constructies tijdens stormcondities de instroming of volledig stoppen of beperken. Het gevolg is dat de sedimentatie en erosie op de hogere delen in het bekken wordt beperkt. Een sifon beperkt ook de aanvoer van zand, omdat dit in de zandvang van de constructie wordt afgevangen. In het Nederlandse deel van de Willem-Leopold polder, achter de sifon, zal daarom alleen sedimentatie van slib plaatsvinden.

Een doorlaatconstructie vormt een rigide element in het natuurlijke systeem. De dimensionering van de constructie is gericht op één situatie en niet op het ontwikkelde getijdelandchap. Vanwege deze aspecten wordt een doorlaatconstructie als minder wenselijk gezien voor de

morfologische ontwikkelingen. Van de verschillende typen constructies is een sifon de meest bezwaarlijke, vanwege beperkingen op de waterstand en de sedimentaanvoer.

7.3. Bespreking van de hoofdscenario's

De resultaten van de morfologische berekeningen in hoofdstuk 5 worden gegeven in Tabel 7-1. In de daarnavolgende tekst wordt per scenario toegelicht wat de morfologische aspecten zijn waarin de scenario's verschillen.

Tabel 7-1 Vergelijking van de scenario's

	Stabiliteit van de monding	Doorlaatconstructie	Areaal slikken en schorren initieel	Areaal slikken en schorren na 30 jaar	Zand (z) of slib (s) 1
Scenario 1	+		+	+	Vnl. slib
Scenario 2	++		++	++	Vnl. slib
Scenario 3a	0	-	0	02	WL-p.: slib; Kv: zand
Scenario 3c	0	-	0	02	Vnl.zand
Scenario 4	+	-	+	+	Vnl. slib
Scenario 5	++	-	++	++	Vnl. slib

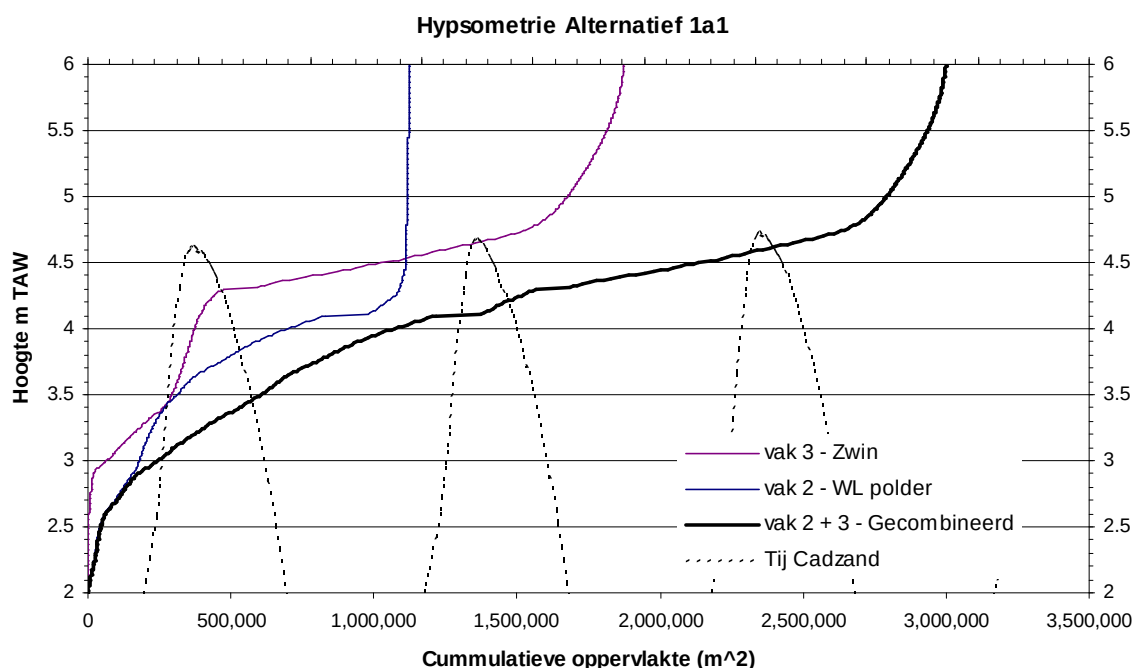
1. In de dieper bekkens en in de Nederlandse Willem Leopoldpolder met de sifon verbinding zal relatief meer slib sedimenteren.

2. In de Kleyne vlakte zal door het relatief kleine getijprisma slechts in beperkte mate schor tot ontwikkeling komen.

scenario 1

Het getijprisma neemt toe, zodat de stabiliteit van de monding zal toenemen. Er is geen sprake van doorlaatconstructie, zodat de ruimte voor natuurlijke dynamiek optimaal is. Het areaal slik en schorren neemt beperkt toe, omdat de toename van het getijprisma een relatief groot areaal geulen noodzakelijk maakt. Na 30 jaar is het areaal slikken en schorren weer vrijwel terug op het initiële niveau.

De uitbreiding met de relatief diepe Willem-Leopoldpolder zal de mogelijkheden voor de sedimentatie van slib vergroten, maar de diepe uitbreiding vormt een belemmering voor de vorming van schorren. Er wordt namelijk een relatief diep deel toegevoegd aan de achterzijde van het huidige Zwin. Dit is zichtbaar in hypsometrische curve van het gebied in figuur 7-1, waarin de cumulatieve oppervlakte per de diepteklassen is weergegeven. In dezelfde figuur is ook het getij bij Cadzand weergegeven, dat is gebruikt in de modelsimulatie, zodat in een oogopslag duidelijk is dat het huidige Zwin en de uitbreiding alleen bij hoogwater gevuld worden.



figuur 7-1 Hypsometrische curve van scenario 1A

De Willem-Leopoldpolder fungeert als een relatief diepe bak aan de achterzijde van het Zwin. Deze bak is zo diep dat er in grote delen gedurende lange tijd water blijft staan (figuur 4-9). De verwachting is dat een groot deel van het fijne sediment dat wordt aangevoerd naar de WL-polder in de WL polder kan sedimenteren. De stroomsnelheden en de bodemschuifspanningen in de WL-polder zijn zo laag dat het gesedimenteerde materiaal niet meer wordt geërodeerd. De uitzonderingen hierop zijn de geulen en krekken die zullen ontstaan in het intergetijdegebied. Ook de 'meertjes' in het westelijke deel van het huidige Zwin zullen waarschijnlijk als sedimentvang gaan fungeren.

De sedimentatiesnelheid in het Zwin zal naar verwachting het hoogst zijn in de diepe delen van het gebied en lager bij de hogere delen. In de delen die als geul ontwikkelen zal geen of beperkte sedimentatie plaatsvinden. De snelheid waarmee de sedimentatie plaatsvindt zal in de loop van de tijd afnemen, omdat het getijprisma afneemt. In een latere fase zal er in de Willem Leopoldpolder een lokale herverdeling van het sediment plaatsgrijpen.

Doordat de komberging vergroot wordt, verhoogt ook het getijprisma. Hierdoor wordt de monding minder dichtgedrukt door het langstransport. De monding zal echter nog steeds blijven migreren, aangezien hiervoor meerdere factoren verantwoordelijk zijn.

scenario 2

Het getijprisma neemt sterk toe, zodat de stabiliteit van de monding flink zal toenemen. De ruimte voor natuurlijke dynamiek is optimaal, omdat geen sprake is van doorlaatconstructie. Het areaal slik en schorren neemt initieel flink toe, doordat het uitbreidingsgebied relatief groot is. Na 30 jaar is het areaal slikken en schorren groter dan het initiële niveau, omdat het getijprisma aan het afnemen is. De uitbreiding met de relatief diepe Willem-Leopoldpolder zal de mogelijkheden voor de sedimentatie van slib vergroten, maar de diepe uitbreiding vormt een belemmering voor de vorming van schorren. De belangrijke nuancering die hierbij hoort is dat de alternatieven met een grote uitbreiding (dus 2 en 5) wel de beste lange termijn (> 30 jaar)

perspectieven bieden voor de ontwikkeling van een schorren gebied, omdat de oppervlakte die tot ontwikkeling kan komen groot is. Het duurt weliswaar langer voordat het gebied tot ontwikkeling komt, maar de levensduur is waarschijnlijk ook groter. Door met uitgebreider grondverzet het gebied meer aan te passen aan de gewenste situatie (oftewel op te hogen) kan het proces van schorvorming mogelijk worden versneld.

De morfologische evolutie van het scenario 2 komt in grote lijnen overeen met deze voor het scenario 1. Het scenario 2 heeft in vergelijking met scenario 1 een grotere toename van het areaal van het Zwin. Naar verhouding neemt het getijprisma van het gebied bij scenario 2 méér toe dan bij scenario 1. Naar verwachting zal hierdoor de sedimentatiesnelheid in scenario 2 hoger zijn dan in scenario 1 en het bekken zal daarom naar verwachting iets sneller opvullen met sediment, waarbij het sediment wel over een grotere oppervlakte verspreid zal worden. Het getijprisma blijft steeds groter dan het getijprisma voor alternatief 1, de mobiliteit in het gebied is dus groter.

Scenario 3

Het getijprisma neemt slechts beperkt toe, zodat van alle scenario's deze de kleinste toename van de stabiliteit van de monding oplevert. De doorlaatconstructie naar de Kleyne Vlake en de sifon naar het Nederlandse deel van de Willem-Leopoldpolder beperken de ruimte voor natuurlijke dynamiek. Het areaal slik en schorren neemt duidelijk toe, omdat het areaal van de uitbreiding groot is. Na 30 jaar is het areaal slikken en schorren afgenomen, als gevolg van de toegenomen hoogte. Door het kleine getijprisma duurt het lang voordat het stadium van de afname van het getijprisma wordt bereikt.

De uitbreiding met de relatief diepe Nederlandse Willem-Leopoldpolder en de sifon verbinding zal de mogelijkheden voor de sedimentatie van slib vergroten, maar de sedimentatie van slib in de Kleyne Vlake zal beperkt zijn. Schorvorming zal waarschijnlijk makkelijk plaatsvinden in de Kleyne vlakte, maar niet de diepte van de Nederlandse Willem-Leopoldpolder zal een belemmering vormen voor de vorming van schorren.

Overigens zijn in de uitbreidingen de getijvolumes dermate klein en de stroomsnelheden dermate laag dat waarschijnlijk geen of zeer langzaam een geulpatroon zal ontstaan. Naar verwachting ontstaan geen natuurlijk inter- of supragetijde gebieden in deze uitbreidingen.

Scenario 4

In vergelijking met het scenario 1 is het enige verschil de aanwezigheid van de doorlaatconstructie, met bijbehorende beperking van de natuurlijke dynamiek. Voor een uitgebreide bespreking van het effect van de doorlaten zie paragraaf 5.2. De aanwezigheid van de dijk levert iets kleinere arealen slikken en schorren ten opzichte van het scenario 1. Waterstanden in het Zwin en in de WLP zijn gelijklopend met scenario 1.

Scenario 5

Dit scenario komt grotendeels overeen met het scenario 2, met als belangrijke verschil de aanwezigheid van de doorlaatconstructie met bijbehorende beperking van de natuurlijke dynamiek. Voor een uitgebreide bespreking van het effect van de doorlaten zie paragraaf 5.2. Door de doorlaatconstructie wordt de waterstand in het Zwin hoger en deze in de WLP lager dan de waterstanden bij alternatief 2. Indien ervoor geopteerd wordt om met de bredere doorlaatconstructie te werken zijn getijprisma en waterstanden vergelijkbaar met scenario 2.

7.4. Ontwikkeling en onderhoud

In alle scenario's neemt na verloop van tijd door de sedimentatie in het bekken het getijprisma af. Het gevolg zal zijn dat de overspoeling van de schorren afneemt, zodat in plaats van

schorren een ruigte zal ontwikkelen in een deel van het gebeid. En de stabiliteit van de monding neemt ook af door de afname van het getijprisma. Een stijging van het lokale niveau van hoogwater bij Cadzand zal hiervoor slechts deels kunnen compenseren en dan vooral de scenario's zonder doorlaatconstructie, indien de dijken omheen de uitbreiding niet mee verhoogd worden. Dit is een natuurlijke ontwikkeling, want voor gebieden zoals het Zwin bestaat er geen 'evenwicht'situatie, waarbij alles bij het oude blijft.

Voor een lange termijn behoud van het Zwin (na de 30 jaar die in deze studie is gehanteerd) is dan ook grootschalig onderhoud noodzakelijk. De aanbevolen onderhoudsstrategie is voor alle scenario's om (een deel van de schorren) gelijkmatig af te graven. Deze ingreep levert relatief veel extra getijprisma en ruimte voor sedimentatie. Het vereiste aantal ingrepen is een functie van het gewenste aantal interventies per periode (oftewel de herhaaltijd) en de grootte van het gewenste effect. Dit wordt vooral ingegeven door ecologische aspecten (vegetatie ontwikkeling, verstoring etc.).