

Rijkswaterstaat, directie Zeeland,

51 strategie waterwegen en

_____en,

Aminal



Modelstudie

januari 1999

CONCEPT

Fase 3 en 4: Optimalisatie Spuiregime

Spuiwerking in het Zwin

D

DHV Milieu en Infrastructuur BV

Laan 1914, nr. 35

Postbus 1076

3800 BB Amersfoort

Telefoon (033) 468 27 00

Telefax (033) 468 28 01

151181



Waterbouwkundig Laboratorium
Borgerhout

BIBLIOTHEEK

Rijkswaterstaat, directie Zeeland,
Administratie waterwegen en
Zeewezen,
Aminal

Modelstudie

CONCEPT

Fase 3 en 4: Optimalisatie Spuiregime

Spuiwerking in het Zwin

dossier P0406-01.001

datum 26 januari 1999

registratienummer IS-NW982221

versie 1



© DHV Milieu en Infrastructuur BV

Niets uit dit bestek/drukwerk mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt d.m.v. drukwerk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van DHV Milieu en Infrastructuur BV, noch mag het zonder een dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd.

Het kwaliteitssysteem van DHV Milieu en Infrastructuur BV is gecertificeerd volgens NEN ISO 9001.

INHOUD	BLAD
1 INLEIDING	5
1.1 Achtergrond van de studie	5
1.2 Studie aanpak	5
1.3 Leeswijzer	7
2 SPUIREGIMES	9
2.1 Inleiding	9
2.2 Randvoorwaarden	9
2.3 Modelleringspuieregimes	11
2.4 Beschrijving spui-regimes	13
3 EFFECTEN VAN SPUIEN IN HET ZWIN	19
3.1 Stabiliteit monding	20
3.2 Verlandingsnelheid geulen en schorren	21
3.3 Oppervlakte slikken	23
3.4 Ontwikkeling geulensysteem	23
3.5 Inundatieduur en inundatiefrequentie	24
3.6 Verandering in vegetatietypen	24
3.7 Zout-zoet gradiënt	26
3.8 Waterkwaliteit permanente wateren	26
3.9 Recreatie	26
3.10 Landschapsbeeld	27
4 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	29
4.1 Conclusies	29
4.2 Aanbevelingen	29
5 REFERENTIELIJST	33

BIJLAGE 1 BEOORDELINGSTABEL

BIJLAGE 2 LOCATIE GEULSECTIES, SCHORREN EN VEGETATIEPUNTEN

BIJLAGE 3 SEDIMENTATIE IN HET ZWIN VOOR DE REFERENTIESITUATIE

BIJLAGE 4 EFFECTBEPALING VERANDERING VEGETATIETYPEN

BIJLAGE 5 STROOMBEELDEN IN HET ZWIN

BIJLAGE 6 SEDIMENTATIE- EN EROSIE PATRONEN IN HET ZWIN

1 INLEIDING

1.1 Achtergrond van de studie

Het Zwin op de grens van Nederland en België vormt één van de laatste sluffers langs de Noordzee. Binnen het gebied komt een aantal vegetatietypen voor van nationaal en internationaal belang. Het gebied is daarnaast van belang als broedgebied en pleisterplaats voor een aantal voor intergetijdgebieden karakteristieke vogelsoorten. Het Zwin is bovendien van groot belang voor de recreatie, te weten intensieve strandrecreatie langs de Noordzee en extensieve natuurgerichte recreatie in het Zwin.

Van oorsprong vormde het Zwin de toegangseul naar Brugge. Als gevolg van natuurlijke aanzanding en inpoldering van gebieden ten behoeve van de veiligheid is de huidige vorm ontstaan. Veel sluffers tenderen naar aanzanding en uiteindelijk verlies van karakteristiek intergetijdgebied, zoals ook wordt gevonden voor het Zwin. Beleid en beheer zijn er echter op gericht het karakter van het Zwin te behouden. In de afgelopen jaren zijn verscheidene maatregelen getroffen, die een verdere aanzanding van het Zwin zouden moeten tegengaan. De tot nu toe getroffen maatregelen hebben merendeels een korte termijn karakter en worden niet als lange termijn oplossing gezien.

In eerdere studies is een groot aantal mogelijke maatregelen gericht op het stoppen of remmen van de verdere aanzanding op hoofdlijnen onderzocht (LB&P ecologisch advies BV, 1996). Hieruit bleek dat het versterken van de ebstroom door de afwatering van de polders via het Zwin te leiden een positief effect heeft op de vermindering van de aanzanding. De Internationale Zwin-commissie heeft naar aanleiding van de eerdere studies een stappenplan goedgekeurd, waarbij een combinatie van alternatieve maatregelen wordt uitgewerkt om te komen tot een strategie voor een optimaal behoud en versterking van de natuurwaarde van het Zwin. Het stappenplan bestaat achtereenvolgens uit:

1. vaststellen van een grensoverschrijdend integraal beheersplan voor het Zwin vanuit een gemeenschappelijke visie op het gebied;
2. realiseren van een dynamisch kustbeheer (vrijlaten van de kustlijn);
3. verder onderzoek naar de haalbaarheid van een verplaatsing van het uitwateringsgemaal te Cadzand voor extra spuiwerking in het Zwin;
4. verder onderzoek naar de effecten van grootschalige verruiming van het geulenstelsel.

1.2 Studie aanpak

In maart 1998 heeft DHV Milieu en Infrastructuur BV een studievoorstel ingediend om de effecten van een spuiregime in het Zwin te onderzoeken. Het studievoorstel bestond uit vier fases, waarin tot een optimalisatie van het spuiregime wordt gekomen via het principe van ontwerpend evalueren. De vier fases zijn:

1. Beoordelingskader

Binnen deze fase worden de criteria vastgesteld en geoperationaliseerd aan de hand waarvan de optimalisatie van het spuiregime wordt uitgevoerd. Daarnaast wordt in deze fase een beschrijving gegeven van de huidige situatie en autonome ontwikkeling, welke als referentie dient voor de bepaling van de effecten.

2. Beoordelingsinstrumentarium

Binnen deze fase wordt een 2D hydro-morfologisch model gebouwd van het Zwin en het mondingsgebied. Dit model levert resultaten waarmee de verschillende alternatieven beoordeeld kunnen worden met betrekking tot de afgeleide criteria. Met de resultaten van het 2D-model worden de morfologische, ecologische en recreatieve aspecten beoordeeld aan de hand van afgeleide relaties tussen enerzijds hydrodynamica en anderzijds morfologie en ecologie.

3. Optimaliseren richting hoofddoelstelling

Met het geijkte model wordt gekeken naar de binnen de gedefinieerde randvoorwaarden (o.a. veiligheid en beschikbaarheid van water) mogelijke spuiregimes. In eerste instantie wordt daarbij gezocht naar de grootste gewenste impact op de uitschuring van de hoofdgeul. Aan de hand hiervan wordt bepaald op welk moment met welke hoeveelheid de hoofddoelstelling zoveel mogelijk kan worden benaderd.

4. Optimaliseren richting andere doelstelling

Mogelijk blijkt in deze fase van de studie dat de hoofddoelstelling niet geheel kan worden gehaald en dat er bijvoorbeeld meer water voor spuien beschikbaar zou moeten komen. Ook kan blijken dat naar verwachting de hoofddoelstelling kan worden gehaald en dat er zelfs nog ruimte is verder te optimaliseren ten behoeve van andere doelstellingen. Afhankelijk van de resultaten van fase 3 worden in deze fase andere alternatieven geformuleerd en doorgerekend.

In april 1998 heeft Rijkswaterstaat, directie Zeeland, middels opdrachtbon no 558003 opdracht gegeven aan DHV Milieu en Infrastructuur BV om de eerste twee fases uit te voeren. De resultaten van de eerste en tweede fase zijn gepresenteerd in een afzonderlijk rapport (DHV, 1988).

Voor fase 3 en 4 is opdracht verleend door de Administratie Waterwegen en Zeewezen en door Aminal, beide onderdeel van het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap.

De hoofddoelstelling van het project is het optimaliseren van het spuiregime in relatie tot de verruiming van het geulenstelsel zodanig dat het Zwin als zout intergetijdegebied behouden blijft en zo mogelijk de natuurwaarden versterkt worden. De werkingszekerheid van de spui-oplossing dient met voldoende zekerheid te worden aangetoond gezien de omvang van de ingreep en de hiermee samenhangende kosten.

1.3 Leeswijzer

Dit rapport geeft de resultaten van de derde en vierde fase van het onderzoek. Verschillende spuiregimes zijn onderzocht op hun hydraulische, morfologische en ecologische effecten, conform het afgeleide beoordelingskader in fase 1.

In hoofdstuk 2 worden de verschillende spuiregimes beschreven. Hierbij worden de gehanteerde randvoorwaarden voor beschikbaar spuiwater, maximaal lozingsdebiet en maximale afmetingen van het aan te leggen reservoir beschreven.

In hoofdstuk 3 worden de effecten van de beschouwde spuiregimes beschreven. De beoordeling van de alternatieven wordt per criterium toegelicht.

In hoofdstuk 4 zijn de conclusies en aanbevelingen van het onderzoek verwoord.

De studie is uitgevoerd onder begeleiding van de Technische werkgroep van de Zwincommissie met directe begeleiding van drs. S. Huijs van Rijkswaterstaat, directie Zeeland en ir. T. Verwaest van Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Administratie Waterwegen en Zeewezen.

2 SPUIREGIMES

2.1 Inleiding

Uit eerdere studies is gebleken dat het spuien van (zoet) water door het Zwin een remmend effect kan hebben op de verlandingssnelheid van het Zwin (LB&P ecologisch advies BV, 1996). Door het spuien van water tijdens vloed worden de snelheden in de geulen verhoogd, waardoor het zeewaarts sediment transport wordt vergroot. Wanneer het water wordt gespuid tijdens vloed worden de snelheden in de geulen verlaagd en kan het inkomende sediment transport worden verkleind. In deze studie wordt onderzocht wat het optimale spuiregime is om de verlanding van het Zwin tegen te gaan.

Het spuiregime wordt bepaald door een viertal parameters:

- het spuivolume;
- het spuidebiet (of tijdsduur van spuien);
- het tijdstip van spuien in het getij;
- de frequentie van spuien.

Deze parameters kunnen worden gevarieerd binnen de randvoorwaarden, zoals de hoeveelheid beschikbaar water, de afmetingen van het reservoir (oppervlakte en hoogte) en de daarmee samenhangende maximale lozingscapaciteit onder vrij verval. Daarnaast is uit praktische overwegingen een maximale breedte van de uitstroomopening van 25 m aangehouden, om aan te sluiten met de huidige breedte van het bestaande hoofdgeulen in het Zwin.

De randvoorwaarden, zoals gehanteerd, zijn in de volgende paragraaf beschreven. Gegeven deze randvoorwaarden zijn spuiregimes gedefinieerd. Het spuiregime is geoptimaliseerd gebruik makend van het principe van ontwerpend evalueren, dit wil zeggen dat de bij de definitie van een nieuw spuiregime de resultaten van de eerdere analyses zijn meegenomen.

2.2 Randvoorwaarden

2.2.1 Volume beschikbaar water

Het volume beschikbaar water wordt bepaald door de neerslaghoeveelheden in het gebied en het oppervlakte van het achterland dat afgewatert op het Zwin. In de werkgroep Zoet is het volume beschikbaar water in het winterhalfjaar gegeven (Belgroma, 1998). Deze gegevens zijn weergegeven in tabel 1.

Tabel 1
Volume beschikbaar water in het winterhalfjaar (Belgroma, 1998)

Overschrijdingskans [-]	Dagafvoer [mm/dag]	Dagvolume [m ³ /dag]
0,99	0,01	2.000
0,90	0,16	32.000
0,75	0,52	104.000
0,50	1,47	294.000
0,25	3,03	606.000
0,10	4,94	988.000
0,01	9,59	1.918.000

In het rapport van de werkgroep Zoet waren geen gegevens genomen voor het zomerhalfjaar. In het rapport van Geernaert en Goossen (1997) wordt de verdeling van het gemiddeld verpompt volume voor pompemaal Cadzand-Bad over het jaar gegeven. Het water dat gravitair geloosd is, werd buiten beschouwing gelaten.

Het gemiddelde afvoervolume voor het winterhalfjaar van 1990 tot en met 1995 bedraagt 74,5 miljoen m³ (tabel 10, Belgroma 1998). De gemiddelde verpompte hoeveelheid water in het winterhalfjaar bedraagt 26,5 miljoen m³. Het gemiddelde afvoervolume is 2,8 maal zo groot is als het gemiddelde verpompte volume water te Cadzand. Deze verhouding is aangenomen voor iedere maand¹. De verdeling van het totaal volume beschikbaar water over de maanden is gegeven in tabel 2.

Tabel 2
Verdeling van gemiddelde afvoer volumes per maand

maand	Gemiddeld verpompt volume te Cadzand-Bad (Geernaert, 1997)	gemiddeld afvoer- volume
januari	6.174.000 m ³	17.400.000 m ³
februari	4.300.000 m ³	12.100.000 m ³
maart	3.517.000 m ³	9.900.000 m ³
april	1.907.000 m ³	5.400.000 m ³
mei	1.424.000 m ³	4.000.000 m ³
juni	1.122.000 m ³	3.200.000 m ³
juli	1.008.000 m ³	2.800.000 m ³
augustus	437.000 m ³	1.200.000 m ³
september	1.646.000 m ³	4.600.000 m ³
oktober	2.541.000 m ³	7.200.000 m ³
november	4.028.000 m ³	11.300.000 m ³
december	5.928.000 m ³	16.700.000 m ³
jan- dec	34.032.000 m ³	95.800.000 m ³

¹ De aanname van een vaste verhouding tussen afvoervolume en verpompte hoeveelheid water voor het hele jaar is waarschijnlijk niet correct. Binnen deze studie worden de afgeleide water volumes gebruikt om de verschillende spuiregimes tegen elkaar af te wegen.

Uit de verdeling van de afvoervolumes over het jaar wordt geconcludeerd dat in het zomerhalfjaar beschikbaar is:

- gemiddeld 3,5 miljoen m³ per maand (110.000 m³/dag)
- minimum 1,2 miljoen m³ in augustus (40.000 m³/dag)

In het winterhalfjaar is beschikbaar:

- gemiddeld 12,4 miljoen m³ per maand (400.000 m³/dag).
- minimum 9,9 miljoen m³ in maart (320.000 m³/dag)

2.2.2 Reservoir afmetingen

Of al het beschikbare water ook gebruikt kan worden om te spuien hangt af van de grootte van het reservoir. Dit reservoir moet immers de variatie in het wateraanbod compenseren om de gewenste spui-frequentie te kunnen handhaven. De variatie in het afvoervolume wordt door de werkgroep Zoet onderzocht. Binnen deze studie zijn drie aannames gehanteerd voor de grootte van het reservoir:

1. Het reservoir moet ongeveer vier maal zo groot zijn als het gewenste spuivolume om variatie in het aanbod van water te kunnen opvangen;
2. De opvoerhoogte van het water is ongeveer 4 m boven hoogwater in het Zwin (TAW + 8,3 m, NAP + 6,0 m);
3. Er wordt een minimum oppervlakte van 10 hectare voor het reservoir aangenomen en een maximum oppervlakte van 25 hectare.

Met deze aannamen wordt het spuivolume gekoppeld aan de reservoir afmetingen. Bij een klein reservoir komt het spuivolume op ongeveer 100.000 m³ per getij en voor een reservoir met maximale afmeting en spuien bij laag water op ongeveer 350.000 m³ per getij.

In deze studie is er vanuit gegaan dat het spuien gravitair plaatsvindt. Het lozingsdebiet wordt dan bepaald door de breedte van de spuiopening en de overhoogte in het reservoir. Voor de berekening van het lozingsdebiet is aangenomen dat de uitlaat kan worden beschreven als een volkomen overlaat.

Voor een goede sturing van het spuien lijkt een regelbare stuw gewenst. Hierdoor is er een grotere controle mogelijk over het lozingsdebiet.

2.3 Modelling spuiregimes

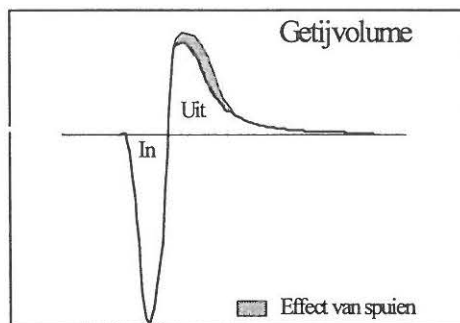
2.3.1 Aggregatie naar jaarlijkse effecten

De hydraulische situatie in het Zwin is erg afhankelijk van het getij regime. Tijdens doodtij staat er alleen water in de hoofdgeul en wordt dus maar een kleine hoeveelheid water uitgewisseld tussen Noordzee en Zwin (10% van het getijvolume tijdens gemiddeld getij). Tijdens de 1/1 jaar stormopzet is er tijdens hoogwater 1 tot 2 m waterdiepte aanwezig op de schorren, waardoor het getijvolume door de monding 6 maal

2.4.1 Alternatief 1

Voor het eerste alternatief is uitgegaan van een reservoir met de minimale afmeting van 10 hectare. Er wordt bij hoogwater gespuid, zodat een reservoirvolume van ongeveer 400.000 m³ aanwezig is. Dit leidt, bij de gehanteerde aanname, tot een spuivolume van ongeveer 100.000 m³ per getij.

Spuien begint 1 uur na hoogwater in de monding. Er is gekozen voor deze vertraging om het spuidebiet te laten samenvallen met de maximale ebsnelheden in de hoofdgeul. Onder vrij verval kan er bij een storthoogte van 2 m en een breedte van 10 m een volume van ruim 100.000 m³ in 1 uur worden gespuid. Dit is geschematiseerd tot een constant lozingsdebiet van 30 m³/s gedurende 1 uur.



Voor het eerste alternatief is een minimale spui frequentie aangehouden van éénmaal spuien per vier getijde. Dit is iets boven het minimaal beschikbare afvoervolume in het zomerhalfjaar. Er is geen onderscheid gemaakt tussen de verschillende getijcondities. Dit heeft het voordeel dat het effect van spuien bij de verschillende getijcondities kan worden bepaald, zodat er later een optimalisatie kan worden uitgevoerd voor het beschikbare water.

De doelstelling van dit alternatief is om het de effectiviteit van het spuien bij de verschillende getijcondities te analyseren. Tevens wordt gekeken of met een relatief klein reservoir en een kleine ingreep in de processen van het Zwin de huidige sedimentatie in de geulen en op de schorren kan worden gereduceerd.

2.4.2 Alternatief 2

Uit de resultaten van alternatief 1 bleek dat de stabiliteit van de monding niet wordt opgelost door alleen te spuien door het Zwin. Ook door al het beschikbare afvoerwater door het Zwin te spuien, wordt het jaarlijks gemiddelde getijprisma onvoldoende vergroot om de stabiliteit van de monding te kunnen garanderen. Daarom is voor alternatief 2 gekozen voor het afgraven van een gedeelte van het Zwin. Hiermee kan het effect van vergroting van komberging op de ontwikkeling van het Zwin worden geanalyseerd. Om het effect van de afgraving afzonderlijk te kunnen beoordelen is bij het tweede alternatief niet gespuid.

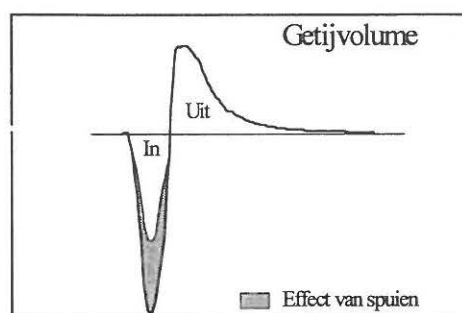
Bij verruiming van de geulen wordt het getijprisma door de monding van het Zwin het meest verhoogd. Echter de stroomsnelheden in de geulen worden verlaagd, waardoor naar verwachting de sedimentatie in de geulen toeneemt. Afgraven van de schorren geeft naast een groter getijprisma door de monding ook hogere stroomsnelheden in de geulen, waardoor de sedimentatie in de geulen naar verwachting reduceert.

Er is gekozen voor afplaggen van de schorren achterin het Zwin, om het effect in de geulen te maximaliseren. Bij alternatief 2 zijn schor II en een gedeelte van schor V afgeplagd tot TAW +4,20, ongeveer gemiddeld hoogwater, zie bijlage 2. Voor dit niveau is gekozen om nog vegetatie mogelijk is maken op de afgeplagde schorren.

2.4.3 Alternatief 3

Na alternatief 1 en 2 bleek dat de stabiliteit van de monding wel vergroot wordt door te spuien door het Zwin en door het afplaggen van schorren, maar dat bij beperkte verruiming van de komberging de stabiliteit van de monding niet gegarandeerd kan worden. In overleg met de projectbegeleiders is besloten om spuien door het Zwin verder te optimaliseren, waarbij wordt geaccepteerd dat aanvullende studie of maatregelen nodig zijn om de stabiliteit van de monding te kunnen garanderen.

Uit alternatief 1 bleek dat spuien in de eb-fase een beperkt effect heeft op de sedimentatie in het Zwin. Daarom is besloten om het effect van spuien tijdens de vloedfase te onderzoeken. Hiervoor is hetzelfde spuiregime gehanteerd als voor alternatief 1, alleen is nu gespuid tijdens laagwater in de monding. De verwachting is dat de vloodsnelheden kunnen worden beperkt en dat daarmee het sedimentinvoer in het Zwin afneemt.



2.4.4 Alternatief 4

Het spuiregime voor Alternatief 4 is gelijk aan het spuiregime van alternatief 1, maar het beschikbare afvoervolume over het jaar is optimaal ingezet. Per getijconditie is gekeken hoe groot de effectiviteit is van het spuien op de sedimentatie in het Zwin. Uit de analyse volgde dat spuien het meest effectief is tijdens stormcondities (75% reductie). Tijdens gemiddeld tij en springtij is de effectiviteit respectievelijk 35% en 25% reductie. Echter omdat de bijdrage aan de jaarlijkse sedimentatie het grootst is voor springtij, blijkt het voor het totale effect op de jaarlijkse sedimentatie niet veel uit te maken of wordt gespuid tijdens springtij, gemiddeld tij of stormcondities.

Spuien tijdens doortij is niet effectief, voornamelijk omdat de stroomsnelheden tijdens deze condities laag zijn en er daardoor weinig sedimenttransport plaats vindt.

Het beschikbare afvoervolume (tabel 2.2) wordt optimaal ingezet om de sedimentatie in het Zwin te minimaliseren. Hierbij is aangehouden dat ieder springtij wordt gespuid en vervolgens het resterende afvoervolume bij gemiddeld getij wordt gespuid. Verder is aangenomen dat de stormcondities optreden in de maanden oktober tot april, wanneer voldoende water beschikbaar is om ieder springtij en gemiddeld getij te spuien. De spui frequentie zoals gegeven in tabel 6 is aangehouden.

Tabel 6
Spuiregime geoptimaliseerd naar de beschikbare afvoervolume

Periode	Spuifrequentie
oktober - maart	ieder getij spuien
april - juni	ieder springtij spuien en bij gemiddeld tij ieder tweede getij spuien, dit laatste met een voorkeur voor spuien tijdens stormcondities
juli - augustus	ieder springtij spuien
september	ieder springtij spuien en bij gemiddeld getij ieder tweede getij spuien, dit laatste met een voorkeur voor spuien tijdens stormcondities

Het beschikbare afvoervolume leidt tot de volgende frequentie verdeling (op jaarbasis) voor het spuien over de getij-condities:

- springtij: 176 maal spuien
- gemiddeld tij: 225 maal spuien
- doottij: 0 maal spuien
- 1/1-jaar storm: 10 maal spuien (treden op in de periode oktober - maart)

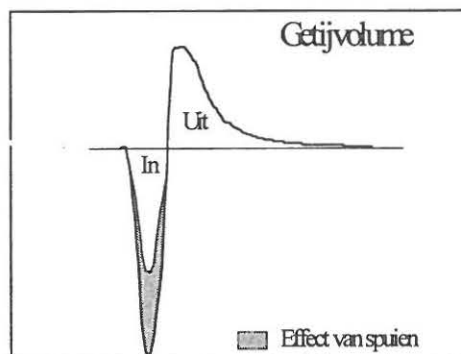
2.4.5 Alternatief 5

Voor alternatief 5 is het spuiregime voor alternatief 3 aangehouden, maar is de spuifrequentie aangepast aan het beschikbare afvoervolume (conform aanpassing voor alternatief 4). Er wordt 108.000 m³ gespuid tijdens laagwater in de monding. De spuifrequentie is gelijk aan de spuifrequentie voor alternatief 4, zie tabel 6.

2.4.6 Alternatief 6

Bij alternatief 6 is het spuivolume verhoogd. Uit de eerdere alternatieven bleek dat spuien tijdens laagwater (tegen de vloedstroom in) effectiever is om de sedimentatie op de schorren te verminderen dan spuien bij hoogwater (met de ebstroming mee). Omdat op de lange termijn de hoogteligging van de geulen het niveau van de schorren volgt, is het effect op de schorren als maatgevend genomen. Getracht is om de maximale hoeveelheid water te spuien tijdens laagwater in de monding.

Omdat de vloedfase in het Zwin beperkt is tot ongeveer 1,5 uur is de maximale spuiduur gelijk genomen aan deze duur. Vervolgens is gekeken welk volume water onder vrij verval kan worden geloosd binnen de beschouwde randvoorwaarden. Het maximale spuivolume werd bepaald op 350.000 m³. Dit geeft een spuidebiet van ongeveer 125 m³/s bij het begin van spuien geleidelijk afnemend tot ongeveer 30 m³/s aan het einde van de spuiingang. Deze tijdsafhankelijkheid in het lozingsdebiet is gemodelleerd in de berekeningen.



Uit het beschikbare volume water over het jaar is een meest optimale spui-frequentie bepaald, aannemend dat spuien tijdens stormen en springtij het meest gewenst is. Extra water kan dan worden gespuid tijdens gemiddeld tij. De toegepaste spui-frequentie is gegeven in tabel 7.

Tabel 7
Spuiregime geoptimaliseerd naar de beschikbare afvoervolume

Periode	Spuiregime
december en januari	ieder springtij en ieder gemiddeld tij
februari en maart	ieder springtij en 50% van de gemiddeld getijden
april, mei en juni	ieder springtij
juli en augustus	50% van alle springtijden
september	ieder springtij
oktober en november	ieder springtij en 50% van de gemiddeld getijden

Het beschikbare afvoervolume leidt tot de volgende frequentie verdeling (op jaarbasis) voor het spuien over de getij-condities:

- springtij: 160 maal spuien
- gemiddeld tij: 122 maal spuien
- doortij: 0 maal spuien
- 1/1-jaar storm: 8 maal spuien (treden op in de periode oktober - maart)

3 EFFECTEN VAN SPUIEN IN HET ZWIN

De beschouwde spui-regimes om de sedimentatie in het Zwin te reduceren zijn geanalyseerd conform het opgestelde beoordelingskader (DHV, 1988). De score op de beschouwde criteria zijn samengevat in de overzichtstabel van bijlage 1. Van de beschouwde alternatieven blijkt dat spuien tijdens opkomend water met een groot spuivolume (alternatief 6) de meeste positieve effecten sorteert. In tabel 8 is de onderlinge vergelijking van de alternatieven op het opgestelde beoordelingskader gegeven. De score op de criteria is vertaald naar een schaal van -3 tot +3. Deze score is vermenigvuldigd met de gewichtsverdeling.

De gebruikte gewichtsverdeling is conform het belang dat aan de subcriteria is gegeven in fase 1 en 2. Een andere gewichtsverdeling leidt tot een andere volgorde van de alternatieven. Omdat Alternatief 6 op de meeste criteria het beste scoort, komt dit alternatief ook bij andere gewichtsverdelingen er als beste uit.

Tabel 8
Vergelijking beschouwde alternatieven

Aspect	Criterium	Gewicht	Alt 1	Alt 2	Alt 3	Alt 4	Alt 5	Alt 6
Morfologie	Stabiliteit monding	2	0	0	0	2	0	0
	Verlandingsnelheid geulen	2	2	-6	-2	-2	-4	4
	Verlandingsnelheid schorren	2	2	6	2	6	6	2
	Oppervlakte slikken	2	0	2	0	0	0	2
	Ontwikkeling geulstelsel	1	0	0	0	0	0	0
	Inundatieduur/frequentie	1	1	2	1	1	1	3
Ecologie	Verandering vegetatietypen	1	1	0	2	1	2	3
	Verandering kensoorten	2	2	4	2	2	2	4
	Aanwezigheid zout/zoet gradiënt	1	0	0	1	0	1	2
	Eutrofiëring vegetatietypen	n.v.t.						
	Kwaliteit permanente wateren	1	0	0	0	0	0	0
Recreatie	Veiligheid ebgeul	n.v.t.						
	Veiligheid schorren	n.v.t.						
	Veiligheid slikken	n.v.t.						
Landschapsbeeld	verandering huidige situatie	1	-1	1	1	2	3	3
Totaal			7	9	7	13	11	23

De beschouwde spui-regimes zijn geanalyseerd op veiligheidsaspecten in het Zwin, zoals snelheid van waterspiegelstijging in de hoofdgeul en op de schorren en de mogelijkheid van ontstaan van drijfzand. Bij geen van de alternatieven treden situaties op in het Zwin die als onveilig moeten worden aangemerkt in aanmerking genomen dat:

- door het afplaggen van schor II en schor V (gedeeltelijk) neemt de waterdiepte op de schorren toe tot meer dan 0,5 m bij springtij. Hierdoor kunnen onveilige situaties ontstaan voor dieren en kleine kinderen. Plotselinge waterspiegelstijging treden echter niet op. Insluiting op schor II zou kunnen optreden als geen uniforme afplagging plaatsvindt.
- Bij de verschillende spuiregimes treden hoge snelheden op in het spuikanaal (groter dan 1,5 m/s). Dit kanaal moet worden afgeschermd voor betreding, zodat er geen

mensen of dieren door de stroming in gevaar kunnen komen.. De stroomsnelheden nemen snel af wanneer het water in de geulen van het Zwin komt.

De eutrofiëring van de bodem is niet als criterium gebruikt, omdat er geen duidelijke relatie tussen stikstof en vegetatie kon worden vastgesteld. Er treedt enige verschuiving op in de locatie van het vloedmerk, maar per saldo neemt de voedselrijkdom van de bodem naar verwachting niet toe. Kwalitatief worden er geen effecten verwacht, gezien de afwezigheid van een duidelijke relatie tussen de stikstofbalans en de hydrodynamica.

3.1 Stabiliteit monding

De stabiliteit van de monding wordt bepaald door het quotiënt van het gemiddeld getijprisma en het brandingstransport. Omdat het brandingstransport niet significant wordt beïnvloed door spuien in het Zwin, is het gemiddeld getijprisma maatgevend voor de stabiliteit van de monding.

Door het spuien wordt het volume water, dat wordt getransporteerd door de monding, beïnvloed. Als er tijdens eb wordt gespuid neemt het volume water door de monding toe met het spuivolume. Indien er tijdens vloed (opkomend water) wordt gespuid, verdringt het spuivolume een deel van het getijvolume en neemt het volume water door de monding met minder dan het spuivolume toe.

Het effect van spuien is in rekening gebracht door het jaarlijks gemiddeld uitgaande getijvolume te berekenen. Het uitgaande debiet door de monding van het Zwin is per getijconditie bepaald (met spuien en zonder spuien). Met behulp van de spui frequentie is vervolgens het jaarlijks spuivolume berekend. Het jaarlijks gemiddelde spuivolume per getij is berekend door te delen door het aantal getijden per jaar.

Zoals beschreven in het rapport voor fase 1 en 2 is de stabiliteit van de monding in de huidige situatie niet gewaarborgd. Door spuien en afplaggen van schorren neemt het gemiddeld spuidebiet toe. De toename van het jaarlijks gemiddeld getijvolume is echter beperkt, maximaal een factor 1,2. Dit betekent dat het spuien door het Zwin de stabiliteit van de monding verbetert, maar dat nog steeds geen garantie kan worden gegeven dat de geul in de monding stabiel is (zie ook bijlage 1 van fase 1 en 2 rapport, DHV 1998).

Geconcludeerd wordt dat door het spuien door het Zwin en/of afplaggen van schorren in het Zwin de stabiliteit van de monding kan verbeteren. Echter de verwachting is dat er geen stabiele monding ontstaat. Net als in de huidige situatie kan (tijdelijke) sluiting van de monding van het Zwin niet worden uitgesloten.

3.2 Verlandingsnelheid geulen en schorren

Het effect van het spuien op het sedimentatie- en erosiepatroon in het Zwin is bepaald door de berekeningsresultaten van de huidige situatie te vergelijken met de resultaten voor de beschouwde alternatieven. Deze aanpak heeft als voordeel dat de onnauwkeurigheden in de schematisatie van de huidige situatie niet worden meegenomen in de effectbepaling.

De gepresenteerde sedimentatieresultaten voor de referentiesituatie, zoals gerapporteerd in het fase 1 en 2 rapport, zijn in het verloop van de studie bijgesteld. Deze bijstelling is gedaan, omdat bij de schematisatie van de alternatieven bleek dat de gekozen modelinstellingen niet optimaal waren voor de modellering van de erosie in de geulen. De aangepaste sedimentatieresultaten voor de huidige situatie zijn gegeven in bijlage 3.

De sedimentatie in de geulen wordt in de referentiesituatie voornamelijk veroorzaakt door zand tijdens springtij en gemiddeld tij. Het spuien van (sedimentarm) water door het Zwin beïnvloedt de stroomsnelheden in de geulen en daardoor het sedimentatiepatroon. Voor de sedimentatie en erosie in de geulen is het tijdstip van spuien belangrijk, omdat dit bepaald of de stroomsnelheden worden vergroot of verkleind. Alleen bij vergroting van de snelheden in de geulen treedt erosie op in de geulen (spuien tijdens uitgaand getij of groot spuidebiet bij inkomend getij).

De sedimentatie op de schorren wordt voornamelijk veroorzaakt door slib tijdens springtij. Het effect van het spuien wordt op de schorren niet veroorzaakt door hogere snelheden, maar doordat slibarm spuiwater wordt aangevoerd in plaats van slibrijk water uit de Noordzee. Dit resulteert in een reductie van de sedimentatie op de schorren tijdens het spuien.

Bij het spuien met een groot spuidebiet treedt extra sedimentatie van zand op de schorren op. Dit is het zand dat in de geulen wordt geërodeerd.

Flocculatie van slib door een afname in saliniteit wordt in het model geschematiseerd. Het invangen van sediment door begroeiing op de schorren wordt in het sedimenttransport model niet meegenomen. Dit kan leiden tot een onderschatting van de sedimentatie op de schorren. Bij veranderingen van vegetatietypen kan dit effect verschillen voor de beschouwde spualternatieven.

De sedimentatie- en erosiepatronen voor de verschillende alternatieven is gegeven in bijlage 6. Het totale sedimentatie- en erosievolume is in tabel 9 gegeven onderverdeeld in geulen en schorren.

Tabel 9
Sedimentatie- en erosie volumes voor de geulen en schorren van het Zwin
positief is extra sedimentatie of minder erosie, negatief is minder sedimentatie of meer erosie

Spuiregime	Effect op sedimentatie volume t.o.v. referentiesituatie in [m ³ /jaar]			
	Totaal	Geulen	Geulen exclusief geulsectie A (nabij monding)	Schorren
Alternatief 1	-2650	-400	-100	-2250
Alternatief 2	-7200	+1050	+3300	-8250
Alternatief 3	-2100	+550	+650	-2650
Alternatief 4	-8200	-250	+1000	-7950
Alternatief 5	-7050	+2450	+2800	-9500
Alternatief 6	-2000	+1150	-2350	-3150

De berekende sedimentatiehoeveelheden in het Zwin laten zien dat alleen spuien tijdens de ebfase in minder sedimentatie van de geulen leidt. Dit komt omdat bij spuien in de vloedfase de snelheden in de geulen afnemen. Wat opvalt is dat de verminderde sedimentatie voornamelijk nabij de monding optreedt (geulsectie A). Alleen voor alternatief 6 wordt er in de geulen in het Zwin (exclusief geulsectie A) een significante verhoging van de erosie voorspeld.

Voor alle alternatieven wordt een verlaging van de sedimentatie op de schorren berekend. Voor de lange termijn ontwikkeling is het niet logisch dat de sedimentatie op de schorren afneemt, terwijl de sedimentatie in de geulen toeneemt. Dit wordt veroorzaakt doordat de geulen naar een nieuw evenwicht evolueren, horende bij het spuien. Op de lange termijn zal de ontwikkeling van de geulen de ontwikkeling van de schorren volgen. Dit wordt ook gevonden in de empirische relaties tussen geul-oppervlak en getijprisma door de geulsectie. De tegengestelde ontwikkeling tussen geulen en schorren kan niet als lange termijn ontwikkeling doorgaan. Voor de lange termijn morfologische ontwikkeling van het Zwin is de ontwikkeling van de schorren daarom sturend.

Voor alle beschouwde alternatieven blijven de schorren netto sedimenteren. Dit betekent dat het Zwin op de lange termijn netto sedimenteert. Naar verwachting is het ook door combinatie van de beschouwde alternatieven niet mogelijk om de lange termijn sedimentatie te stoppen. Het spuien resulteert in een reductie van de sedimentatie in het Zwin.

Analyse van de berekeningsresultaten leidt tot de volgende constatering:

- Spuien tijdens uitgaande stroming (eb) is bij een klein spuidebiet effectiever dan spuien tijdens inkomende stroming (vloed), omdat bij spuien tijdens inkomende stroming de snelheden in de geulen worden verminderd en daarmee de netto aanzanding in de geulen toeneemt.
- Afplaggen van schor II en gedeeltelijk schor V resulteert in reductie van de sedimentatie van de schorren westelijk van de hoofdgeul. Ook in geulsectie A en B (secties gelegen nabij de monding) vindt een vermindering van de sedimentatie op. Echter in de geulsectie tussen de afgeplagde schorren en op

met name de afgeplagde schor II vindt een significante toename van sedimentatie op.

- Spuien met een groot spuidebiet tijdens inkomend water (vloed) verdringt het inkomende getijprisma. De stroomrichting in de geulsecties nabij het uitlaatkanaal worden in richting omgedraaid (zie bijlage 5). Dit resulteert in erosie in de geulsecties. Het geërodeerde zand sedimenteert op de schorren. De totale reductie van aanzanding in het Zwin is echter minder dan bij frequenter spuien met kleiner spuidebieten.

Voor een maximale reductie van de sedimentatie in het Zwin wordt het volgende advies gegeven:

1. Spui bij ieder springtij, gemiddeld tij en stormconditie met een spuivolume van ongeveer 100.000 m³/getij;
2. Spui zoveel mogelijk tijdens uitgaande stroming;
3. Indien meer water beschikbaar is, spui dan met een klein spuivolume (spuivolume van ongeveer 100.000 m³/getij) tijdens inkomende stroming;
4. Overweeg om schorren achter in het Zwin (schor II en V) af te plaggen.

Bij deze maatregelen zal naar verwachting in de eerste jaren geen netto sedimentatie van het Zwin optreden, omdat door aanpassing aan de nieuwe condities erosie optreedt in geulsecties A en B en op de schorren IV en V. Echter op de lange termijn wordt weer sedimentatie verwacht van de schorren en geulen in het Zwin.

3.3 Oppervlakte slikken

Het oppervlak van de slikken verschilt niet veel tussen de alternatieven. Alleen voor alternatief 2 en 6 wordt het slikoppervlak significant vergroot. In het geval van alternatief 2 komt dit doordat grote delen van de schorren worden afgeplagd en daardoor onder gemiddeld hoogwater komen te liggen. Dit is een tijdelijke situatie. Op de afgeplagde schorren treedt verhoogde sedimentatie op, waardoor het slikoppervlak in de tijd afneemt.

Bij alternatief 6 worden de hoogwaterstanden met 0,1 tot 0,2 meter verhoogd. Dit leidt tot een toename van de oppervlakte slikken van 148.500 m² tot 285.500 m², een toename van bijna 100%.

3.4 Ontwikkeling geulenstelsel

De ontwikkeling van het geulenstelsel wordt gekarakteriseerd door stroom- en golfaanval op de geulranden. De golfcondities worden niet significant beïnvloed door het spuien en zijn daarom niet verder beschouwd in de studie. De stroomaanval op de geulranden wordt wel beïnvloed door het spuien. Spuien tijdens uitgaande stroming verhoogt de stroomsnelheden en bevordert daarmee de laterale ontwikkeling van de geulen. Spuien tijdens inkomende stroming verlaagt de stroomsnelheden in de geulen en leidt daardoor tot lagere migratiesnelheden van de geulen.

De huidige laterale verplaatsing van de geulen in het Zwin is laag. Alleen in de monding treden grote laterale verplaatsingen op als gevolg van het voorbij trekkende brandingstransport. Voor de geulen in het Zwin heeft een verhoging of verlaging van de stroomsnelheden, zoals wordt voorspeld voor de alternatieven, naar verwachting geen significante veranderingen in de laterale ontwikkeling van de geulen tot gevolg.

3.5 Inundatieduur en inundatiefrequentie

Door het spuien neemt de inundatieduur voor de schorren toe (toename tot 50 uur op jaarbasis). Dit wordt voornamelijk veroorzaakt doordat de tijdsduur van hoogwater wordt verlengd. Alleen bij alternatief 6 wordt ook het hoogwater zelf lokaal aanzienlijk verhoogd.

De grote toename van inundatieduur bij alternatief 2 wordt veroorzaakt door het afplaggen van de schorren. Hierdoor is de hoogte ligging afgenomen, waardoor de inundatieduur is toegenomen. Bij dit alternatief nemen de hoogwaterstanden in het algemeen iets af, waardoor voor de locaties die niet worden afgeplagd een afname van inundatieduur optreedt.

De overstromingsfrequentie voor de schor II (schor ten oosten van de hoofdgeul) wordt bij alternatief 6 verhoogt door de toename van hoogwaterstand tijdens spuien. Hierdoor overstroomt 90% van het schoroppervlak wanneer wordt gespuid tijdens springtij.

3.6 Verandering in vegetatietypen

De verandering van de ecotopen is kwalitatief weergegeven, gebaseerd op de verandering in vegetatietypen, zoals wordt verwacht voor 20 representatieve locaties in het Zwin. De locatie van de vegetatiepunten is gegeven in bijlage 2.

De verandering in vegetatietypen wordt bepaald door verandering van inundatieduur, -frequentie en bodemsaliniteit. Voor de bodemsaliniteit is het tijdstip van spuien bepalend. Wordt er na hoogwater gespuid, dan is de bodem reeds verzadigd met zout water en heeft het zoete spuiwater weinig effect. Wordt er bij laagwater gespuid, dan wordt de bodem met zoet/brak water overspoeld. Het effect hiervan op de vegetatie is afhankelijk van de tolerantie van de diverse vegetatietypen voor een sterk wisselende bodemsaliniteit.

Voor alternatief 4 en 5 is gestreefd naar een optimale reductie van de sedimentatie. Hierdoor verandert de spui frequentie van spuien bij springtij. De toename van de inundatieduur is gering, zodat geen opschuiving in toposequentie te verwachten is. De effecten op vegetatietypen voor alternatief 4 en 5 zijn daarom overeenkomstig de effecten voor respectievelijk alternatief 1 en 3.

In bijlage 4 wordt de verandering in vegetatie per locatie en per alternatief gespecificeerd. In de volgende alinea's worden de belangrijkste effecten aangegeven.

Door het spuien in het Zwin met een gering spuidebiet (alternatieven 1, 3, 4 en 5) nemen in het algemeen de inundatieduur en -frequentie licht toe. Dit treedt vooral op in de zone tussen TAW 4,6 en 4,8 m, het gemiddelde hoogwater niveau tijdens springtij. Als gevolg van een langere inundatieduur neemt ook de bodemsaliniteit in het algemeen toe, omdat de invloed van de neerslag relatief geringer wordt. Deze veranderingen resulteren in een opschuiving richting vegetatietypen, welke lager in de toposequentie voorkomen. Voor spuien tijdens laagwater is het effect kleiner dan voor spuien tijdens hoogwater.

Het afplaggen van schor II en delen van schor V (alternatief 2) zorgt in zijn algemeenheid voor een kortere inundatieduur op de niet afgeplagde delen. Dit gaat gepaard met een afname van de bodemsaliniteit (meer invloed van neerslag), waardoor een opschuiving in vegetatietypen, welke hoger in de toposequentie staan wordt verwacht. Daarnaast treedt er als gevolg van de afplagging een vergroting van het areaal lage schorren op. Op deze schorren wordt een potentiële uitbreiding verwacht van met name Zeekraal.

Bij alternatief 6 is er sprake van een duidelijke verandering van de saliniteit op grote delen van de schorren. Een toename van de inundatieduur gecombineerd met een verandering vanuit een zout milieu naar een meer brakke omgeving leidt tot een verschuiving van het voorkomen van de verschillende vegetatietypen. Welke richting deze ontwikkeling neemt, is niet eenvoudig vast te stellen. In algemeenheid wordt gesteld dat de schorren tussen de spuimonding en de monding van het Zwin een afname van de bodemsaliniteit laten zien, waardoor dit deel van het Zwin de karakteristieken van een brakwaterestuarium zal krijgen, ten koste van het huidige zoute karakter.

De ontwikkeling van de kensoorten is voor alle alternatieven ongeveer gelijk; een toename van Zeekraal, Gewone Zoutmelde neemt op sommige locaties toe en op andere locaties af, en weinig verandering in het voorkomen van Engels Slijkgras. Alleen bij alternatief 6 wordt lokaal een toename verwacht van Engels slijkgras door de lichte verzoeting van de bodem.

Er wordt een toename verwacht van Lamsoor gemeenschappen, (karakteristieke paarse kleur), indien gespuid wordt na laagwater in de monding, als gevolg van de verhoging van de inundatieduur op de middelste schorren. In alle beschouwde alternatieven gaat de verandering in vegetatietypen vooral ten koste van grasvegetatie en duinvegetatie. Afname van deze typen wordt niet als negatief gezien, omdat ze minder karakteristiek zijn voor een intergetijdegebied.

3.7 Zout-zoet gradiënt

Door het spuien met zoet water worden er zout-zoet gradiënten geïntroduceerd in het Zwin. De gradiënt is afhankelijk van het spuivolume en van het tijdstip van spuien. Tijdens spuien bij uitgaande stroming zijn de optredende gradiënten alleen zeer lokaal bij de spuimonding significant. Voor de effecten in het Zwin kan echter niet van een significante invloed worden gesproken.

Bij spuien tijdens inkomend water treden wel significante zout-zoet gradiënten op. Voornamelijk op locaties achter in het Zwin, de geulen C en D en de schorren II en V, ontstaan tijdelijk brakwater condities. De afname in saliniteit is bij kleine spui volumes in het algemeen kleiner dan 10 ‰. Bij hoge spui volumes is de verandering groter en loopt lokaal op tot 20 ‰.

Doordat het spuien niet ieder getij plaatsvindt, en de verblijftijd van het water in het Zwin kort is, wordt niet verwacht dat er permanente zout-zoet gradiënten in het Zwin ontstaan. Dit houdt in dat de effecten van zout-zoet gradiënten vooral doorwerken in de bodemsaliniteit en daarmee op de vegetatie, maar niet op de aquatische levensgemeenschappen.. Spuien met een groot spui volume kan dan als positief worden gezien, omdat de variatie in vegetatie in het Zwin kan toenemen. Opgemerkt wordt dat deze toename van vegetatie niet een natuurlijk karakter heeft, omdat het in een sluffer normaal deze gradiënten niet voorkomen.

3.8 Waterkwaliteit permanente wateren

Het belangrijkste permanente water in het Zwin wordt gevormd door meer M3 (westelijk deel van het Zwin). Dit water wordt ieder springtij ververs, zodat de verblijftijd van dit water op 2 weken is gesteld. Door het spuien via het Zwin neemt, bij hoge spui volumes, de waterstand met ongeveer 0,2 m toe. Deze toename is te gering om tijdens gemiddeld getij het water in meer M3 te kunnen verversen. Dit criterium is daarom niet onderscheidend voor de beschouwde spui alternatieven.

3.9 Recreatie

Onder het criterium recreatie is gekeken of de veiligheid voor mens en dier in het Zwin nadelig wordt beïnvloed als gevolg van spuien. Hierbij wordt gekeken naar twee aspecten; de waterspiegelstijging en het ontstaan van drijfzand. Het ontstaan van drijfzand wordt niet verwacht en vormt derhalve geen veiligheidsprobleem.

Door het spuien kunnen hoge stroomsnelheden voorkomen nabij de spuimonding. Deze snelheden kunnen bij oversteken van het uitwateringskanaal tot problemen van leiden bij mensen en dieren. Dit probleem bestaat bij ieder spui-regime. Om gevaarlijke situaties te voorkomen dienen lokaal maatregelen te worden genomen ten aanzien van de bereikbaarheid van de spuimonding. Daarnaast kan worden overwogen om via signalering duidelijk te maken dat er wordt gespuid.

Bij afplaggen van de schorren neemt de waterdiepte op schor II toe. Deze schor wordt begraasd door schapen. De stijging van de waterspiegel met 0,25 m op deze schor versnelt van 15 minuten tot ongeveer 10 minuten. Er wordt niet verwacht dat dit een vergroting van het risico voor de schapen tot gevolg heeft. Wel moet er voor worden gewaakt, dat door afplaggen van de schorren geen eilandjes ontstaan tijdens gemiddeld tij en springtij, waardoor de schapen ingesloten kunnen raken.

De waterspiegelstijging en stroomsnelheden in de geulen veranderen niet zodanig dat er door spuien in het Zwin een onveiligere situatie ontstaat. Wel is er bij alternatief 6 lokaal in geulsectie C, nabij het uitwateringskanaal, een aanzienlijke verhoging van de stroomsnelheden te verwachten.

3.10 Landschapsbeeld

Het aspect landschapsbeeld wordt kwalitatief ingevuld door te kijken naar zichtbare effecten in het Zwin. Hierbij wordt vooral aandacht besteed aan de dynamiek van het systeem, de verandering van het landschapsbeeld over het jaar en over aansluitende jaren. De volgende aspecten zijn hierbij meegenomen:

- dynamiek van de geulen
- sedimentatie van de geulen en schorren
- verandering van karakteristieke (beeldvormende) vegetatietypen, zoals Lamsoor en Zeekraal.
- verstoring van intergetijde gebied (aanleg uitwateringskanaal, afplaggen)
- inundatieduur en -frequentie van de schorren

De belangrijkste onderscheidende aspecten bij het landschapsbeeld zijn de aanleg van een spuikanaal en het afplaggen van delen van de schorren (beide negatief t.o.v. huidige situatie), de verandering van vegetatietype en de vermindering van de sedimentatie in de geulen en op de schorren.

Alternatief 5 en 6 springen er voor het landschapsbeeld beide positief uit, omdat er een potentiële toename van lamsoor en zeekraal wordt verwacht en er een significante vermindering van de sedimentatie optreedt. Voor beide alternatieven is alleen de aanleg van het uitwateringskanaal negatief in de beoordeling van het landschapsbeeld.

4 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

4.1 Conclusies

De belangrijkste conclusie uit deze studie is dat het spuien van zoet water door het Zwin als solitaire maatregel niet voldoende is om met zekerheid te kunnen zeggen dat het Zwin in zijn huidige vorm in stand wordt gehouden. Met de beschikbare hoeveelheden spuiwater is de stabiliteit van de monding niet te garanderen.

De aanzanding van de Zwingeel kan door het spuien door het Zwin worden geremd of zelfs in erosie worden omgezet (bij alternatief 6 alleen in de monding nog sedimentatie). De sedimentatie van de schorren en van de geul naar meer M3 kan niet worden verhinderd, maar wel met 50% worden verminderd. Voor de lange termijn betekent dit dat de sedimentatie van het Zwin niet kan worden gestopt, omdat in een (nieuwe) evenwichtssituatie de ontwikkeling van de geulen de ontwikkeling van de schorren volgt.

Spuien door het Zwin heeft de volgende positieve effecten:

- vermindering van de sedimentatie op de schorren
- stoppen van de sedimentatie in de hoofdgeul (uitgezonderd nabij de monding)
- vergroting van variatie in vegetatietypen
- vergroting van dynamiek (verhoging inundatiefrequentie, ontstaan van zout-zoet gradiënten)

4.2 Aanbevelingen

Indien de positieve effecten van het spuien door het Zwin als waardevol worden ingezet, wordt voorgesteld om de mogelijkheid van spuien door het Zwin in combinatie met andere maatregelen, gericht op het stabiliseren van de monding, verder uit te werken. Met name de economische haalbaarheid van de aanleg van het reservoir in combinatie met noodzakelijke werken aan de monding dient nader onderzocht te worden, gezien de voorspelde (beperkte) effecten van een spuiregime op de sedimentatie. Daarnaast wordt opgemerkt dat een aantal als positief gescoorde ontwikkelingen in feite niet natuurlijk zijn voor een zout intergetijdegebied.

Bij nadere uitwerking wordt het volgende spuiregime voorgesteld om de meest positieve effecten te sorteren op de ontwikkeling van het Zwin:

1. Spui tijdens springtij tijdens opkomend water (vloedfase) in het Zwin met een spuivolume van orde 350.000 m³/getij.
2. Spui tijdens gemiddeld getij met een klein spuivolume (orde 100.000 m³/getij) tijdens uitstromend water (ebfase).
3. Spui tijdens stormen met grote windopzet tijdens opkomend water (vloedfase) een groot volume (orde 350.000 m³/getij).
4. Plaggen schor II (ten oosten van de Zwingeel) en gedeeltes van schor V (achterin het Zwin) af, om het getijvolume te vergroten en de vegetatie ontwikkeling terug te zetten.

Het bovengenoemde spuiregime koppelt zoveel mogelijk de positieve effecten van de onderzochte alternatieven. De basis is alternatief 6, waarbij bij opkomend water een groot volume wordt gespuid. Dit reduceert de sedimentatie op de schorren en in de Zwingeel, heeft een positief effect op de vegetatieontwikkeling op de schorren en vergroot de inundatieduur van de schorren.

Door tijdens gemiddeld getij en doottij te spuien met een klein spuibolume tijdens uitstroming in plaats van met een groot spuibolume tijdens opkomend water wordt de extra sedimentatie in de monding gereduceerd, terwijl er nog wel erosie (minimaal) van de Zwingeel optreedt. Effecten op de vegetatie zijn minimaal, omdat geen water op de schorren komt tijdens gemiddeld en doottij.

Het aanbevolen spuiregime resulteert niet in de grootste reductie van de sedimentatie in het Zwin. Met name in de hoofdeul net achter de monding (geulsectie A) zal de sedimentatie toenemen. Door schor II en schor V aan het einde van de toegangseul naar M3 af te plaggen kan de sedimentatie in de eul nabij de monding worden gereduceerd en ook de sedimentatie in de toegangseul naar meer M3 wordt naar verwachting verminderd.

Afplaggen van de schorren achterin het Zwin vermindert ook de sedimentatie op de schorren en zet de vegetatie op de afgeplagde schorren terug in de toposequentie (vergroting slikareaal). De nadelige effecten van (waarschijnlijk tijdelijke) extra sedimentatie in de eul nabij de afgeplagde schorren en op de afgeplagde schorren wordt gecompenseerd door het spuien.

Om de sedimentatie in het Zwin zoveel mogelijke tegen te gaan moet gespuid worden met een klein spuibolume. Het volgende spuiregime is het meest optimaal in de reductie van de sedimentatie:

1. Spui bij ieder springtij, gemiddeld tij en stormconditie met een spuibolume van ongeveer 100.000 m³/getij;
2. Spui zoveel mogelijk tijdens uitgaande stroming;
3. Indien meer water beschikbaar is, spui dan met een klein spuibolume (spuibolume van ongeveer 100.000 m³/getij) tijdens inkomende stroming;
4. Afplaggen van de schorren achter in het Zwin (schor II en V).

Dit spuiregime resulteert de eerste jaren in geen netto aanzanding in het Zwin. Erosie vindt plaats in de geulsecties nabij de monding (geulsecties A en B) en op de schorren ten oosten van de hoofdeul (schor IV en V) omdat er een nieuw evenwicht ontstaat tussen waterbeweging (inclusief spuien) en sedimenttransport. Op de lange termijn zal echter een netto aanzanding/aanslibbing van het Zwin niet te voorkomen zijn.

Om de sedimentatie in de geulsectie naar meer M3 te verminderen wordt aanbevolen om het afplaggen van een gedeelte van schor V naar het westen te verplaatsen (tegen meer M3 aan).

Het spuiregime resulterend in de grootste reductie van de sedimentatie heeft minder positieve effecten op de vegetatieontwikkeling en ook de inundatieduur van de schorren neemt nu minder toe in vergelijking met de het aanbevolen spuiregime.

0 ?

5 REFERENTIELIJST

Belgroma NV en Grontmij A&T, Adviesafdeling Bodem en Water Zuid (1998)
Afvoer van polderwater via het Zwin, onderzoek van wateraanbod.
Projectnummer 33.8031.1-1/02/003

DHV (1998)
Spuiwerking in het Zwin. Fase 1 en 2: beoordelingskader en instrumentarium
Registratienummer IS-NW980953, dossier P0406-01.001

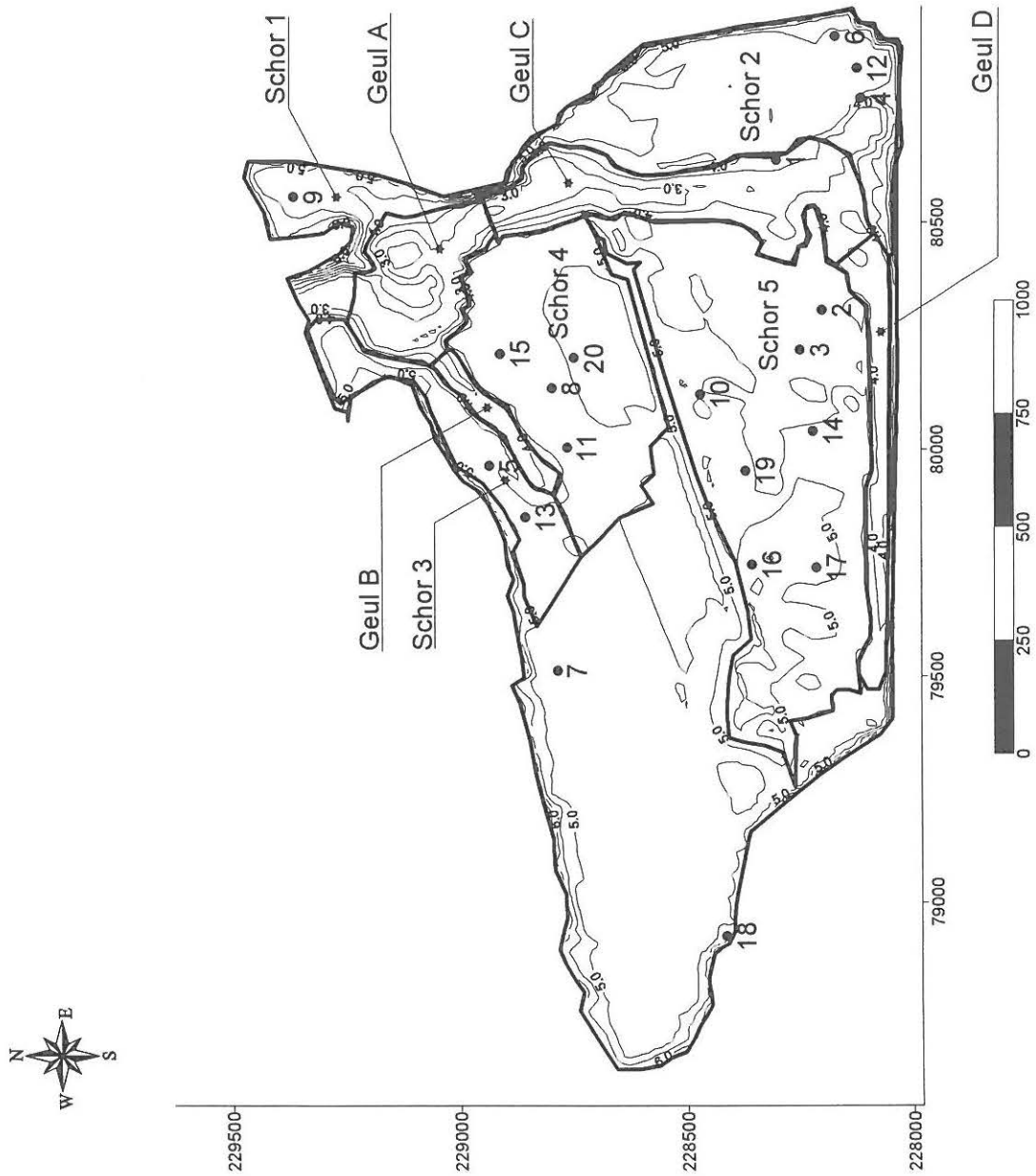
Geernaert, J. en Goossen, F. (1997)
Maatregelen tegen aanzanding van het Zwin.
Afstudeerrapport HTS - Civiele techniek

LB&P ecologisch advies BV (1996)
Natuurreservaat "Het Zwin"; Onderzoek naar structurele oplossingen om de
natuurwaarden van het Zwin in stand te houden. Rapportnummer 70010.

BIJLAGE 1 BEOORDELINGSTABEL

Aspect	Criterium	Subcriterium/parameter	Ref	Alt 1	Alt 2	Alt 3	Alt 4	Alt 5	Alt 6
Morfologie	Stabiliteit monding	Jaarlijks gemiddelde getijprisma [m ³ /getij]	320.000	347.000	354.000	330.000	383.000	335.000	359.000
	Verlandingsnelheid geulen	geul A [m/jaar]	0,03	0,02	0,00	0,03	0,01	0,03	0,07
		geul B [m/jaar]	0,06	0,05	0,02	0,05	0,03	0,02	-0,02
		geul C [m/jaar]	-0,01	-0,01	0,02	-0,00	-0,01	0,02	-0,02
		geul D [m/jaar]	0,01	0,02	0,05	0,01	0,04	0,02	0,01
	Verlandingsnelheid schorren	schor I [m/jaar]	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,05
		schor II [m/jaar]	0,03	0,03	0,06	0,03	0,03	0,03	0,02
		schor III [m/jaar]	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,03	0,04
		schor IV [m/jaar]	0,01	0,01	-0,00	0,01	-0,00	0,00	0,01
		schor V [m/jaar]	0,01	0,01	-0,02	0,01	-0,01	-0,01	0,00
Oppervlakte slikken	oppervlak [m ²]	148.500	152.200	253.800	152.000	152.200	152.000	285.500	
Ontwikkeling geulenstelsel	verandering aanval slik	n.v.t.	+ 50 - 100 %	+ 0 - 30 %	- 40 - 0 %	+ 50 - 100 %	-40 - 0 %	-50 - +50%	
Inundatieduur/frequentie	inundatieduur 50% schor	1	1,00 - 1,05	0,80-1,65	1,00 - 1,09	1,00-1,05	1,00-1,38	1 - 6,6	
	inundatieduur 10% schor	1	1,00 - 1,05	1,00-2,20	1,00-1,07	1,00-1,05	1,00-1,27	1 - 4	
	inundatiefrequentie 50% schor	177 maal	177 maal	177 maal	177 maal	177 maal	177	177	
	inundatiefrequentie 10% schor	1 maal	1 maal	1 maal	1 maal	1 maal	1 maal	1 (160 schor 2)	
Ecologie	Verandering vegetatietypen	Toename		zeeaster	slik	lamsoor	zeeaster	lamsoor	lamsoor brakwaterveg.
		Afname		grasvegetatie duinvegetatie	lamsoor duinvegetatie	grasvegetatie	grasvegetatie duinvegetatie	grasvegetatie	duinvegetatie
	verandering kensoorten	Engels slijkgras Gewone Zoutmelde Zeekraal		onveranderd toe- en afname toename	onveranderd toename toename	onveranderd toe- en afname toename	onveranderd toe- en afname toename	onveranderd toe- en afname toename	toename toe- en afname toename
	Aanwezigheid zout/zoet gradiënt	gradiënt in saliniteit	geen	geen	geen	23 - 31 ‰	geen	23 - 31 ‰	10 - 31 ‰
	Eutrofiëring vegetatietypen	hoeveelheid stikstof							
	Kwaliteit permanente wateren	verblijftijd water in M3	2 weken	2 weken	2 weken	2 weken	2 weken	2 weken	2 weken
Recreatie	Veiligheid ebgeul	waterspiegelstijging	15 min	15 min	15 min	15 min	15 min	15 min.	
	Veiligheid schorren	waterspiegelstijging schor 1, 3 en 4 schor 2: schor 5:	veilig	veilig	veilig	veilig	veilig	veilig	
			10 min	10 min	10 min	10 min	10 min		
Veiligheid slikken	aanzandingsnelheid	veilig	veilig	veilig	veilig	veilig	veilig		
Landschapsbeeld	verandering huidige situatie	kwalitatieve parameter	n.v.t.	3 à 4	2 à 3	3	2	1 à 2	1

BIJLAGE 2 LOCATIES GEULSECTIES, SCHORREN EN VEGETATIEPUNTEN



BIJLAGE 3 SEDIMENTATIE IN HET ZWIN VOOR DE REFERENTIESITUATIE

1 Algemeen

Het sediment-transportmodel van het Zwin berekent op basis van resultaten van het stromings- en golfvoortplantingsmodel het transport van zand en slib. De sedimentatie en erosie wordt berekend uit gradiënten (in tijd en in plaats) in berekende transporten. Het netto aanzandings- of erosievolume wordt gemiddeld over de gedefinieerde schorren en geulsecties.

2 Calibratie van het sediment-transportmodel

Het model is gecalibreerd op huidige schattingen van jaarlijkse aanzanding of erosie in verschillende gebieden in het Zwin (zie paragraaf 3.3). Gemakshalve worden deze schattingen in tabel 10 herhaald. Daarnaast zijn berekende sedimentconcentraties vergeleken met gemeten sedimentconcentraties tijdens de drie meetsessies.

Tabel 10
Schattingen van jaarlijkse aanzanding/erosie op verschillende locaties in het Zwin

Locatie	Jaarlijkse aanzanding (+) / erosie (-) [m]
geul A	0,50 tot 0,75 m (inclusief zandvang)
geul B	0 +/- 0,05 m
geul C	-0,05 tot 0,10 m als gevolg van onderhouden zandvang
geul D	onbekende aanzanding
schor I	0,04 tot 0,05 m/jaar
schorren II-V	0,01 tot 0,03 m/jaar

Het sediment is gekarakteriseerd door twee fracties, een zandfractie ($D = 100 \mu\text{m}$) en een slibfractie ($D = 50 \mu\text{m}$). De sedimentparameters, randvoorwaarden en initiële condities zijn zodanig bepaald dat zand- en slibconcentraties de in de geulen gemeten zand- en slibconcentraties benaderen. De gemeten en berekende maximale sedimentconcentraties zijn gegeven in tabel 10.

Tabel 11
Gemeten en berekende maximale sedimentconcentraties

Locatie	19/03/91	13/08/91	20/08/93	berekend
	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
raai Noord	niet bekend	niet bekend	niet bekend	300
raai Zuid	niet bekend	60	190	260
raai West	niet bekend	210	130	240
raai TM3	niet bekend	niet bekend	270	120

De beschikbare metingen van de sedimentconcentraties zijn summier en tonen geen consistent beeld in de verschillende metingen. De overeenkomst tussen metingen en berekende concentraties is slecht. Het Zwin-model voorspelt de laagste concentraties achter in het Zwin, geul D, terwijl volgens de metingen daar de hoogste concentraties optreden (één meting). Om dit te beïnvloeden moet de hydrodynamica worden aangepast. Dit is niet gedaan omdat de calibratie van de waterstanden en debieten goede overeenkomst tussen model en werkelijkheid liet zien. De calibratie van het sedimenttransportmodel is verricht op de geschatte jaarlijkse sedimentatiehoeveelheden in het Zwin.

Vervolgens zijn met deze instellingen berekeningen uitgevoerd voor springtij, gemiddeld getij, doortij en een 1/1 jaar storm bij gemiddeld getij. De aanzanding per geul of schor is bepaald door het volume gesedimenteerd zand/slib te delen op de oppervlakte van de beschouwde geul of schor. Dit resulteert in de (ruimtelijk) gemiddelde aanzanding in de beschouwde periode.

De sedimentatieberekeningen zijn voor zand en slib afzonderlijk uitgevoerd. Hiervoor zijn de concentraties op de rand van het model verdeeld in een slibfractie (300 mg/l) en een zandfractie (70 mg/l). Om de concentraties in het Zwin in evenwicht te brengen is eerst gedurende twee getijden de situatie ingespeeld, zodat de concentraties in de waterkolom in evenwicht zijn.

De erosieve eigenschappen van de bodem zijn gekarakteriseerd door een kritieke schuifspanning voor erosie. Afhankelijk van de gemiddelde golfcondities in het Zwin varieert de kritische schuifspanning tussen 0,35 N/m² en 0,50 N/m². De kritische schuifspanning voor sedimentatie (wanneer sedimentatie kan optreden) is ook afhankelijk van de gemiddelde golfcondities in het Zwin en varieert tussen 0,05 N/m² en 0,20 N/m².

De jaarlijkse aanzanding wordt bepaald door de aanzanding voor de verschillende getijcondities te sommeren volgens de frequentie van voorkomen in een jaar. In één jaar treden 705 getijden op. Aangenomen wordt dat 25% van de getijden gekarakteriseerd kan worden door een springtij, 50% van de getijden door een gemiddeld getij en 25% door een doortij. Daarnaast wordt aangenomen dat tijdens 10 getijden de 1/1 jaar storm optreedt (hierbij is verondersteld dat het effect van meerdere kleinere stormen

overeenkomt met het effect van de 1/1 jaar storm). De stormen vallen alle samen met een gemiddeld getij conditie.

De aangenomen frequentie van getijcondities en stormen leidt tot de volgende sommatie om de jaarlijkse aanzanding te schatten:

176 x springtij + 343 x gemiddeld getij + 176 * doodtij + 10 * 1/1 jaar storm conditie

In tabel 11 zijn de bijdrage van de verschillende condities aan de jaarlijkse aanzanding gegeven, uitgesplitst voor zand en slib. Tevens is de totale jaarlijkse aanzanding gegeven (zand en slib gezamenlijk).

Tabel 12
Jaarlijkse aanzanding van zand en slib in m per jaar

	Springtij		Gemiddeld getij		Doodtij		1/1 jaar storm		TOTAAL
	Slib	Zand	Slib	Zand	Slib	Zand	Slib	Zand	
Geul A	0.000	0.013	0.000	0.015	0.000	0.001	0.000	0.000	0.03
Geul B	0.000	0.012	0.000	0.049	0.000	0.000	0.000	0.001	0.06
Geul C	0.000	-0.011	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	-0.002	-0.01
Geul D	0.002	0.001	0.004	0.001	0.000	0.000	0.002	0.000	0.01
Schor I	0.016	0.007	0.005	0.002	0.000	0.000	0.004	0.001	0.03
Schor II	0.011	0.006	0.004	0.002	0.000	0.000	0.003	0.001	0.03
Schor III	0.013	0.007	0.013	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.04
Schor IV	0.003	0.001	0.002	0.004	0.000	0.000	0.001	0.000	0.01
Schor V	0.004	0.002	0.001	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001	0.01

De grootste bijdrage aan de jaarlijkse aanzanding in geulen en op de schorren wordt geleverd door springtij. De invloed van de extreme conditie op jaarbasis is beperkt, vooral in de geulen. Tijdens doodtij treedt een op jaarbasis verwaarloosbare hoeveelheid aanzanding op.

De berekende jaarlijkse aanzanding van geul A valt buiten de marge van de geschatte aanzandingen/erosie (zie tabel 9). Het grote verschil tussen geschatte en berekende aanzanding in geul A is het gevolg van:

- de afwezigheid van de zandvang in de bodemschematisatie van het model (de zandvang was in 1995 voor het grootste deel gevuld). Hierdoor wordt bij de berekeningen een veel kleinere aanzanding gevonden voor geul A (inclusief zandvang).
- het golfgedreven sedimenttransport en brandingtransport wordt niet gemodelleerd. deze effecten zijn vooral van belang voor de morfologie nabij de monding.

De aanzanding in geul B en op schor III worden in de berekeningen iets overschat, terwijl de sedimentatie op schor I iets wordt onderschat. De beperkte informatie geeft echter niet voldoende reden om de wegingsfactoren aan te passen. Uit de beschikbare data over aanzanding wordt geconcludeerd dat het aanzandingspatroon realistisch is en aansluit bij de verwachting over de huidige ontwikkeling van het Zwin.

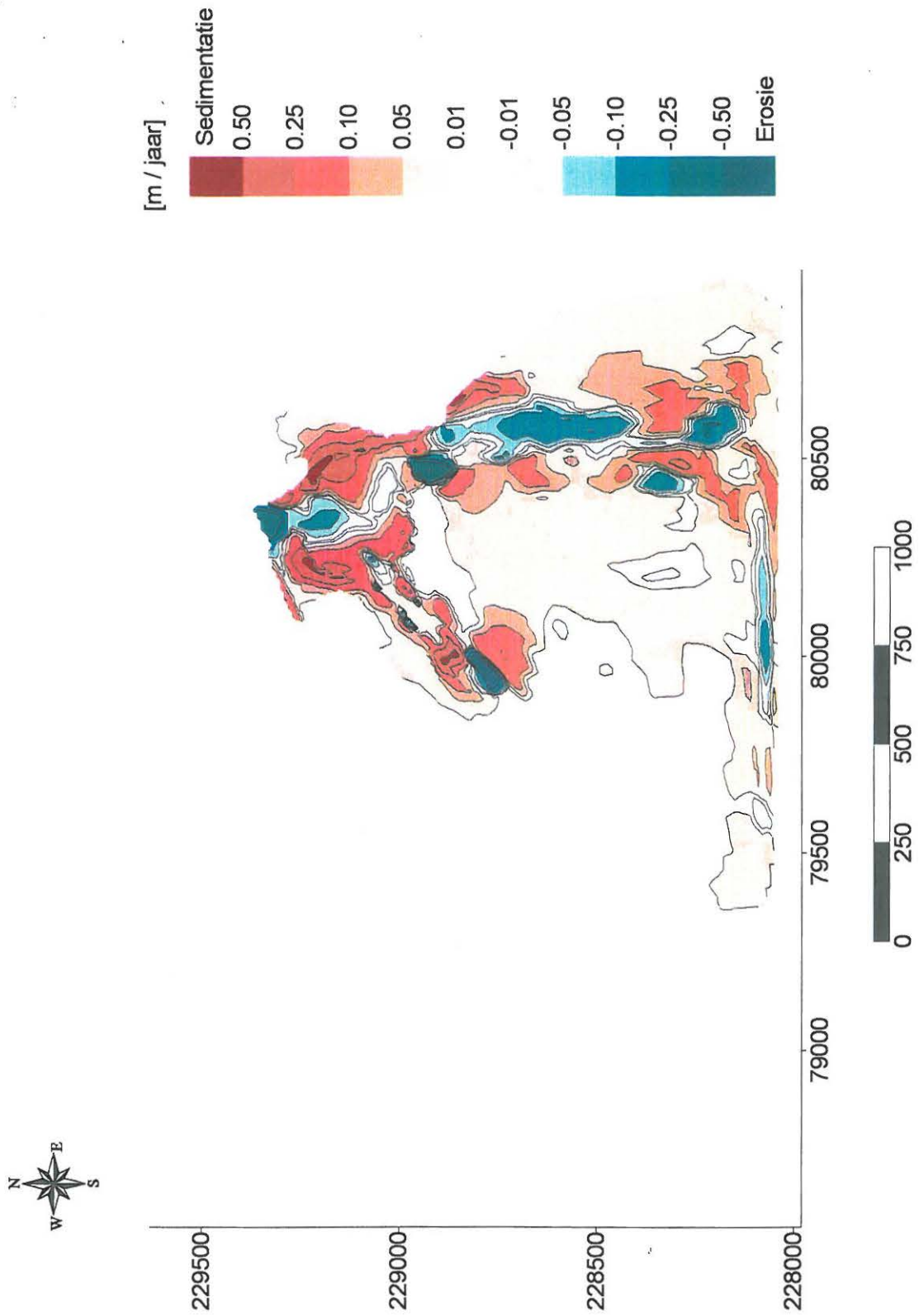
Het wordt nogmaals benadrukt dat de ontwikkeling van de monding niet door het Zwin-model kan worden gesimuleerd, omdat de hier spelende processen niet worden ondersteund door het model en er geen terugkoppeling is tussen bodemverandering en hydrodynamica.

De bijdrage van de zandfractie aan de totale aanzanding/slibbing varieert tussen de 10% en 45% met een gemiddelde van 33%.

Door gebrek aan nauwkeurige sedimentatiegegevens is het niet vast te stellen of het model de werkelijk sedimentatie simuleert. De berekeningsresultaten geven de goede tendensen en het sedimentatiepatroon lijkt realistisch. Daarom worden de berekeningsresultaten voor het sedimentatiepatroon als referentiesituatie aangenomen. Door het patroon en de jaarlijkse aanzanding, zie figuur 1 te vergelijken met de resultaten van de alternatieven kan het effect van het spuien op de aanzanding van het Zwin worden bepaald.

3 Conclusie

De nauwkeurigheid waarmee de autonome aanzanding in het Zwin wordt voorspeld is moeilijk vast te stellen met de beschikbare gegevens. De gevonden trends in de analyse van metingen en de berekening stemmen overeen en ook de berekende sedimentatiepatronen stemmen overeen met differentiële hoogtekarten voor het Zwin. Door duidelijk vergelijkende berekeningen te maken voor de aanzanding van het Zwin kan het Zwin-model gebruikt worden om uitspraken te doen over de effecten van spuien op de aanzanding in het Zwin.



Figuur1

Alternatief 0

Jaarlijkse sedimentatie en erosie

BIJLAGE 4 EFFECTBEPALING VERANDERING VEGETATIETYPEN**Alternatief 1 Veranderingen in vegetatie**

De analyse en vergelijking van de factoren inundatieduur, -frequentie en saliniteit laat een volgend beeld zien.

Op een aantal locaties worden geen veranderingen verwacht (no. 7,8,9 en 15, 16, 17, 18). Deze locaties liggen te ver weg of te hoog om beïnvloed te kunnen worden door het spuien. Hiertoe behoort het gehele westelijke deel van het Zwin (om meer M3), dat in de huidige situatie ook enkel tijdens storm met aanlandige wind wordt overstromd.

Op de locaties met veranderingen hebben de belangrijkste veranderingen plaats in het bereik tussen de TAW +4,60 en TAW +4,80, ofwel de middelste en hoogste schorren welke doorgaans net wel/niet door springtij wordt beïnvloed. Op een aantal plaatsen leidt het spuien ertoe dat de invloed van springtij net iets hoger en verder reikt. Dit resulteert in een sterke toename van inundatieduur en inundatiefrequentie. In de meeste gevallen gaat dit gepaard met een toename in de saliniteit van de bodem omdat er een grotere invloed is van zout, dan wel brakker, water ten opzichte van neerslag. Voor al deze gebieden wordt een opschuiving naar een lagere positie van de toposequentie verwacht. Dit houdt onder meer in dat op een aantal plaatsen een verandering van grasvegetatie naar bijvoorbeeld een verbond van Zoutmelde/Zeeaster wordt verwacht (o.a. locaties 1,2 en 4) welke alle dicht bij de spuimonding zijn gelegen. Op andere plaatsen betreft het vooral een omzetting van Lamsoor naar een verbond met mogelijk meer Zeekraal of van Lamsoor met Zoutmelde naar mogelijk meer Lamsoor (o.a. locaties 12, 13,14, 19 en 20). Op de lagere schorren, hoogte tussen de TAW +4,50 en TAW +4,70 zijn de veranderingen minder groot, zodat vooral kwalitatieve veranderingen in vegetatietypen van de lagere schorren worden verwacht. Hierbij neemt o.a. de invloed van Zeekraal toe. Op de locaties welke onder sterke invloed staan van het spuien en o.m. in de directe omgeving van de hoofdgeul liggen, zien we ook veranderingen lager op de laagste schorren. Hier nemen vooral inundatieduur en -frequentie toe, maar er heeft geen relevante wijziging plaats van het saliniteitsgehalte van de bodem (locatie 1). Op dit deel van de schorren treffen we in de huidige situatie slikken en Zeekraalgemeenschappen aan. Naar verwachting zullen hier maar geringe verschillen en verschuivingen optreden vanwege de grote amplitude in inundatieduur en -frequentie waaronder Zeekraal en slikken op deze locatie voorkomen.

Daarnaast is gekeken naar de mogelijke ontwikkeling van enkele kensoorten. Zoals al eerder aangegeven neemt naar verwachting de aanwezigheid van Zeekraal iets toe met het toenemen van inundatieduur, frequentie en saliniteit van de bodem. Met betrekking tot Engels Slijkgras worden geen wijzigingen verwacht omdat geen relevante verzoeting wordt waargenomen. Gewone Zoutmelde neemt mogelijk iets af in concurrentie met Zeekraal. Daarbij speelt mede een rol dat naar verwachting de sedimentatie van zand op de schorren iets zal afnemen. Nabij geul C kan evenwel de drainage van de bodem toenemen door de erosie van de geul, waardoor plaatselijk de condities voor Gewone Zoutmelde verbeteren.

Het algemene beeld dat ontstaat is een opschuiving richting vegetatietypen welke lager op de toposequentie voorkomen ten koste van die vegetatietypen en planten welke karakteristiek zijn voor de middelste en hoogste schorren. Met andere woorden de invloed van langere en vlakere inundaties is dominant over de invloed van tijdelijke verzoeting van het water. Dat de verzoeting minder een rol speelt komt vooral door het moment van spuien, waardoor alleen binnen de hoofdgeul sprake is van een aanzienlijke verlaging in het chloridegehalte. Bovendien leidt het spuien na vloed ertoe dat brakker water pas de schorren bereikt nadat deze al door zout zeewater geïnundeerd is geweest. Hierdoor is de invloed van het brakkere water op de saliniteit van de bodem c.q. poriënwater gering.

De invloed van het spuien tijdens springtij kan verder worden verminderd door in plaats van 1 uur, nog 0,5 tot 1 uur later te beginnen met spuien. Uit de waargenomen effecten blijkt dat de effecten verder kunnen worden geminimaliseerd door vooral tijdens gemiddeld getij te spuien, iets dat in de zomermaanden mogelijk moet zijn. Op deze wijze blijft de invloed van het spuien beperkt tot de hoofdgeul de slikken en plaatselijk het laagste deel van de schorren.

Tabel 1 Overzicht effecten op vegetatie per locatie alternatief 1

Locatie	Hoogte	effecten			vegetatie	ontwikkeling
		<i>inundatie duur</i>	<i>inundatie frequentie</i>	<i>saliniteit</i>	<i>huidig</i>	<i>mogelijk</i>
1	4.80	2	2	2	grasvegetatie	Zoutmelde/Zeeaster
	4.75-4.70	1	1	1	grasvegetatie	Zoutmelde/Zeeaster/Zeekraal
	4.25-4.20	2	1	0	Zeekraal	Zeekraal
	4.15-4.05	2	1	0	slik	slik
2	4.75	2	1	2	grasvegetatie	Zoutmelde
	4.65-4.60	1	1	1	Zoutmelde	Zoutmelde/Zeekraal
3	4.75	2	2	2	Zoutmelde	Zoutmelde/Zeekraal
	4.70	1	1	2	Zoutmelde	Zoutmelde/Zeekraal
	4.65-4.60	1	1	1	Zoutmelde	Zeekraal
4	4.80	2	2	2	grasvegetatie	Zoutmelde/Zeeaster
	4.75	1	1	1	grasvegetatie	Zoutmelde/Zeeaster
5	4.80	0	1	2	Lamsoor/zm	Lamsoor
6	4.80	2	2	2	duinvegetatie	duinvegetatie/Lamsoor
	4.75	1	1	2	duinvegetatie	Lamsoor
	4.70	1	1	1	Lamsoor	Lamsoor/Zeekraal
	4.60	1	1	1	EngelsSlijkgras	Zeekraal?
7						
8						
9						
10	4.60	0	1	-2	Lamsoor/zm?	gewone Zoutmelde
11	4.75	1	1	2	Zeekraal/zm	Zeekraal
12	4.80	2	2	2	Lamsoor?	Lamsoor
	4.75	1	1	2	Lamsoor?	Lamsoor/Zeekraal
	4.70	1	1	1	Lamsoor/zeekr	Lamsoor/Zeekraal
	4.60	1	1	1	Lamsoor/zeekr	Lamsoor/Zeekraal
	4.90	2	0	2	Lamsoor	Zeekraal
13	4.85	2	0	2	Zeekraal	Zeekraal
	4.80	1	0	2	Zeekraal	Zeekraal
	4.65	2	2	2	Lamsoor/zm	Lamsoor/Zoutmelde
15				grasvegetatie		
16				grasvegetatie		
17				strandmelde		
18				grasvegetatie		
19	4.60	2	2	2	gew.Zoutmelde/ Lamsoor?	Lamsoor?
	4.55-4.50	2	1	2	gew.Zoutmelde/ Lamsoor?	Lamsoor?
20	4.55	2	2	2	Zoutmelde/ Zeeaster	Zoutmelde?

Alternatief 2

Veranderingen in vegetatie

Op de schorre I en IV wordt 40 cm afgeplagd waarbij het maaiveld wordt gevolgd. Het grootste deel van deze schorren wordt daarmee teruggezet naar slik en Zeekraal ten koste van het huidige areaal aan grasvegetatie, duinvegetatie en Lamsoor (zie loc.1, 4, 6, 10, 12 en 19). Mogelijk dat lokaal duinvegetatie wordt omgezet naar Lamsoor.

Op een aantal plaatsen neemt de invloed van springvloed af in de hoogste schorre in de vorm van een even frequente maar gemiddeld minder lange inundatie resulterend in een sterke afname van de bodemsaliniteit. Deze veranderingen kunnen leiden tot een omzetten van Lamsoor naar grasvegetatie. In enkele gevallen treden deze veranderingen op in grasvegetatie, hetgeen waarschijnlijk niet tot veranderingen in vegetatietype zal leiden (loc.8,15,20).

Het instromen van het getij duurt langer als gevolg waarvan de middelste schorre minder snel en lang geïnundeerd wordt. Hier vindt enige afname in inundatiefrequentie en saliniteit plaats, waarbij Zeekraal kan overgaan in Zeekraal met bijmenging van gewone Zoutmelde of Lamsoor/gewone Zoutmelde kan overgaan in gewone Zoutmelde (loc.14, 15).

Tenslotte neemt op een lager deel van de schorre de inundatieduur/frequentie en saliniteit toe als gevolg van het langer in en uitstromen van het getij. In de meeste gevallen is hier sprake van Zeekraal en worden er geen veranderingen in vegetatietype verwacht (loc.3)

Er worden wat betreft de verspreiding van kensoorten geen verschillen verwacht in aanvulling op de voornoemde veranderingen in vegetatietypes.

Het algemene beeld dat ontstaat is een opschuiving richting vegetatietypen welke hoger op de toposequentie voorkomen ten koste van die vegetatietypen en planten welke karakteristiek zijn voor de middelste en hoogste schorre. Daar staat evenwel een sterke uitbreiding van het areaal aan lage schorre tegenover vanwege het verlagen van grote delen schor. Grosso modo neemt daarmee over het gehele gebied het areaal aan lage schorre, met o.a. Zeekraalgemeenschappen, sterk toe.

Tabel 2 Overzicht effecten op vegetatie per locatie voor alternatief 2

Locatie	Hoogte	effecten			vegetatie	ontwikkeling
		<i>inundatie duur</i>	<i>inundatie frequentie</i>	<i>saliniteit</i>		
1	4.80	verlaging tot 4.40			grasvegetatie	Zeekraal/Lamsoor?
	4.75-4.70	verlaging tot 4.30			grasvegetatie	Zeekraal
	4.25-4.20	verlaging tot 3.80			Zeekraal	slik
	4.15-4.05	verlaging tot <4.00			slik	slik
2	4.40-4.30	0	-1	-1		
3	4.70	0	-1	-2		
	4.45-4.40	0	-1	-1		
	4.40-4.35	0	1	2		
4	4.80	verlaging tot 4.40			grasvegetatie	Zeekraal
	4.75	verlaging tot 4.30			grasvegetatie	Zeekraal
5	4.80-4.75	0	1	1	Lamsoor/zm	Lamsoor/Zoutmelde
	4.65	0	1	1		
6	4.80	verlaging tot 4.40			duinvegetatie	Zeekraal/Lamsoor?
	4.75	verlaging tot 4.35			duinvegetatie	Zeekraal/Lamsoor?
	4.70	verlaging tot 4.30			Lamsoor	Zeekraal
	4.60	verlaging tot 4.20			EngelsSlijkgras	Zeekraal/slik
7						
8	4.90	0	0	-2	grasvegetatie	grasvegetatie
9						
10	4.60	verlaging tot 4.20			Lamsoor/zm?	Zeekraal/slik
11	4.85	0	0	-2	Zeekraal/zm	Zeekraal/zm
12	4.80	verlaging tot 4.40			Lamsoor?	Zeekraal
	4.75	verlaging tot 4.35			Lamsoor?	Zeekraal/slik
	4.70	verlaging tot 4.30			Lamsoor/zeekr	slik/Zeekraal
	4.60	verlaging tot 4.20			Lamsoor/zeekr	slik/Zeekraal
13	4.85	1	0	2	Zeekraal	Zeekraal
14	4.60	0	-1	-1	Lamsoor/zm	Zoutmelde
15	4.90	0	0	-2	grasvegetatie	grasvegetatie
	4.70	0	-1	-1		
16					grasvegetatie	
17					strandmelde	
18					grasvegetatie	
19	4.60	verlaging tot 4.20			gew.Zoutmelde/ Lamsoor?	slik/Lamsoor
	4.55- 4.50	verlaging tot 4.10			gew.Zoutmelde/ Lamsoor?	slik
20	4.90	0	0	-2		Zoutmelde?

Alternatief 3

Veranderingen in vegetatie

We zien dat het spuien bij laag getij een iets ander beeld aan effecten in vegetatie geeft dan het spuien bij hoog tij. Over het algemeen zijn de verwachte vegetatieveranderingen kleiner. Ondanks dat bij eb wordt gespuid zien we de grootste verschillen in inundatieduur, -frequentie en saliniteit in de zone om de TAW +4.80 leidend dat een mogelijke verandering van grasvegetatie in een lager type in de toposequentie, doorgaans gewone Zoutmelde (zie loc. 1, 2) of associaties met Lamsoor (zie loc. 12). Nabij de inlaat zien we ook veranderingen lager in het profiel in de zone TAW +4.50-4.60 waarvan vooral associaties van Lamsoor met gewone Zoutmelde zijn betroffen. Hier wordt een ontwikkeling richting Lamsoor of zelfs Lamsoor/Zeekraal verwacht.

Blijkbaar leidt het spuien bij eb tot een langere duur en inundatie frequentie lager op het profiel maar leidt dit niet tot grote veranderingen vanwege de blijvend dominante invloed van de gewone getijcyclus. Als gevolg hiervan worden geen veranderingen in vegetatietype verwacht voor wat betreft de aan de geul gelegen slikken. Er dient evenwel te worden opgemerkt dat een incidentele overstroming met iets zoeter water kan leiden tot een snellere vestiging van Zeekraal. Dit leidt evenwel niet direct tot een verschuiving in vegetatietypen.

Er wordt bijna nergens (uitzondering loc.19) een afname in bodemsaliniteit verwacht. De invloed van de gewone getijcyclus blijft dominant. Er wordt daarom geen toename van Engels Slijkgras verwacht.

Het algemene beeld is een plaatselijk kleine opschuiving naar vegetatietypen welke lager op de toposequentie staan waardoor vooral het areaal aan gewone Zoutmelde en mogelijk ook Lamsoor kan toenemen ten koste van het areaal aan grasvegetatie. Een mogelijke verzoetende invloed kon ook bij lager tij niet worden waargenomen. Het inlaatwater blijft qua invloed vooral beperkt tot de geul en lager deel slikken. Het eens per 4 getijden spuien heeft echter geen wezenlijke invloed op de bodemsaliniteit van deze frequent met zeewater geïnundeerde delen van de toposequentie.

Tabel 3 Overzicht effecten op vegetatie per locatie alternatief 3

Locatie	Hoogte	effecten			vegetatie	ontwikkeling
		<i>inundatie duur</i>	<i>inundatie frequentie</i>	<i>saliniteit</i>		
					<i>huidig</i>	<i>mogelijk</i>
1	4.80	2	2	2	grasvegetatie	gewone Zoutmelde
	4.75-4.70	0	1	1	grasvegetatie	gewone Zoutmelde
	4.70-4.65	0	1	1	gewone Zoutmelde	gewone Zoutmelde
2	4.75-4.70	1	1	2	grasvegetatie	gewone Zoutmelde
	4.70-4.65	0	1	1	gewone Zoutmelde	gewone Zoutmelde
	4.65-4.60	0	1	1	gewone Zoutmelde	gewone Zoutmelde
3	4.75-4.70	2	2	2	Lamsoor/gewone Zoutmelde	gewone Zoutmelde
	4.70-4.65	0	1	1	Lamsoor/gewone Zoutmelde	gewone Zoutmelde
	4.65-4.60	0	1	1	gewone Zoutmelde	gewone Zoutmelde
	4.60-4.55	0	1	1	gewone Zoutmelde	gewone Zoutmelde
9	4.80-4.75	2	2	2	pioniervegetatie	Lamsoor/gewone Zoutmelde?
12	4.80-4.75	2	2	2	grasvegetatie	Lamsoor
	4.75-4.70	0	1	1	grasvegetatie	Lamsoor
	4.70-4.65	0	1	1	grasvegetatie	Lamsoor
	4.65-4.60	0	1	1	Lamsoor	Lamsoor
14	4.65-4.60	2	2	2	Lamsoor/gewone Zoutmelde	Zeekraal/Lamsoor
19	4.60-4.55	0	1	-2	gew.Zoutmelde/Lams oor?	Lamsoor
	4.55-4.50	0	1	2	gew.Zoutmelde/ Lamsoor?	Lamsoor
20	4.55-4.50	2	2	2	Lamsoor	Zeekraal/Lamsoor

Alternatief 6

Veranderingen in vegetatie

Bij de effectbeschrijving wordt een onderscheid gemaakt naar plaatsen onder invloed van zoet of brak water en plaatsen buiten de invloed van het spuien.

Er wordt ook gedurende een aantal 1/1 events gespuid als gevolg waarvan de invloed van zeewater toe zal nemen in de zone om de TAW +5.80 m. Dit zal leiden tot een geringe uitbreiding van de hogere schorre. Daar waar voorheen vrijwel geen sprake was van inundatie zal dit leiden tot aanzienlijke veranderingen in saliniteit, resulterend in een verandering van met name duinvegetatie richting grasvegetatie en van grasvegetatie richting typen met gewone zoutmelde. De topografische bandbreedte van grasvegetatie is evenwel zeer ruim, zodat vooral op plaatsen waar de inundatie plaatsvindt met zoet/brak water (loc. nr. 1, 2, en 3) de grasvegetatie zich zal kunnen handhaven.

Lager in de topografie, op de middelste schorre, kan door de toename van inundatieduur en -frequentie de saliniteit licht toenemen tussen spuimonding en monding van het Zwin daar waar sprake is van inundatie met brak/zoet water (loc.nr. 1, 2, 3 en 4). Hier wordt een geringe opschuiving naar vegetatypen lager op de toposequentie verwacht.

Op plaatsen verder van de monding leidt opstuwing van brak/zout water tot een frequentere inundatie van de middelste schorre resulterend in een soms sterke toename in de bodemsaliniteit. Hier zal een het oppervlak aan middelste schorre kunnen afnemen ten gunste van soorten van de laagste schorre, waaronder zeekraal.

Tussen spuimonding en monding van het Zwin neemt ook op de het hoogste deel van de lage schorre de inundatieduur en -frequentie toe, waarbij ook inundatie op kan treden met brakker water. Het is ongewis of dit zal leiden tot een toename van zeekraal op slikken.

De huidige vestigingsplaatsen van Engels Slijkgras blijven grotendeels buiten invloed van brak/zoet water. Er wordt dan ook geen uitbreiding van deze soort verwacht.

De ontwikkeling van Gewone Zoutmelde is ongewis mede vanwege de brede ecologische amplitude van deze soort. Daar waar een toename van de bodemsaliniteit wordt verwacht zal dit waarschijnlijk in het voordeel van Gewone Zoutmelde kunnen zijn, de soort staat namelijk bekend om zijn zoutminnende karakter.

Zeekraal zal op een aantal plaatsen kunnen toenemen vanwege een sterke toename in inundatieduur en -frequentie op plaatsen waar brak/zout water wordt gestuwd (o.a. loc.nr. 10, 11, 13 en 15). Ook kan de regelmatige inundatie met wat zoeter water de vestiging van zeekraal bespoedigen op de tussen spuimonding en monding van het Zwin gelegen hogere delen van de slikken.

In grote lijnen nemen mogelijk de vegetatietypen van de lagere schorre iets in oppervlak toe ten koste van de middelste schorre en mogelijk ook van het hogere deel van de slikken tussen spuimonding en monding van het Zwin. De hoogste schorre neemt

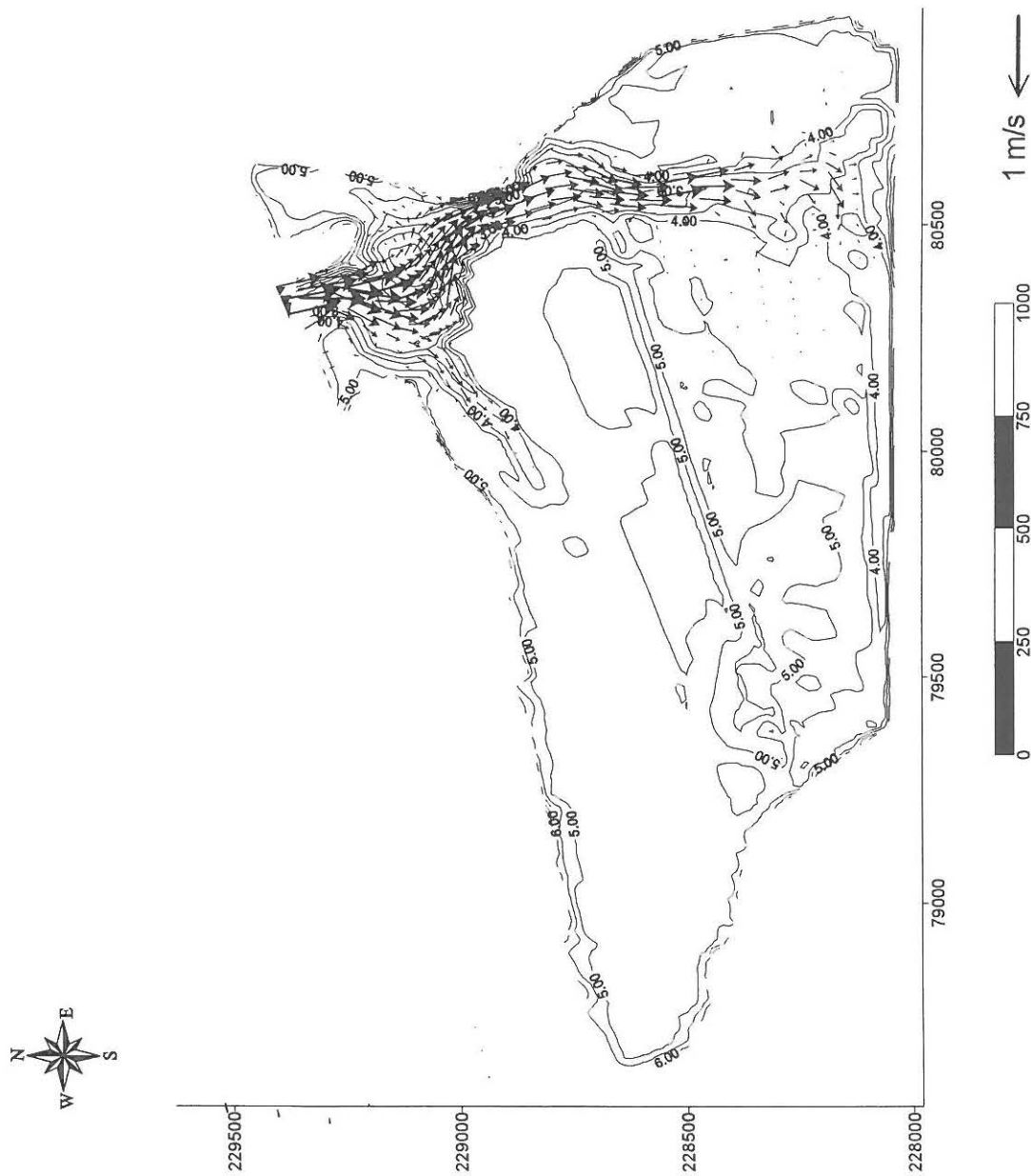
mogelijk ook iets in oppervlak toe ten koste van duinvegetaties, vanwege de grotere invloed van 1/1 getijden. De grootste verschuivingen treden op in het bereik van de middelste schorre en het lagere deel van de hogere schorre, omdat vooral in deze zone een aanzienlijke toename in inundatieduur- en frequentie optreedt.

Tabel 4 Overzicht belangrijkste effecten per locatie alternatief 6

Locatie	Hoogte	effecten			vegetatie	ontwikkeling
		<i>inundatie duur</i>	<i>inundatie frequentie</i>	<i>saliniteit</i>		
					<i>huidig</i>	<i>mogelijk</i>
1	4.90-4.80	2	2	2	grasvegetatie	grasvegetatie
	4,80-4,75	2	1	1	grasvegetatie	grasvegetatie
	4.75-4.70	2	1	0	grasvegetatie	gewone zoutmelde
	4.70-4.45	1	1	0	gewone zoutmelde	gewone zoutmelde
	4.40-4.35	1	1	0	zeekraal	zeekraal
	4.35-4,25	2	1	0	zeekraal	zeekraal/slik
	4.25-4.05	2	1	-1	slik	slik/zeekraal
2	4.85-4.80	2	2	2	grasvegetatie	grasvegetatie
	4.80-4.75	2	1	2	grasvegetatie	grasvegetatie
	4.75-4.65	2	1	0	gewone zoutmelde	gewone zoutmelde
	4.65-4.40	1	1	0	gewone zoutmelde/ zeekraal	zeekraal/gewone zoutmelde
3	4.95-4.85	0	1	2	grasvegetatie	grasvegetatie/ gewone zoutmelde
	4.85-4.75	2	1	2	grasvegetatie	gewone zoutmelde/ lamsoor
	4.75-4.70	2	1	1	lamsoor/ gewone zoutmelde	gewone zoutmelde/ lamsoor
	4.70-4.55	2	1	0	lamsoor/ gewone zoutmelde	gewone zoutmelde
	4.55-4.45	1	1	0	gewone zoutmelde	gewone zoutmelde
4	vervallen door graafwerk					
5	4.85-4.80	2	1	2	gewone zoutmelde	gewone zoutmelde/ zeekraal
	4.80-4.75	1	1	2	gewone zoutmelde/ zeekraal	gewone zoutmelde/ zeekraal
	4,75-4,65	1	1	1	gewone zoutmelde/ zeekraal	zeekraal/ gewone zoutmelde
6	4.90-4.80	2	2	2	grasvegetatie	gewone zoutmelde/ lamsoor
	4.80-4.75	2	1	1	lamsoor/ gewone zoutmelde	lamsoor/ gewone zoutmelde
	4.75-4.65	2	1	0	lamsoor/ gewone zoutmelde	gewone zoutmelde/ zeekraal
	4.65-4.50	1	1	0	gewone zoutmelde/ zeekraal	gewone zoutmelde/ zeekraal
9	4.85-4.80	2	2	2	pioniersvegetatie	lamsoor/ gewone zoutmelde

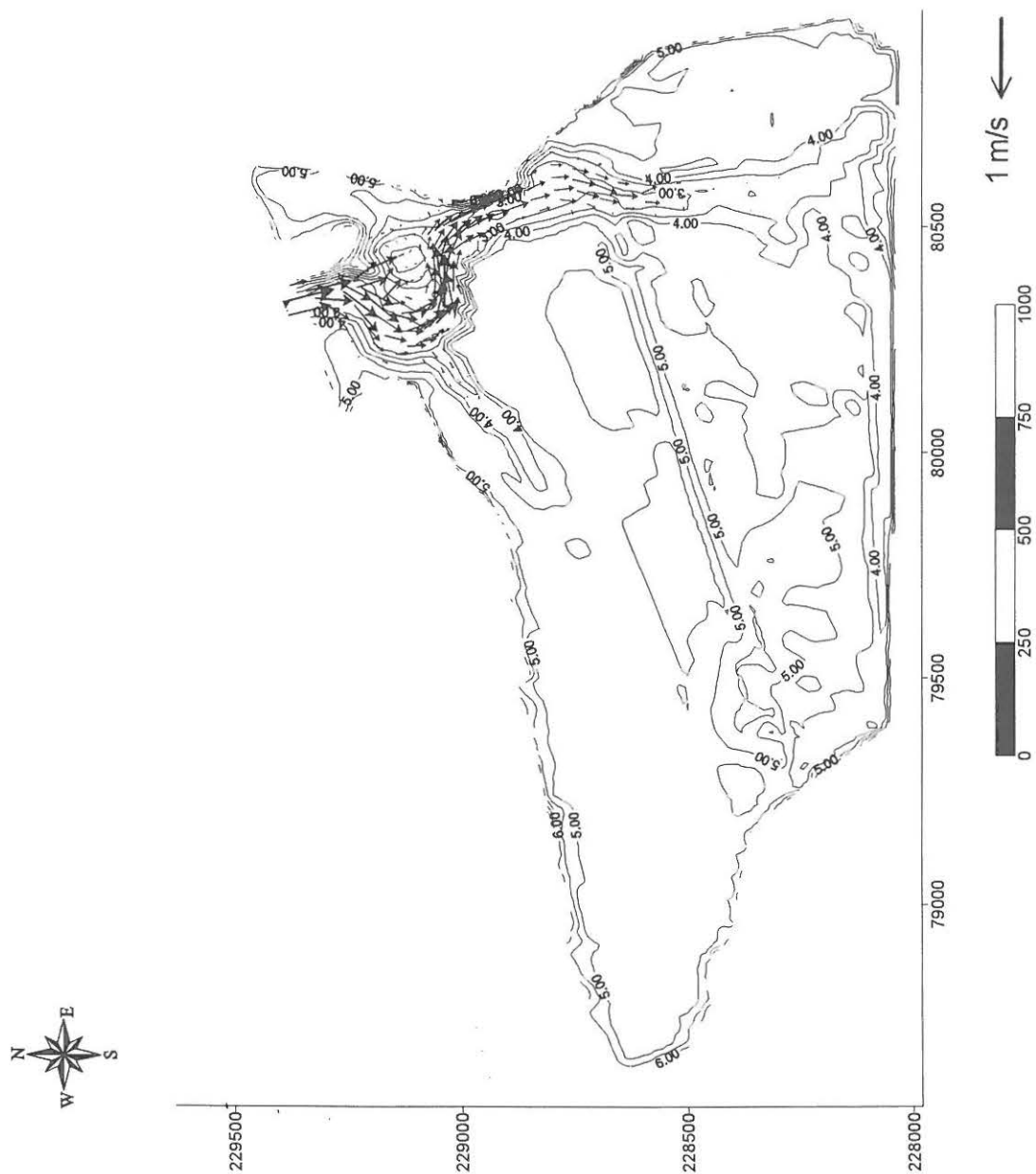
10	4.75-4.65	2	2	2	gewone zoutmelde/ lamsoor	lamsoor/gewone zoutmelde/zeekraal
	4.65-4.60	2	1	1	gewone zoutmelde	gewone zoutmelde/ zeekraal
	4.60-4.55	2	1	0	zeekraal/ gewone zoutmelde	zeekraal/ gewone zoutmelde
11	4.85-4.80	2	2	2	gewone zoutmelde	gewone zoutmelde/ zeekraal
	4.80-4.75	2	1	2	gewone zoutmelde/ zeekraal	zeekraal
	4.75-4.70	1	1	1	gewone zoutmelde/ zeekraal	zeekraal
12	4.80-4.80	2	2	2	grasvegetatie	grasvegetatie/lamsoor
	4.80-4.75	2	1	1	grasvegetatie	grasvegetatie/lamsoor
	4.75-4.65	2	1	0	lamsoor	lamsoor/zeekraal
	4.65-4.50	1	1	0	lamsoor	lamsoor/zeekraal
13	4.85-4.80	2	2	2	lamsoor/zeekraal	zeekraal/lamsoor
14	4.80-4.65	2	2	2	lamsoor/zeekraal	lamsoor/ gewone zoutmelde?
	4.65-4.60	2	1	0	lamsoor/ gewone zoutmelde	lamsoor/ gewone zoutmelde
15	5.50	2	0	0	grasvegetatie	grasvegetatie
	4.80-4.75	2	2	2	gewone zoutmelde	gewone zoutmelde/ zeekraal
	4.75-4.70	1	1	0	gewone zoutmelde	gewone zoutmelde/ zeekraal
16	5.50-5.45	2	0	0	grasvegetatie	grasvegetatie
17	5.50-5.45	2	0	0	grasvegetatie	grasvegetatie
18	5.25-5.20	2	0	2	grasvegetatie	grasvegetatie/gewone zoutmelde
19	4.80-4.65	2	2	2	gewone zoutmelde/ lamsoor	lamsoor/gewone zoutmelde
	4.65-4.60	2	1	0	gewone zoutmelde/ lamsoor	lamsoor
	4.60-4.55	1	1	0	gewone zoutmelde/ lamsoor	lamsoor
20	4.65-4.55	2	2	2	gewone zoutmelde/ lamsoor	lamsoor

BIJLAGE 5 STROOMBEELDEN IN HET ZWIN



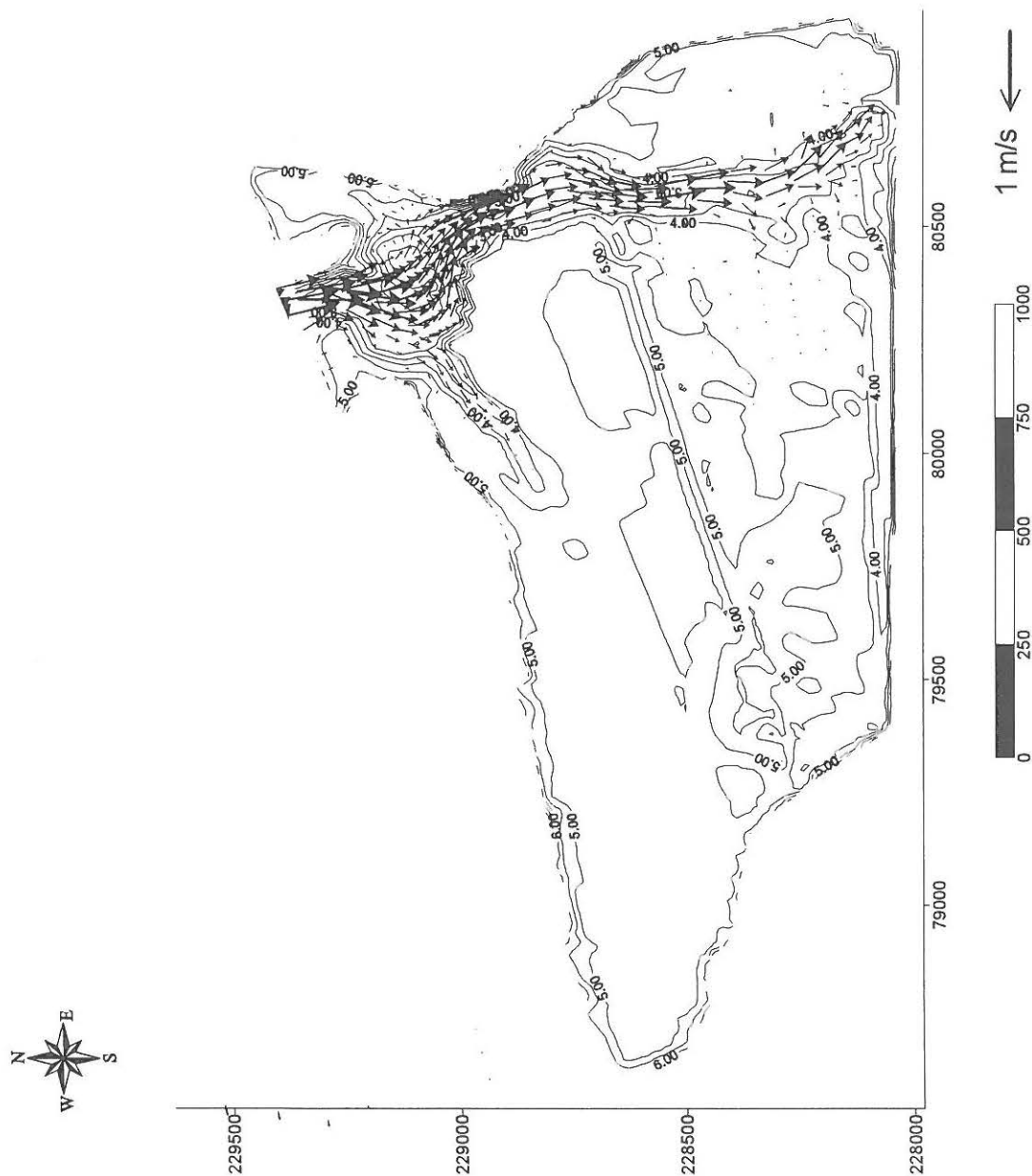
Figuur: 1

Referentie situatie Springtij 14.30 uur
Maximale stroomsnelheden



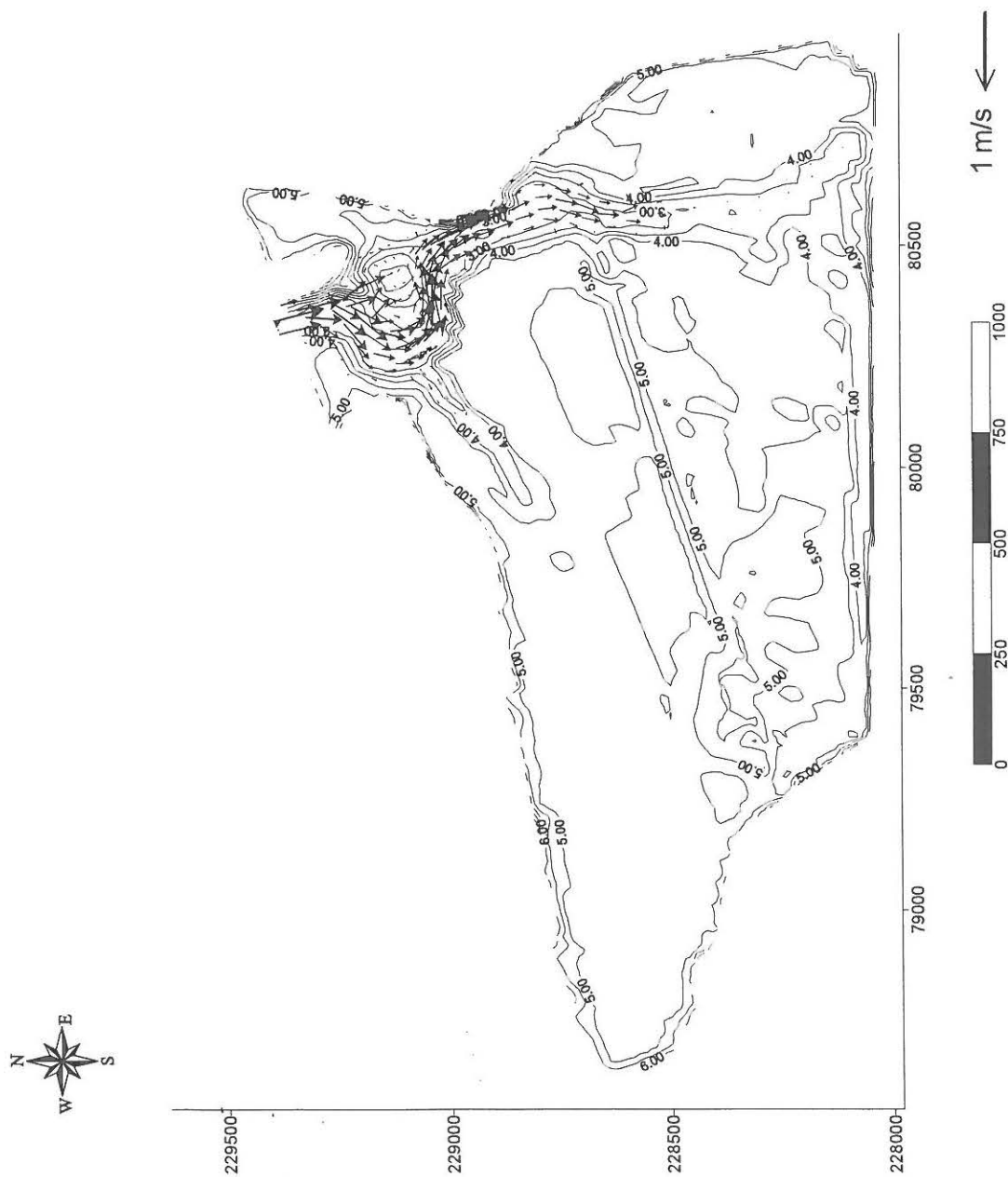
Figuur: 2

Referentie situatie Gemiddeld tij 16.30 uur
Maximale stroomsnelheden



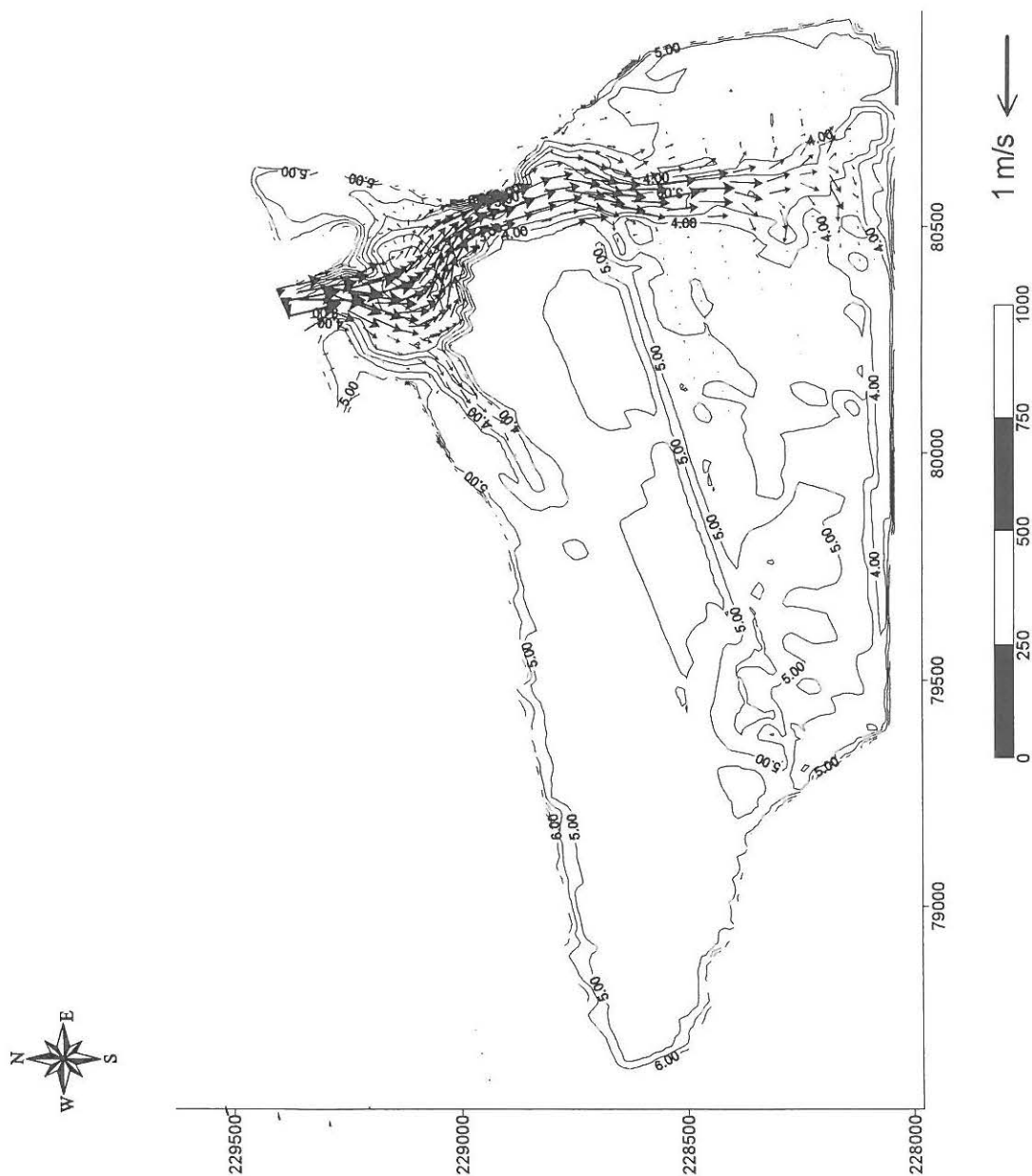
Figuur: 3

Alternatief 1 Springtij 14.30 uur
Maximale stroomsnelheden



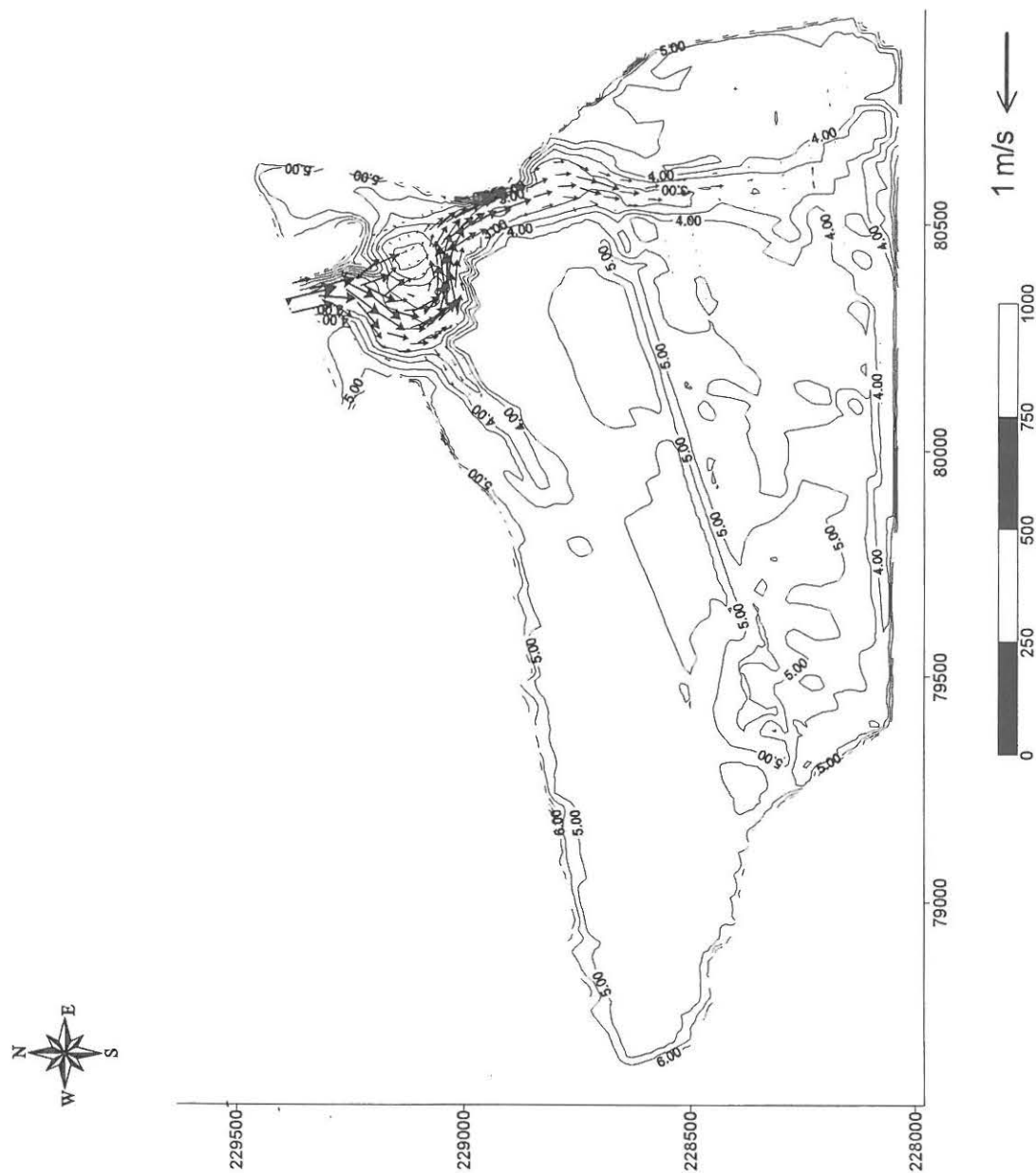
Figuur: 4

Alternatief 1 Gemiddeld tij 16.30 uur
Maximale stroomsnelheden



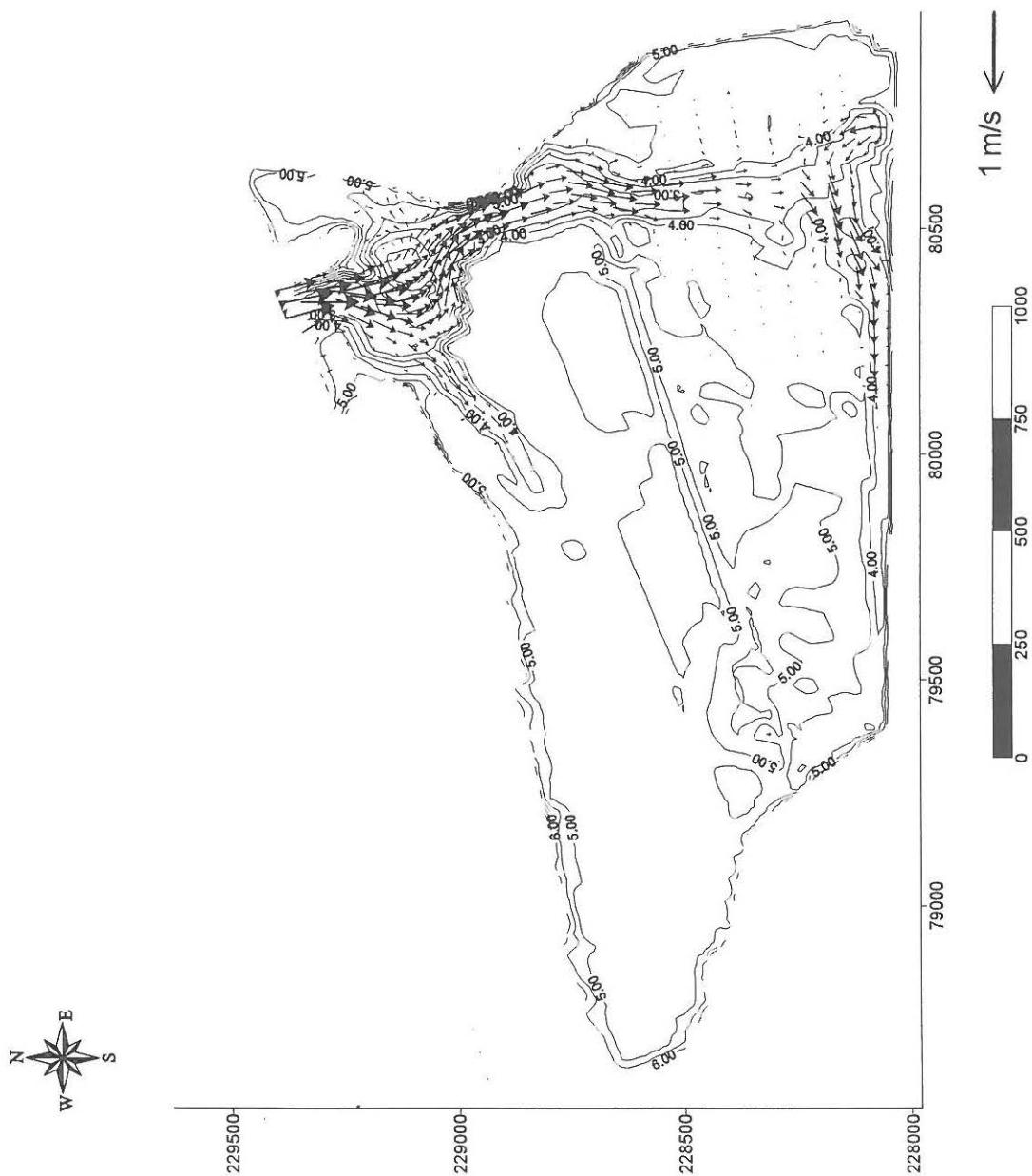
Figuur: 5

Alternatief 2 Springtij 14.30 uur
Maximale stroomsnelheden



Figuur: 6

Alternatief 2 Gemiddeld tij 16.30 uur
Maximale stroomsnelheden



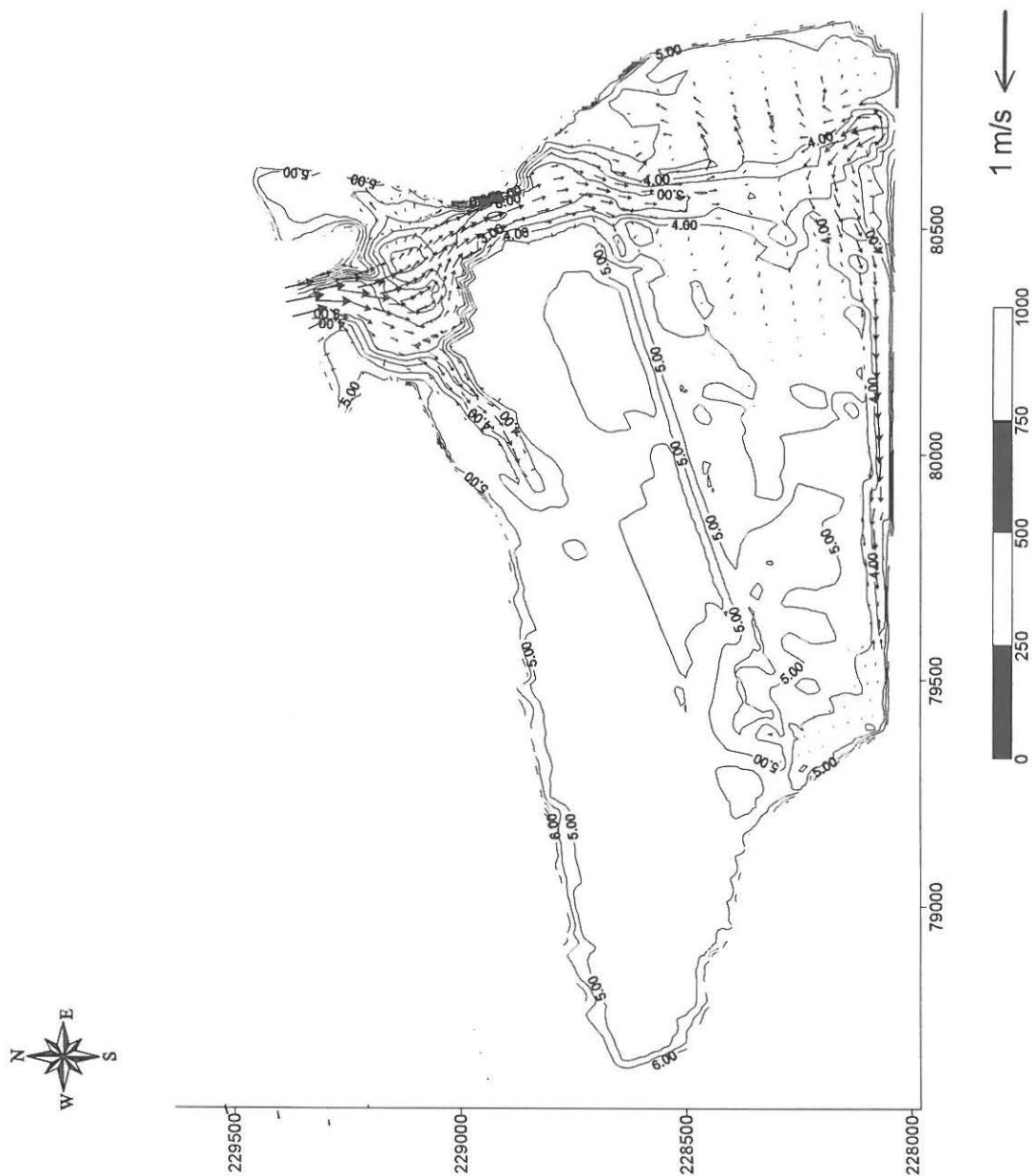
Figuur: 7

Alternatief 3 Springtij 14.30 uur
Maximale stroomsnelheden



Figuur: 8

Alternatief 3 Gemiddeld tij 16.30 uur
Maximale stroomsnelheden



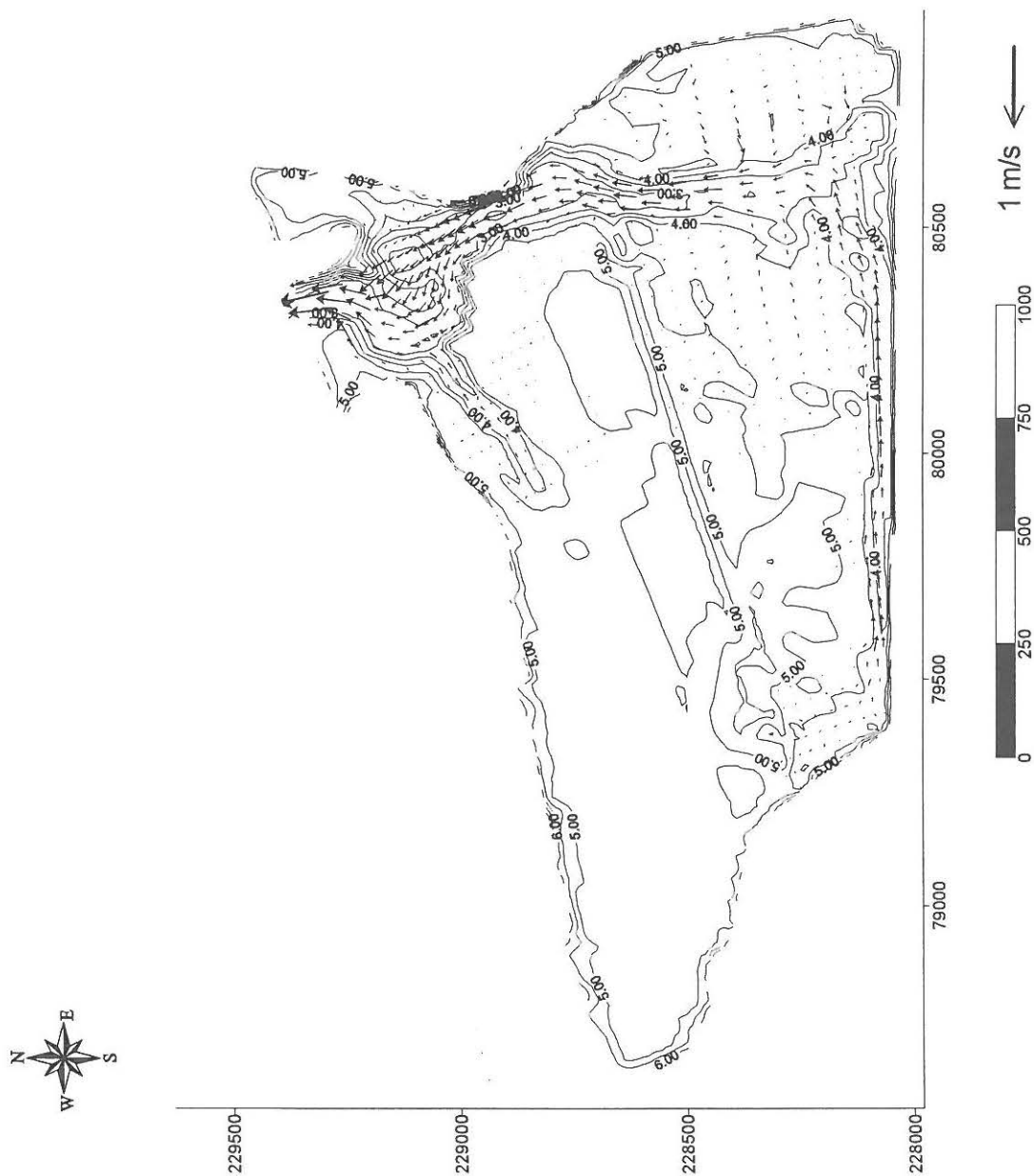
Figuur: 9

Alternatief 6 Springtij 14.30 uur
Maximale stroomsnelheden



Figuur: 10

Alternatief 6 Gemiddeld tij 16.30 uur
Maximale stroomsnelheden



Figuur: 11

Referentie situatie spring tij 17.00 uur
Maximale uitstroming



Figuur: 12

Referentie situatie gemiddeld tij 18.30 uur
Maximale uitstroming



Figuur: 13

Alternatief 1 springtij 17.00 uur
Maximale uitstroming



Figuur: 14

Alternatief 1 gemiddeld getij 18.30 uur
Maximale uitstroming



Figuur: 15

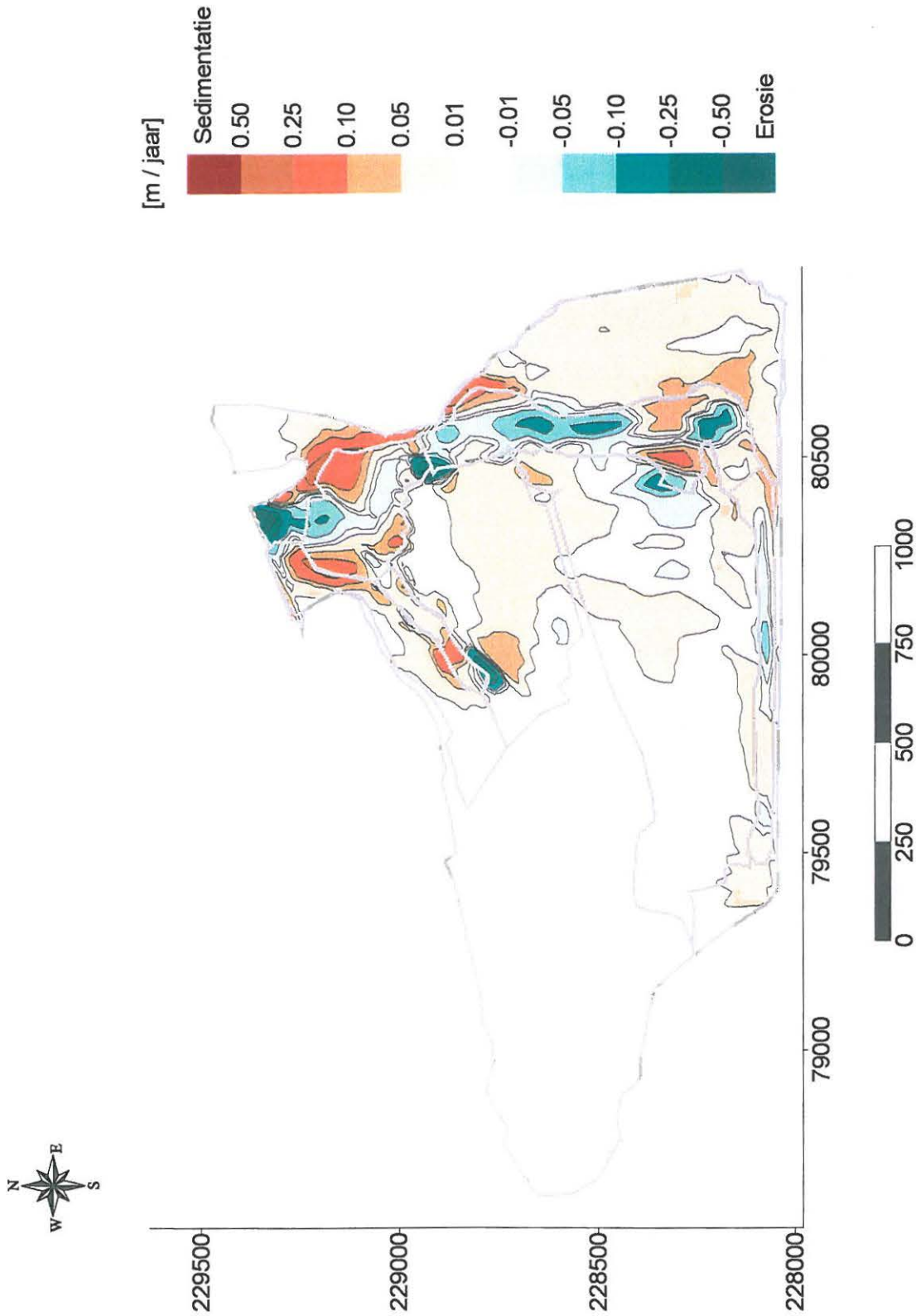
Alternatief 2 spring tij 17.00 uur
Maximale uitstroming



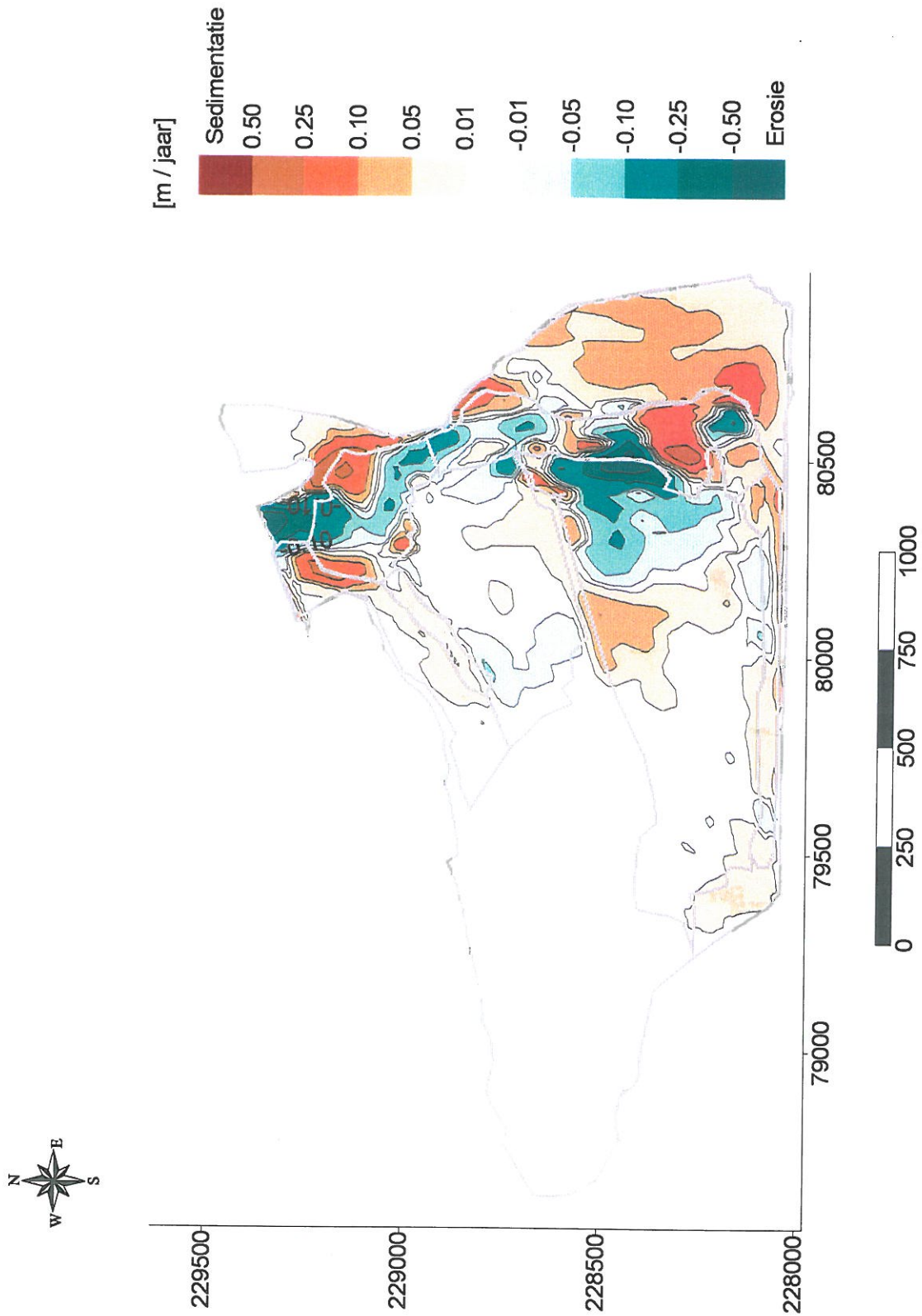
Figuur: 16

Alternatief 2 gemiddeld getij 18.30 uur
Maximale uitstroming

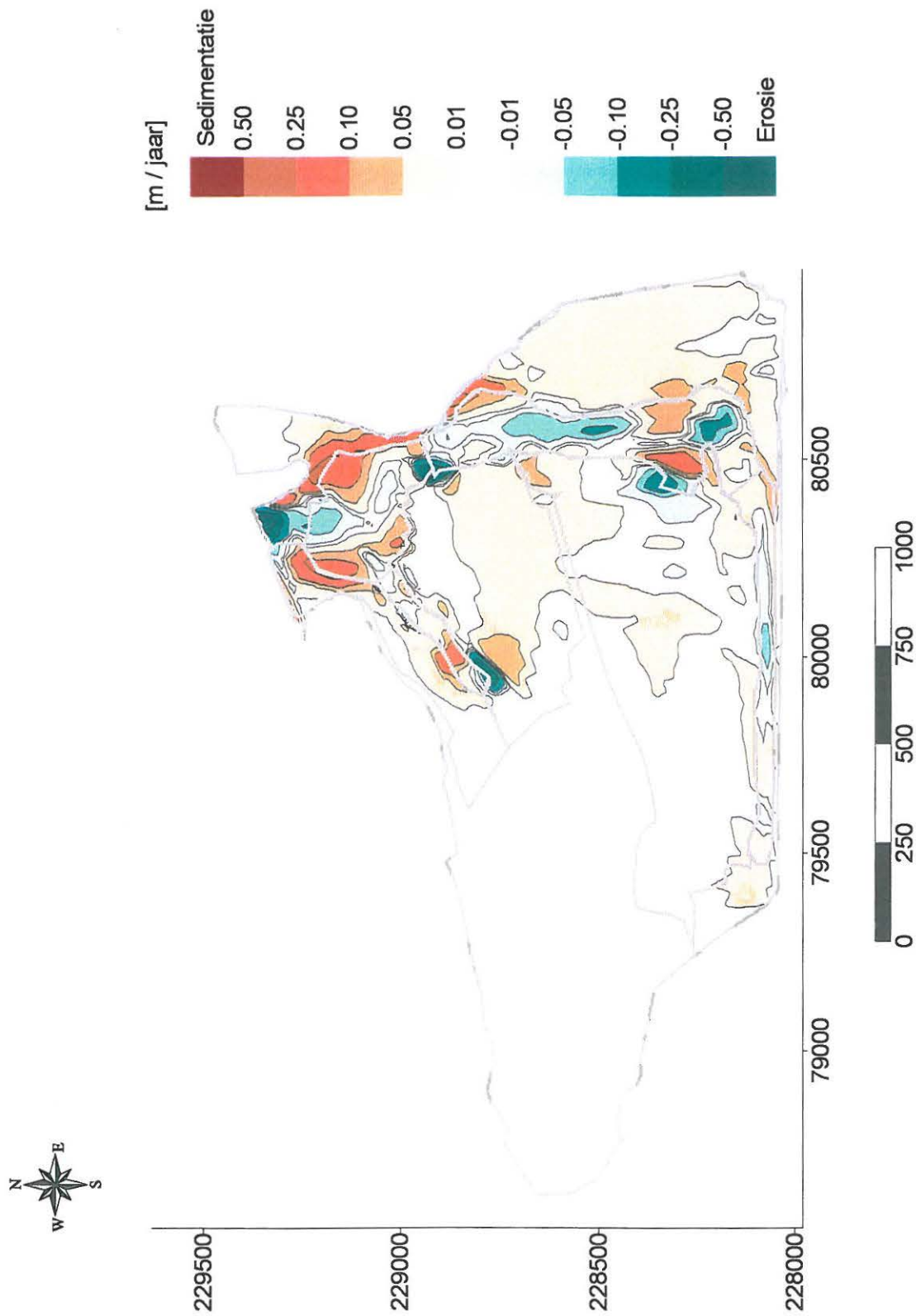
BIJLAGE 6 SEDIMENTATIE- EN EROSIE PATRONEN IN HET ZWIN



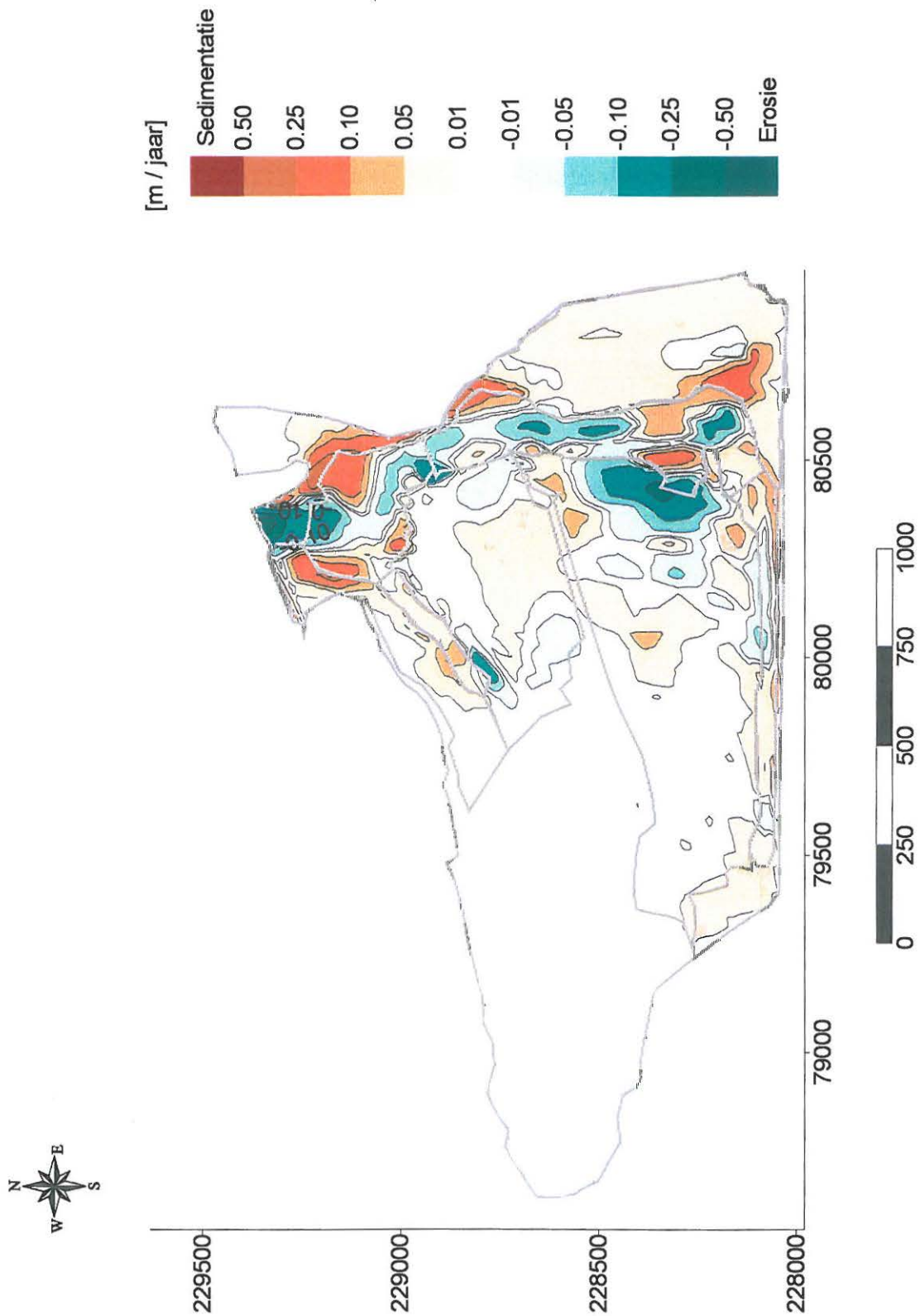
Figuur: 1
Alternatief 1
Jaarlijkse sedimentatie en erosie



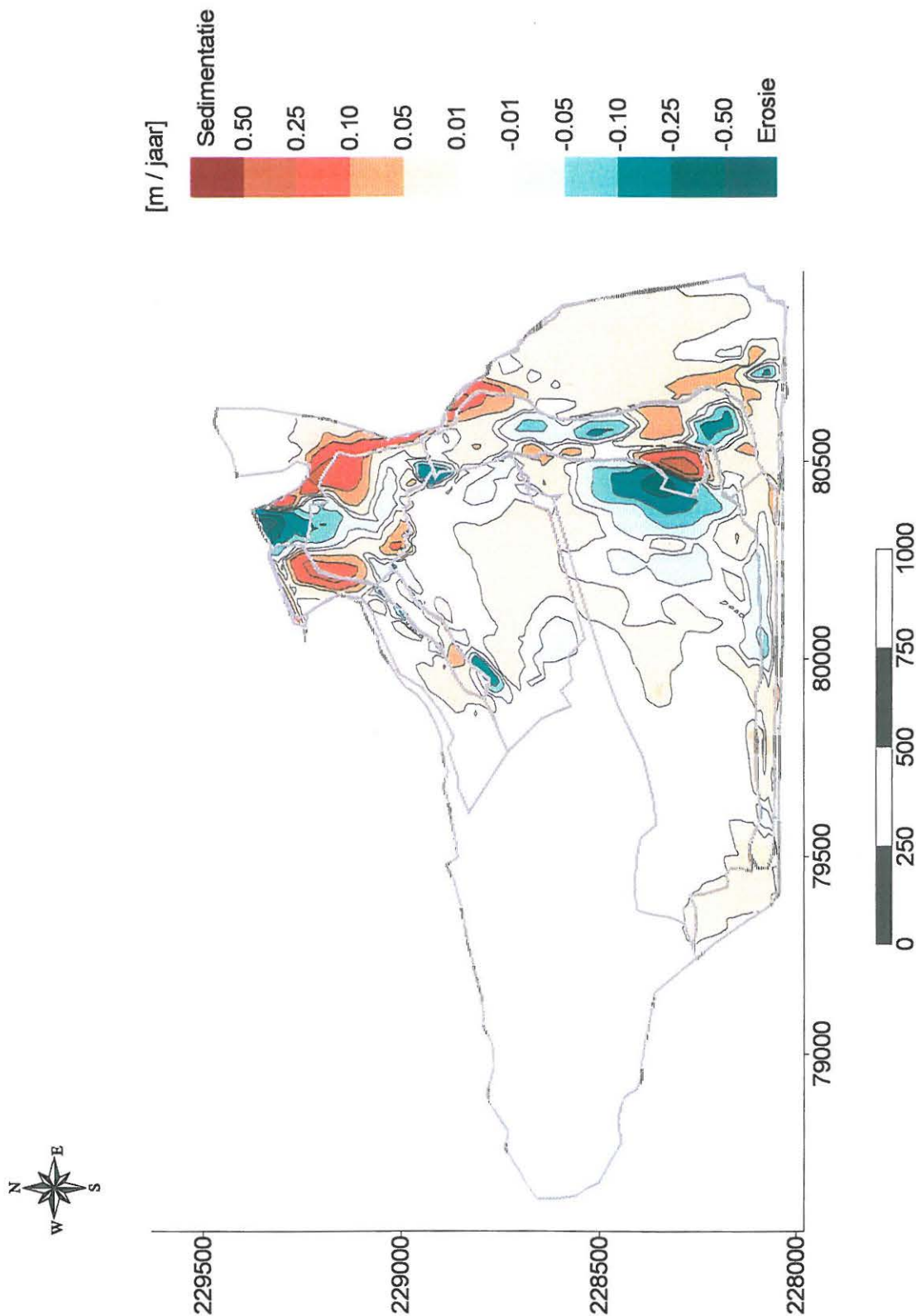
Figuur: 2
Alternatief 2
Jaarlijkse sedimentatie en erosie



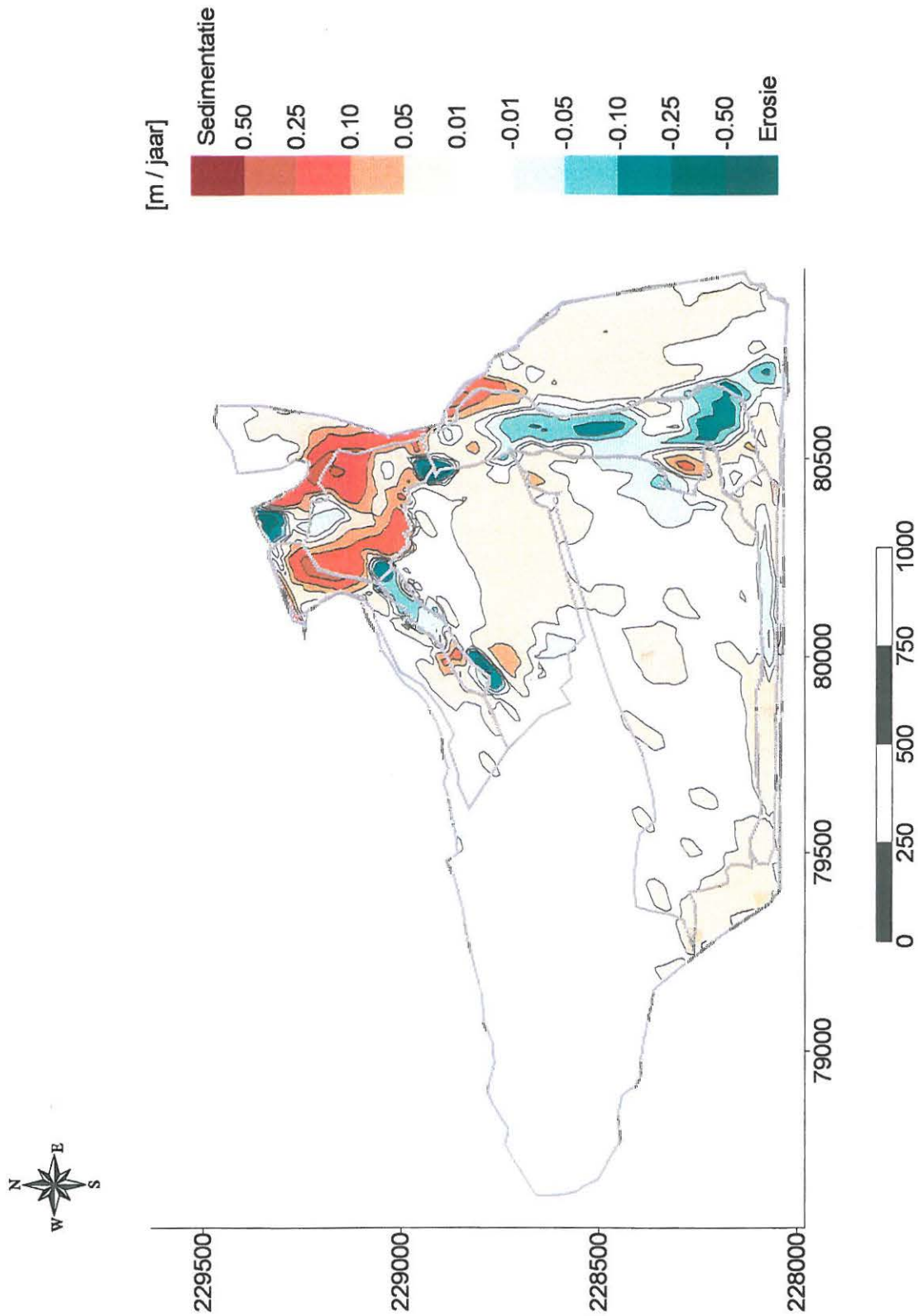
Figuur: 3
Alternatief 3
Jaarlijkse sedimentatie en erosie



Figuur: 4
 Alternatief 4
 Jaarlijkse sedimentatie en erosie



Figuur: 5
 Alternatie 5
 Jaarlijkse sedimentatie en erosie



Figuur: 6
 Alternatief 6
 Jaarlijkse sedimentatie en erosie

