

50 terstaat, Directie Zeeland
tratie Waterwegen en
zeewezèn,
Aminal



juni 1998

CONCEPT

Modelstudie

*Fase 1 en 2: Beoordelingskader en
instrumentarium*

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

Regiokantoor Heemskerk
Karshoffstraat 39
Postbus 286
1960 AG Heemskerk
Telefoon (0251) 24 40 04
Telefax (0251) 24 56 83

Rijkswaterstaat, Directie Zeeland
Administratie Waterwegen en
Zeewezen,
Aminal

151179
Waterbouwkundig Laboratorium
Borgerhout
BIBLIOTHEEK



*bij brief w: 162190 - 624/91
van 22/6/98*

Modelstudie

CONCEPT

*Fase 1 en 2: Beoordelingskader en
instrumentarium*

Spuiwerking in het Zwin

dossier P0406.01.001

datum 17 juni 1998

registratienummer IS-NW980953

versie 1

© DHV Milieu en Infrastructuur BV



Niets uit dit bestek/drukwerk mag worden veelevoudigd 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	INTRODUCTIE	2
1.1	Achtergrond van studie	2
1.2	Studie aanpak	3
1.3	Leeswijzer	4
2	CRITERIA EN RANDVOORWAARDEN	6
2.1	Beoordelingscriteria	6
2.2	Relatie vegetatietypen en 2D-model resultaat	7
2.3	Operationaliseren criteria	11
2.4	Kwalitatieve beoordeling	16
2.5	Vertaling criteria naar doelstelling	17
3	MORFOLOGISCH SYSTEEM ZWIN	19
3.1	Langstransport	19
3.2	Ontwikkeling van de Zwinmonding	21
3.3	Ontwikkeling Zwinvlakte	22
3.4	Autonome ontwikkeling vegetatietypen/ecotopen	24
3.5	Autonome ontwikkeling kensoorten	25
4	BEOORDELINGSINSTRUMENT	27
4.1	Opzet van het stromingsmodel	27
4.2	Calibratie van het stromingsmodel	29
4.3	Opzet van het golfmodel	33
4.4	Calibratie golfmodel	34
5	REFERENTIES	35

1 INTRODUCTIE

1.1 Achtergrond van studie

Het Zwin op de grens van Nederland en België vormt één van de laatste sluffers langs de Noordzee. Binnen het gebied komt dan ook een aantal vegetatietypen voor van nationaal en internationaal belang. Het gebied is daarnaast van belang als broedgebied en pleisterplaats voor een aantal voor intergetijdegebieden 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 toegangsgeul 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 intergetijdegebied, 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 dan ook 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 Zwincommissie 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;
5. in de voorgaande stappen rekening houden met een mogelijke toekomstige ontpoldering van de Willem-Leopoldpolder.

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 het 2D-model worden de morfologische, ecologisch en recreatieve aspecten beoordeeld aan de hand van afgeleide relaties tussen enerzijds hydrodynamica en anderzijds morfologie en ecologie.

3. Optimaliseren richting hoofddoelstelling

Met het gekte 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 inlaat 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 er 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. Voor de volgende fases zou opdracht worden gegeven door de Administratie Waterwegen en Zeewezen en Aminal. Het project wordt begeleid vanuit de Technische Werkgroep van het Zwin, waarin vertegenwoordigers van de belanghebbende instanties zitting hebben.

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

1.3 Leeswijzer

In dit rapport zijn de eerste twee fases van de studie gerapporteerd. Na de inleiding in hoofdstuk 1 worden in hoofdstuk 2 de criteria beschreven voor de beoordeling van de alternatieven. Hierbij wordt aangegeven hoe deze criteria worden toegepast en welke modelresultaten hieraan ten grondslag liggen. Daarnaast wordt aangegeven hoe de hoofddoelstelling vertaald wordt naar de verschillende criteria

In hoofdstuk 3 wordt een beschrijving gegeven van de huidige situatie en van de autonome ontwikkeling. Voor de beschrijving wordt onderscheid gemaakt in de kustzone buiten het Zwin, de monding van het Zwin en het Zwin zelf, de geulen, slikken en schorren. Ook de autonome ontwikkeling van de vegetatie, specifiek de kensoorten, wordt beschreven.

In hoofdstuk 4 wordt een beschrijving gegeven van het opgestelde 2D hydro-morfologisch model. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen het stromingsmodel en het golvenmodel. Er wordt een beschrijving gegeven van de karakteristieken van het model, de calibratie van het model wordt gerapporteerd en de resultaten voor een springtij, gemiddeld tij, doottij en stormsituatie worden beschreven.

De studie is uitgevoerd onder begeleiding van de Technische Werkgroep van de Zwincommissie en de directe begeleiding van drs. S. Huys en ir. T. Verwaest.

2 CRITERIA EN RANDVOORWAARDEN

2.1 Beoordelingscriteria

Om het spuieregime te optimaliseren zijn een aantal criteria nodig om de verschillende alternatieven te kunnen beoordelen. Van belang hierbij is dat de hoofddoelstelling en neven doelstellingen vertaald kunnen worden in gewenste waarden of ontwikkeling van de criteria. Bij het vaststellen van de criteria is aangesloten bij de beoordelingscriteria gehanteerd in eerdere studies.

Er worden drie aspecten bekeken, welke respectievelijk de morfologisch, ecologische en recreatieve effecten beschrijven. Per aspect worden vier tot zes criteria onderscheiden. Deze criteria zijn in onderstaande tabel gegeven.

Tabel 1
Beoordelingscriteria

Aspect	Criterium
Morfologie Zwin	Stabiliteit monding
	Verlandingssnelheid geulen
	Verlandingssnelheid schorren
	Oppervlakte slikken
	Ontwikkeling geulensysteem
	Inundatieduur/frequentie
Ecologie Zwin	Oppervlak vegetatietypen/ecotopen
	Aanwezigheid zout/zoet gradiënt
	Eutrofiëring vegetatietypen
	Waterkwaliteit permanente wateren
Recreatie	Veiligheid ebgeul
	Veiligheid schorren
	Veiligheid slikken
	Landschapsbeeld

Omdat de financiële aspecten in belangrijke mate afhangen van de aanleg van een bekken, c.q. het beschikbare volume spuiwater en deze aspecten binnen de werkgroep Zoet worden behandeld, zijn deze aspecten niet meegenomen bij de vaststelling van de criteria.

De ecologische effecten van verschillende spuieregimes worden uitgedrukt in verschillen in het oppervlakte ecotopen/vegetatietypen. Deze ecotopen/vegetatietypen zijn afgeleid van de 2D-modelresultaten gecalibreerd op de situatie van 1995. Voor een betere interpretatie van de

resultaten worden daarnaast de kensoorten Engels Slijkgras, Zeekraal en Gewone Zoutmelde en enkele factoren (eutrofiëring schorren, waterkwaliteit wateren, bodemvochthuishouding schorren) als afzonderlijk criterium beschouwd, omdat na verwachting deze parameters als gevolg van spuien veranderen.

Naast de effectbepaling in termen van ecotopen/vegetatietypen zal separaat aandacht worden geschonken aan enkele ecologische aspecten welke van invloed kunnen zijn op de waardering van de waargenomen effecten. Hiertoe behoren de natuurlijkheid van processen en in relatie hiermee de zekerheid van voorspellingen en het ecologisch onderscheid tussen zand- en slibgedreven onderdelen van het Zwin. Deze onderdelen worden niet apart in de criteria onderscheiden, maar zullen meer kwalitatief in beschouwing worden genomen bij de optimalisatie van het spuiregime.

De ecologische effectvoorspellingen richten zich in hoofdzaak op het aangeven van veranderingen in standplaatscondities welke representatief zullen zijn voor verschillende vegetatietypen. De combinatie vegetatietype en standplaats kan ook worden aangeduid als ecotooptype. De effecten op doelsoorten (o.a. vogels), maar ook op het landschap zullen worden afgeleid van de veranderingen in standplaats.

Ten opzichte van eerdere studies is binnen het aspect recreatie de veiligheid als criterium ingevoerd. Dit criteria is belangrijk om het (extra) gevaar voor mens en aanwezige schapen ten gevolge van extra spuiwerking te kwantificeren.

2.2 Relatie vegetatietypen en 2D-model resultaat

Naar verwachting, en ook op basis van ander onderzoek, mag worden aangenomen dat de aanwezigheid van vegetatietypen vooral samenhangt met de hydrodynamiek (overstromingsduur/frequentie) en het watertype, alsmede de morfodynamiek (sedimentatiesnelheid, erosie) en het bodemtype (substraattype, bodemvocht, voedselrijkdom). De relaties staan vermeld in tabel 2. **(Relaties worden nog afgeleid met behulp van de modelresultaten en vegetatiekarting 1995)**

Uit de vegetatiekarteringen blijken overigens grote verschillen tussen het Belgische en het Nederlandse deel van het Zwin. In het Belgische deel van het Zwin is vanwege de peilopzet niet de gehele zonering tussen laag- en hoogwater aanwezig. Dit uit zich in een opschuiven van de vaker geïnundeerde vegetatietypen naar een positie hoger in het profiel. Daarnaast moet rekening worden gehouden met verhoudingsgewijs minder goede drainagecondities vanwege de aanwezigheid van permanent gestuwd water en het vrijwel ontbreken van geulen. Dit betekent dat de relatie tussen modeluitvoer en vegetatietypen voor beide zijden afzonderlijk moet worden opgesteld.

Tabel 2
Relevante klassegrenzen voor vegetatietypen (nog af te leiden uit modelresultaten)

Vegetatietypen/ecotooptypen	Hydrodynamiek		Morfodynamiek		Bodem type	Water type
	Inundatie	Stroming	Erosie	Sedimentatie	Zand/slib	Chloride
Geul						
Meer						
Zandplaat						
Slik						
Zeekraal-Klein schorrekruidmozaïek						
Engels Slijkgras						
Kweldergras						
Gewone Zoutmelde						
Lamsoor-Kweldergras Mozaïek						
Zeeaster						
Grasvegetatie						
Strandmelde-Spiesbladmelde						
Riet						
Kensoorten						
Engels Slijkgras						
Gewone Zoutmelde						
Zeekraal						

Niet al de standplaatsfactoren kunnen rechtstreeks uit de modeluitvoer worden afgeleid, zie tabel 3. Voor de interpretatie van de modelresultaten is een beschouwing op alle parameters, inclusief dewelke niet direct uit het model volgen, van belang. In aanvulling op de 2-D modellering zal voor enkele standplaatsen worden gekeken naar de bodemvochthuishouding en de N-huishouding op basis van eenvoudige balansmodellen. Daarnaast wordt de interpretatie van de resultaten ondersteund door een kritische blik op enkele kensoorten.

Wat betreft de schorren wordt gekeken naar de bodemvochthuishouding, omdat factoren als chloridegehalte en drainagecondities belangrijke vestigingsfactoren vormen voor enkele relevante plantensoorten. De bodemvochthuishouding in termen van chloridegehalte en doorlatendheid wordt beschreven aan de hand van een eenvoudige spreadsheet-benadering en veldgegevens met betrekking tot de profielopbouw.

Tabel 3

De meest belangrijke standplaatsfactoren voor vegetaties van intergetijdegebieden.

Belangrijke standplaatsfactoren	Beschikbaar als modeluitvoer
Hydrodynamiek - overstromingsduur: niet alle organismen verdragen een langere overstromingsduur of juist weer kortere overstromingsduur; - overstromingsfrequentie: deze factor is van invloed op het zoutgehalte o.a. van het poriënwater; - stroomsnelheid: is van invloed op de vestiging van plant-en diersoorten	ja, per deelgebied ja, per deelgebied ja, per deelgebied
Watertype - chloridegehalte van schorren: vooral tijdens de kieming in het voorjaar is het chloridegehalte van het overstromende water van groot belang; als referentie kan hiervoor de Westerschelde dienen; - chloridegehalte van geulen: vooral waar sprake is van constante brakwatersituaties kunnen andere soorten en zelfs leefgemeenschappen zich vestigen; frequente grote wisselingen in chloride-gehalte zijn daarbij echter ongewenst.	ja per deelgebied ja, per deelgebied
Morfodynamiek - substraatdynamiek: substraat dat regelmatig wordt losgewoeld als gevolg van stroming of golven vormt geen geschikt vestigingsmilieu voor de meeste planten en dieren; met name een frequente afwisseling van erosie en sedimentatie, of enkel erosie kan hierop wijzen.	nee, afleiden uit sedimentatie en golfdynamiek
Bodemtype - substraatype: met name het voedselaanbod van platen en slikken hangt sterk af van het slib en organisch stofgehalte van het sediment; ingeval van enkele relevante soorten zoals Engels Slijkgras, is er zelfs sprake van een uitgesproken voorkeur voor zacht (door flocculatie) sediment; - bodemvochtcondities: de uiteindelijke invloed van vele factoren op de plant hangt af hun invloed op de beschikbaarheid van bodemwater; hierin spelen in kwantitatieve en kwalitatieve zin inundatieduur, substraatype en drainagecondities een rol; - voedselrijkdom: het sedimentatieregime is van grote invloed op de beschikbaarheid van voedingstoffen voor plantengroei en soorten;	nee, afleiden uit slib en zandafzet-ting nee,afleiden mid- dels bodemvocht balansen nee, afleiden met N-balansen

Kensoorten/Kwaliteit ecotopen

Het lijkt zinvol aanvullend een aantal kensoorten in beschouwing te nemen, die naar verwachting sterk zullen reageren op veranderingen in chloride-gehalte en op aanzanding danwel aanslibbing, te weten:

- Engels Slijkgras;
- Gewone Zoutmelde;
- Zeekraal.

Engels Slijkgras

Engels Slijkgras werd in de jaren dertig in het Sloegebied geïntroduceerd en heeft in grote delen van de Zeeuwse delta een aantal inheemse planten verdrongen waaronder Zeekraal. In het Waddengebied is zij minder sterk verbreid en wordt zij vooral aangetroffen op plaatsen waar zoet water uitstroomt in de Waddenzee. De aanwezigheid wordt enerzijds in verband gebracht met een mogelijke voorkeur voor meer brakwatercondities, anderzijds wordt erop gewezen dat Engels Slijkgras zich bij voorkeur vestigt in zacht slibsubstraat. Daar waar zoet water mengt met zout water komt als gevolg van flocculatie slib in een voor Engels Slijkgras geschikte vorm tot bezinking. De geringere verspreiding in het Waddengebied hangt samen met de vorstgevoeligheid. Engels Slijkgras is een meerjarige plant, die vooral vanwege de voorkeur voor brakkere standplaatsen bij vorst door optilling van de ijslaag wordt ontworteld.

In het Zwin wordt Engels Slijkgras alleen in het Nederlandse deel in de vorm van dichte zoden en over grotere oppervlaktes aangetroffen. Daarnaast komt zij verspreid in het gebied voor, met name langs de Internationale dijk. In het Zwin komen geen brakwatercondities voor. Mogelijk dat de aanwezigheid daarom grotendeels samenhangt met het sedimentatiemilieu.

Engels Slijkgras is indertijd in Nederland geïntroduceerd omdat het sediment zeer goed vastlegt. Een uitbreiding van Engels Slijkgras kan derhalve leiden tot een versterkte aanslibbing van de slikken. Engels Slijkgras wordt ook wel aangeduid als slikpest omdat zij groeiend in zeer dichte zoden andere planten volledig verdringt.

Gewone Zoutmelde

In het onderzoek van Eurosense is gewezen op de sterke verspreiding van Gewone Zoutmelde in de afgelopen jaren (1993-1995). Gewone Zoutmelde is een plant die een sterke voorkeur heeft voor zoute, maar goed gedraineerde standplaatsen. Om die reden wordt zij vooral op oeverwallen aangetroffen in de Zeeuwse delta. Zij is veel minder aanwezig in het Waddengebied, omdat de geringere getijde amplitude niet de juiste drainagecondities levert. Voorts speelt de vorstgevoeligheid van de Gewone Zoutmelde een rol. De sterke verspreiding van de Gewone Zoutmelde in de afgelopen jaren kan daarom ook deels samenhangen met een opeenvolging van zachte winters tussen 1991 en 1995.

Gewone Zoutmelde, komt net als Zeekraal en Lamsoor, alleen voor in het westelijk deel van de Westerschelde en zal verdwijnen in geval van meer brakwatercondities. In het Zwin komt Gewone Zoutmelde vooral voor in het Nederlandse deel. Het ontbreken van de Gewone Zoutmelde in het Belgische deel zou kunnen samenhangen met het peilbeheer aldaar, waardoor geschikte drainagecondities voor Gewone Zoutmelde ontbreken. Mogelijk dat er ook in het Belgische deel minder aanzanding plaatsvindt, aangezien het Belgische deel alleen bij zeer hoog water overstroomt.

Zeekraal

In tegenstelling tot Gewone Zoutmelde en Engels Slijkgras is Zeekraal een zomer-annueel die zich elk jaar weer opnieuw moet vestigen. De kieming van Zeekraal, alsook van vele andere halofyten, is afhankelijk van een tijdelijke en gedeeltelijke ontzilting. Deze condities zijn aanwezig als gevolg van sterke neerslag bij laagwater. Het incidenteel overspoelen van de slikken met polderwater als gevolg van spuien kan de gewenste ontzilting teweeg brengen en kan daarom leiden tot een sterke kieming en groei van zeekraal.

Met de vestiging van Zeekraal krijgt de vegetatie invloed op het aanslibbingsproces door het invangen en vastleggen van sediment.

2.3 Operationaliseren criteria

Om de criteria te kunnen toepassen dienen deze eenduidig te kunnen worden gekwantificeerd, zodanig dat ieder criterium kan worden afgewogen voor de beschouwde alternatieven. Per criterium wordt daarom een parameter gedefinieerd, waaraan door middel van het 2D-model, of door een empirische relatie een waarde gegeven kan worden.

2.3.1 Morfologische criteria

Stabiliteit monding

De stabiliteit van een slufteer blijkt afhankelijk te zijn van het gemiddeld getijprisma dat de slufteer instroomt en van het gemiddelde brandingstransport langs de monding. De getijprisma is de aandrijvende kracht achter de uitschurende werking van de toegangsgeul door de getijstroming. Het brandingstransport wil de toegangsgeul vanaf de zijkant afsluiten. Door onderzoek naar verschillende getij-inlaten is een empirische relatie afgeleid welke aangeeft hoe stabiel de getij-inlaat is. De stabiliteit blijkt een functie van het quotiënt van getijprisma en brandingstransport (Bruun, 1978).

Voor verschillende spuieregimes wordt het gemiddelde getijprisma, althans de hoeveelheid water die uitstroomt beïnvloed. Het brandingstransport wordt veroorzaakt door het gemiddeld golfklimaat langs de kust en de getijstroming langs de kust, deze wordt niet door het spuieregime beïnvloed. In deze studie kan de stabiliteit dus worden gekarakteriseerd door het jaargemiddelde getijprisma. Door spuiwerking in het Zwin te introduceren wordt de uitstroming verhoogd, terwijl de instroming gelijk blijft. De hoeveelheid spuiwater en het tijdstip van lozen is van belang voor het effect op de aanzanding. Daarom wordt het netto sedimentinvoer in het Zwin, zoals berekend over een doottij-springtij cyclus als parameter gebruikt voor de stabiliteit van de monding.

Een kleinere netto zandinvoer in het Zwin is gewenst.

Verlandingssnelheid geulen

Bij de verlandingssnelheid voor geulen wordt gekeken naar de gemiddelde aanzanding die optreedt in de geul, gedefinieerd als het gebied dat zich bevindt onder het lokale gemiddelde laag water op tijdstip T0 (uitgangsbodem van 2D-model, 1995). Per geul wordt de jaarlijks berekende sedimentatie gedeeld door het oppervlak van de geul om de verlandingssnelheid van de geul te definiëren.

De volgende geulen worden onderscheiden in het Zwin, zie figuur 2.1:

- geul A, noordelijke hoofdgeul, gelegen tussen raai Noord en raai Zuid
- geul C, zuidelijke hoofdgeul, gelegen tussen raai Zuid en de internationale dijk
- geul B, eerste westelijke nevengeul lopend onder de Belgisch duinenrij
- geul D, nevengeul lopend langs de internationale dijk als toegang naar meer M3.

Er wordt naar gestreefd een zo laag mogelijke verlangssnelheid of een erosie van de geulen te realiseren.

Verlandingssnelheid schorren

Bij de verlandingssnelheid voor de schorren wordt gekeken naar de gemiddelde aanzanding, die optreedt op de schorren, gedefinieerd als het gebied dat zich bevindt boven lokaal gemiddeld hoog water op tijdstip T0. Hieruit volgt direct dat de aanzanding van het schor alleen kan optreden tijdens springvloed en tijdens stormopzet als er water over de schorren loopt. Voor ieder schor wordt de jaarlijks berekende aanzanding gedeeld door het oppervlak van het schor om de verlandingssnelheid te definiëren.

De volgende schorren worden onderscheiden in het Zwin, zie figuur 2.1:

- schor I, ten oosten van geul A, achter de Nederlandse duinenrij
- schor II, ten oosten van geul C, tussen de geul en de dijk
- schor III, ten noorden van geul B
- schor IV, ten zuiden van geul B tot aan de ondiepe greppel/geul welke het centrale toegankelijke gedeelte scheidt van het ontoegankelijke zuidelijke gedeelte
- schor V, ten noorden van geul D het ontoegankelijke zuidelijke gedeelte van het Zwin

Er wordt naar gestreefd een zo laag mogelijke verlangssnelheid van de schorren te realiseren.

Oppervlakte slikken

Het slikoppervlak wordt gedefinieerd als het gebied tussen lokaal gemiddeld hoogwater en gemiddeld laag water. Dit gebied vormt de overgang van de geul naar het schor. Bij dit criterium wordt geen rekening gehouden met verschuivende geulen (geulverplaatsing is als apart criterium opgenomen). Het oppervlak van het slik is daarom alleen afhankelijk van het verschil tussen gemiddeld hoog water en gemiddeld laag water.

Er wordt gestreefd naar een zo groot mogelijk slikoppervlak.

Ontwikkeling geulenstelsel

De ontwikkeling van het geulenstelsel wordt veroorzaakt door stroom- en golfaanval op de oevers van de geulen (de slikken). Indien deze aanval groter is, zal er meer erosie optreden en verandert de ligging van de geul. Binnen de riviermorfologie zijn een aantal modellen beschikbaar welke de oevererosie koppelt aan de stroomsnelheid en kromming van de geul. Aangezien de begintoestand steeds gelijk is, is alleen de aanval op de geulrand nog onderscheidend. Deze aanval wordt gekarakteriseerd door vier parameters, te weten:

- maximale ebsnelheid in de geul
- maximale vloodsnelheid in de geul
- gemiddelde significante golfhoogte in de geul (50% overschrijding)
- eens per jaar significante golfhoogte in de geul (1/1 jaar conditie in buitengebied)

De maximale eb en vloed stroomsnelheid worden direct door het stromingsmodel berekend. Het spuieregime heeft een invloed op deze snelheden, omdat er extra water door de geulen naar buiten wordt afgevoerd. De significante golfhoogte wordt berekend door het golvenmodel, waarbij de stroomrefractie een invloed op de golfdoordringing in het Zwin heeft. Door een

alternatief spuieregime verandert het stromingsveld en daardoor kan de golfdoordringing worden beïnvloed.

De parameter voor geulontwikkeling wordt gedefinieerd als de som van de veranderingen van de vier subcriteria, waarbij ieder subcriterium even zwaar meetelt. Omdat meer mobiliteit van de geulen wordt nagestreefd, is een grotere verandering wenselijk.

Inundatieduur/frequentie

Voor de onderscheiden schorren (schor I tot en met schor V) wordt een overschrijdingslijn van de hoogteligging gemaakt gebaseerd op de bodemligging van 1995. Deze overschrijdingslijn geeft per schor het oppervlaktepercentage gelegen boven een bepaald niveau.

Uit het berekende verloop van doottij, gemiddeld tij, springtij en de 1/1 jaar waterhoogte (opgebouwd uit een gemiddeld getij en een constante stormopzet) wordt de overschrijdingscurve voor waterstand samengesteld voor de periode van één jaar. Dit geeft een geschematiseerd verloop van de werkelijke overschrijdingscurve. Hierbij wordt de tijd dat een bepaalde waterstand wordt overschreden gedurende één jaar gegeven. Daarnaast wordt er tevens een lijn van overschrijdingsfrequentie per waterniveau gemaakt. Door deze lijn wordt aangegeven hoe vaak per jaar een waterniveau wordt overschreden, onafhankelijk van de duur.

Door de overschrijdingslijn van de hoogteligging van de schorren te combineren met de overschrijdingslijnen (duur en frequentie) van de waterstand wordt een inundatieduur en een inundatiefrequentie van de schorren verkregen als functie van de hoogteligging. De inundatieduur per jaar en de inundatiefrequentie per jaar van respectievelijk 50 % en 90 % van het schor oppervlak worden als subcriteria gedefinieerd. Langere inundatieduur en hogere inundatiefrequentie worden als wenselijk gezien, onder de voorwaarden dat het wel een intergetijdegebied moet blijven (verdrinking van het Zwin is niet wenselijk).

2.3.2 Ecologische criteria

Oppervlakte vegetatietypen/ecotopen

De huidige situatie is bekend van de vegetatiekarteringen uitgevoerd door Eurosense (Eurosense, 1995). In het kader van deze studie zal een relatie worden gelegd tussen deze vegetatiekarteringen en de modeluitvoer. De huidige situatie, de autonome ontwikkeling en de ontwikkeling bij doorvoering van verschillende alternatieven worden in modeluitvoerparameters omschreven. Deze gegevens worden vervolgens vertaald naar vegetatietypen.

Voor wat betreft de vegetatietypen wordt aangesloten bij de onderzoeken van Eurosense, met de volgende afwijkingen:

- er worden geen subassociaties onderscheiden, omdat deze naar verwachting niet zullen kunnen worden voorspeld; in plaats daarvan wordt in aanvulling gekeken naar een aantal kensoorten, die naar verwachting als gevolg van spuien het meest worden beïnvloed;
- de vegetatietypen welke hoger gelegen zijn dan de hoge schorren worden verder niet in beschouwing genomen;

- ook het natte deel wordt onderscheiden te weten, de geulen en platen; hierbij wordt aangesloten op de indeling zoals gehanteerd voor de Westerschelde.

Het oppervlak per vegetatietype en kensoort, zoals afgeleid uit de standplaatsfactoren (zie sectie 2.2), wordt gebruikt als criterium voor de beoordeling van het spui-alternatief. Gemiddelde oppervlakte per vegetatiesoort in plaats van overheersing van enkele type wordt wenselijk gezien.

Aanwezigheid zout-zoetgradiënten

De aanwezigheid van zout-zoetgradiënten wordt gekwantificeerd door het verschil tussen minimale en maximale saliniteit gedurende een doottij-springtij cyclus. Hierbij wordt gekeken naar de minimale en maximale waarden, zoals deze voorkomen in iedere geul en schor. De saliniteit als functie van de tijd wordt direct berekend door het 2D-stromingsmodel.

In de referentiesituatie wordt er alleen zoet regenwater in het Zwin afgevoerd. Dit zal geen merkbaar effect hebben op de aanwezigheid van zout-zoet gradiënten. Wanneer echter zoet spuiwater wordt geloosd in het Zwin kan afhankelijk van het volume en tijdstip van lozing een gradiënt ontstaan. De zout-zoet gradiënt wordt gekwantificeerd door de minimale en maximale saliniteit. Deze waarden bepalen of er gradiënten zijn (verschil tussen minimum en maximum) en in welke range de saliniteit zich bevindt. Beide zijn belangrijk voor de vegetatie in het Zwin.

Eutrofiëring vegetatietypen

Het spuiregime kan leiden tot veranderingen in aanslibbingssnelheid en de aanvoer van voedingsstoffen met het spuiwater. De eventuele effecten hiervan op de voedselrijkdom van de schorren zullen worden bepaald aan de hand van stikstofbalansen. Als criterium wordt de totale hoeveelheid beschikbare stikstof op het schor gehanteerd. Aangezien we niet beschikken over gegevens met betrekking tot de daadwerkelijk aan- en afvoerposten wordt de relatieve hoeveelheid ten opzicht van de referentiesituatie beschouwd.

Waterkwaliteit permanente wateren

In het Zwin is een aantal permanente wateren gelegen. Hiertoe behoren de geulen en de meren. Vooral aan de Belgische zijde komen grotere meren voor welke als gevolg van kleiwinning ten behoeve van de aanleg van de internationale dijk zijn ontstaan. Het huidige peilbeheer van deze meren bestaat uit het vasthouden van relatief hoge peilen met een incidentele verversing tijdens springvloeden.

Over de huidige waterkwaliteit van deze meren is niets bekend. Het is daarom niet mogelijk om een huidige referentiesituatie in absolute zin te bepalen. Eventuele veranderingen kunnen worden aangeduid als een verschilbepaling in abiotische factoren. De verblijftijden van het water in meer M3 wordt gebruikt als criterium voor de waterkwaliteit. De verblijftijd wordt afgeleid uit de frequentie van mogelijke wateruitwisseling tussen geul D en meer M3. Deze frequentie wordt bepaald door de overschrijdingsfunctie van de waterstand ter plaatsen van de klep in geul D, zoals door het 2D-model berekend.

Kortere verblijftijd is positief voor de waterkwaliteit in meer M3 en wordt daarom als wenselijk gezien.

2.3.3 Recreatieve effecten

Veiligheid ebgeul

Met veiligheid van de ebgeul wordt als een criterium geïntroduceerd om aan te geven wat het gevaar is voor mensen om de ebgeul over te steken. Om van de Belgische zijde van het Zwin in het Nederlandse gedeelte te komen moet de noordelijke geul (geul A) worden overgestoken. Dit gebeurt door toeristen die langs het strand lopen en door toeristen die van of naar het centrale toegankelijke gedeelte van het Zwin gaan/komen. Omdat geul A eigenlijk de enige geul is welke wordt overgestoken, wordt alleen voor deze geul dit criterium toegepast.

De veiligheid van de ebgeul wordt gekarakteriseerd door de minimale tijd benodigd om het waterniveau met 0,5 m te laten stijgen. Deze minimale tijd wordt bepaald aan de hand van de berekende waterstandslinje voor de monitoringspunten ter hoogte van raai Zuid en raai Noord. Het minimale tijdsinterval geldt als waarde voor het criterium.

Een lagere waterspiegelstijging is wenselijk. Indien de stijging erg snel gebeurt kan het spui-alternatief als onacceptabel worden gekwalificeerd.

Veiligheid Schorren

De veiligheid voor de schorren wordt op dezelfde wijze bepaald als de veiligheid voor de ebgeul, met het verschil dat nu naar een stijging van 0,25 m wordt gekeken. Omdat naast mensen ook schapen (in verband met begrazing) op sommige schorren aanwezig zijn wordt voor ieder schor de minimale tijd nodig voor de waterspiegelstijging bepaald. Een lagere waterspiegelstijging is wenselijk. Indien de stijging erg snel gebeurt kan het spui-alternatief als onacceptabel worden gekwalificeerd.

Naast de snelle stijging van de waterstand kan ook insluiting van schapen of mensen op een schor de veiligheid beïnvloeden. Echter omdat insluiting door water voornamelijk wordt bepaald door de geometrie van het schor en geometriewijzigingen van het schor niet kunnen worden berekend of afgeschat kan het insluiten van mensen niet als onderscheidend criterium worden gehanteerd voor alternatieve spuiregimes. Wel zal in de studie worden aangegeven wanneer de geometrie van het schor aanleiding geeft tot gevaar voor insluiting. Dit wordt echter niet meegenomen als criterium bij de optimalisatie voor het spuiregime.

Veiligheid slikken

Door het ontstaan van drijfzand kan het betreden van slikken gevaarlijk zijn. Drijfzand ontstaat door een relatieve snelle afzetting van slib, waarbij het water geen tijd genoeg heeft om uit te stromen. Dit criterium wordt gekwantificeerd door de aanslibbingsnelheid van het slik. Hierbij wordt specifiek naar de sedimentatie van slib (zeer kleine deeltjes) gekeken en niet naar de sedimentatie van zand (normaliter goed gedraineerd).

Enigszins arbitrair wordt gesteld dat een aanslibbing van het slik groter dan 0,25 m per jaar gevaar kan opleveren. Hierbij is verondersteld dat het aangeslibde materiaal twee jaar nodig heeft om te draineren, zodat een onstabiele laag van 0,5 m kan ontstaan. Grotere aanslibbing dan 0,25 m per jaar op het slik is niet acceptabel.

Landschapsbeeld

Het criterium landschapsbeeld is een kwalitatief criterium. Hierbij wordt aangegeven in welke mate er een wijziging optreedt in vegetatietypen en/of geulpatroon. Het criterium landschapsbeeld kan de volgende waarde aannemen:

1. zeer positief
2. positief
3. onveranderd
4. negatief
5. zeer negatief

De waarden worden gescoord naar aanleiding van mate van verandering in vegetatietypen, oppervlak slik en ontwikkeling geulenstelsel. Hierbij worden de beschouwde alternatieven onderling vergeleken. Zeer positief wordt gescoord indien de verandering meer bedraagt dan 2/3 van de maximale verandering, waarbij de verandering positief gewaardeerd wordt (meer slikoppervlak, meer beweging geulen, meer kenmerkende ecotopen, meer verschillende ecotopen). Positief wordt gescoord als de verandering tussen 1/3 en 2/3 van de maximale verandering ligt.

Zeer negatief wordt gescoord op dezelfde manier op dezelfde manier als zeer positief met het verschil dat de verandering als ongewild wordt bestempeld wordt (minder slikoppervlak, minder beweging geulen, minder kenmerkende ecotopen, minder verschillende ecotopen).

Een positievere waardering is wenselijk.

2.4 Kwalitatieve beoordeling

De interpretatie van de modelresultaten door middel van bovengenoemde criteria dient met enige omzichtigheid te geschieden, omdat de resultaten van het 2D-model alsmede de gebruikte relaties ter interpretatie van de criteria niet universeel toepasbaar zijn en bepaalde aspecten negeren. Bij de beoordeling van de alternatieve spuiregimes worden daarom de volgende zaken kwalitatief meegenomen.

Ecologisch onderscheid zand en slikgedreven ecosysteem

Morfologisch en ecologisch dient binnen het Zwin een onderscheid te worden gemaakt tussen de grotendeels sterk morfodynamische en zandige milieus en de slibrijkere milieus. De ophoging dan wel aanzanding van het Zwin werkt vooral door in de bodemhoogte van de geulen, platen, slikken en mogelijk ook de lagere delen van de schorren, waar zand een wezenlijk onderdeel uitmaakt van het ophogingsproces. In de hogere delen van het Zwin, de hoge schorren, speelt eigenlijk alleen slib een rol. Aanvoer van zand is het gevolg van verstuiving en golfwerking bij langdurig inundatie. Deze processen worden niet meegenomen in de modelberekeningen. Eerder onderzoek heeft aangetoond dat deze processen in relatie tot het transport bij de Zwinmonding van ondergeschikt belang zijn. Verzanding van de hoge schorren kan echter alleen door de genoemde processen optreden.

Het succesvol tegengaan van de aanzanding van het het Zwin resulteert niet automatisch in het reductie van de aanslibbing in het Zwin. Het is zelfs mogelijk dat tengevolge van de spuiwerking een verschuiving in vegetatietypen optreedt (o.a. meer Engels Slijkgras), die tot

een snellere aanslibbing leidt. De effecten van vegetatie op de aanslibbing kunnen we echter niet modelmatig aangeven en vormen onderdeel van de interpretatie van de modelresultaten.

Natuurlijkheid processen en zekerheid van voorspelling

Het doen van ecologische effectvoorspellingen gaat altijd gepaard met onzekerheden. Deze onzekerheden hebben enerzijds betrekking op de nauwkeurigheid waarmee de standplaatsfactoren kunnen worden voorspeld en anderszijds met de nauwkeurigheid waarmee de relatie tussen standplaatsfactoren en vegetatietypen kan worden aangegeven.

De nauwkeurigheid waarmee de relatie tussen standplaatsfactoren en vegetatietype kan worden aangeduid hangt af van een aantal factoren. Zo kan er sprake zijn van na-ijling, in het geval van meerjarige plantensoorten. Voor veel soorten en met name voor halofyten zijn bijvoorbeeld de kiemingscondities bepalend voor de vestiging en is daarna de plant minder gevoelig voor bijvoorbeeld het chloridegehalte. Bovendien spelen enkele standplaatsfactoren een rol, die niet gemodelleerd worden, zoals weersinvloeden (neerslag, vorst e.d.).

Als alle conditionerende factoren bekend zijn, kunnen voorspellingen worden gedaan aan de hand van hydro/morfo/chloridesequenties. Een complicerende factor is het naar verwachting onregelmatig en weinig frequent spuien. Dit lijkt niet op bijvoorbeeld de invloed van rivierwater of uitstromend duinwater op brakwatergradiënten. Dit betekent dat goed gekeken moet worden naar de variabiliteit in zoutgehalte in de bodemvochthuishouding. De uiteindelijk invloed op de vegetatie loopt namelijk in hoofdzaak via het bodemwater.

2.5 Vertaling criteria naar doelstelling

Om de hoofddoelstelling en nevendoelestellingen te realiseren moet er een waardering aan de gedefinieerde criteria worden gegeven. Ter realisatie van de hoofddoelstelling is een keuze gemaakt door maar een klein aantal criteria mee te wegen (alleen klasse a criteria. Voor verdere optimalisatie naar nevendoelestellingen is een onderverdeling gemaakt in drie klasse, waarbij klasse a het belangrijkste is (criteria ten behoeve van de hoofddoelstelling), klasse b onderscheidend indien hoofddoelstelling wordt gehaald en klasse c als minst belangrijke aspecten wordt gezien. De klasse indelingen is gegeven in tabel 4.

Tabel 4
Beoordelingscriteria

Aspect	Criterium	Subcriterium/parameter	klasse
Morfologie Zwin	Stabiliteit monding	Netto sediment invoer	a
	Verlandingsnelheid geulen	geul A geul B geul C geul D	a a a a
	Verlandingsnelheid schorren	schor I schor II schor III schor IV schor V	b a a b a
	Oppervlakte slikken	oppervlak	b
	Ontwikkeling geulenstelsel	verandering aanval slik	c
	Inundatieduur/frequentie	inundatieduur 50% schor inundatieduur 10% schor inundatiefrequentie 50% schor inundatiefrequentie 10% schor	c c b b
Ecologie Zwin	Oppervlak vegetatietypen/ecotopen	oppervlak 13 ecotopen (apart) oppervlak 3 kensoorten (apart)	b a
	Aanwezigheid zout/zoet gradiënt	minimale saliniteit maximale saliniteit	c c
	Eutrofiëring vegetatietypen	hoeveelheid stikstof	b
	Waterkwaliteit permanente wateren	verblijftijd water in M3	c
Recreatie	Veiligheid ebgeul	waterspiegelstijging	a ¹
	Veiligheid schorren	waterspiegelstijging	a ¹
	Veiligheid slikken	aanslibbingsnelheid	a ¹
	Landschapsbeeld	kwalitatieve parameter	c

¹ Dit criterium geldt als een randvoorwaarden. Alternatief is niet acceptabel indien niet voldaan wordt aan bepaalde grens.

3 MORFOLOGISCH SYSTEEM ZWIN

3.1 Langtransport

De morfologische ontwikkeling van het Zwin wordt voor een belangrijk deel bepaald door het langtransport dat voor de monding optreedt. Dit langtransport bepaald voor een belangrijk deel de ontwikkeling van de monding van het Zwin en daarmee mede het sediment dat het Zwin in wordt getransporteerd.

Het langtransport kan onderverdeeld worden in drie zones, te weten:

- eolisch transport op het droge strand en de duinen
- brandingstransport veroorzaakt door brekende golven en getijstroming
- het transport op de vooroever voornamelijk veroorzaakt door de getijstroming

Door wind wordt zand van het droge strand en van de onbeschermden duinen geërodeerd. Dit zand kan zich in het Zwin afzetten op de schorren, slikken en in de geulen. Als gevolg van de relatief sterke begroeiing op de schorren en het regelmatig overstromen van de slikken en geulen wordt het zand door de wind eenmaal afgezet in het Zwin moeilijker erodeerbaar. Dit kan leiden tot een netto zandtoevoer naar het Zwin. De laatste jaren wordt het zand op het droge strand en in de duinen zoveel mogelijk vastgehouden met beplanting en/of rijsschermen. Hierdoor komt er relatief weinig zand vrij en is de zandtoevoer naar het Zwin gering. In eerdere studies wordt de invloed van eolisch zandtransport op de verlanding van het Zwin als ondergeschikt gekwantificeerd (Kerckaert, 1989).

Het brandingstransport is de belangrijkste sedimentstroom voor het Zwin. Het brandingstransport wordt opgewekt door de golven die breken op de kustbreken. Als deze golven onder een hoek naar de kust komen, wordt een stroming opgewekt in de brandingszone. Tesamen met de golfbreking, die het sediment in suspensie brengt, zorgt deze stroming voor een transport langs de kust. Het brandingstransport bestaat uit een transport in oostelijke en westelijke richting. Netto wordt er een oostelijk transport opgewekt tussen de 130.000 en 430.000 m³/jaar (Kerckaert, 1989).

Het brandingstransport wordt ter hoogte van de Zwinmonding gereduceerd ten gevolge van de grotere waterdiepte in de monding. Hierdoor neemt de transportcapaciteit af en bouwen zich zandbanken uit voor de monding. Deze zandbanken drukken de monding van het Zwin voor zich uit. Gemiddeld wordt de monding naar het oosten gedrukt door het netto transport naar het oosten. Echter gedurende korte periodes (bijvoorbeeld tijdens stormen uit het noorden of noordwesten) kan de monding ook naar het westen worden gedrukt.

Het sediment transport op de vooroever is relatief minder belangrijk voor het Zwin, omdat de vooroever door de monding van het Zwin niet wordt doorsneden. Uit de studie Oostkust (Eurosense, 1987) is het sediment transport op de vooroever bepaald op basis van metingen over een doortij -springtij cyclus. Er werd gevonden dat er een netto transport naar het westen is, welke onder stormcondities (golven groter dan 1,0 m) naar het oosten omkeert. Als schatting voor het jaarlijks netto transport wordt een waarde gegeven van 20.000 m³/jaar.

In eerder uitgevoerde studies naar het langtransport op de diepere zone voor de kust van Knokke wordt een waarde van 400.000 m³/jaar gerapporteerd. Deze waarde wordt aangegeven als bovengrens (Kerckaert, 1989). De verschillen in de transporthoeveelheden op de vooroever zijn voor de Zwinstudie minder belangrijk, omdat het transport ongestoord zeewaarts van de Zwinmonding plaatsvindt.

Wel van belang zijn de sedimentconcentraties in het water op de vooroever. Deze concentraties zorgen samen met de inkomende vloed, voor het zandtransport in de richting van het Zwin. Karakteristieke concentraties voor de kust van het Zwin zijn:

Tabel 5

Karakteristieke sedimentconcentraties op vooroever uit Eurosense, 1987

		Zonder golven		Met golven	
		Totaal	Zand	Totaal	Zand
Springtij	eb	250 mg/l	25 mg/l	500 mg/l	75 mg/l
	vloed	700 mg/l	60 mg/l	750 mg/l	60 mg/l
Gemiddeld getij	eb	450 mg/l	60 mg/l		
	vloed	650 mg/l	75 mg/l		
Doodtij	eb	90 mg/l	<25 mg/l	650 mg/l	80 mg/l
	vloed	300 mg/l	<25 mg/l	750 mg/l	60 mg/l

Uit de sedimentconcentraties gevonden op de vooroever (tabel 5) worden de volgende conclusies getrokken:

- sedimentconcentraties boven de 500 mg/l komen regelmatig voor;
- zandconcentraties bedragen ongeveer 10% van totale sedimentconcentraties;
- concentraties tijdens eb zijn gemiddeld twee maal zo hoog als tijdens vloed bij afwezigheid van golven;
- bij afwezigheid van golven zijn de concentraties bij springtij en gemiddeld tij vergelijkbaar en ongeveer een factor 2 à 3 hoger dan bij doortij;
- bij aanwezigheid van golven zijn de concentraties onafhankelijk van de getijconditie;

Tijdens periode met golven werden piekwaarden van zandconcentraties waargenomen van 1000 tot 2000 mg/l. Deze waarden traden op dichtbij de bodem op, voornamelijk tijdens vloed.

Langs de Zeeuws-Vlaamse kust komen horizontale zandgolven voor in het kustgedrag (Rijkswaterstaat, 1991). Dit uit zich in een cyclische ontwikkeling van de kustlijn. Als gevolg van getijgeulen langs de kust komen afwisselend periodes met aanzanding en periodes van erosie voor langs de kust. De waargenomen zandgolf voor de kust van Zeeuws-Vlaanderen verplaatst zich met ongeveer 100 m/jaar. De erosieve trend op de vooroever, zoals waargenomen tussen 1960 en 1985 zal zich niet doorzetten. Verwacht wordt dat de vooroeven tussen 1985 en 2040 een uitbouwde ontwikkeling te zien geeft. De ontwikkeling van de HW-lijn zal tot ongeveer 2000 een erosieve trend laten zien. Na 2000 wordt een stabiele ligging van de HW-lijn verwacht. (Roelse, 1988)

De afgelopen jaren is een aantal zandsuppleties uitgevoerd ter behoud van de stranden van Knokke (1977-1979, 1986, respectievelijke 8,5 miljoen m³ en 1 miljoen m³) en Cadzand (1988, ongeveer 0,6 miljoen m³, en gedurende verschillende werken aan de Zwinmonding). Deze zandsuppleties hebben waarschijnlijk het brandingstransport langs de Zwinmonding de afgelopen jaren vergroot.

3.2 Ontwikkeling van de Zwinmonding

De ontwikkeling van de Zwinmonding is sinds 1979 jaarlijks vastgelegd in het kader van de opmetingen van de kust (Eurosense, 1987). Door de ligging van de monding in de tijd te bekijken wordt een goed overzicht gekregen van het gedrag van de monding. Duidelijk te zien dat de zandbank ten westen van de Zwinmonding zich naar het oosten uitbreidt en daarmee de toegangseul naar het oosten wegdukt. Als de eul te ver naar het oosten is gedrukt, wordt (meestal kunstmatig) de eul weer naar het westen verlegd.

De vorming van zandbanken en geulen is te herkennen tot aan ongeveer de dieptelijn TAW -2,0 m. Deze dieptelijn loopt vrijwel ongestoord voor de monding langs. Dit bevestigt de eerdere aanname dat het transport buiten de brandingszone slechts een beperkte invloed heeft op de ontwikkeling van het Zwin.

De stabiliteit van een getij-inlaat kan worden beoordeeld aan de hand van de verhouding tussen het langstransport en het getijprisma door de inlaat. Als deze verhouding voor het Zwin wordt bekeken wordt gevonden dat het Zwin een instabiele inlaat is welke op den duur zal dichtslibben (quotiënt ligt tussen 0,4 en 0,8).

Doordat de erosieve werking van de eb en vloedstroming door de monding niet groot genoeg zal bij natuurlijke ontwikkeling sluiting van de inlaat door het langstransport regelmatig voorkomen. Door stromen kan er weer een nieuwe toegangseul naar het Zwin ontstaan. Om deze ontwikkeling te wijzigen, zonder dat regelmatige beheerswerken worden uitgevoerd, zal of het langstransport gereduceerd moeten worden of het getijprisma van het Zwin vergroot moeten worden.

Reductie van het langstransport kan eigenlijk alleen worden gerealiseerd door de bouw van strekdammen langs de monding. Het gewenste dynamisch kustonderhoud, waarbij de ontwikkeling van de kust wordt vrijgelaten aan de natuur, staat echter haaks op de constructie van strekdammen. Uit het oogpunt van kustbeheer is het niet wenselijk om harde constructies nabij de Zwinmonding te realiseren.

De andere optie is om het getijprisma te vergroten. Om buiten het gebied van instabiel gedrag te komen is een vergroting van het getijvolume met minimaal een factor 2 gewenst. Een vergroting van het getijprisma van deze orde van grootte kan alleen worden gerealiseerd door vergaand afgraven van de schorren op de Zwinvlakte of door ontpoldering van achterliggende gebieden. Beide opties zijn binnen deze studie niet aan de orde, zodat gerekend moet worden op blijvend instabiel gedrag van de Zwinmonding.

Sinds 1989 zijn gemiddeld iedere twee jaar beheerswerken uitgevoerd in de monding van het Zwin. Deze werken behelsde het verleggen van de geul en het graven/ruimen van een zandvang net achter de monding. De natuurlijke ontwikkeling is door deze ingrepen drastisch verstoord. Gezien de regelmatige westwaartse verplaatsing van de monding gedurende deze werken kan worden geconcludeerd dat de natuurlijke oostwaartse migratie van de toegangsgeul naar het Zwin onverminderd doorzet.

Tussen de Belgische en Nederlandse duinenrij heeft de Zwinggeul een meanderend verloop. Deze meander is in 1981, 1983, 1985 en 1987, 1989 en 1995 goed te herkennen in de hoogtekarten. Hoewel de geul bij verschillende beheerswerken is rechtgetrokken, blijkt de natuurlijke ontwikkeling een voorkeur te hebben voor een meander. Er ontstaat een bocht onder de zeezijde van de Nederlandse duinen, meer landinwaarts gevolgd door een bocht onder de Belgische duinen en langs de schorrenrand.

Beide bochten lijken gevormd te worden door de toevoer van zand. Dicht tegen de brandingszone lijkt er een resulterend transport naar het oosten plaats te vinden (het netto brandingstransport), terwijl hoger op het profiel (tegen de duinen aan) een netto transport naar het westen aanwezig lijkt. Dit kan worden veroorzaakt door de meer noordelijk georiënteerde golven bij stormopzet. Hierdoor vindt er tijdens stormperiodes (met hoge waterstand) een resulterend transport naar het westen plaats. Dit transport dringt de geul richting de Belgische duinenrij.

De sedimenttransporten dicht onder de duinenrij kunnen ook een rol spelen bij de snelle opvulling van de noordelijke zandvang in geval van storm (Technische Werkgroep Zwin, 1996). Uit de ruimingen van de zandvang in 1990, 1992, 1994 en 1997 kan worden geconcludeerd dat er jaarlijks ongeveer 45.000 m³ zand sedimenteerd in de noordelijke zandvang en jaarlijks nog eens ongeveer 25.000 m³ in de monding van de geul. Deze volumes zijn afgeleid uit de uitgevoerde werken tussen 1989 en 1995 (Technische Commissie Zwin, 1996).

Het wordt waarschijnlijk geacht dat de aanzanding aanzienlijk wordt verhoogd door de aanwezigheid van de zandvang, omdat zowel het sediment transport het Zwin in als het sediment transport het Zwin uit wordt onderbroken. De autonome aanzanding zonder aanwezigheid van de zandvang leidt vermoedelijk tot kleinere aanzandingsvolumes in de Zwinmond. Echter de aanzandingssnelheid in de overige geulen, voornamelijk het zuidelijke deel van de hoofdgeul (geul C) kan groter worden tenopzicht van de situatie met zandvang.

3.3 Ontwikkeling Zwinvlakte

De Zwinvlakte wordt gekenmerkt door de hoofdgeul, lopende van de monding naar het zuiden, en vier kleinere kreek lopend naar het westen. De eerste zijkreek onder de Belgische duinen (geul B) en de meest zuidelijke zijkreek net boven de internationale dijk (geul D) zijn de belangrijkste. Deze kreek zorgen voor de getijdoordringing naar de meer westelijk gelegen schorren en meertjes. Daarnaast zijn er hoger gelegen schorren, welke alleen bij springtij nog onder water stromen.

De hoofdgeul vertoont tussen 1989 en 1993 een sterke aanzanding met zandige sedimenten. Deze aanzanding manifesteert zich in het gebied tussen de monding en de zuidelijke zandvang, waar een gemiddelde bodemverhoging tussen de 0,10 en 0,15 m per jaar optreedt. Tussen 1993 en 1995 treedt er geen verdere aanzanding op en lijkt er zelfs een lichte erosie van de geulbodem op te treden van ongeveer 0,10 m in twee jaar. Wel vormt zich vanuit het westen een zandtong in de geul, welke zich zuidoostelijk uitbreidt. Hierdoor wordt het diepste gedeelte van de geul in oostelijke richting verplaatst.

De voormalige meertjes M1 en M2 in het zuiden van het Zwin zijn in 1993 geheel opgevuld en zelfs al gedeeltelijk begroeid. De aanzanding, oplopend tot 0,15 m per jaar, is na 1993 niet meer waargenomen. Er vindt op dit moment voornamelijk aanslibbing plaat, waardoor er een dun sliblaagje aanwezig is op de voornamelijke zandige platen.

De kreek onder de Belgisch duinen (geul B) is afwisselend licht aanzandend en eroderend. De bodemveranderingen zijn kleiner dan 0,05 m per jaar. Alleen tussen 1993 en 1995 heeft zich een relatief grotere aanzanding gemanifesteerd als gevolg van een zuidoostelijke verplaatsing van de mond. Het wordt niet verwacht dat deze ontwikkeling zich zal voortzetten, zodat voor geul B een stabiele ligging wordt verwacht, met afwisselend lichte aanzanding en erosie.

De meest zuidelijke kreek (geul D) heeft tussen 1991 en 1993 een aanzandende tendens gehad (Eurosense, 1993). Over zijn hele lengte is de geul ondieper geworden en de bedding vertoont talrijke zandplaten. Tussen 1993 en 1995 zijn uit de fotogrammetrische opmetingen geen significante veranderingen meer geconstateerd (Eurosense, 1995). Door de aanwezigheid van blijvend water in de geul kan echter d.m.v. luchtfotogrammetrie geen verder conclusies over de ontwikkeling van de geul worden getrokken. Gezien de sporadische vulling en lediging van meer M3, met als voornaamste reden het uitschuren van geul D kan worden geconcludeerd dat in geul D aanzanding optreedt. Door ontbreken van verdere gegevens kan deze aanzanding niet nader worden gekwantificeerd.

De hoogteverandering van de schorren kan uit de tweejaarlijkse opmeting met behulp van fotogrammetrie tussen 1987 en 1995 niet worden vastgesteld. Alleen voor enkele lokale gebieden is een significante hoogteverandering (groter dan 0,25 m) met zekerheid vast te stellen. Hieruit kan worden geconcludeerd dat de algemene sedimentatie op de schorren kleiner is dan 0,03 m per jaar. Een ruwe schatting van de jaarlijkse sedimentatie van de schorren kan worden verkregen uit het verschil in hoogteligging tussen de schorren in het Zwin en de hoogte van de Willem-Leopoldpolder (Kleef, 1996). Uit dit hoogteverschil van 1 à 1,5 m en de verstreken tijd sinds inpoldering in 1872 kan een sedimentatiesnelheid van 0,01 tot 0,02 m per jaar worden afgeleid (Kleef, 1996). Dit komt redelijk overeen met de maximale waarde afgeleid uit de fotografisch opname.

Uitzondering op de langzame aanzanding vormen de voormalig meertjes M1 en M2. Deze meertjes lieten voor 1989 een aanzanding zien van meer dan 0,15 m per jaar. In de periode 1987 en 1995 varieert de aanzanding over dit gedeelte tussen 0,25 m en 0,75 m. Omdat de meertjes thans geheel zijn opgevuld zal deze sedimentatie in de toekomst niet meer optreden. Verwacht wordt dat de sedimentatie gelijk is aan de overige schorvlaktes.

Ten oosten van de noordelijke zandvang ligt een afgesloten schor. Ook op deze schor vindt een grotere aanzanding plaats dan op de overige schorren. Dit komt waarschijnlijk door zijn afgeschermd ligging (sinds 1989) en de nabijheid van de monding, waardoor relatief veel gesuspendeerd slib en zand op dit schor kan bezinken. Het schor geeft een gemiddeld aanzanding tussen 1987 en 1995 van 0,25 tot 0,50 m, ongeveer 0,04 à 0,05 m per jaar. De zandvang schijnt weinig invloed te hebben op de aanzandingsnelheid van dit schor.

Samenvattend kunnen de volgende aanzandingsnelheden voor het Zwin worden aangehouden:

1. geul A: 0,50 tot 0,75 m/jaar (inclusief zandvang)
2. geul B: 0 +/- 0,05 m/jaar
3. geul C: -0,05 tot 0,10 m/jaar als gevolg van onderhouden zandvang
4. geul D: onbekende aanzanding
5. schor I: 0,04 tot 0,05 m/jaar
6. schorren II-V: 0,01 tot 0,03 m/jaar

De aanzanding in de geulen bestaat vooral uit zand, terwijl de aanzanding op de schorren veel meer uit een mengsel van zand en slib bestaat, waarbij moet worden aangetekend dat op voormalige zandwinplaatsen een zandige bodem wordt gevonden (meertjes M1 en M2).

Verder locale aanzanding is het gevolg van menselijk ingrijpen in het gebied, zoals de aanleg van een zanddempel in het centrale gedeelte van het Zwin. Daarnaast heeft in het toegankelijke gedeelte enige verstuiwing op (o.a. nabij het fossiele duin), waarschijnlijk als gevolg van betreding van vaste paden.

Naast de beheerswerken in de monding van het Zwin is er bij de aanleg van de internationale dijk veel zand en klei gewonnen in het Zwin. Deze ingrepen zorgen voor een betere beschikbaarheid van zand in het Zwin zelf. Hierdoor kunnen de natuurlijke transportprocessen in het Zwin zijn verstoord. Daarnaast wordt extra zand uit de directe omgeving van de ingreep gevraagd om het natuurlijke evenwicht van de bodemligging te herstellen.

3.4 Autonome ontwikkeling vegetatietypen/ecotopen

Bij nadere beschouwing van de vegetatiekaarten blijkt een verschil aanwezig tussen de zonering aan de Belgische en Nederlandse zijde die terug is te voeren op het peilbeheer aan de Belgische kant. In het Belgische deel treffen we de meeste ecotooptypen tot veel grotere hoogte in het profiel aan. Dit geldt met name voor de platen, slikken en lage schorren. Voor de hogere schorren is dit verschil minder groot, omdat deze vrijwel uitsluitend worden bepaald door de springvloeddynamiek.

De autonome ontwikkeling in vegetatietypen hangt vooral samen met veranderingen en verschuivingen in het areaal aan slikken en zandplaten. Deze areaalverschuivingen dienen evenwel gecorrigeerd te worden met het open water oppervlak aan vooral de Belgische zijde van het Zwin welke een resultante is van het peilbeheer.

Het areaal aan schorren is vrijwel constant. Wel komen hier veranderingen in type voor welke vooral wijzen op een opschuiven naar een hogere positie in het profiel. Een deel van de veranderingen op het niveau van subassociaties hangt echter vooral af van de uitbreiding van enkele kensoorten, waaronder gewone zoutmelde. Dit opschuiven naar een hogere positie hangt mogelijk samen met een ophoging van de schorren als gevolg van sedimentatie en een grotere invloed van zand, waardoor condities representatief voor een hogere positie (o.a. drainage, zomerse vochttekorten) eerder in een lagere positie worden aangetroffen.

Naar verwachting bestaat de autonome ontwikkeling uit een verdere verkleining van het areaal aan slikken ten gunste van zandplaten en in mindere mate ook schorren. De schorren tenderen tot een verschuiving ten gunste van de hoger in de sequentie gelegen typen.

3.5 Autonome ontwikkeling kensoorten

Er zijn vegetatiekaarten beschikbaar van afzonderlijke jaren. Van jaar tot jaar komen verschillen voor in de ligging van vegetatietypen en ook de aanwezigheid van specifieke soorten. Zo is het areaal en patroon aan Engels Slijkgras relatief constant en wordt er met betrekking tot Gewone Zoutmelde een aanzienlijke uitbreiding geconstateerd. Het areaal aan Zeekraal neemt af met het areaal aan slikken.

De uitbreiding van Gewone Zoutmelde hangt mogelijk samen met twee factoren:

- een reeks betrekkelijk zachte winters voor 1995 (referentiesituatie), waardoor de vorstgevoelige Gewone Zoutmelde beter de jaren is doorgekomen;
- een toenemende verzanding van het Zwin.

Waarschijnlijk zijn door aanzanding de standplaatscondities voor Gewone Zoutmelde in de laatste jaren geleidelijk aan verbeterd. De snelle uitbreiding in de laatste jaren kan in dat geval gezien worden als het opvullen van de al beschikbare en geschikt geworden standplaatsen.

Het is opmerkelijk dat de Gewone Zoutmelde in het Zwin tegenwoordig ver van de geulen voorkomt op plaatsen die zij van nature niet inneemt. Van nature komt de Gewone Zoutmelde vooral voor op oeverwallen, omdat zij gebaat is bij een combinatie van goed gedraineerde en tergelijktijd zoute condities. Goed gedraineerde condities op grotere afstand van een geul vragen om een relatief zandig profiel en een relatief diepe ligging van het grondwaterpeil. Niet alle bezochte standplaatsen van de Gewone Zoutmelde staan op het eerste oog in een sterk zandig profiel. Toch is er blijkbaar een relatief goede drainage. Dit kan het gevolg zijn van vier factoren:

- afnemende amplitude in getij, waardoor tijdens een gemiddeld hoogwater er minder hoge peilen worden bereikt. Dit kan het gevolg zijn van een afgeknepen monding van het Zwin;
- erosie van de geulen, waardoor sneller een relatief lager ebpeil wordt bereikt;
- relatief droge voorjaar en zomers;
- groeiseizoenen met betrekkelijk veel inundatie als gevolg van door stormen opgestuwde hoogwaters.

De invloed van voornoemde factoren kan (nog) niet worden nagegaan. Als het ontbreken van Gewone Zoutmelde in het Belgische deel van het Zwin vooral geweten kan worden aan het

opstuwen van de peilen, mag duidelijk zijn dat vooral de drainagecondities bepalend zijn voor de aanwezigheid van deze plant. Mogelijk dat het beschrijven van bodemprofielen uitsluitend kan geven op de sedimentatiegeschiedenis van de laatste jaren voor een aantal representatieve schorren. Het mag duidelijk zijn dat ook een succesvolle verdere uitschuring van de ebgeul kan leiden tot een verdere uitbreiding van de Gewone Zoutmelde.

Aan Belgische zijde zal de ontwikkeling van vegetatietypen mede afhangen van het gevoerde peilbeheer. Zoals eerder aangegeven, is de aanwezigheid van permanente gestuwde wateren van grote invloed op de vegetatiezonering en daarmee ook op het areaal aan vegetatietypen.

van randvoorwaarden geeft problemen bij droogvallen van roostercellen op of nabij de rand door verschillen in bathymetry tussen het Kuststrookmodel en het Zwin-model.

4.2 Calibratie van het stromingsmodel

4.2.1 Calibratie-gegevens

Het Zwin-model is gecalibreerd op waterstanden, debieten en stroomsnelheden. Gebruikte calibratiegegevens zijn afkomstig uit rapporten van de Dienst der Kusthavens van de Administratie Waterinfrastructuur en Zeewezen (Eurosense 1991a, 1991b, 1993 en IRO 1989). In deze rapporten worden voor verschillende jaren resultaten gepresenteerd van metingen van waterstanden en stroomsnelheden op verschillende locaties in het Zwin. Alle metingen werden verricht rond springtij.

Als uitgangspunt bij de calibratie van het model zijn de metingen van 20 augustus 1993 genomen. Voor die dag zijn meetresultaten beschikbaar op locaties Zuid, West en M3.

Aangezien het model gebaseerd is op bodemgegevens uit 1995 en de meetgegevens dateren uit 1993, kunnen er verschillen ontstaan tussen berekeningsresultaten en gemeten waterstanden en stroomsnelheden op 20 augustus 1993. Bij de calibratie van het model wordt hiermee rekening gehouden door de spreiding in de meetgegevens mee te wegen bij de calibratie.

4.2.2 Aanpassingen aan het stromingsmodel

Calibratie van het model op de metingen heeft geleid tot de volgende aanpassingen aan de bodemschematisatie:

- a) verlaging van de zuidelijk gelegen schorren met 0,1 m;
- b) locale verhogingen van de bodem rondom meer M3.

De zuidelijk gelegen schorren zijn verlaagd (a) om een grotere komberging te creëren en daarmee de piekdebieten door de geulen A en C te verhogen. De verlaging van de zuidelijk gelegen schorren kan als compensatie worden gezien voor fluctuaties in grondwaterstanden welke in dit gebied optreden (Kleef, 1996). Daarnaast werkt de verlaging ook als compensatie voor de aangehouden waterschijf op de schorren bij het droogvallen (model-onnauwkeurigheid).

De locale verhogingen van de bodem rondom meer M3 (b) bleken nodig, omdat enkele hooggelegen locaties in het Zwin niet (of onvoldoende) in de bodemschematisatie voorkwamen. Hierdoor kon een gedeelte van het meer M3 afwateren op geul B bij waterhoogte onder het peil van meer M3. Dit komt niet overeen met de werkelijke situaties, zodat met een handmatige aanpassing van de bodemschematisatie de schorren rondom meer M3, waar nodig, zijn verhoogd.

Tijdens de calibratie zijn nog lokale aanpassingen verricht aan de geulen om waterstanden, debieten en stroomsnelheden beter te voorspellen. Omdat de nauwere (delen van) geulen slechts één roostercel breed zijn, heeft een verlaging van de bodem van de geul automatisch ook een verruiming van de geul tot gevolg. Hierdoor moet er een compromis gezocht worden tussen het goed schematiseren van de geuldiepten en het goed scheamtiseren van het doorstroomoppervlak. Om zo goed mogelijke aan beide eisen te voldoen is het onvermijdelijk dat de geometrie van geulen op sommige locaties afwijkt van de werkelijk bestaande geometrie (uit 1995), omdat in de meeste gevallen op doorstromingsprofiel is geschematiseerd daar dit het grootste effect heeft op de sedimenttransporten.

De bodemruwheid in het model wordt gekarakteriseerd door de Manning-coëfficiënt. In het gehele model is de Manning-coëfficiënt bepaald op $0,026 \text{ s/m}^{0,33}$, behalve in de hoofdgeul (geul A) waar een waarde van $0,020 \text{ s/m}^{0,33}$ geldt, en op de schorren waar een waarde van $0,030 \text{ s/m}^{0,33}$ geldt (dus: gladder in de hoofdgeul en ruwer op de schorren). Deze combinatie van bodemruwheden leidde tot de beste resultaten voor de hoogte van de getijgolf in het Zwin.

Ter plaatse van de overgang van geul D naar meer M3 is een dam geschematiseerd. Op deze plaats bevindt zich in werkelijkheid een dam waar water doorgesluisd kan worden. In het model is de dam gesloten.

4.2.3 Modelresultaten calibratie

Ten behoeve van calibratie van het model is een springtij gesimuleerd. Het gesimuleerde springtij wordt gekarakteriseerd door de volgende waterstanden bij Cadzand:

HW: TAW + 4,79 m (NAP + 2,49 m)

LW: TAW + 0,15 m (NAP - 2,15 m)

waterstanden

In tabel 6 zijn de berekende waterstanden op drie locaties in het Zwin afgezet tegen de gemeten waterstanden op 20 augustus 1993. Op deze dag was de hoogwaterstand bij Cadzand TAW + 4,91 m.

Tabel 6:

Berekende waterstanden en gemeten waterstanden op 20 augustus 1993

Locatie	HW/LW	Berekende waterstand [m TAW]	Verschil t.o.v. waterstand Cadzand [m]	Gemeten waterstand [m TAW]	Verschil t.o.v. waterstand Cadzand [m]
Zuid	HW	+ 4,75	- 0,04	+ 4,94	+ 0,03
Zuid	LW	+ 3,12		+ 2,52	
West	HW	+ 4,78	-0,01	+ 4,94	+0,03
West	LW	+ 3,55		+ 3,62	
M3	HW	+ 4,70	-0,09	+ 4,82	-0,09
M3	LW	+ 3,87		+ 3,69	

bedraagt 430.000 m³. Dit komt overeen met de kombergingsberekening uit de Zwintopografie van 1993 (Eurosense, 1993). Het berekende totale debiet is echter hoger dan de gemeten totale instroming tijdens de meetsessie van augustus 1993. Om het totale debiet door raai Zuid beter te simuleren zou de verlaging van de zuidelijke schorren niet moeten worden doorgevoerd (vermindering komberging van 40.000 m³). De piekdebieten in het model worden dan echter te klein.

Omdat het sedimenttransport meer wordt beïnvloed door het piekdebiet dan door het totale debiet is een goede simulatie van de piekdebieten nagstreefd.

De berekende piekdebieten op locatie West zijn circa twee maal zo groot als de gemeten piekdebieten op 20 augustus 1993. Dit wordt veroorzaakt door de te ruime schematisatie van geul B. Verdere verkleining van geul B leidt tot droogvallen van de geul, waardoor de getijdoordringing over het noordelijke gedeelte van de Zwinvlakte niet goed meer wordt gemodelleerd. De te grote debieten door geul B worden geaccepteerd, om de getijdoordringing in het noordelijke gedeelte van het Zwin goed te simuleren.

De berekende piekdebieten op locatie M3 stemmen goed overeen met de gemeten piekdebieten. In figuren 4.5a en b zijn de berekende en gemeten debieten weergegeven.

Stroomsnelheden

In tabel 8 worden de berekende piekstroomsnelheden vergeleken met de gemeten stroomsnelheden op 20 augustus 1993.

Tabel 8:
Berekende piekstroomsnelheden en gemeten piekstroomsnelheden op 20 augustus 1993

Locatie	Zwin in/uit	Berekende stroomsnelheid [m/s]	Gemeten stroomsnelheid [m/s]	Verschil [m/s]
Zuid	in	0,84	0,92	0,08
Zuid	uit	0,55	0,43	0,12
West	in	0,57	0,34	0,23
West	uit	0,23	0,12	0,11
M3	in	0,81	0,52	0,29
M3	uit	0,55	0,36	0,19

Op locatie Zuid benaderen de berekende pieksnelheden de gemeten pieksnelheden. De verschillen zijn, gezien de aanzienlijke wijziging in geometrie van de geul ter plaatse, acceptabel.

De berekende piekstroomsnelheden op locatie West zijn in het algemeen te hoog. Dit hangt samen met de eveneens hogere berekende piekdebieten op deze locatie.

Op locatie M3 zijn de berekende piekstroomsnelheden eveneens hoger dan gemeten. Dit wordt veroorzaakt door de hogere bodemligging in 1995 ten opzichte van 1993 (TAW +3,9 m in 1995

en TAW +3,7 m in 1993). Verwacht mag worden dat deze hogere snelheden in werkelijkheid optreden.

Kentering op locatie Zuid treedt op ongeveer 10 minuten na lokaal HW, op locatie West ongeveer 5 minuten na lokaal HW en op locatie M3 ongeveer 15 minuten na lokaal HW. Dit komt goed overeen met de meetresultaten.

4.3 Opzet van het golfmodel

4.3.1 Algemeen

Het golfmodel van het Zwin is opgebouwd in het model Delft2D-WAVE.

Het model Delft2D-WAVE berekent tweedimensionale golfvoortplanting op een rechtlijnig rooster. In het model wordt rekening gehouden met:

- refractie (verandering in golfvoortplantingsrichting ten gevolge van de variatie in fasesnelheid langs een golfkam)
- windgroei (opwekking van golfenergie door wind)
- bodemdissipatie (verlies van golfenergie door bodemwrijving)
- dissipatie door breking (verlies van golfenergie door breking van golven op steilheid en op ondiepte)
- stromingsdissipatie (verlies van golfenergie ten gevolge van een aan de golfvoortplantingsrichting tegengestelde stroming)

4.3.2 Rekenrooster en bodemschematisatie

Het golfmodel is gebouwd op een rechtlijnig rekenrooster dat over het rekenrooster van het stromingsmodel omvat. De bovenrand van het model, waar randvoorwaarden opgelegd worden, is gelegen op een afstand van ongeveer 5 km uit de kust.

In het golfmodel is een kleiner rooster genest dat over het Zwin ligt. De bovenrand van dit rooster ligt ter hoogte van de Zwin-monding, zie figuur 4.7.

Het grote rekengrid van het golvenmodel heeft afmetingen van 25 m in golfvoortplantingsrichting en 50 m loodrecht op deze richting.

Het golfmodel interpoleert de bodemgegevens van het stromingsmodel op het bodemrooster. Voor het zeewaarts van het stromingsmodel gelegen gebied zijn bodemdieptegegevens op het rooster geïnterpoleerd uit de beschikbare bodemgegevens.

Het geneste bodemrooster heeft cellen van 10 m in golfvoortplantingsrichting en 20 m loodrecht op deze richting.

Voor een beschrijving van de bodemschematisatie van het stromingsmodel wordt verwezen naar sectie 4.1.5.

4.4 Calibratie golfmodel

Er zijn geen gegevens voorhanden om het golvenmodel te calibreren. Calibratie van het golfmodel kan allen gebeuren door aanpassing van bodemschematisatie en bodemwrijving. De bodemschematisatie is aangepast aan de stromingsberekening en kan binnen het Zwin niet meer worden veranderd.

Uitgebreide toepassing van het golvenmodel heeft uitgewezen dat voor de Nederlandse situatie, langzaam variërende zandbodem, de standaard bodemwrijving het best voldoet. De ervaring met het model geven ook aan dat aanvullende calibratie van het golvenmodel niet noodzakelijk is.

5 REFERENTIES

Bruun, P.(1978)

Stability of tidal inlets. Development in geotechnical Engineering. Elsevier scientific Publishing Company, Amsterdam.

Eurosense (1987)

Morfologie Oostkust, evaluatie van de Zwinmonding periode 1979 - 1987.
Rapport Oost 87.002.

Eurosense (1991a)

Natuurreservaat "Het Zwin". Evolutie tot maart 1991, Morfologie, hydrodynamica en sedimentologie. Rapport no. Oost 91.402.

Eurosense (1991b)

Natuurreservaat "Het Zwin". Evolutie tot augustus 1991, Morfologie, hydrodynamica en sedimentologie. Rapport no. Oost 91.403.

Eurosense (1993)

Natuurreservaat "Het Zwin". Evolutie tot augustus 1993, Morfologie, hydrodynamica en sedimentologie. Rapport no. Oost 93.401.

Eurosense (1994)

Vooroever Zwin, sedimentdynamica. Rapport no KDN 94.005

Eurosense (1995)

Natuurreservaat "Het Zwin". Evolutie van de morfologie en de vegetatie tot september 1995.
Rapport no. Oost 95.401.

HAEGON (1989)

Overschrijdingsfrequentie van golfhoogte; periode 1977-1986
Figuur 6.1.1 uit rapport ZHA7321/89.2577.

IRO (1989)

Getijde processen in het Zwin, Zeeuws Vlaanderen. Rapport Geopro 1989.03. Rijksuniversiteit Utrecht, vakgroep fysische geografie.

Kerckaert, P (1989)

De aanzandingsmechanisme van het Zwin en de maatregelen om hieraan te verhelpen.
Gepubliceerd in Water, nr 49, nov/dec 1989.

Kleef, van O., et al (1997)

Hydraulische invloed van structurele ingrepen tegen de verzanding van het Zwin. In
Infrastructuur in het Leefmilieu. Nummer 4/97.

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.

Roelse, P. en Maranus, J.W. (1988)

prognose kustontwikkeling Zeeland 1990-2090; beschrijving methode en resultaten fase 2. Rijkswaterstaat, nota GWWS-88.409

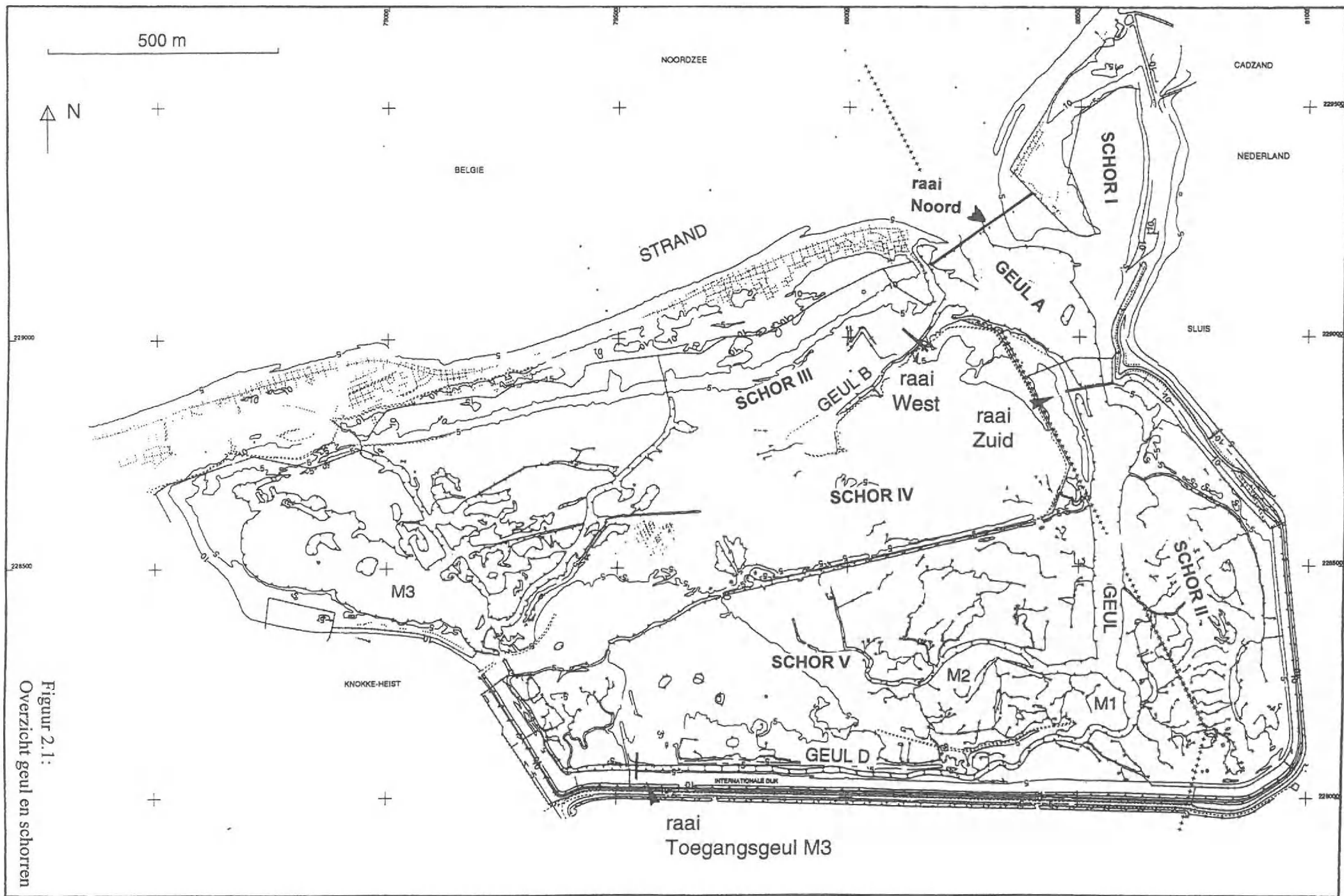
Rijkswaterstaat (1998)

Statistische informatie golfhoogte, gemeten bij lokatie Scheur Oost.

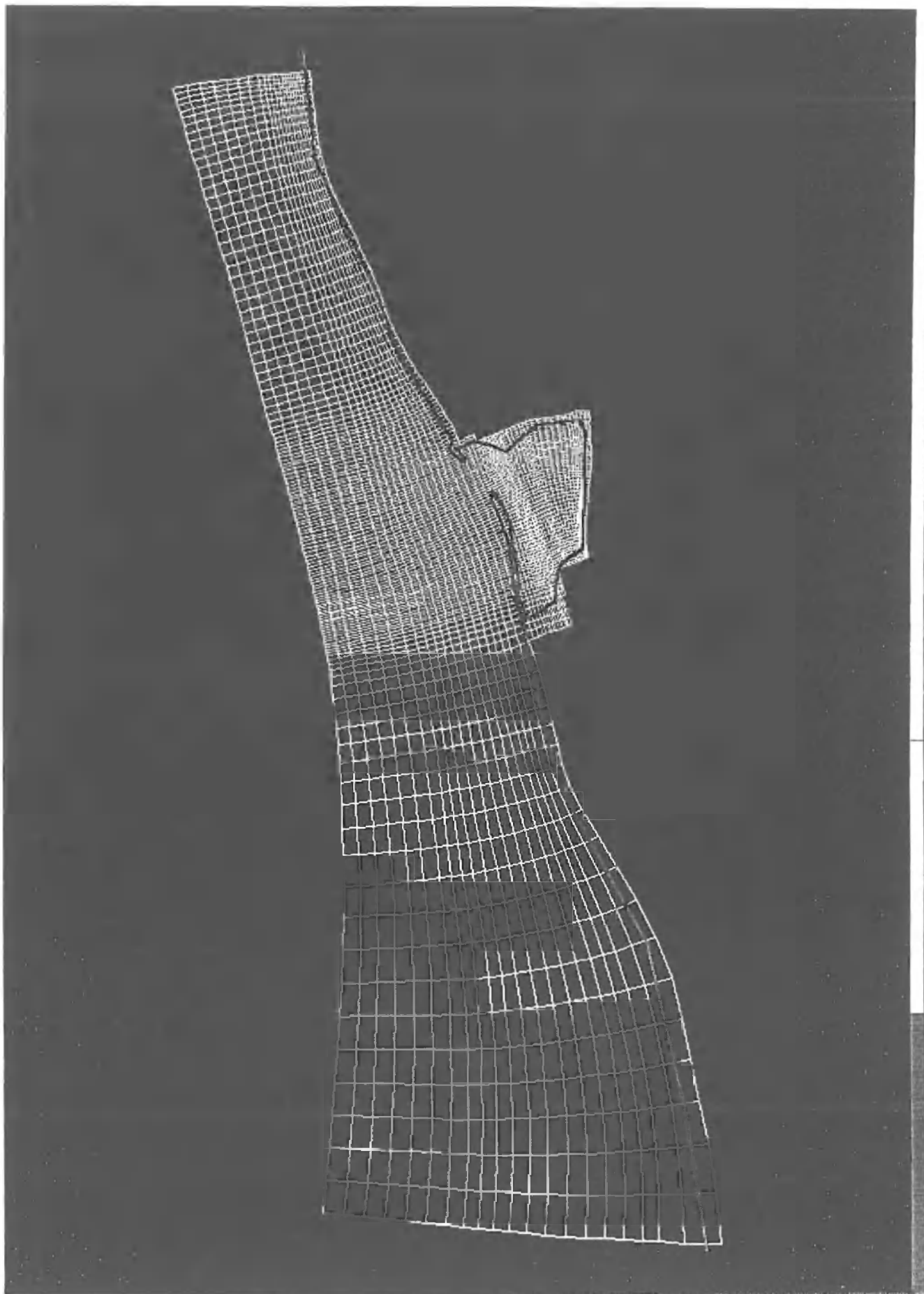
Directie Zeeland, memo axi-hmc9808

Technische Werkgroep van de Zwincommissie (1996)

Natuurreservaat "Het Zwin". Evaluatie van de zandvang, periode 1989 - 1996. rapport ZWIN 96.001.



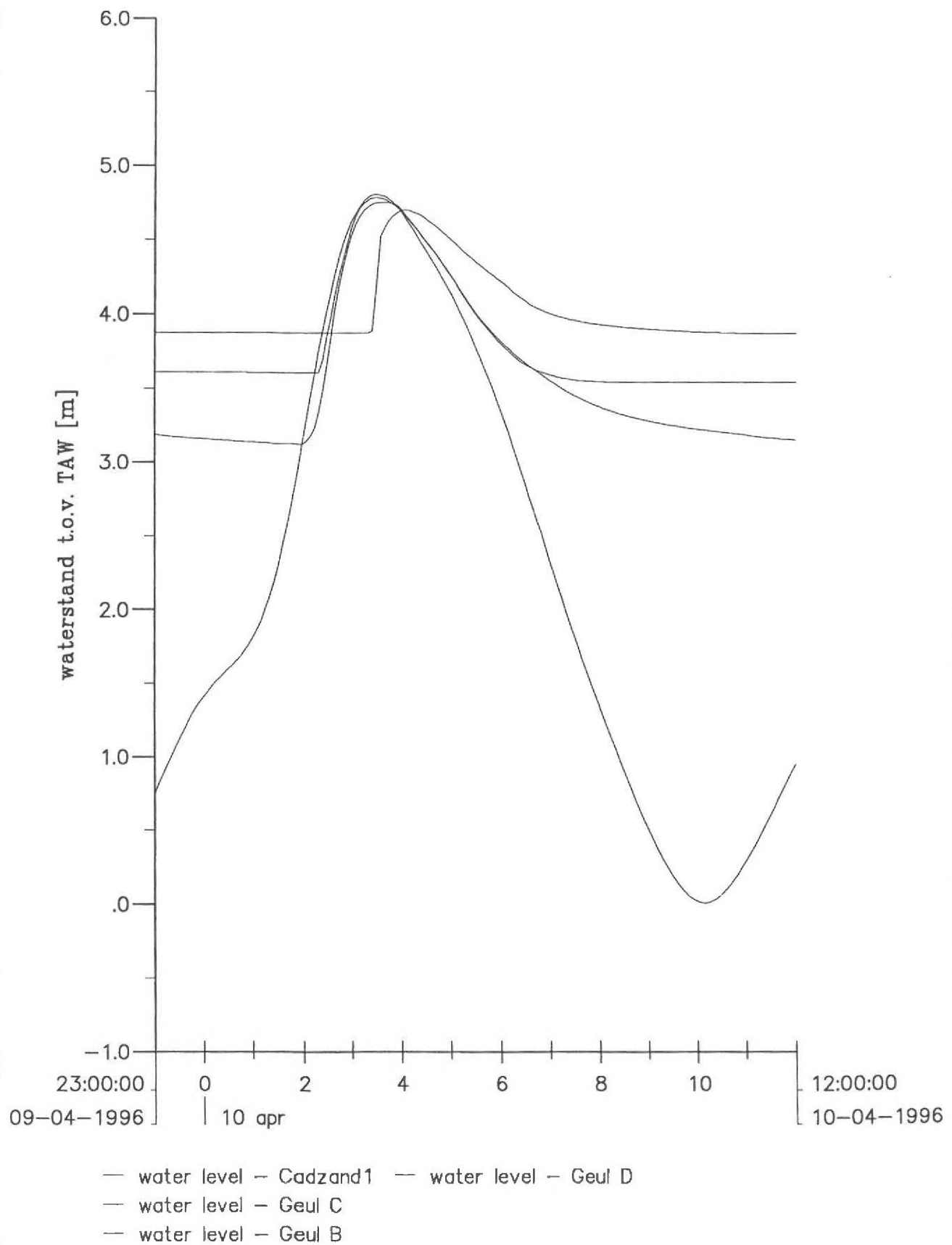
Figuur 2.1:
Overzicht geul en schorren



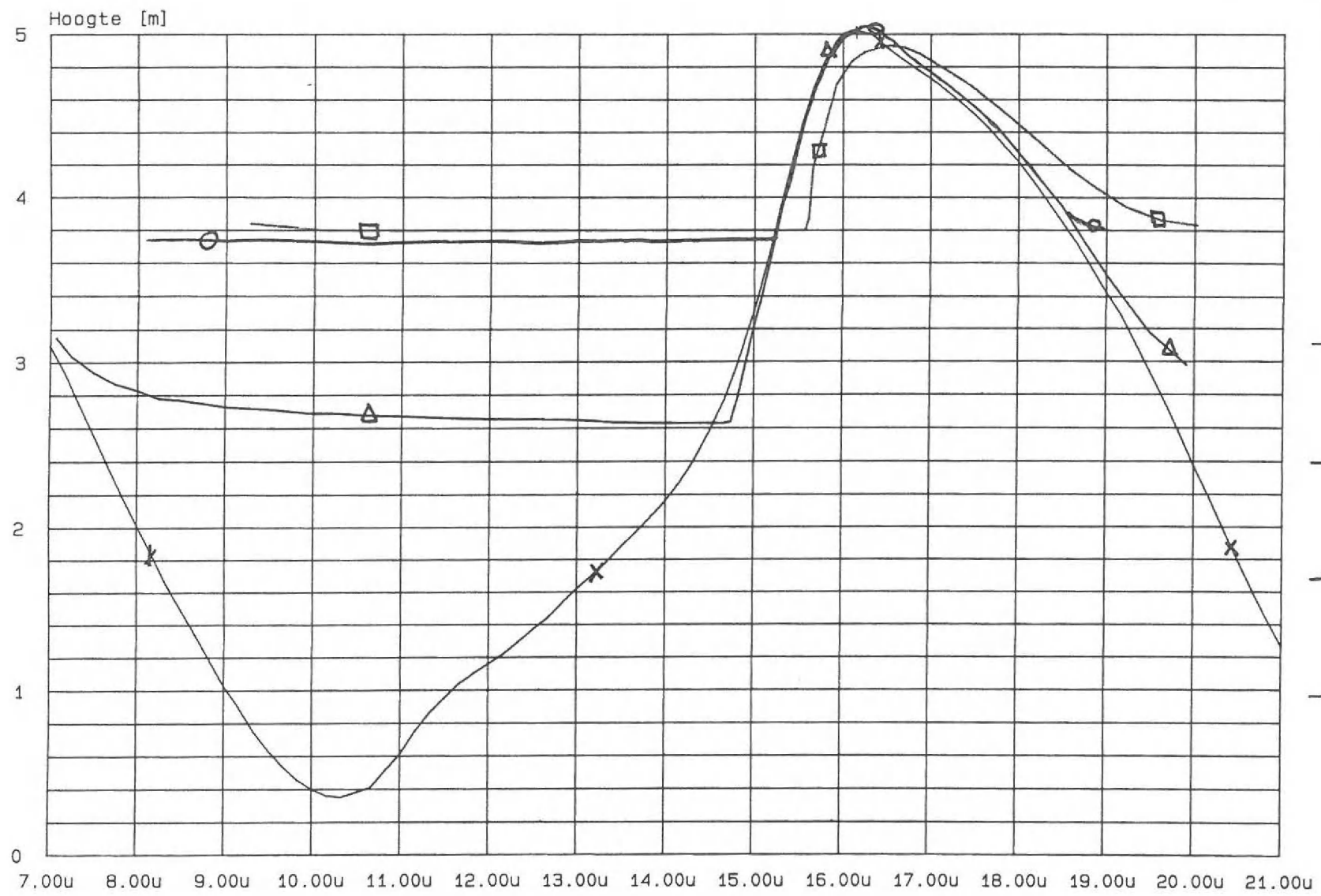
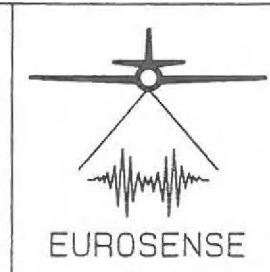
Figuur 4.2: Rekenrooster stromingsmodel



Figuur 4.3: Bodemschematisatie Zwin-model



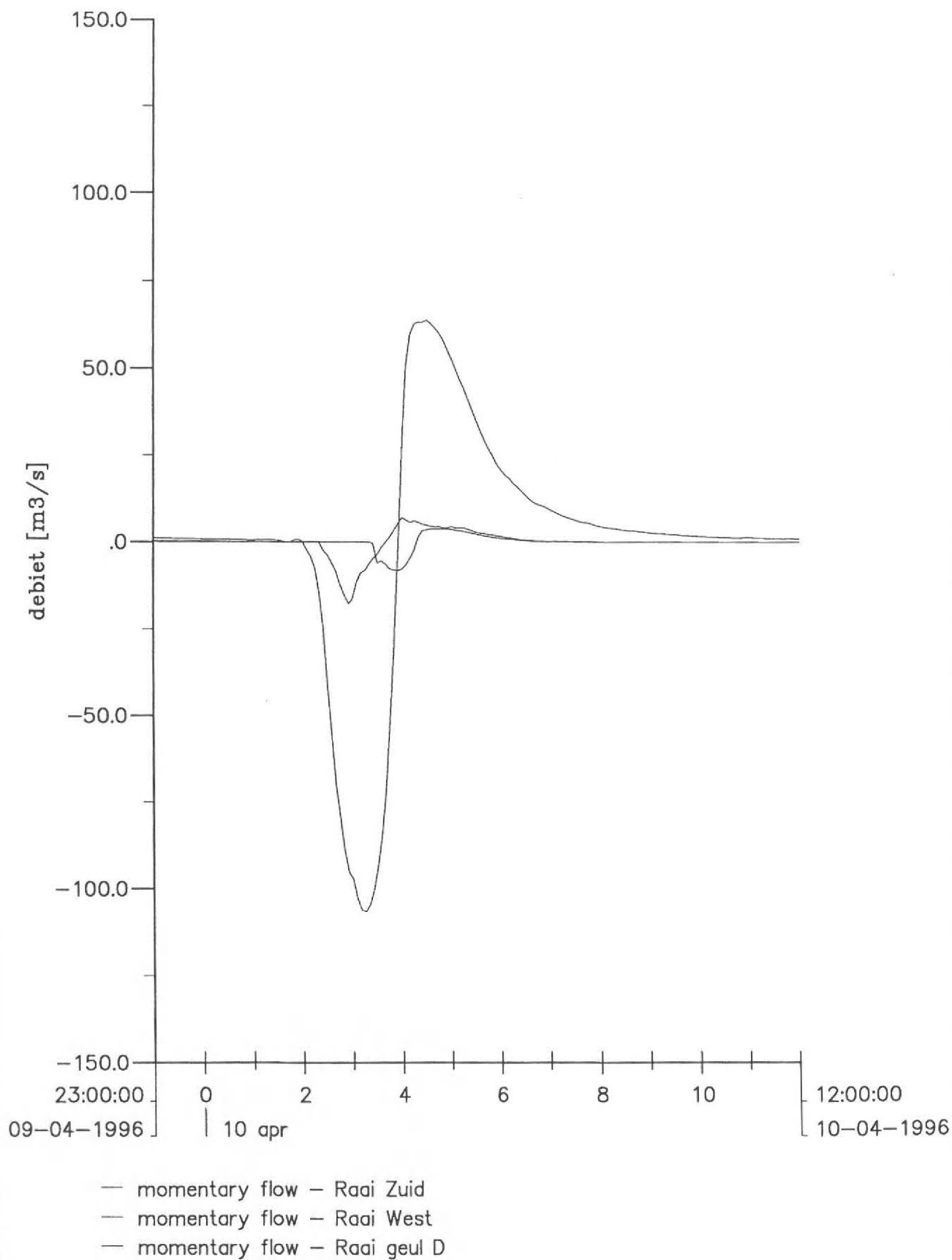
Figuur 4.4a: Berekende waterstanden calibratierun



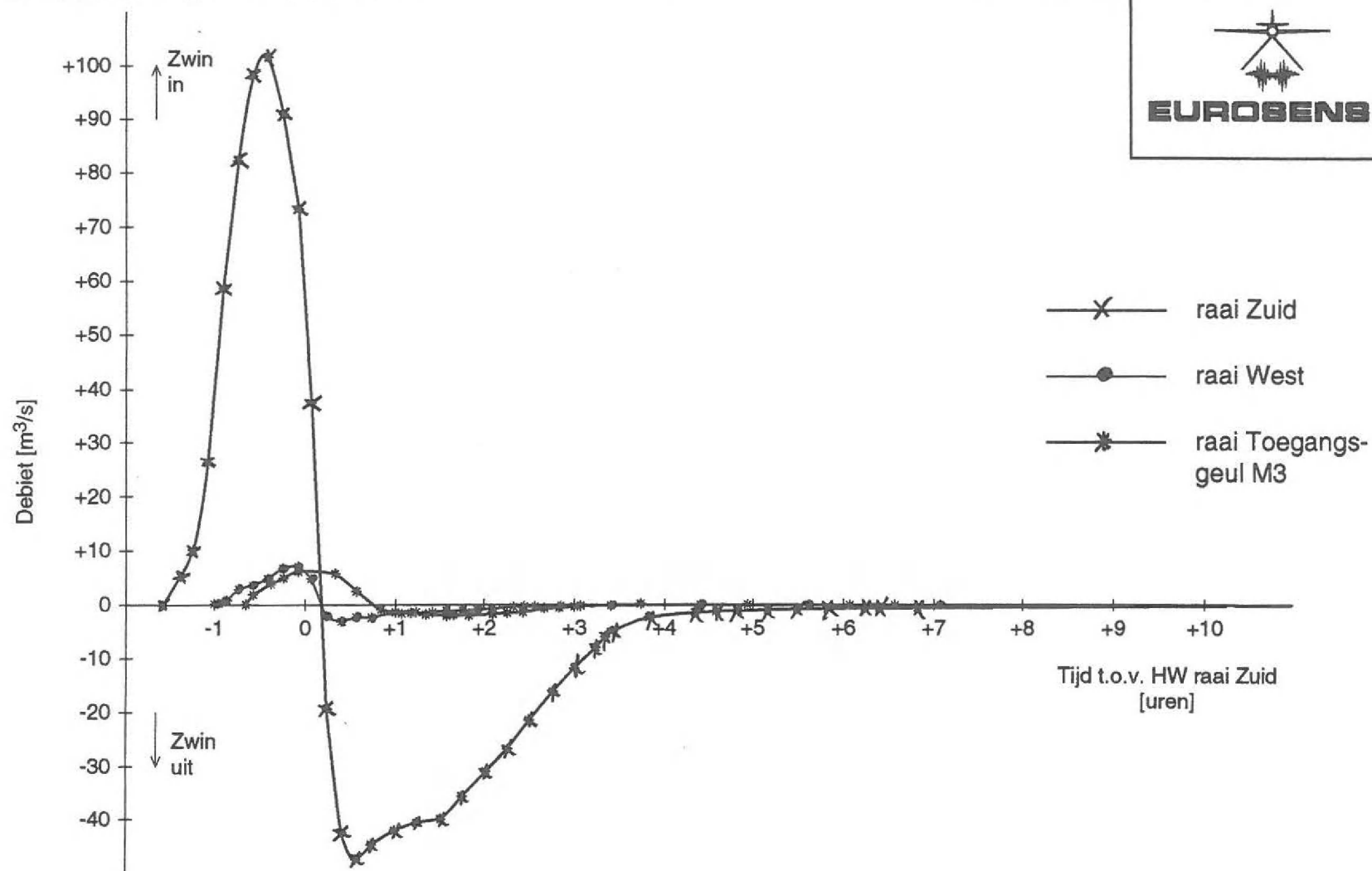
- X GETIJ TE CADZAND
- △ GEMETEN GETIJ LOKATIE ZUID
- GEMETEN GETIJ LOKATIE WEST
- GEMETEN GETIJ LOKATIE M3

MEETCAMPAGNE ZWINGEUL, 20 AUGUSTUS 1993
GEMETEN WATERSTANDEN

Figuur 4.4b: Gemeten waterstanden augustus 1993



Figuur 4.5a: Berekende debieten calibratierun



Meetcampagne Zwingen, 20 augustus 1993 :
variatie van het debiet over het getij

