

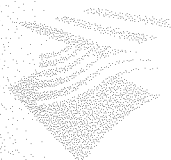


**MODELLEN VOOR HET
MORFOLOGISCH ONDERZOEK
VAN DE WESTERSCHELDE**

werkdocument RIKZ\OS-98.804x
Harm Verbeek & Ad Langerak
december 1998

Ministerie van verkeer en Waterstaat

Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat



Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ

INHOUDSOPGAVE

1. INLEIDING	3
1.1 Doelstelling van dit werkdocument	3
1.2 Probleemstelling	3
1.3 Visie op modelontwikkeling	4
1.4 Voorstel voor modelontwikkeling	4
1.4.1 Middellange termijn detail model	4
1.4.2 Lange termijn globaal model	5
1.4.3 Geïdealiseerd model	5
1.5 Voorstel voor modeltoepassing	5
2. MODELSYSTEMEN EN MODELLEN	6
2.1 Hydrodynamische modelsystemen	6
2.2 Hydrodynamische modellen	6
2.2.1 1D-modellen	7
2.2.2 2D-modellen	7
2.2.3 3D-modellen	7
3. MORFODYNAMISCHE MODELLEN	8
3.1 Inleiding	8
3.2 Statistische modellen	8
3.3 Empirische 1D-modellen	8
3.4 1D-procesmodellen	9
3.5 1D geïdealiseerde modellen	9
3.6 2D/3D-procesmodellen	9
3.7 2D geïdealiseerde modellen	10
4. HUIDIGE ONTWIKKELING	11
4.1 Waterbeweging	11
4.2 Sedimenttransport	11
4.3 Morfodynamica	11
5. KEUZES VOOR DE KOMENDE JAREN	12
5.1 Middellange termijn detail model	12
5.2 Lange termijn globaal model	12
5.3 Geïdealiseerd model	12
5.4 Overige modellen	13
6. LITERATUUR	14

1. INLEIDING

1.1 Doelstelling van dit werkdocument

Voor het morfologisch onderzoek van de Westerschelde wordt in toenemende mate gebruik gemaakt van numerieke hydro- en morfodynamische modellen. Deze modellen representeren de werkelijkheid op dusdanig goede wijze dat het RIKZ ten behoeve van de advisering van de directie Zeeland hier operationeel gebruik van wil maken. De huidige modellen zijn niet altijd direct inzetbaar, doordat ontwikkeling en gebruik vaak door elkaar lopen. Om over een goed functionerend modelinstrumentarium voor advisering te kunnen beschikken, moet er een verbeteringstraject opgesteld worden voor de benodigde modellen. Dit is gericht op twee zaken:

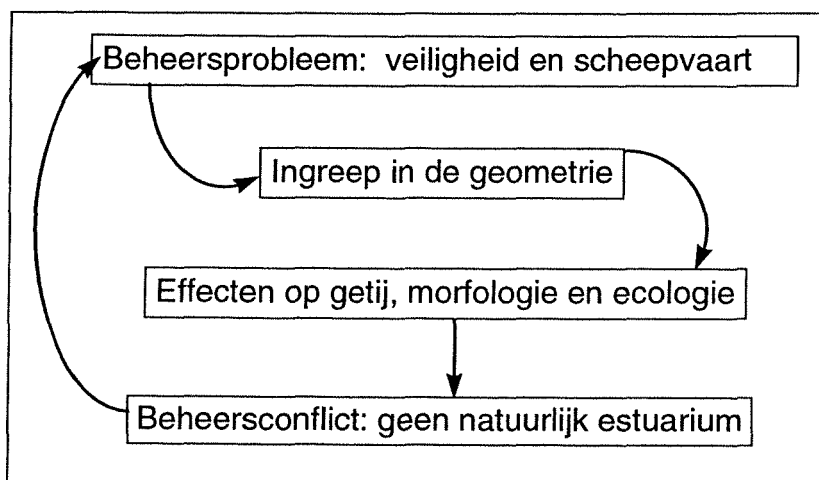
- de goede representatie van de huidige (of zondige historische) toestand van de Westerschelde door de aanpassing/verbetering van de geometrie, randvoorwaarden e.d.;
- de operationalisering van het instrumentarium door verbetering en aanpassing van de modelprogrammatuur en de bijbehorende onderbouwing.

In dit werkdocument wordt de stand van zaken voor de modellen weergegeven (voor medio 1998), welke in het morfologisch onderzoek van de Westerschelde gebruikt (kunnen) worden. Aangegeven wordt wat de huidige status is en wat dit opgeleverd heeft. Daarnaast wordt het ontwikkelingstraject voor de komende jaren aangegeven.

Drie jaar geleden is de aanzet gemaakt tot een geïntegreerde aanpak van de modelbouw, uitgaande van de vraagstelling van de beheerder (Verbeek, 1996). Toen is ten doel gezet om een ontwikkelingstraject van 2-5 jaar in te gaan. Dit document zou dus een soort tussenstand moeten geven met verwijzingen naar het onderzoek in de Westerschelde. Maar naast een vinger aan de pols bij deze voortgaande onderzoekslijn is er ook een visie nodig op de morfologische modelontwikkeling.

1.2 Probleemstelling

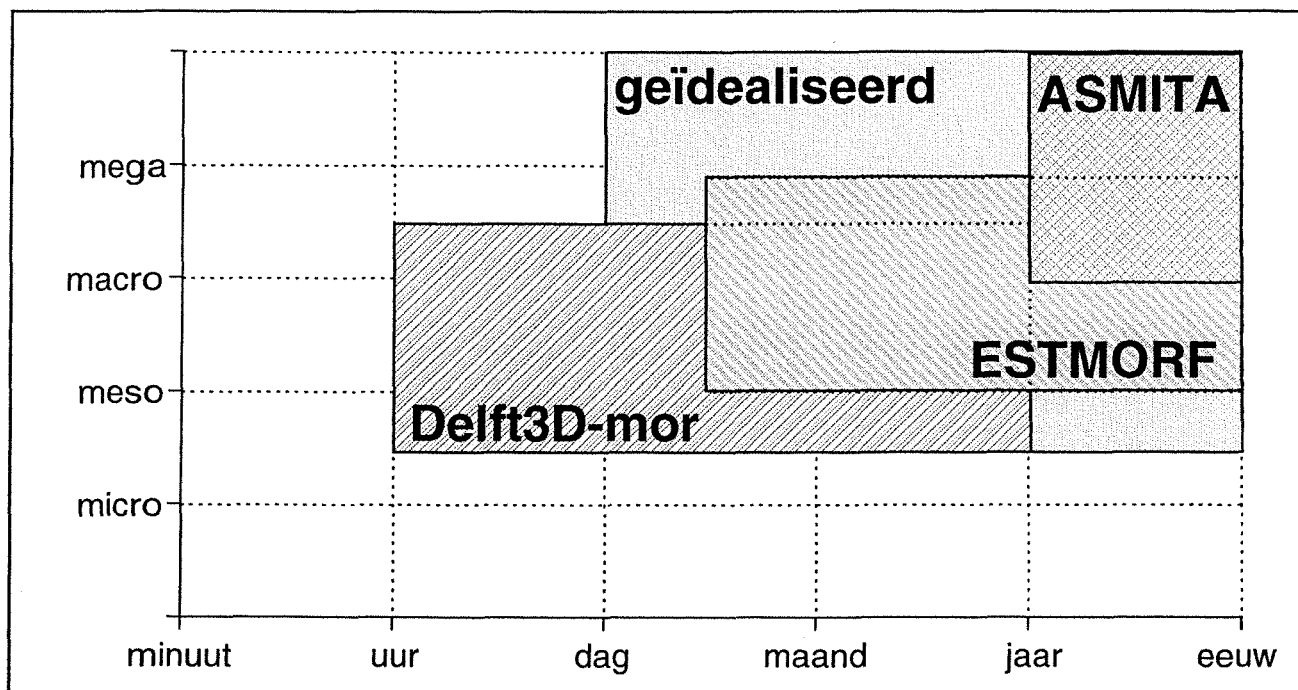
In het onderzoeksgebied de Westerschelde spelen een aantal factoren een grote rol op de morfologische ontwikkeling. De functies Scheepvaart en Veiligheid moeten in relatie met de functie Natuur (en Visserij) in evenwicht gebracht worden. Vanuit het beheer van de vaargeul naar Antwerpen wordt de vaargeul gebaggerd. Dit heeft effect op het hele functioneren van het systeem volgens onderstaand schema:



Het beheersprobleem leidt tot een beheersconflict, waarin een afweging gemaakt moet worden. Aangezien ingrepen in de vaargeul (baggeren en storten) leiden tot ingrepen in de geometrie, zal dit effect resulteren op het hele watersysteem. Hiermee zijn alle functies van het watersysteem in geding. Het is dus nodig om een goed inzicht te verkrijgen het effect van de effecten van de beheersproblematiek op het uiteindelijke beheersconflict. Hiervoor kunnen vooral morfologische modellen een belangrijke bijdrage leveren. De ontwikkeling van deze modellen wordt dan ook door het RIKZ als speerpunt binnen het Morfologisch onderzoek van de Westerschelde gezien en is ondergebracht bij het project ZEEKENNIS.

1.3 Visie op modelontwikkeling

Morfologische modellen laten zich klassificeren in een tijd-ruimte diagram (zie hieronder). Hiermee ontstaat er een logische koppeling met de morfologische schalen (zie Stive e.a., 1998). De verschillende modellen kunnen slechts beperkt ingezet worden voor een bereik over meerdere schalen. Ze voldoen slechts in een deel van het bereik, waarover de morfologische ontwikkeling zich voordoet. Deze beperking leidt tot de gangbare werkwijze, dat op de verschillende schalen verschillende modellen ontwikkeld moeten worden.



De bovengenoemde beperking heeft ook tot gevolg dat het principieel niet mogelijk is met één modelsysteem te werken. Vanuit de praktijk spelen de beheersvragen doorgaans op meerdere schalen tegelijkertijd. Uit de definitiestudie Morfologische Dynamiek (Stive e.a., 1998) volgt dat ingrepen op de ene schaal directe relaties vertonen met de naastliggende schalen. Vanwege de hiërarchie tussen de schalen zijn de relaties verschillend. De onderliggende schaal wordt direct beïnvloed door veranderingen in stroming, sedimenttransport en/of bodemligging en de bovenliggende schaal wordt via terugkoppelingsprocessen op indirecte wijze beïnvloed. De wijze waarop verschillende modellen dit afhandelen is ook verschillend. In de modellen op grote tijd-/ruimteschalen wordt de terugkoppeling opgelegd door middel van geaggregeerde formuleringen (bijv. empirische relaties). Terwijl de modellen op kleine tijd-/ruimteschalen dit doen door een meer expliciete berekening.

In de morfologische modellenlijn moet dit nader uitgewerkt worden. Door onderlinge vergelijking van modellen langs de randen van hun beperk kan vastgesteld worden of asymptotisch morfologisch gedrag de juiste richting vertoont. Een voorbeeld van zo'n vergelijking is uitgevoerd door Wang e.a. (1997). Bij een positieve vergelijking kan vastgesteld worden dat in de onderhavige vergelijking de dominante processen naar alle waarschijnlijkheid goed gemodelleerd zijn. Bij een negatieve vergelijking zal juist gekeken moeten worden wat die dominante processen dan zijn en op welke wijze deze alsnog gemodelleerd kunnen worden. Door de ontwikkeling meer te richten op de samenhang van de modellenlijn, in plaats van op de verschillende onderdelen, wordt sterk gewonnen aan duidelijkheid en toepasbaarheid.

1.4 Voorstel voor modelontwikkeling

1.4.1 Middellange termijn detail model

Een belangrijke ontwikkeling is de bouw en validatie van een geverifieerd sedimenttransportmodel voor de Westerschelde. In 1998 zal hier een eerste studie naar verricht worden op basis van een offline koppeling met behulp van MATLAB (Jansen, 1998; Wouters, 1998). Op basis van deze studie is een eerste inschatting gemaakt van een initiële bodemverandering voor de Drempels van Hansweert en Valkenisse. Aangezien er echter behoefte is aan een terugkoppeling met de bodem is vervolgens een validatie uitgevoerd van de verschillende componenten van het DELFT3D-mor

systeem. Uit deze studie volgt de aanbeveling om voor de gedetailleerde modellering de ontwikkeling te richten op (quasi-)3D modellering van het sedimenttransport (Thoolen e.a., 1999).

In 1999 en 2000 moet de ontwikkeling van een (quasi-)3D morfodynamisch model ter hand genomen worden. Doel hiervan is om een volledige morfodynamische berekening van (een deel van) de Westerschelde te kunnen maken, op basis waarvan beheersstrategieën ontworpen kunnen worden.

1.4.2 Lange termijn globaal model

Het ESTMORF model is beschikbaar voor operationeel gebruik. Bij het onderzoek ten behoeve van het evaluatierapport van de Verdieping (project ZEEMOVE) wordt dit model dan ook ingezet. Er zijn nog wel enige ontwikkelpunten, die momenteel zorgen baren. Met name de plaat-geul uitwisseling moet verbeterd worden (Wang e.a., 1999). Uit veldonderzoek is gebleken dat de sedimentuitwisseling met platen anders verloopt dan de uitwisseling met slikken en schorren. Dit onderscheid moet in ESTMORF ingebouwd worden. Verder heeft het model zijn zeerand bij Vlissingen. Voor enkele studies in het mondingsgebied van de Westerschelde is een uitbouw zeewaarts nodig. Hiervoor is reeds een opzet gemaakt (Van der Weck, 1999)

1.4.3 Geïdealiseerd model

In 1998 is in opdracht van directie Zeeland een driejarige overeenkomst met het Instituut voor Marien en Atmosferisch Onderzoek Utrecht (IMAU) gesloten om de ontwikkeling van een geïdealiseerd model van de Westerschelde ter hand te nemen. De vraagstelling luidt:

1. Welke fysische mechanismen zijn bepalend voor het waargenomen meanderpatroon van hoofdgeulen in de Westerschelde en kan dit patroon met behulp van een mathematisch-fysisch model worden gereproduceerd?
2. Wat zijn de mechanismen die een rol spelen bij de vorming van drempels en hoe kan dit morfologische proces worden gemodelleerd?
3. Wat zijn de dominante processen, die verantwoordelijk zijn voor het cyclisch gedrag van kortsluitgeulen in de Westerschelde en kan deze dynamiek kwantitatief worden gesimuleerd?
4. Hoe veranderen de eigenschappen van bovengenoemde fenomenen (b.v. kenmerkende ruimten en tijdschalen) indien er wijzigingen in exogene condities worden aangebracht (zoals verdieping van geulen, ontpoldering of bouw van een stormvloedkering)?

Deze studie bestaat uit 3 fasen (september 1997 - januari 2001):

1. literatuurstudie Westerschelde, aanpassing model Schuttelaars (1997), experimenten met aangepast 1D model en eerste simulatie met DELFT3D-mor;
2. vergelijking resultaten 1D model met DELFT3D-mor en veldgegevens en interpretatie ten aanzien van beheersvragen, lineaire stabiliteitsanalyse 2D model;
3. vergelijking resultaten 2D model met DELFT3D-mor en veldgegevens en interpretatie ten aanzien van beheersvragen, niet-lineaire experimenten 2D model.

1.5 Voorstel voor modeltoepassing

De modelsystemen die ondertussen beschikbaar gekomen zijn worden ingezet voor de onderbouwing van de adviezen van het RIKZ in het kader van bijv. de Monitoring Verdieping van de Westerschelde (project ZEEMOVE). Op basis van deze inzet kan het bestaande instrumentarium getoetst worden op bruikbaarheid qua gebruik en resultaat. Via evaluatie van het instrumentarium kunnen verbeteringen teruggevoerd worden naar de ontwikkeling. De koppeling tussen ontwikkeling en toepassing zijn van essentieel belang voor de beheerspraktijk. Door een goede afstemming hiertussen wordt de adviezen kwalitatief en kwantitatief beter en zal de beheerder bereid blijven de noodzakelijke investeringen te betalen.

2. MODELSYSTEMEN EN MODELLEN

2.1 Hydrodynamische modelsystemen

Voor de analyse van de hydro- en morfodynamica wordt veelvuldig gebruik van numerieke modelsystemen (Verbeek, 1996). Hierbij is een modelsysteem een verzameling programma's of modules, welke een samenhangend pakket vormen en waarmee mathematisch-fysische modelberekeningen opgezet, uitgevoerd en geanalyseerd kunnen worden. In principe moeten alle invoergegevens van buitenaf geleverd worden en is het modelsysteem vooraf geheel leeg. Vaak worden de invoergegevens zoals een gebiedsschematisatie, randvoorwaarden, beginwaarden en afregelparameters vooraf aangemaakt en opgeslagen in een interne datastructuur. Het totale pakket van het modelsysteem met de bewerkingsinstrumenten voor voor- en naverwerking wordt het "modelinstrumentarium" genoemd.

Binnen Rijkswaterstaat zijn er momenteel 2 geïntegreerde modelsystemen beschikbaar voor de berekening van waterbeweging (getijbeweging, dichtheidsstroming en golven), slib- en sedimenttransport, waterkwaliteit en morfologie, namelijk SOBEK en SIMONA.

SOBEK:

Het 1D-modelsysteem heet *SOBEK* en dat is door het RIZA en het Waterloopkundig Laboratorium gezamenlijk ontwikkeld. Het beheer is ondergebracht bij het WL. Momenteel is versie 1.19 beschikbaar is en binnenkort wordt de verbeterde versie 2.0 verwacht. Dit modelsysteem is volledig geïntegreerd ten aanzien van de berekening van waterbeweging, stoftransport en waterkwaliteit en kan op zowel een PC als een werkstation toegepast worden.

SIMONA:

Het 2D/3D-modelsysteem heet *SIMONA* en dit is volledig in opdracht van het RIKZ en RIZA ontwikkeld. Het beheer is uitbesteed bij EDS (voorheen ICIM). *SIMONA* is meer een model-architectuur waarin modellen als *WAQUA*, *TRIWAQ*, *HISWA/SWAN* en dergelijke geïntegreerd kunnen werken en gebruik kunnen maken van uniforme data-uitwisseling. Ook is de voor- en nabewerking geregeld via interactieve programmatuur zoals *WAQPRE*, *IPW* en *SIMVIEW*. Momenteel wordt er gewerkt aan de verdere integratie van en de communicatie tussen de verschillende modellen. Gezien de omvang van het pakket kan dit momenteel alleen op een werkstation toegepast worden. Overigens wordt er een PC-versie van *WAQUA* voorbereid.

De ontwikkeling van de geïntegreerde modelsystemen *SOBEK* en *SIMONA* wordt geregisseerd door het ROM (Rijkswaterstaat Overleg Modellen). In het ROM beslissen de gebruikers (m.n. de regionale directies van Rijkswaterstaat) op voorstel van de onderzoekers (RIKZ, RIZA en DWW) over het beheer, onderhoud en verdere ontwikkeling van de modelsystemen.

DELFT3D:

Naast de Rijkswaterstaat lijn is er bij het Waterloopkundig Laboratorium een eigen modelsysteem opgezet, dat zijn oorsprong kent in het *WAQUA*-systeem. Dit modelsysteem heet *DELFT3D* en kent een groot aantal componenten. De basis is het waterbewegingsmodel *TRISULA* voor 2D/3D waterbewegingsmodellering. Hieraan gekoppeld zijn de componenten zoals waterkwaliteit (*DELWAQ*), golven (*HISWA*) en morfologie (*DELFT3D-mor*). Verder is er voor- en nabewerkings-programmatuur voor roosterontwikkeling (zoals *RGFGRID* en *QUICKIN*) en presentatie (*GPP*).

Via de strategische samenwerking tussen Rijkswaterstaat en WL | delft hydraulics heeft het RIKZ toegang tot het *DELFT3D*-systeem. Dit is van groot belang voor de toepassing van *DELFT3D-mor*. Dit systeem is ondertussen geïnstalleerd bij het RIKZ en dit mag intern door eigen mensen toegepast worden.

Momenteel wordt door het RIKZ en het WL samen onderzocht of er tot een betere samenhang tussen de huidige, gescheiden modelsystemen gekomen kan worden. Binnen het project Open Model Structuur (OMS), dat een onderdeel is van de strategische samenwerking tussen RIKZ en WL, wordt onderzocht hoe modules van de verschillende systemen gekoppeld kunnen worden.

2.2 Hydrodynamische modellen

Een belangrijk onderdeel van een hydrodynamisch modelsysteem is het hydrodynamische model zelf. Dit model berekent de waterbeweging op de geschematiseerd weergegeven geometrie.

Hieronder worden de binnen Rijkswaterstaat meest gangbare hydrodynamische modellen genoemd, met hun belangrijkste toepassing.

2.2.1 1D-modellen

IMPLIC:

Verouderd, maar zeer robuust 1D-netwerkmodel voor waterbeweging onder invloed van rivierafvoer, getij- en zoutbeweging; vaak toegepast in de Zeeuwse Delta

ZWENDL:

Afgeleid van IMPLIC 1D-netwerkmodel voor waterbeweging onder invloed van rivierafvoer, getij- en zoutbeweging; vooral toegepast in het Noordelijk Deltabekken

DUFLOW:

Opvolger van IMPLIC in samenwerking met IHE, LUW en STOWA; eenvoudig 1D-netwerk-model voor rivierafvoer, getij- en zoutbeweging; geschikt voor toepassing op PC-gebied; vaak toegepast op universiteiten voor stage-opdrachten en binnen Rijkswaterstaat toegepast in de Zeeuwse Delta

SOBEK:

Opvolger van ZWENDL in samenwerking met het WL (WENDY); verhoogde nauwkeurigheid door toepassing van nieuw rekenschema, maar hierdoor minder robuust; toepassing vooral in rivierengebied en Noordelijk Deltabekken; is/wordt RWS-standaard voor 1D-modellen.

2.2.2 2D-modellen

WAQUA:

2Dh-waterbewegingsmodel op rechthoekig, curvilinear of bolcoördinaten grid; ontwikkeld voor uitvoering van de Deltawerken in samenwerking met RAND Cooperation; toepassing op meren, grote rivieren, deltagebied, kustzone, zuidelijke Noordzee, Continentaal Plat; onderdeel van SIMONA-pakket

DISTRO:

2Dv-waterbewegingsmodel voor zoutindringing in smalle estuaria; ontwikkeld en toegepast door WL in opdracht van RWS voor met name Noordelijk Deltabekken (Verbeek e.a., 1992)

2.2.3 3D-modellen

TRIWAQ:

Uitbreiding van WAQUA voor de berekening van 3D waterbeweging; toepassing met name in estuaria en kustzone; onderdeel van het SIMONA-pakket

N.B. Bij het Waterloopkundig Laboratorium heeft een parallelle ontwikkeling van 2Dh en 3D modellen plaatsgevonden. Hieruit is het DELFT3D systeem ontstaan. Het hierbij ontwikkelende 3D model TRISULA wijkt op onderdelen af van het 3D model TRIWAQ, maar kent dezelfde mathematische basis.

3. MORFODYNAMISCHE MODELLEN

3.1 Inleiding

Binnen de morfodynamische modellen wordt onderscheid gemaakt tussen de empirische lijn en de procesmatige lijn. De empirische lijn gaat uit van empirische relaties tussen de waterbeweging en de morfologie, zoals tussen de dwarsdoorsnede van een geul en het getijvolume dat hier doorheen stroomt. Deze relaties zijn afgeleid voor veldsituaties in (dynamisch) evenwicht. De toepassing van de empirische lijn beperkt zich tot nu toe tot de 1D-modellen.

De proceslijn gaat uit van de fysische verbanden tussen waterbeweging, sedimenttransport en bodemverandering. Dit gebeurt in een geschakelde berekening, waarbij met de waterbeweging eerst het sedimenttransport bepaald wordt en op basis hiervan de bodemverandering. Via de terugkoppeling van de bodemverandering met de waterbeweging is er sprake van een morfodynamische berekening.

Hiernaast bestaat er ook nog de gedragslijn, die uitgaat van de interpretatie van de bestaande kennis. Hierbij wordt vanuit de historische ontwikkeling een voorspelling gemaakt van de morfologie. In dit werkdocument worden de statistische modellen besproken. Andere typen (beschrijvende conceptueel modeltypen) worden qua opzet en aanpak niet tot de numerieke modellen gerekend.

3.2 Statistische modellen

De statistische modellen zijn eigenlijk meer boekhoudkundige modellen. Uitgaande van een verstoring en een massabalans wordt een winst-verlies rekening opgemaakt voor verschillende geografische eenheden. De wetmatigheden / statistische verbanden in de historische ontwikkeling wordt hierbij als invoer gebruikt om naar de toekomst toe een voorspelling te maken. Een eerste toepassing van deze methodiek voor de Westerschelde is beschreven door Uit de Boogaard (1995).

Momenteel zijn er geen operationele voorbeelden van statistische modellen beschikbaar voor de Westerschelde. Een aanzet hiervoor is wel gemaakt met het onderzoek naar de historische ontwikkeling van morfologische eenheden (Huijs, 1996). De koppeling met de forcering (waterbeweging) is nog niet gemaakt.

De behoefte om te zoeken naar empirische wetmatigheden in de sedimentuitwisseling tussen elementen en hun morfologische ontwikkeling blijft echter bestaan. Binnen de Monitoring van de Verdieping wordt bekeken of hier behoefte aan is. Aangezien andere modellen meer mogelijkheden bieden wordt er vooralsnog geen verdere inzet verwacht.

3.3 Empirische 1D-modellen

De empirische 1D-modellen zijn de meest toegepaste morfodynamische modellen. De modellen zijn gebaseerd op empirische evenwichtsrelaties, welke voor een groot aantal estuaria afgeleid zijn (zie bijv. Allersma, 1994). Afhankelijk van de opzet van de modellen wordt in een bepaalde situatie de afwijking ten opzichte van de evenwichtssituatie bepaald en wordt door aanpassing van de morfologie getracht een (nieuw) evenwicht te bereiken.

De aanpassingstijd in empirische modellen wordt berekend op basis van de sedimentbalans. Bij dynamisch-empirische modellen wordt de aanpassingstijd berekend uit het getijgemiddelde sedimenttransport. Hierbij kan nog onderscheid gemaakt worden tussen suspensietransport, dat opgelost wordt met een advectie-diffusievergelijking, en bodemtransport afhankelijk van de lokale stromingstoestand.

Het bekendste voorbeeld van empirische 1D-modellen is ESTMORF, dat in opdracht van het RIKZ ontwikkeld is bij het Waterloopkundig Laboratorium. Dit model is toegepast op het Friesche Zeegat (Wang e.a., 1996) en de Westerschelde (Fokkink & vd Weck, 1998).

De huidige behoefte is om ervaring op te doen met het ESTMORF model ten behoeve van de Monitoring van de Verdieping. Daarnaast is er onderzoek nodig naar de consistentie met de procesmodellen. Dit is enerzijds nodig ter onderbouwing van ESTMORF en anderzijds ter verkenning van de toepasbaarheidsgrenzen.

3.4 1D-procesmodellen

De 1D-procesmodellen gaan uit van de profielgemiddelde stroming op basis waarvan sedimenttransport en bodemverandering uitgerekend worden. De berekening van het sedimenttransport vindt plaats op basis van een expliciete koppeling met de waterbeweging. De resulterende bodemverandering heeft daarna ook direct invloed op de waterbeweging.

Door deze tweezijdige koppeling is de stabiliteit van de numerieke oplossing het grootste probleem bij de inzet van dit soort modellen. Dit geldt met name rond splitsingspunten in het estuarium, waarbij niet alleen de debieten over de verschillende takken verdeeld moeten worden, maar ook de sedimentvrachten. Voor het verkrijgen van een stabiele oplossing moet er een extra randvoorwaarde opgelegd worden.

Het bekendste voorbeeld van een 1D-procesmodel is het EENDMORF model, dat ontwikkeld is op basis van SOBEK. De oorspronkelijke rivierenversie van SOBEK wordt vooral toegepast door het RIZA in Arnhem en de estuarium versie (EENDMORF) wordt in opdracht van het RIKZ door het WL toegepast voor de Westerschelde (Fokink, 1998).

De behoefte met deze modellen is met name gericht op toepassing op praktische vragen via een soort pilot-studie. Hierbij moeten de kinderziekten overwonnen worden en zal gekeken moeten worden naar de robuustheid van de modellen. Uit de ervaring die hiermee opgebouwd wordt kunnen leemtes in de onderliggende kennis worden geïdentificeerd.

3.5 1D geïdealiseerde modellen

Om het lange termijn gedrag goed in de vingers te krijgen is onderzoek gedaan naar het asymptotisch gedrag van de morfologische ontwikkeling van de Westerschelde, afhankelijk van de randvoorwaarden en vorm van het estuarium. Dit onderzoek (De Jong, 1998) heeft geresulteerd in een 1D model, waarmee de ontwikkeling van een sterk versimpelde Westerschelde bepaald wordt. Het onderzoek heeft een aantal resultaten geleverd (De Jong, 1998):

- Bij gesloten getijdebekkens is de getij-asymmetrie van groot belang. Er ontstaat dan een evenwichtssituatie als de advection term in balans komt met de diffusieve term of als de getij-asymmetrie in het gehele bekken neutraal wordt.
- In getijderivieren speelt de rivierafvoer een belangrijke rol, al is de invloed in de monding verwaarloosbaar klein. Verder stroomopwaarts is het getij door de bodemwrijving uitgedempt en wordt de morfologie gestuurd door de sterkte van de afvoer. Tussen deze twee gebieden is er een overgangszone, waarbij zowel het getij als de rivierafvoer van belang zijn.

Doel van dit model is om de voor de andere 1D modellen als referentie te dienen, qua lange termijn gedrag. Aangezien een niet-realistische weergave van de Westerschelde gemaakt wordt zal een directe toepassing op de Westerschelde niet mogelijk zijn. Wel kunnen de andere modellen gecontroleerd worden op hun asymptotisch gedrag. Hiermee fungeren de 1D geïdealiseerde modellen als kwaliteitsborging voor de overige 1D modellen. In het werk van Schuttelaars (1999) wordt dit verder uitgewerkt.

3.6 2D/3D-procesmodellen

Bij 2D en/of 3D modellen wordt momenteel met name gewerkt via een procesmatige modellering van het sedimenttransport en de bodemverandering. Er zijn twee manieren van voor de berekening van het sedimenttransport te onderscheiden, namelijk de berekening van het evenwichtstransport en de berekening van het suspensie- en bodemtransport. Bij de berekening van het evenwichtstransport wordt gebruik gemaakt van formulerings voor het totaal transport op basis van de lokale snelheidsveld. Bij de berekening van het suspensie- en bodemtransport wordt voor het suspensietransport via de berekening van de advection-diffusie vergelijking het actuele concentratieveld uitgerekend. Hierbij wordt dus rekening gehouden met tijdseffecten ten gevolge van vertragende of versnellende stromingen.

De numerieke oplossing van een berekening op basis van het evenwichtstransport gekoppeld aan de bodemverandering is slechts beperkt stabiel en realistisch en wordt daarom ingezet om alleen de initiële transporten en bodemveranderingen te bepalen. Een voorbeeld hiervan is het model WAMORF, dat op basis van een gebruiksroutine binnen SIMONA aan WAQUA gekoppeld is (Schaap, 1997).

Een beperking bij de inzet van 2D-modellen is dat alleen de grootschalige fenomenen weergegeven kunnen worden. Zelfs als bij de numerieke oplossing van een berekening onderscheid in suspensie- en bodemtransport gemaakt wordt heeft het model nog steeds een beperkte voorspellende waarde. Door echter op basis van een 3D waterbewegingsmodel relaties af te leiden voor de verticale structuur van het concentratieveld (de zogenaamde 2½D oplossing) kan een enigszins realistische benadering gemaakt worden voor de korte tot middellange termijn modellering (in de orde van dagen tot maanden).

Uit analyse van veldgegevens blijkt dat de secundaire stroming van groot belang is voor de drempelvorming in de Westerschelde (Verbeek e.a., 1998). Nadere analyse met het TRIWAQ model toont aan dat onderscheid nodig is naar de secundaire stroming in dwarsrichting en in langsrichting. Als eerste aanzet hiertoe is door Jansen (1998) en Wouters (1998) met behulp van een offline-berekening van het sedimenttransport. Hierbij is zelfs een schatting gemaakt van de initiële bodemverandering. Dit toont aan dat de bijdrage van de secundaire stroming van groot belang is voor de richting en omvang van het sedimenttransport (orde 30 - 40 % van het totale transport bij de Drempel van Valkenisse).

De studie naar secundaire stroming is verder uitgebouwd door gebruik te maken van het model-systeem DELFT3D-mor (Thoolen e.a., 1999). In dit aan WAQUA verwante modelsysteem zijn de onderdelen waterbeweging (door golven en/of getij), sedimenttransport en bodemontwikkeling samengevoegd. De genoemde studie onderzoekt de bruikbaarheid van dit soort modellen voor de drempelontwikkeling in de Westerschelde en kwam tot de volgende conclusie:

- voor drempelvorming is een gedetailleerde 3D beschrijving van de waterbeweging nodig;
- het met de secundaire stroming geassocieerde sedimenttransport is van belang voor de bodemveranderingen;
- maar het modelsysteem is nog niet voldoende in staat om de genoemde processen te simuleren door het ontbreken van een oplossing voor secundaire stroming in langsrichting.

3.7 2D geïdealiseerde modellen

Naast de 1D geïdealiseerde modellen is er ook een ontwikkeling van 2D geïdealiseerde modellen opgestart. Deze modellen zijn met name bedoeld om cyclische ontwikkelingen in bank- en plaatmigratie te onderzoeken. Toepassing op het Pinkegat (bij Ameland) heeft aangetoond dat dit soort natuurlijke migraties ook gemodelleerd kunnen worden (Schuttelaars, 1997). Daarnaast is de morfologische ontwikkeling van het Friesche Zeegat na afsluiting van het Lauwersmeer bepaald, welke zeer goede resultaten geeft.

Aangetoond is dat voor een kort getijdebekken de volgende fysische processen van belang zijn:

- voor korte getijdebekken is diffusie het enige mechanisme dat een netto sedimenttransport tot gevolg kan hebben.
- cyclisch gedrag van banken en geulen is waarneembaar bij een niet-lineaire analyse met instabiele oplossingen.

Deze conclusies worden uitgewerkt bij het vervolg onderzoek van Schuttelaars (IMAU).

4. HUIDIGE ONTWIKKELING

4.1 Waterbeweging

De ontwikkeling van de waterbeweging is nagenoeg afgerond en de resultaten voor de waterbeweging zijn zeer bevredigend. Er wordt momenteel nog gewerkt aan de formuleringen voor barriers (sluissystemen) in het TRIWAQ model, maar dit gaat om een specifieke toepassing (de Haringvlietsluizen). Verder wordt onderzocht op welke wijze de bestaande modelsystemen geoptimaliseerd kunnen worden ten aanzien van de rekentijd door middel van parallel rekenen op verschillende, gekoppelde machines.

Daarnaast is de laatste jaren veel moeite gestoken in de afregeltechnieken (data-assimilatie) voor de waterbeweging. Hiervoor is het WAQAD-systeem beschikbaar. In de nabije toekomst zal het door middel van domein-decompositie mogelijk zijn om verschillende modellen (1D, 2Dh, 3D, maar ook deelgebieden met verschillende roosterdichtheden) dynamisch te koppelen. Het grote voordeel hiervan is dat alleen in het gebied van interesse gewerkt hoeft te worden met een zo groot mogelijke resolutie, terwijl de randvoorwaarden direct uit aansluitende grovere modellen aangeleverd kunnen worden. Een pilot op dit gebied zal in het tweede kwartaal van 1999 uitgevoerd gaan worden met het SCALWEST en het TRISCAL model voor de Westerschelde.

4.2 Sedimenttransport

Het sedimenttransport kan berekend worden aan de hand van de waterbeweging. Hierbij moet bepaald worden of de advectie-diffusievergelijking meegenomen wordt. Bij verwaarlozing hiervan is er sprake van een evenwichtstransportmodellering. Momenteel zijn er 2 benaderingen van het evenwichtstransport operationeel: de aan WAQUA gekoppelde WAMORF-routine (Schaap, 1998) en de op MATLAB gebaseerde offline-berekening (Jansen, 1998; Wouters, 1998).

De ontwikkeling van een suspensietransportroutine op basis van de advectie-diffusievergelijking wordt momenteel niet ter hand genomen. Eerder zijn hiertoe wel pogingen ondernomen (Groenendijk e.a., 1992), maar deze zijn gestrand op de hoge kosten die hiermee gepaard gaan. Hiervoor zijn twee redenen, een praktische reden en een meer fundamentele reden. Er kan gerekend worden met een suspensiemodule, gekoppeld aan WAQUA, voor met name slibtransport. Door aanpassing van de formulering voor erosie en sedimentatie kan ook met ander sediment gerekend worden. Verdere ontwikkeling is dus niet nodig.

De meer fundamentele reden is dat er momenteel een strategische verkenning met het Waterloopkundig Laboratorium opgezet wordt. Hierdoor heeft het RIKZ toegang tot reeds bestaande modelsystemen, zoals DELFT3D-mor. Hiermee kan o.a. de berekening van suspensief transport uitgevoerd worden. Deze lijn is reeds benut ten behoeve van het Drempelonderzoek (Verbeek e.a., 1998). Verder is door het Waterloopkundig Laboratorium onlangs onderzoek gedaan naar de validatie van het sedimenttransport voor de Westerschelde (Thoolen e.a., 1999).

4.3 Morfodynamica

Voor morfodynamica is momenteel binnen de Rijkswaterstaat geen eigen modelsysteem beschikbaar dat gebaseerd is op het SIMONA-systeem. De eerder genoemde strategische samenwerking met het Waterloopkundig Laboratorium heeft ertoe geleid dat Rijkswaterstaat nu gebruik kan maken van het DELFT3D-mor systeem voor morfologische berekeningen. Dit systeem voldoet grotendeels om ingezet te worden voor de verschillende beheersvragen van de Rijkswaterstaat (Roelvink e.a., 1996).

Voor de Westerschelde zijn er momenteel 3 ontwikkelingen uitgevoerd of nog gaande:

- voor het Drempelonderzoek is een model van de Drempel van Hansweert gebouwd door de Technische Universiteit Delft (Groenewoud, 1997; Verbeek e.a., 1998), waarmee de invloed van baggerwerk op de morfologie berekend wordt. Hierbij moet wel een correctie ten behoeve van het baggerwerk uitgevoerd worden.
- voor het promotie-onderzoek van Claire Jeuken is een toepassing voor het Everingen gebied gemaakt, waarbij vooral naar het sedimenttransport gekeken wordt.
- validatie van het gebruik van het DELFT3D-mor systeem voor de Drempel van Hansweert voor de periode van oktober 1995. In deze periode is niet gebaggerd en kan de bodemontwikkeling direct met de modelresultaten vergeleken worden (Thoolen e.a., 1999)

5. KEUZES VOOR DE KOMENDE JAREN

5.1 Middellange termijn detail model

Voor een gedetailleerde berekening van de morfodynamica van de Westerschelde wordt gebruik gemaakt van het DELFT3D-MOR systeem. Dit is een procesmodel, waarin op 2 tijdschalen gerekend wordt: de hydrodynamische (getij) tijdschaal voor waterbeweging en sedimenttransport en de morfologische tijdschaal voor de bodemverandering. In 1998/1999 is een uitgebreide test uitgevoerd van het Westerschelde-model op basis van het DELFT3D-MOR systeem, waarbij gebruik gemaakt is van de meetgegevens van het Drempelonderzoek. Hieruit is gebleken dat het huidige DELFT3D-MOR systeem nog niet voldoet bij het reproduceren van de aanzandings- en erosieplekken op een kleine tijd-ruimteschaal. De mogelijke oorzaak hiervoor ligt in het ontbreken van de termen voor de secundaire stroming en het secundaire transport in de longitudinale richting (in de dwarsrichting zijn deze wel aanwezig). Momenteel wordt door het WL I delft hydraulics onderzocht of dit werkelijk de oorzaak is (opdracht ZEEKENNIS, fase 1). Afhankelijk van de uitkomst zal een definitieve keuze gemaakt worden voor het gedetailleerde morfodynamische model van de Westerschelde. Dit model zal dan aan het RIKZ opleverd kunnen worden ten behoeve van vragen van directie Zeeland. Hierbij zal een gebruikerscursus nodig zijn. Voorlopig wordt rekening gehouden met enige afrondingswerkzaamheden in 1999.

Product	Oplevering	1999	2000	2001	Begeleider
longitudinale sec. stroming	juli 1999	50 kfl			Verbeek
implementatie en afbouw	maart 2000	75 kfl	25 kfl		Verbeek
oplevering en onderhoud	juli 2001		100 kfl	50 kfl	Verbeek

5.2 Lange termijn globaal model

In 1999 is het ESTMORF systeem voor het eerst ingezet voor de advisering binnen het project ZEEMOVE. Naast de positieve ervaring dat het systeem ingezet kan worden voor de daadwerkelijke advisering zijn er ook enige gebreken aan het licht gekomen (naast de reeds bekende onvolkomenheden). Inhoudelijk is de uitwisselingsterm tussen geulen en platen een belangrijke tekortkoming. Er wordt momenteel gewerkt met een uniforme uitwisselingsterm, maar uit veldonderzoek is bekend dat de platen in de Westerschelde anders reageren dan de slikken langs de Westerschelde, met name door het verschil in de ondergrond. Het onderscheid in deze respons zal ingebouwd moeten worden in het model. Verder is er behoefte aan een snellere postprocessing, waarbij het aantal gebruikshandelingen sterk teruggebracht kan worden.

Product	Oplevering	1999	2000	2001	Begeleider
plaat/slik-geul interactie	november 1999	80 kfl			Langerak
verbeterde / geautomatiseerde presentatie	maart 2000	40 kfl	40 kfl		v Helvert

5.3 Geïdealiseerd model

Het bestaande onderzoek naar het lange termijn gedrag van geïdealiseerde morfodynamische modellen heeft in begin 1999 geleid tot een eerste product, in de vorm van een 1D-model met de karakteristieken van de Westerschelde. Op basis van dit model zijn door middel van lineaire stabiliteitsonderzoek verschillende enkelvoudige en meervoudige stabiele oplossingen gevonden welke afhankelijk zijn van de specifieke randvoorwaarden. Deze uitkomsten zijn van groot belang voor het inzicht in de morfodynamische stabiliteitsparameters van een lang estuarium, zoals de Westerschelde.

Dit onderzoek heeft een doorloop tot begin 2001, waarbij de volgende oplevering gepland is:

- begin 2000: 2D-model met lineaire stabiliteitsonderzoek en experimenten met een 1D-procesmodel (DELFT3D-mor)
- begin 2001: 2D-model met (zwak)niet lineair stabiliteitsonderzoek en experimenten met een 2D-procesmodel (DELFT3D-mor)

Het onderzoek met het 1D/2D-procesmodel werkt momenteel sterk vertragend op de voortgang van het onderzoek en momenteel wordt onderzocht of hiervoor andere mogelijkheden zijn. Gedacht wordt aan een samenwerking met het WL I delft hydraulics (zie ZEEKENNIS fase 1, afronding Sedimenttransportmodellering Westerschelde) en aan extra inzet bij het IMAU (dr. G.P. Schramkowski). Hiervoor is door het WL een werkplan gemaakt.

Product	Oplevering	1999	2000	2001	Begeleider
1D-model lineair stabiliteit	januari 1999	75 kfl			Verbeek
2D-model lineair stabiliteit	januari 2000	75 kfl	75 kfl		Verbeek
2D-model niet lineair	januari 2001		75 kfl	75 kfl	Verbeek

5.4 Overige modellen

Naast de inzet van DELFT3D-MOR en ESTMORF zijn er door het WL I delft hydraulics meer morfodynamische modellen gebouwd voor de Westerschelde in opdracht van Rijkswaterstaat. Deze modellen (EENDMORF en ASMITA) zijn gebouwd ter ondersteuning van de ontwikkeling van ESTMORF. Voor alsnog worden deze modellen niet opgeleverd aan het RIKZ, omdat ze deels nog in ontwikkeling zijn en deels vervangbaar zijn door het ESTMORF model. Maar de verdere ontwikkeling hiervan zal zeker gevolgd en geanalyseerd moeten worden. Verwacht wordt dat in de nabije toekomst belangrijke nieuwe mogelijkheden binnen het bereik van de adviseur zullen komen. Vanuit de strategische samenwerking van het RIKZ met het WL zullen verdere ontwikkelingen nauwlettend gevolgd moeten worden.

6. LITERATUUR

E. Allersma (1994)

Geulen in estuaria, 1-D modellering van evenwijdige geulen, Waterloopkundig Laboratorium, H1828, in opdracht van Rijkswaterstaat, directie Zeeland en dienst Getijdewateren, februari 1994.

L.A. uit den Boogaard (1995)

Resultaten Zandbalans Westerschelde 1955-1993, Universiteit Utrecht, Instituut voor Marien en Atmosferisch Onderzoek Utrecht, R95-08, februari 1995.

R.J. Fokkink (1998)

Morphodynamic network simulations of the Westerschelde, WL I delft hydraulics, Z0919, februari 1998.

R.J. Fokkink & A. van der Weck (1998)

Final version of the ESTMORF model (version 4.00), WL I delft hydraulics, Z2262, juni 1998

F. Groenendijk & D. Duizendstra (1992)

2D & 3D morfologische modellen in SIMONA, Definitiestudie, SIMONA, project SISMOR01, rapport no. 92-14.

M.D. Groenewoud, F.T.G. Tank, J.A. Roelvink, J. van de Graaff & H. Verbeek (1997)

Modelling of the morphodynamics of a sill in the Scheldt Estuary (The Netherlands)

S.W.E. Huijs (1996)

De ontwikkeling van de morfologie in de Westerschelde in relatie tot menselijke ingrepen, 1955-1994, Universiteit Utrecht, Instituut voor Marien en Atmosferisch Onderzoek Utrecht, R96-17, augustus 1996.

M.P.H. Jansen (1998)

Validatie TRISCAL en aanzet sedimenttransport, t.b.v. project VERDIEPING, rapportage activiteit C, Ingenieursbureau Svasek b.v., projectnr. 1011, rapport 97509, januari 1998.

K. de Jong (1998)

Tidally averaged transport models, Dissertatie Technische Universiteit Delft, oktober 1998.

J.A. Roelvink & Z.B. Wang (1996)

Morphological Model System, Evaluation of DELFT2D-MOR, Definition Study, WL I Delft Hydraulics, rapport Z2064, oktober 1996.

M. Schaap (1997)

Testen en verbeteren van de WAMORF-routines, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee, werkdocument RIKZ/OS-97.802x, januari 1997.

H.M. Schuttelaars (1997)

Evolution and stability analysis of bottom patterns in tidal embayments, Dissertatie Universiteit Utrecht, november 1997.

H.M. Schuttelaars (1999)

Modellering van geulen, platen en drempels in de Westerschelde, fase 1, One-dimensional long-term equilibria of tidal embayments, Universiteit Utrecht, Instituut voor Marien en Atmosferisch Onderzoek Utrecht.

M.J.F. Stive, Z.B. Wang, A.W. van der Weck, H.F.P. van den Boogaard & M.J. Baptist (1998)

Definitiestudie Morfologische Dynamiek Westerschelde, WL I delft hydraulics, Z2427, november 1998

P.M.C. Thoolen & Z.B. Wang (1999)

Sedimenttransport modellering Westerschelde, WL I delft hydraulics, Z2489, januari 1999.

H. Verbeek (1996)

Morfologisch onderzoek van de Westerschelde, zoektocht naar de mogelijkheden, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee, werkdocument RIKZ/OS-96.814x, mei 1996.

H. Verbeek, D. Engelen & A. Fioole (1992)

Verificatie DISTRO-NDB aan de hand van veldmetingen in de periode 1-5 oktober 1990, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling, nota 92.016, maart 1992.

H. Verbeek, F.T.G. Tank & M.D. Groenewoud (1998)

Drempels in de Westerschelde, natuur en mens samen aan het werk, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee, rapport RIKZ-98.011, april 1998.

Z.B. Wang, R.J. Fokkink, M. de Vries & A. Langerak (1995)

Stability of river bifurcations in 1D morphodynamic models, Journal of Hydraulic Research, 33, 6, 739-750.

Z.B. Wang, T. Louters & H.J. de Vriend (1996)

Morphodynamic modelling for a tidal inlet in the Wadden Sea, Marine Geology, 126 (1995), 289-300.

Z.B. Wang, P.M.C. Thoolen & R.J. Fokkink (1997)

Studie naar morfologische effecten van storten en baggeren in de Westerschelde, ten behoeve van MER storten gebaggerd materiaal, WL | Delft Hydraulics, rapport Z2310, juli 1997.

Z.B. Wang & B. Cloin (1999)

Verkennde studie verbetering weergave intergetijdegebied Westerschelde, WL | Delft Hydraulics, werkdocument, Z2593, januari 1999.

A.W. van der Weck (1999)

Vooronderzoek uitbreiding ESTMORF schematisatie Westerschelde, WL | Delft Hydraulics, rapport, Z2590, januari 1999.

C.A.H. Wouters (1998),

Drempel van Valkenisse, afstudeeronderzoek naar mechanismen die bijdragen aan de vorming van de Drempel van Valkenisse, Rijksinstituut voor Kust en Zee / Technische Universiteit Delft, Faculteit der Civiele Techniek, werkdocument RIKZ\OS-98.805x, februari 1998.