

1202-9

S1

MOVE

Monitoring van de effecten van de verruiming 48'-43'

**beschrijving van de fysische toestand
van de Westerschelde t/m 2000.**

RAPPORT 5

Rapport RIKZ/2001.023



Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ



Monitoring van de effecten van de verruiming 48'-43'

Beschrijving van de fysische toestand van de Westerschelde t/m 2000.

Gert-Jan Liek

RAPPORT 5

Rapport RIKZ/2001.023

juni 2001

Project MOnitoring VErruiming Westerschelde (MOVE)

Colofon

Auteur

Gert-Jan Liek

Redactie

Aline Arends

Rob Termaat (RWS, Directie Zeeland)

Projectleider RIKZ

Birgit Dauwe

Aanlevering van data

Leen Dekker (RWS, Directie Zeeland)

Edwin Parée (RWS, Directie Zeeland)

Kees van der Male (RIKZ)

Bram Schouwenaar (RIKZ)

Opdrachtgever

Rijkswaterstaat, Directie Zeeland

Samenvatting

Algemeen

Tussen juli 1997 en juli 1998 is de verruiming 48'-43' uitgevoerd in de Westerschelde. In 1999 is de Nederlandse overheid samen met de Belgische overheid gestart met het maken van een lange termijn visie voor het Schelde-estuarium (LTV). Naast een visie voor het jaar 2030, waarin een optimale toegang, veiligheid en natuurlijkheid zijn gecombineerd, zijn vier mogelijke ontwikkelingsrichtingen om dit doel te bereiken geschetst. De ontwikkelingsrichtingen variëren van voorlopig niets doen tot in één keer realiseren van een verruiming tot 14 meter (getij-ongebonden vaart).

In december 2001 komt het Nederlandse kabinet met een standpunt over de te volgen ontwikkelingsrichting. De waargenomen effecten van de verruiming 48'-43' zullen een rol spelen bij het besluitvormingsproces hieromtrent.

Om de effecten van de verruiming te volgen is een monitoringsproject opgezet: **MO**nitoring **VE**rruiming Westerschelde (MOVE). In dit project worden fysische, biologische en chemische ontwikkelingen in de Westerschelde gemonitord. De effecten van de verruiming 48'/43' worden in kaart gebracht door de na de verruiming te vergelijken met de ontwikkeling in de periode voor de ingreep.

Dit rapport is onderdeel van een speciaal MOVE-produkt dat toelevert aan LTV en beschrijft de ontwikkelingen van de fysische toestand van de Westerschelde in de periode 1955 t/m 2000 alsmede de bevindingen van het onderzoek, naar de bruikbaarheid en geldigheid van het zogenaamde cellen-concept, dat ontwikkeld is in het kader van LTV voor het evalueren en optimaliseren van de bagger- en stortstrategie.

De fysische systeemontwikkelingen die beschreven worden zijn: ontwikkelingen in de waterstanden, getijvolumina en stroomsnelheden, de areaalveranderingen van platen, ondiep water gebied en slikken en schorren en de inhoudsveranderingen van geulen.

Ontwikkelingen waterstanden, getijvolumina en stroomsnelheden (waterbeweging)

getijdoordringing

De getijdoordringing (de snelheid waarmee het getij het bekken kan binnendringen) is bepaald door voor zowel de hoogwaters als de laagwaters de tijdsverschillen tussen optreden t.o.v. Vlissingen te beschouwen. Uit deze beschouwing blijkt dat de getijdoordringing in de Westerschelde over het algemeen in de periode 1950-1985 sterker is geworden (tijdsverschillen tussen optreden van zowel de hoogwaters als de laagwaters t.o.v. Vlissingen zijn kleiner geworden). Vanaf halverwege de jaren '80 is de getijdoordringing constant.

hoogwaterstanden

De gemiddelde hoogwaterstanden vertonen sinds 1950 een stijgende trend die zich tot op heden voortzet. Deze stijging begint echter wel te verminderen, waarbij de hoogwaterstanden naar een constante waarde lijken te gaan.

laagwaterstanden

De gemiddelde laagwaterstanden in het midden en oostelijk deel van de Westerschelde vertonen vanaf 1993 een dalende trend, in het westelijk deel zijn de laagwaterstanden vanaf eind jaren '70 nauwelijks meer aan verandering onderhevig.

getijverschil

Het getijverschil is in het midden en westelijk deel van de Westerschelde vanaf halverwege de jaren '70 constant. In het oostelijk deel vertoont het getijverschil vanaf 1970 tot op heden een stijgende trend.

getijvolumina

In het midden en oostelijk deel van de Westerschelde zijn de getijvolumina sinds 1955 nauwelijks aan verandering onderhevig. De ebgeulen vertonen hier in de loop der tijd wel de trend meer water te voeren ten koste van de vloedgeulen. In het westelijk deel van de Westerschelde vertonen de getijvolumina vanaf halverwege de jaren '80 een stijgende trend, die tot op heden voortduurt. De verdeling over de eb- en vloedgeulen is echter nauwelijks veranderd.

stroomsnelheden

Door de scheepvaart wordt aangegeven dat op een aantal specifieke lokaties hinder wordt ondervonden van toegenomen stroomsnelheden (ankerplaatsen, loodswisselplekken, haveningangen, de Pas van Borsele en het Nauw van Bath). Metingen en modelsimulaties laten geen significante veranderingen zien in de grootte en richting van de stroomsnelheden op deze lokaties. De veranderingen in de periode na de verruiming 48'/43' lijken voor een belangrijk deel een voortzetting van de trend die vóór de verruiming is ingezet. Recent onderzoek heeft echter uitgewezen dat voor een aantal lokaties die gelegen zijn in of nabij bagger- en/of stortlokaties incidenteel wel lokale stroomsnelheidsveranderingen op kunnen treden.

Algemeen gezegd kan worden dat er geen aanwijzingen zijn dat de waargenomen ontwikkelingen van de waterstanden, getijvolumina en stroomsnelheden na de verruiming 48'/43' buiten de langjarige trends vallen die reeds lang voor de verruiming zijn ingezet. Eventueel zou nader statistisch onderzoek hiernaar uitgevoerd kunnen worden.

Areaal- en inhoudsveranderingen (morfologie)

areaalverandering van platen

Voor de hele Westerschelde kan gezegd worden dat het plaatareaal in de periode 1955-1980 een flinke toename laat zien, voornamelijk veroorzaakt door de sterke toename in het midden en oosten in deze periode. Daarna treedt tot 1990 een daling op. In de periode 1990-1994 is weer een lichte toename te zien. Na 1994 treedt een daling op die tot op heden voortzet. Deze dalende trend wordt voornamelijk veroorzaakt door de afname van het plaatareaal in het westelijk deel van de Westerschelde in diezelfde periode, waarin het plaatareaal in het midden en oosten constant is.

areaalverandering van slikken

Het areaal aan slikken vertoont in de loop der jaren een zeer grillig verloop. Netto is het slikareaal sinds 1955 niet veel veranderd. Sinds de jaren '70 tot halverwege de jaren '90 lijkt een lichte toename aan areaal op te treden. In de periode 1995 tot heden lijkt het slikareaal weer af te nemen.

Areaalverandering van ondiep watergebied

Van het totale areaal aan ondiep water kan gesteld worden dat dit sinds 1955 een dalende trend vertoont. De afname van ondiep waterareaal wordt sinds begin jaren '90 voornamelijk bepaald door de ontwikkelingen in het midden en oosten van de Westerschelde.

inhoudsverandering geulen

Aangaande de totale geulinhoud in de Westerschelde kan gesteld worden dat deze, afgezien van wat periodieke fluctuaties, sinds 1955 een stijgende trend vertoont. De veranderingen van de geulinhoud tijdens en na de meest recente verruiming passen in deze trend.

Met betrekking tot de waargenomen ontwikkelingen van de arealen en inhoud na de verruiming 48'/43' kan gezegd worden dat hiervoor eveneens geen aanwijzing zijn te vinden dat deze buiten de langjarige trends vallen die reeds lang voor de verruiming zijn ingezet. Eveneens zou hiernaar nader statistisch onderzoek uitgevoerd kunnen worden.

De verwachting was dat na de verruiming wel significante veranderingen in zowel de waterbeweging als de morfologie gezien zouden worden, die buiten de langjarige trends zouden vallen. Enkele mogelijke redenen waarom dit nu nog niet het geval is:

- de tijdschaal waarop het systeem (en de fysische parameters) zich aangepast aan de verruiming is 10-25 jaar. In dit onderzoek hebben we gegevens beschouwd die 2 jaar na realisatie van de verruiming opgenomen zijn. Die periode is kort om de effecten reeds eenduidig waar te kunnen nemen.
- Autonome ontwikkelingen (bijv. langjarige getijcycli, zeespiegelstijging en meteorologische ontwikkelingen) menselijke ingrepen (bijv. bagger, storten en zandwinning) in de Westerschelde lopen door elkaar heen. Autonome processen kunnen t.o.v. menselijke ingrepen tegengestelde effecten hebben op het fysisch systeem. Voorbeeld hiervan is de 18,6 jarige cyclus. Deze had in 1996 een top. Tijdens en na de verruiming in '97/'98 zullen de hoogwaterstanden onder invloed van deze 18,6 jarige cyclus iets afnemen en de laagwaterstanden iets toenemen. Deze ontwikkeling kan de door de verruiming verwachte veranderingen van de waterstanden tijdelijk nivelleren.

Beschouwing van het bagger-, stort en zandwinbeleid

In de studie voor de Lange Termijn Visie Schelde-estuarium (LTV) is door WLIDelft Hydraulics het morfologisch cellen-concept ontwikkeld, waarmee op basis van sedimenttransporten de grenzen van de stortcapaciteit van de geulen in de Westerschelde bepaald kunnen worden, zonder dat het meergeulenstelsel degenereert (kantelt tot een ééngelstelsel) als gevolg van het storten (Winterwerp et al., 2000). Uit dit cellen-concept volgt het zogenaamde 10% criterium: in ieder stelsel van twee parallelle geulen (=cel) kan theoretisch netto 5-10% van de bruto sediment transportcapaciteit van die cel (= som van het totale eb- en vloedtransport van die cel) in één van beide geulen worden gestort zonder dat deze geul en dus het tweegeulensysteem degenereert. Dit theoretisch stort-criterium is destijds grofstoffelijk geverifieerd, waarbij geconstateerd werd dat

sinds de verruiming 48'/43' in 1997-1998 de 10% grens is genaderd en in sommige gebieden (cellen) wordt overschreden. Dit zou theoretisch betekenen dat bij aanhoudende overschrijding van het stortcriterium deze cellen kunnen degenereren tot een ééngeulsysteem.

In het huidige onderzoek is bekeken of het cellen-concept te bruikbaar is bij het beheer, om zo de stortcapaciteit in de Westerschelde optimaal te benutten. Een eerste stap hierin is om het theoretisch stortcriterium, zoals dat volgt uit het cellen-concept, nader te verifiëren. Deze verificatie is uitgevoerd op basis van een analyse van historische gegevens (inhoudsveranderingen van geulen, bagger- en stortgegevens) over de periode 1955-1999 en berekende sedimenttransportcapaciteiten in de grote macro-cellen zoals bepaald door Winterwerp e.a. (2000). Er is onderzocht in hoeverre ingrepen als storten en baggeren bepalend zijn geweest voor de waargenomen erosie- en sedimentatietendensen. Op basis van deze verificatie is vervolgens nagegaan in hoeverre de theoretische stortcapaciteit in de beschouwde morfologische macro-cellen is/wordt overschreden en waar nog ruimte is voor het storten van sediment.

Het blijkt dat het theoretisch stortcriterium redelijkerwijs kan worden toegepast op de grote macro-cellen. Het precieze percentage van het criterium is afhankelijk van de hoeveelheden en de wijze waarop wordt gebaggerd en gestort en van de autonome ontwikkeling.

De toepasbaarheid van het theoretisch stortcriterium impliceert dat met het huidige bagger- en stortbeleid (sinds 1997-1999):

- a. de maximale stortcapaciteit van de Westerschelde gebruikt wordt,
- b. dat deze stortcapaciteit zo optimaal mogelijk moet worden benut om ongewenste verondieping van de geulen waarin wordt gestort te voorkomen,
- c. de stortcapaciteit van de cellen in het oosten is in het verleden overschreden,
- d. sinds de laatste verdieping wordt de stortcapaciteit van de cellen in het westen overschreden,
- e. enige ruimte voor storten nog aanwezig is in het middendeel en in het oostelijk deel.
- f. een verdere optimalisering van het stortbeleid lijkt nog mogelijk.

Inhoudsopgave

Samenvatting	3
Lijst met figuren	8
1 Inleiding	9
1.1 Achtergrond	9
1.2 Kader	9
1.3 Aanleiding voor het onderzoek en doelstellingen	10
1.4 Indeling van het rapport	11
2 Systeemontwikkelingen	13
2.1 Ingrepen	13
2.2 Ontwikkelingen van de waterstanden	16
2.3 Ontwikkelingen van getijvolumina, debieten en stroomsnelheden	19
2.4 Areaalveranderingen platen, slikken en schorren; inhoudsveranderingen van geulen	22
3 Fysische tussenstand	27
3.1 Algemeen	27
3.2 Het denkmodel van de Westerschelde	27
3.3 Interpretatie van de systeemontwikkelingen	28
3.4 Beschouwing van het bagger-, stort- en zandwinbeleid	30
4 Conclusies en aanbevelingen	33
4.1 Conclusies	33
4.2 Aanbevelingen	34
5 Literatuur	37
Bijlage 1: overzicht bagger- en stortlocaties	39
Bijlage 2: bruto ingrepen in m ³ voor de periode 1955-2000 (getalsmatig)	41
Bijlage 3: bruto ingrepen in de periode 1955-2000 (grafisch)	43
Bijlage 4: locaties debietraaien in de Westerschelde	45
Bijlage 5: snelheidsverschillen Westerschelde 1996-1988	47
Bijlage 6: snelheidsverschillen Westerschelde 2000-1996	49

Lijst met figuren

FIGUUR 1: BAGGERHOEVEELHEDEN PER MAAND IN DE PERIODE 1997-2000.	14
FIGUUR 2: STORTHOEVEELHEDEN PER MAAND IN DE PERIODE 1997-2000.	14
FIGUUR 3: ONTTREKKINGEN EN ZANDWINHOEVEELHEDEN IN DE PERIODE 1955-2000.	15
FIGUUR 4: TIJDSVERSCHIL OPTREDEN HOOGWATERS T.O.V. OPTREDEN VLISSINGEN.	16
FIGUUR 5: TIJDSVERSCHIL OPTREDEN LAAGWATERS T.O.V. LAAGWATERS VLISSINGEN.	17
FIGUUR 6: VERSCHILLEN GEMIDDELDE HOOGWATERSTANDEN T.O.V GEMIDDELDE HOOGWATERSTANDEN TE VLISSINGEN.	17
FIGUUR 7: VERSCHILLEN GEMIDDELDE LAAGWATERSTANDEN T.O.V. GEMIDDELDE LAAGWATERSTANDEN TE VLISSINGEN.	18
FIGUUR 8: VERSCHILLEN IN GETIJVERSCHIL T.O.V. GETIJVERSCHIL VLISSINGEN.	19
FIGUUR 9: ONTWIKKELING VAN DE GETIJVOLUMINA IN DE WESTERSCHELDE.	20
FIGUUR 10: VERHOUDINGEN GETIJVOLUMINA EBGEUL (LINKS)/VLOEDGEUL (RECHTS) T.O.V. TOTALE GEUL IN HET OOSTELIJKE EN MIDDEN DEEL VAN DE WESTERSCHELDE.	21
FIGUUR 11: VERHOUDINGEN GETIJVOLUMINA EBGEUL (LINKS)/VLOEDGEUL (RECHTS) T.O.V. TOTALE GEUL IN HET WESTELIJKE DEEL VAN DE WESTERSCHELDE.	21
FIGUUR 12: DEFINITIESCHETS VAN DE MORFOLOGISCHE EENHEDEN (HUIJS, 1996).....	23
FIGUUR 13: CUMULATIEVE AREAALVERANDERINGEN PLATEN T.O.V. 1955.	24
FIGUUR 14: CUMULATIEVE AREAALVERANDERINGEN SLIKKEN T.O.V. 1955.	24
FIGUUR 15: CUMULATIEVE AREAALVERANDERINGEN ONDIEP WATERGEBIED T.O.V. 1955.	25
FIGUUR 16: CUMULATIEVE INHOUDSVERANDERINGEN GEULEN T.O.V. 1955.	26
FIGUUR 17: SCHEMATISATIE VAN HET DENKMODEL VAN DE WESTERSCHELDE.	28
FIGUUR 18: MACRO- EN MESOCELLEN IN DE WESTERSCHELDE (WINTERWERP ET AL., 2000).....	31

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Tussen juli 1997 en juli 1998 is de 48'-43' verruiming uitgevoerd in het Westerscheldebekken. Bij deze verruiming is gebruik gemaakt van een andere bagger- en stortstrategie dan voorheen: het in het oostelijk deel van de Westerschelde gebaggerd sediment wordt niet meer voornamelijk in de nevengeulen van datzelfde gebied teruggestort, maar in het midden en westelijk gedeelte van de Westerschelde. De verwachting van deze nieuwe strategie is dat de verstarring van de dynamiek (steeds minder plaatsverandering van geulen en platen, verdwijnen van kortsluitgeulen) in het oosten, veroorzaakt door het baggeren in combinatie met het tegelijkertijd terugstorten, vermindert en dat in de toekomst de hoeveelheid onderhoudsbaggerwerk weliswaar toeneemt, maar minder sterk dan wanneer teruggestort zou worden in het oosten. Door de verruiming zijn de geulen immers verder van hun evenwicht gebracht, dus zullen deze gaan sedimenteren, waardoor onderhoud nodig is. Maar doordat het sediment nu verder weg wordt gestort dan voorheen (nl. in het westen) verwacht men dat de hoeveelheid onderhoud minder is dan bij terugstorten in het oosten.

In 1999 is vervolgens de Nederlandse overheid samen met de Belgische overheid gestart met het maken van een Lange Termijn Visie voor het Schelde estuarium in 2030 (in het vervolg aangeduid als LTV). Naast een visie voor het jaar 2030, waarin een optimale toegang, veiligheid en natuurlijkheid is gecombineerd, zijn vier mogelijke ontwikkelingsrichtingen geschetst om dit doel te bereiken. De ontwikkelingsrichtingen variëren van voorlopig niets doen tot in één keer een verruiming tot 14 meter (getij-ongebonden vaart) realiseren (Winterwerp et al., 2000).

In december 2001 komt het Nederlandse kabinet met een standpunt over de te volgen ontwikkelingsrichting. De waargenomen effecten van de 48'-43' verruiming zullen een rol spelen bij het besluitvormingsproces hieromtrent.

1.2 Kader

Om de effecten van de verruiming te volgen is een monitoringsproject opgezet: **MO**nitoring **VE**rruiming Westerschelde (MOVE). In dit project worden fysische, biologische en chemische ontwikkelingen in de Westerschelde gemonitord. De effecten van de verruiming worden in kaart gebracht door de recentelijk verzamelde gegevens te vergelijken met die van de periode voor de ingreep.

Het project MOVE levert de volgende produkten:

- Datarapportages.
- Beheersadviesrapportages.
- Evaluatierapporten.
- Speciale produkten.

Dit rapport is onderdeel van een speciaal produkt dat toelevert aan LTV en beschrijft de ontwikkelingen van de fysische kenmerken van het systeem, i.e. waterstanden, getijvolumina, debieten, stroomsnelheden en areaal- en inhoudsveranderingen van geulen, platen, slikken en schorren, in de periode van

1955 tot 2000. De ontwikkelingen van de fysische kenmerken zullen in samenhang bestudeerd worden om zodoende een tussenstand van het systeem op te kunnen stellen. Eveneens zullen de bevindingen van een onderzoek door WLIDelft Hydraulics worden beschreven, naar de bruikbaarheid en geldigheid van een concept, dat ontwikkeld is in het kader van LTV, voor het evalueren en optimaliseren van de bagger-, stort- en zandwinstrategie.

1.3 Aanleiding voor het onderzoek en doelstellingen

Vanuit LTV zijn aan de projectgroep MOVE vragen gesteld over de morfologische ontwikkelingen van de Westerschelde t.g.v. de verruiming. De volgende vragen zijn gesteld:

- Zijn er al ontwikkelingen op macro-schaal te onderkennen?
- Wat zijn de ontwikkelingen op meso-schaal (schaalniveau van kortsluitgeulen, plaat-geul uitwisseling van sediment)?
- Wat zijn specifiek de ontwikkelingen in het oostelijk deel?
- Wat zijn de veranderingen in fysiotopten (platen, slikken&schorren, ondiep-water gebieden)?
- Wat zijn precies de beperkingen van de stortgebieden in het midden en westen van de Westerschelde?

Bovenstaande vragen kunnen onderverdeeld worden in vragen naar de morfologische en/of hydraulische ontwikkelingen in bepaalde gedeelten van de Westerschelde en in vragen naar de bagger-, stort-, en zandwinstrategie. Zodoende is het onderzoek, waarmee de beantwoording van de vragen wordt gerealiseerd, ook opgedeeld in een deelonderzoek naar de morfologische ontwikkelingen en een deelonderzoek naar de bagger-, stort- en zandwinstrategie.

Doelstellingen deelonderzoek morfologische/hydraulische ontwikkelingen

De doelstellingen die vervolgens voor het morfologische/hydraulische deelonderzoek opgesteld zijn:

- Signaleren van veranderingen op meso-schaal (schaalniveau van kortsluitgeulen, plaat-geul uitwisseling van sediment).
- Signaleren van de veranderingen van fysiotopten (geulen en nevengeulen, platen, ondiep water gebied, slikken en schorren).
- Signaleren van verstelling van plaatranden.
- Signaleren van veranderingen in getijvolume en stroomsnelheden als gevolg van de veranderingen in de morfologie (en vice versa).
- Signaleren van de ontwikkelingen specifiek in het oostelijk deel van de Westerschelde als gevolg van het gewijzigde stortbeleid.

Samenvattend zijn voor dit deelonderzoek de volgende werkzaamheden verricht:

- Er is een onderverdeling gemaakt in hoofd- en nevengeulen, platen en slikken en schorren. Voor deze morfologische eenheden zijn inhouden en area's berekend.
- De reeksen van gegevens zoals menselijke ingrepen, debieten, stroomsnelheden en waterstanden zijn voor zover beschikbaar aangevuld tot het jaar 2000.
- De bij de hiervoor genoemde twee punten verzamelde data is tenslotte bewerkt en geanalyseerd.

Doelstellingen deelonderzoek bagger-, stort- en zandwinstrategie

In de voorgaande studie voor de Lange Termijn Visie Schelde-estuarium is een concept ontwikkeld dat op basis van sedimenttransporten aangeeft hoeveel materiaal in een geulsysteem (zg. cel) gestort mag worden, zonder dat het systeem degenereert. Met dit concept kan de bagger- en stortstrategie geoptimaliseerd worden en het kan tevens een hulpmiddel zijn voor het geven van adviezen hieromtrent (zie ook Winterwerp et al., 2000). Dit concept is destijds op grove wijze gevalideerd. Voordat dit concept echter ingezet kan worden als beheersinstrument, zal deze eerst nader geverifieerd moeten worden. Deze nadere verificatie is in het kader van MOVE uitgevoerd en de belangrijkste bevinding van dit onderzoek zullen in dit rapport behandeld worden.

De doelstellingen van dit deelonderzoek zijn:

- Het verifiëren van bruikbaarheid en geldigheid van het instrument voor het optimaliseren van de bagger-, stort- en zandwinstrategie.
- Advies doen over het al dan niet aanpassen van de huidige strategie en zo ja hoe deze aan te passen.

1.4 Indeling van het rapport

In hoofdstuk 2 zijn de systeemontwikkelingen beschreven, waarna in hoofdstuk 3 deze resultaten samengevoegd zijn, resulterend in een fysische tussenstand, waar de systeemontwikkelingen in het licht van het denkmodel en de verwachtingen uit het eerste evaluatierapport van MOVE (MOVE-rapport nr. 4, Arends et al., 1999) zijn bekeken. Tevens worden in dit hoofdstuk de resultaten van het onderzoek naar het instrument ter optimalisatie van de bagger-, stort- en zandwinstrategie behandeld. Tenslotte worden in hoofdstuk 4 de conclusies behandeld en wordt een aantal aanbevelingen gedaan. In dit laatste hoofdstuk worden zowel algemene conclusies en aanbevelingen gegeven als specifieke conclusies en aanbevelingen betreffende het bagger-, stort- en zandwinbeleid.

2 Systeemontwikkelingen

2.1 Ingrepen

Algemeen

De 48'-43' verruiming van de Westerschelde heeft tussen 1 juli 1997 en 31 juli 1998 plaatsgevonden. Naast de verruimingswerkzaamheden is het reguliere onderhoudsbaggerwerk aan de vaargeul in die periode gewoon voortgezet.

De in de baggervergunning en vergunningswet beschreven stortstrategie heeft tot doel de baggerinspanning en de nadelige effecten op morfologie, ecologie en hydrologie te minimaliseren. De stortstrategie komt in hoofdzaak op het volgende neer:

- Het zoveel mogelijk storten in het westelijk deel van de Westerschelde;
- Beperken stortplaatsen in oostelijk deel en uitbreiden stortplaatsen in westelijk deel;
- Het vaststellen van maximaal te storten hoeveelheden voor stortplaatsen in het midden en oostelijk deel, nl. respectievelijk 5 Mm³ en 1 Mm³.

Naast bagger- en stortwerkzaamheden komt in de Westerschelde ook zandwinning voor. In de Westerschelde wordt door verscheidene bedrijven t.b.v. de handel zand gewonnen. Tot en met 1995 werd door de overheid ook zand t.b.v. waterstaatswerken gewonnen. Voor het toepassen in diverse werken wordt baggerspecie ook naar Vlaanderen afgevoerd (= 'onttrokken België' in Bijlage 2). Tot en met 1986 en nog een keer in 1999 werd ook voor Nederlandse werken onderhoudsspecie gebruikt (= 'onttrokken Nederland' in Bijlage 2). Volgens het huidige beleid mag er maximaal 2,6 Mm³ per jaar onttrokken mag worden uit de Westerschelde, verdeeld als volgt: 0,3 Mm³ door de Nederlandse overheid, 0,3 Mm³ door de Belgische overheid en 2,0 Mm³ door de handel (de Jong, 2000). Deze hoeveelheden worden niet altijd benut.

In de volgende paragrafen wordt kort de stand van zaken (periode 1997-2000) betreffende de bagger-, stort- en zandwinwerkzaamheden beschreven. Ter informatie zijn in Bijlage 1 de bagger-, stort- en zandwinlokaties weergegeven.

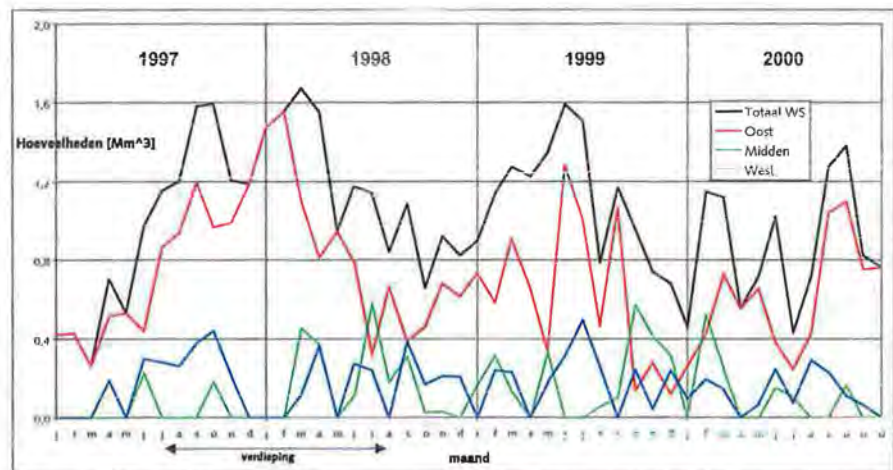
Baggeren

De 48'-43' verruiming van de Westerschelde ten oosten van de lijn Vlissingen/Breskens is uitgevoerd tussen 1 juli 1997 en 31 juli 1998. In deze periode van dertien maanden is in totaal 17,6 Mm³ gebaggerd, opgesplitst in 7,6 Mm³ initieel baggerwerk en 10 Mm³ onderhoudsbaggerwerk.

In Figuur 1 zijn de maandelijkse baggerhoeveelheden over de periode 1997 tot en met 2000 grafisch weergegeven. In deze figuur is te zien dat nog steeds het meest wordt gebaggerd in het oostelijk deel van de Westerschelde. Na de laatste verdieping zijn de gebaggerde onderhoudshoeveelheden iets afgenomen. In Bijlage 2 zijn deze gegevens vanaf 1955 ook per jaar in tabelvorm samen met de stort- en zandwinhoeveelheden samengevat en in Bijlage 3 in grafische vorm. In deze bijlagen wordt met een onttrekking dat deel van de baggerhoeveelheid bedoeld die niet in het systeem wordt teruggestort, maar uit het systeem wordt gehaald. In Bijlage 2 is te zien dat vanaf 1998 geen onderhouds-

baggerspecie naar België is afgevoerd. In 1999 heeft voor het eerst sinds 1986 weer een Nederlandse onttrekking plaatsgevonden, van ruim één Mm^3 .

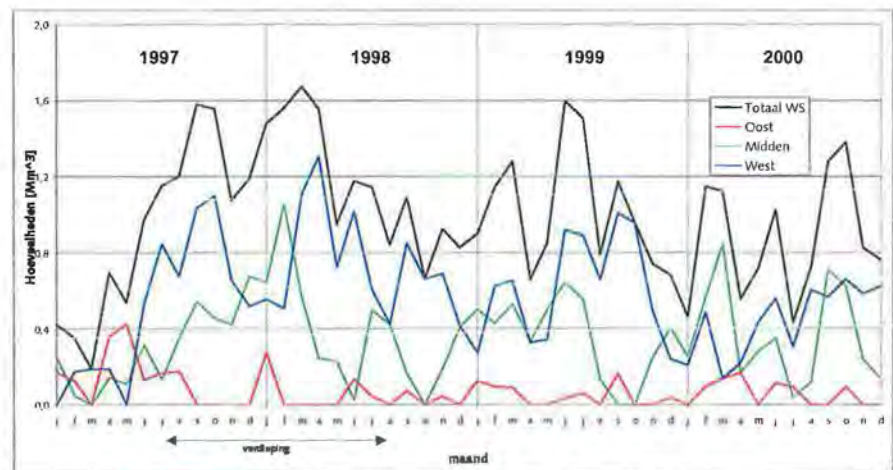
De ontwikkelingen lopen nog steeds volgens de verwachting: het aanlegbaggerwerk is met $7,6 \text{ Mm}^3$ ruim onder het maximum van 15 Mm^3 gebleven en in Bijlage 2 is aan de jaartotalen te zien dat ook het onderhoudsbaggerwerk na de verdieping niet het maximum van 14 Mm^3 heeft overschreden.



Figuur 1: baggerhoeveelheden per maand in de periode 1997-2000.

Storten

De verruiming is volgens een bepaalde strategie uitgevoerd waarbij zoveel mogelijk baggerspecie in het westelijk deel van de Westerschelde gestort zou worden. Wanneer we in Figuur 2 de storthoeveelheden van 1997 tot en met 2000 per systeemdeel bekijken kan geconcludeerd worden dat dit inderdaad het geval is.



Figuur 2: storthoeveelheden per maand in de periode 1997-2000.

Tijdens de verruiming zijn voor enkele stortplaatsen maxima vastgesteld in de baggervergunning: in het oostelijk deel (stortlocaties Schaar van de Noord (nr. 26), Schaar van Waarde (nr. 12) en Plaat van Ossensisse (nr. 14)) maximaal $1 \text{ Mm}^3/\text{j}$ en in het westelijk en midden deel (stortlocaties Gat van Ossensisse eb (nr. 16), Gat van Ossensisse vloed (nr. 17), ebschaar Everingen (nr. 19) en de

Biezelingse Ham (nr. 24)) samen maximaal 5 Mm³/j. Uit beschouwing van de baggergegevens in Tabel 1 blijkt dat deze maxima niet zijn overschreden.

Stortlocatie	1997	1998	1999	2000	maximum
	[m ³]	[m ³]	[m ³]	[m ³]	[m ³ /j]
oostelijk deel WS					
Schaar van de Noord	0	0	0	674	
Schaar van Waarde	522.367	574.131	600.670	698.473	
Plaat van Ossensisse	289.067	268.030	303.752	298.258	
Totaal	811.434	842.161	904.422	997.405	1.000.000
west & midden WS					
Gat v. Ossensisse eb	884.536	1.169.579	1.431.902	690.039	
Gat v. Ossensisse vl	702.256	985.511	836.944	607.581	
Ebschaar Everingen	569.095	597.987	558.258	591.010	
Biezelingse Ham	1.255.674	2.015.921	1.702.785	2.729.954	
Totaal west&midden	3.411.561	4.768.998	4.529.889	4.618.584	5.000.000

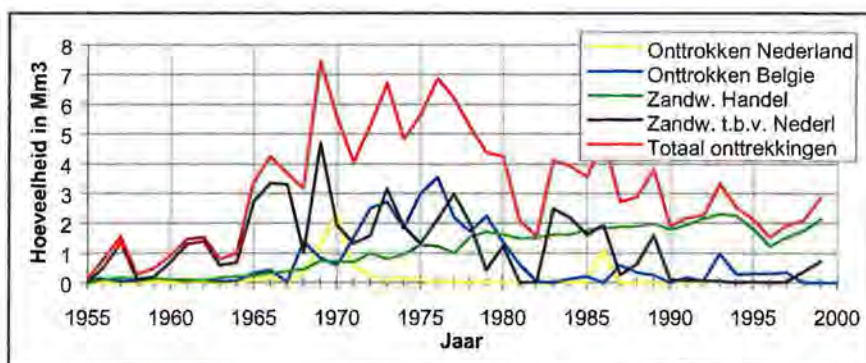
Tabel 1: beschouwing maximale storthoeveelheden in de periode 1997-2000.

Zandwinning

Zandwinggegevens zijn op het moment voor de periode 1955 tot en met 1999 beschikbaar. In Figuur 3 en Bijlage 2 zijn de hoeveelheden per jaar weergegeven. Het totaal aan onttrekkingen is gedefinieerd als de som van de onttrekkingen Nederland/België en de zandwinning handel/overheid, hetgeen neerkomt op de totale hoeveelheid sediment die uit het systeem gehaald wordt.

De totale hoeveelheid sediment die wordt onttrokken aan het systeem vertoont vanaf 1997 een gestage stijging, van 1,9 Mm³ in 1997 naar 2,9 Mm³ in 1999. In 1999 was de hoeveelheid gewonnen zand bijna drie miljoen m³, bijna een verdubbeling t.o.v. 1997. Zoals eerder vermeld is volgens het beleid de maximale hoeveelheid sediment die per jaar uit de Westerschelde onttrokken mag worden 2,6 Mm³. In 1999 is dit maximum dus overschreden met 0,3 M/j. In Figuur 3 is te zien dat in 1999 de zandwinning t.b.v. de Nederlandse Overheid 0,6 Mm³ bedraagt, terwijl volgens het beleid slechts 0,3 Mm³ mag worden onttrokken. Aangezien de Nederlandse Overheid in de jaren vòr 1999 slechts een zeer klein deel van hun budget hebben onttrokken, werd dat deel in 1999 aangewend voor de werken met betrekking tot de Westerscheldetunnel.

Te zien in Figuur 3 is tevens dat in 1997 voor het laatst nog een kleine hoeveelheid baggerspecie naar België werd afgevoerd. Vanaf 1998 is geen baggerspecie meer afgevoerd.



Figuur 3: onttrekkingen en zandwinhoeveelheden in de periode 1955-2000.

Voor meer informatie over de ingrepen in de Westerschelde wordt verwezen naar Parée (2001).

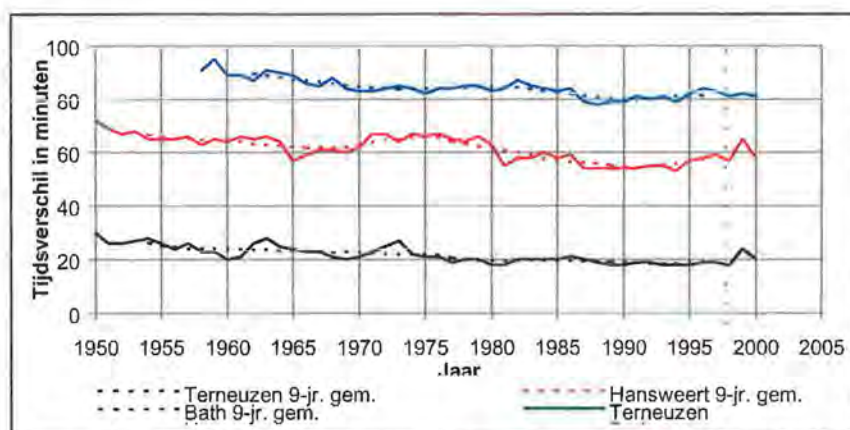
2.2 Ontwikkelingen van de waterstanden

N.B. de in de figuren van deze paragraaf halverwege het jaar 1997 geplaatste stippellijnen geven het tijdstip aan waar de verruiming 48'-43' is begonnen.

Getijdoordringing

Met name door de baggerwerken in de Westerschelde gedurende de laatste decennia is de getijdoordringing sterker geworden. Dit is goed terug te zien in Figuur 4 en Figuur 5, waar de tijdsverschillen tussen optreden van respectievelijk de hoogwaters en de laagwaters op een aantal plaatsen in de Westerschelde zijn weergegeven. De hoog- en laagwaters bij Bath bijvoorbeeld, in het oostelijke deel van de Westerschelde, traden in 2000 zo'n 10 minuten eerder op dan begin jaren '60.

Voor wat betreft het optreden van de hoogwaters is het tijdsverschil t.o.v. Vlissingen in zowel Terneuzen, Hansweert als Bath in de periode 1950-1980 gemiddeld ca. 5 minuten kleiner geworden. Sinds halverwege de jaren '80 is het tijdsverschil constant (zie Figuur 4).

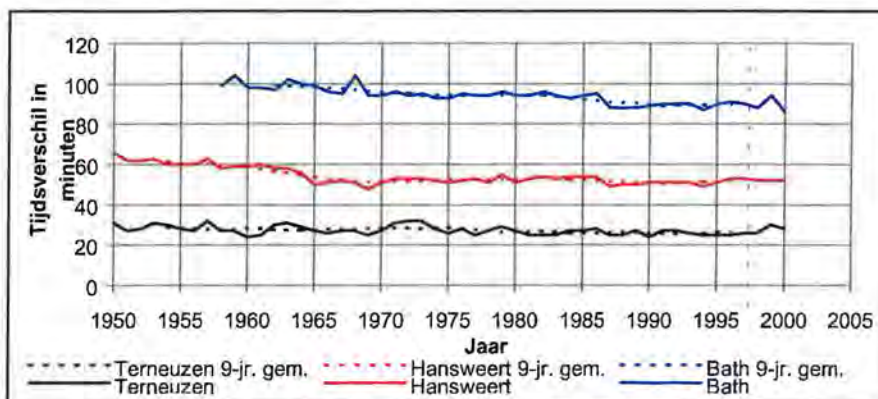


Figuur 4: tijdsverschil optreden hoogwaters t.o.v. hoogwaters Vlissingen.

Bij het optreden van de laagwaters zien we wat meer verschillen op de verschillende locaties (zie Figuur 5). In Terneuzen is het tijdsverschil t.o.v. Vlissingen sinds 1950 constant.

Het tijdsverschil in Hansweert is in de periode 1950-1965 ca. 10 minuten kleiner geworden. Na deze periode is het tijdsverschil constant gebleven.

In Bath is het tijdsverschil t.o.v. Vlissingen in de periode 1958-1990 ca. 10 minuten kleiner geworden. Na deze periode is het tijdsverschil constant gebleven.



Figuur 5: tijdsverschil optreden laagwaters t.o.v. laagwaters Vlissingen.

Algemeen kan gezegd worden dat de getijdoordringing in de Westerschelde in de periode 1950-1985 sterker is geworden (de tijdsverschillen tussen het optreden van zowel de hoogwaters als de laagwaters t.o.v. Vlissingen zijn kleiner geworden). Vanaf halverwege de jaren '80 is de getijdoordringing constant.

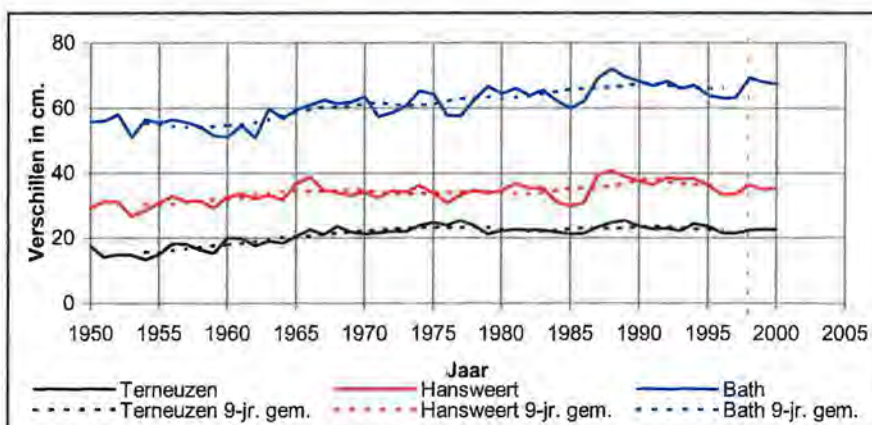
Hoogwaterstanden

Aangaande de verschillen in gemiddelde hoogwaterstanden kan in Figuur 6 gezien worden dat de hoogwaters in Terneuzen van 1950 tot ca. 1970/75 een stijgende trend vertonen en vanaf 1970/75 tot op heden de hoogwaterstanden op die locatie nauwelijks meer aan verandering onderhevig zijn.

In Hansweert vertoont het hoogwater in de periode 1950-1970 een stijgende trend, heeft het in de periode 1970-1980 een constante waarde en vertoont het in de periode 1980-heden een licht stijgende trend.

Bij Bath is de stijgende trend van het hoogwater in 1960 ingezet en lijkt tot op heden door te lopen. In Figuur 6 kan echter wel gezien worden dat deze stijgende trend sinds 1987 steeds meer af lijkt te vlakken naar een constante waarde.

Algemeen kan gezegd worden dat de hoogwaterstanden in de Westerschelde sinds 1950 een stijgende trend vertonen die zich tot op heden voortzet. Deze stijging begint echter wel te verminderen, waarbij de hoogwaterstanden naar een constante waarde lijken te gaan.



Figuur 6: verschillen gemiddelde hoogwaterstanden t.o.v. gemiddelde hoogwaterstanden te Vlissingen.

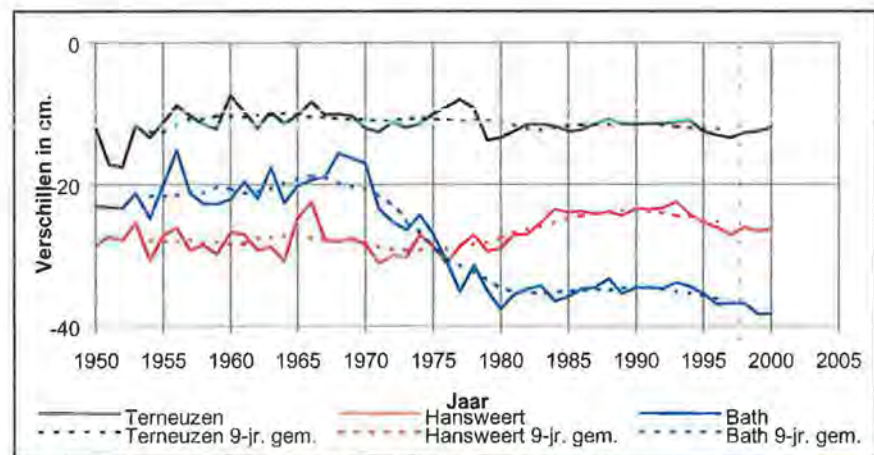
Laagwaterstanden

De gemiddelde laagwaterstanden (zie Figuur 7) zijn in Terneuzen zijn vanaf ca. 1957 tot op heden eigenlijk constant te noemen.

In Hansweert zijn de laagwaters constant over de periode 1950-1975 en laten daarna tot ca. 1984 een stijgende trend zien. Vervolgens lijkt de laagwaterstand aldaar tot begin de '90-er jaren weer redelijk constant te zijn. In de periode 1993-2000 lijken de laagwaters te Hansweert een dalende trend te vertonen.

In Bath vertonen de laagwaters in de periode 1950 tot halverwege de jaren '60 een licht stijgende trend, waarna deze trend omslaat in één van dalende laagwaters, die duurt tot ca 1980. Van 1980 tot begin jaren '90 lijkt de laagwaterstand weer redelijk constant te zijn. Ook in Bath lijken de laagwaters gedurende de periode 1993-2000 een dalende trend te vertonen.

Algemeen kan gezegd worden dat de gemiddelde laagwaterstanden in het midden en oostelijk deel van de Westerschelde vanaf 1993 een dalende trend vertonen. In het westelijk deel zijn de laagwaterstanden vanaf eind jaren '70 nauwelijks meer aan verandering onderhevig.



Figuur 7: verschillen gemiddelde laagwaterstanden t.o.v. gemiddelde laagwaterstanden te Vlissingen

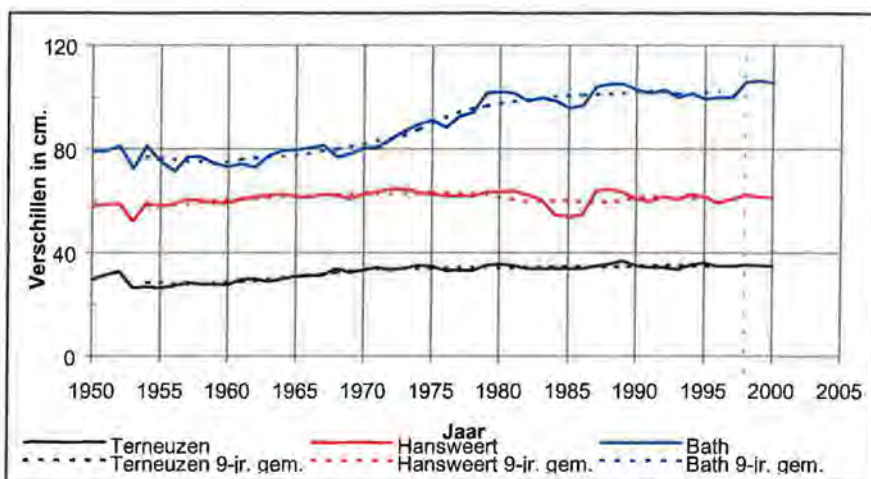
Getijverschil

Wanneer we nu naar de verschillen in getijverschil op de Westerschelde kijken (zie Figuur 8), is te zien dat dit verschil in Terneuzen in de periode tot 1970/75 een toenemende trend vertoont, om vervolgens tot op heden constant te blijven.

Het getijverschil in Hansweert lijkt tot de jaren '60/'70 een stijgende trend te vertonen en blijft vervolgens tot ca. 1981 constant. Tussen 1981 en 1987 zit een opmerkelijke kuil in de grafiek. Vanaf 1990 lijkt het getijverschil weer constant te zijn.

Het getijverschil in Bath vertoont eigenlijk tot op heden een stijgende trend, die echter wel steeds meer begint af te vlakken in de periode 1980-heden. Tussen begin jaren '70 en eind jaren '70 zien we een sterke stijging.

Algemeen kan gezegd worden dat het getijverschil in het midden en westelijk deel van de Westerschelde vanaf halverwege de jaren '70 constant is. In het oostelijk deel vertoont het getijverschil vanaf 1970 tot op heden een stijgende trend.



Figuur 8: verschillen in getijverschil t.o.v. getijverschil Vlissingen.

Algemene opmerking m.b.t. ontwikkelingen waterstanden.

Algemeen kan gezegd worden dat er op dit moment geen aanwijzingen zijn dat de waargenomen ontwikkelingen in de waterstanden na de verruiming 48'/43' buiten de langjarige trends vallen die reeds lang voor de verruiming zijn ingezet. Eventueel zou nader statistisch onderzoek hiernaar uitgevoerd moeten worden.

2.3 Ontwikkelingen van getijvolumina, debieten en stroomsnelheden

N.B. de in de figuren van deze paragraaf halverwege het jaar 1997 geplaatste stippellijnen geven het tijdstip aan waar de verruiming 48'-43' is begonnen.

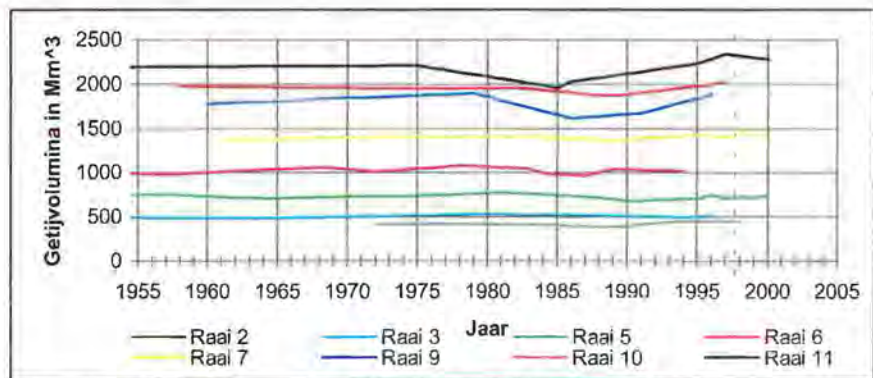
getijvolumina en debieten

In de Westerschelde liggen 10 raaien, waarin debieten gemeten worden. De opzet van deze metingen in het MWTL-programma (Monitoring Waterstaatkundige Toestand des Lands = landelijk monitoring programma) is zodanig dat gemiddeld eens in de 5 jaar het debiet gemeten wordt in een raai. In het kader van MOVE worden de raaien 5a¹ en 7 tot en met 2002 elk jaar gemeten. In deze studie zijn de raaien corresponderend met nummers 2, 3, 5a, 6, 7, 9, 10 en 11 nader bekeken. De locaties van deze raaien zijn te zien in Bijlage 4. Raaien 2, 3, 5a en 6 worden gebruikt om de ontwikkelingen in het oostelijk en midden deel van de Westerschelde te beschrijven en raaien 7, 9, 10 en 11 voor het westelijk deel.

In Figuur 9 is de ontwikkeling van de getijvolumina in de verschillende debiet-raaien in de Westerschelde grafisch weergegeven.

In de figuur is te zien dat in het oostelijk deel (raai 2,3, 5a en 6) de getijvolumina weinig aan veranderingen onderhevig zijn. In het westelijk deel (raai 9, 10 en 11) laten de raaien in de 80-er jaren echter opmerkelijke dalingen van de getijvolumina zien, die volgens L. Dekker (pers. comm.) echter binnen de grenzen van de meetnauwkeurigheid vallen. Na circa 1985 laten de volumina in dit deel weer een stijgende trend zien.

¹ In 1990 is de oriëntatie van raai 5 verlegd, zodat de raai loodrecht op de geulen staat. Sindsdien heeft deze raai het nummer 5a (zie ook Bijlage 7).



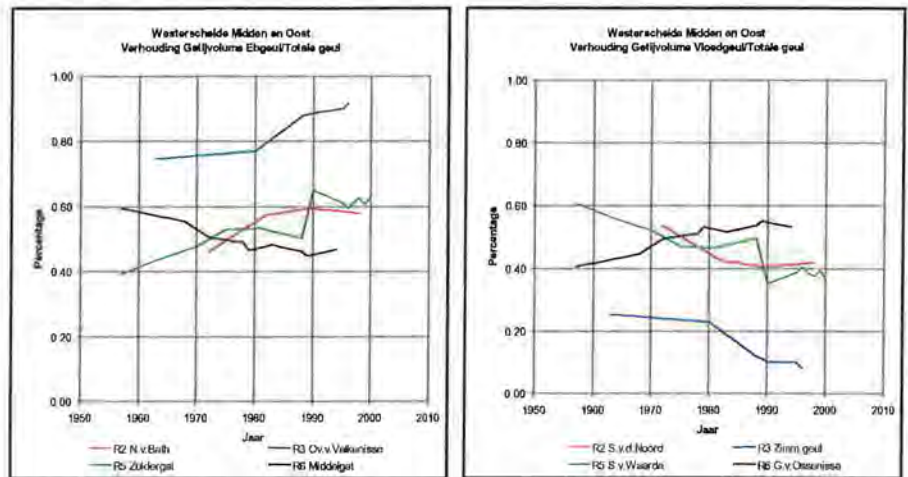
Figuur 9: ontwikkeling van de getijvolumina in de Westerschelde.

Wanneer we nu de verhoudingen tussen het getijvolume van de eb- of de vloedgeul en het getijvolume van de totale geul bekijken, ontstaat er een wat genuanceerder beeld van de debietsverdeling over de hoofd- en nevengeulen. Deze verhoudingen zijn voor de verschillende delen van de Westerschelde grafisch weergegeven in Figuur 10 en Figuur 11.

In Figuur 10 is te zien dat in het oostelijke en midden deel van de Westerschelde de ebgeulen in de loop der tijd de trend vertonen meer water te voeren, ten koste van de vloedgeulen. Dit geldt echter niet voor het stelsel Middelgat/Gat van Ossensisse, welke een omgekeerde trend laten zien, veroorzaakt door de zogenaamde functiewisseling van het Middelgat/Gat van Ossensisse (raai 6). In het stelsel Zuidergat/Schaar van Waarde (raai 5a) is in de periode '55-'75 een stijging van het getijvolume door het Zuidergat en een daling van het getijvolume door de Schaar van Waarde waar te nemen en in de periode '75-'90 juist een tegengestelde ontwikkeling. Voorts moet opgemerkt worden dat in 1990 een forse trendbreuk te zien is in zowel het volume dat door de vloedgeul gaat als dat door de ebgeul gaat. Zoals eerder vermeld is in 1990 de oriëntatie van deze raai veranderd, hetgeen zeer waarschijnlijk de trendbreuk kan verklaren.

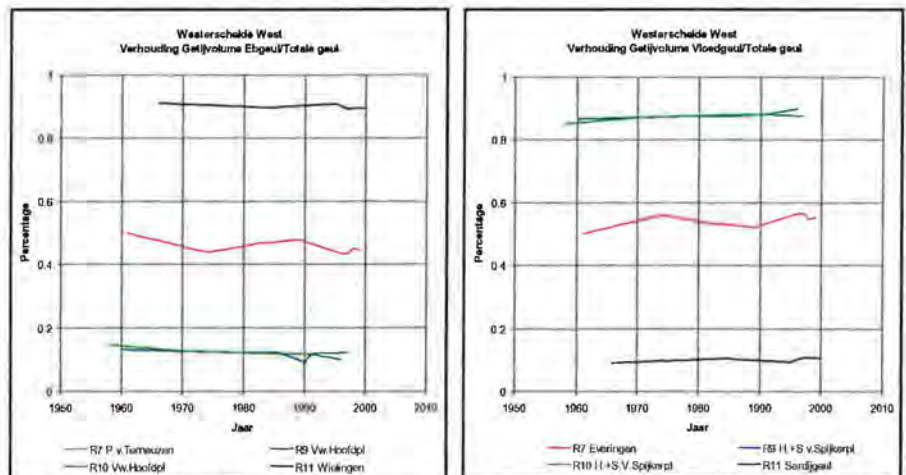
In het stelsel Overloop van Valkenisse/Zimmermangeul (raai 3) is in de periode '80-'90 een flinke stijging van het getijvolume door de Overloop van Valkenisse waar te nemen en een flinke daling van het getijvolume door de Zimmermangeul.

In het stelsel Nauw van Bath/Schaar van de Noord is in de jaren '70-'80 een stijging te zien van het getijvolume door het Nauw van Bath en een daling van het getijvolume door de Schaar van de Noord. Deze ontwikkeling is sterk gerelateerd aan de stortingen van sediment in de Schaar van Noord de jaren '70 (Kornman et al. 1998). Sinds halverwege de jaren '80 is de verhouding van de getijvolumina constant.



Figuur 10: verhoudingen getijvolumina ebgeul (links)/vloedgeul (rechts) t.o.v. totale geul in het oostelijke en midden deel van de Westerschelde.

In het westen van het estuarium is de debietsverdeling over eb- en vloedgeulen weinig aan verandering onderhevig (zie Figuur 11).



Figuur 11: verhoudingen getijvolumina ebgeul (links)/vloedgeul (rechts) t.o.v. totale geul in het westelijke deel van de Westerschelde.

Algemene opmerking m.b.t. ontwikkelingen in getijvolumina.

Algemeen kan gezegd worden dat er op dit moment geen aanwijzingen zijn dat de waargenomen ontwikkelingen in de getijvolumina na de verruiming 48'/43' buiten de langjarige trends vallen die reeds lang voor de verruiming zijn ingezet. Eventueel zou nader statistisch onderzoek hiernaar uitgevoerd moeten worden.

stroomsnelheden

Als een schip door een geul vaart, ondervindt dit schip weerstand. Deze weerstand ontstaat door de stroomsnelheid van het water (zowel richting als grootte zijn van belang). In het project MOVE is bekeken of en hoe de stroomsnelheden zijn veranderd, door veranderingen in bodemdiepte.

Door de scheepvaart zijn een aantal locaties gegeven waar hinder ondervonden wordt. In volgorde van belangrijkheid zijn dat:

1. De ankergebieden.
2. De loodswisselplekken zoals bijvoorbeeld de rede van Vlissingen.

3. De haveningen.
4. De drempel van Borsele vanwege zijn nauwe doorgang en verraderlijke stromingen.
5. De bocht van Bath.

Uit de metingen (beschreven in Dekker, 2001) komt niet naar voren dat de stroomsnelheden op bovengenoemde locaties significant veranderd zijn.

Vervolgens is er onderzocht wat een modelberekening voor uitkomsten geeft aangaande stroomsnelheden.

Met het SCALWEST model zijn voor de situaties 1988, 1996 en 2000 de stroomsnelheden in de Westerschelde berekend. Op de aangegeven locaties zijn de veranderingen onderzocht voor de perioden 1988-1996 en 1996-2000. Er is voor alle drie de jaren in het model gebruik gemaakt van dezelfde hydrodynamische randvoorwaarden, zodat waargenomen veranderingen alleen toegeschreven kunnen worden aan bodemveranderingen.

In Bijlage 5 en Bijlage 6 zijn de berekende snelheidsverschillen in de Westerschelde grafisch weergegeven m.b.v. verschilkaarten respectievelijk voor de periode 1988-1996 en 1996-2000. Een uitgebreidere beschrijving van de uitvoering van de simulaties en de uitkomsten hiervan kan men vinden in Dekker, 2001. De 4 ankerplaatsen, 1 loodswisselpiek, 2 haveningen en de Pas van Borsele en het Nauw van Bath zijn beschouwd.

De bijlagen geven aan dat voor de beschouwde ankerplaatsen de veranderingen in stroomsnelheid zeer gering zijn. Hetzelfde geldt voor de ingang van de havens van Vlissingen (Honte) en Terneuzen. Bij de loodswisselplaats op de Rede van Vlissingen zijn in de laatste periode slechts de stroomsnelheden bij eb toegenomen.

Bij de Pas van Borsele nemen in de periode '88-'96 de vloodsnelheden fors af en dit zet zich in mindere mate voort in de periode daarna. In het Nauw van Bath zijn de stroomsnelheden bij zowel eb als vloed licht toegenomen.

Algemeen kan gezegd worden dat zowel de metingen als de berekeningen blijkt dat de stroomsnelheden op de beschouwde locaties geen significante veranderingen laten zien. De veranderingen in de periode na de verruiming 48'/43' lijken voor een belangrijk deel een voortzetting van de trend die voor de verruiming is ingezet. Recent onderzoek (Klerk, 2001) heeft echter uitgewezen dat voor een aantal lokaties die gelegen in of nabij bagger- en/of stortlokaties incidenteel wel lokale stroomsnelheidsveranderingen op kunnen treden.

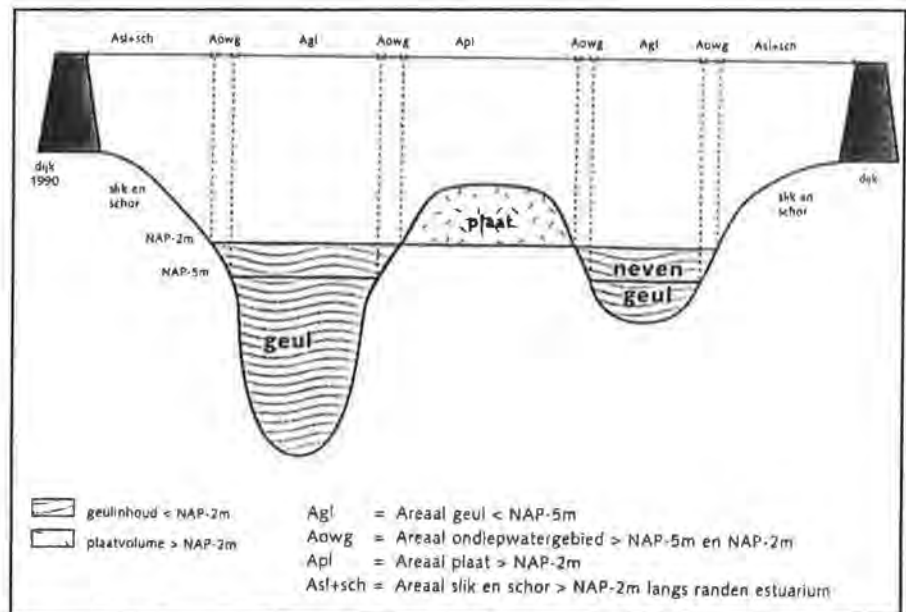
Voor een gedetailleerde beschrijving van de ontwikkeling van waterstanden, debieten en stroomsnelheden wordt verwezen naar Dekker (2001).

2.4 Areaalveranderingen platen, slikken en schorren; inhoudsveranderingen van geulen

N.B. de in de figuren van deze paragraaf halverwege het jaar 1997 geplaatste stippellijnen geven het tijdstip aan waar de verruiming 48'-43' is begonnen.

Veranderingen in de morfologie van een systeem zijn te signaleren door het bestuderen van inhouds- en areaalveranderingen van belangrijke morfologische eenheden, zoals geulen, platen, ondiep watergebieden en slikken en schorren. Deze inhouds- en arealen worden berekend aan de hand van hoogte- en

plaatsbepalingsgegevens (lodingen). In Figuur 12 wordt ter verduidelijking een definitieschets gegeven van de morfologische eenheden.



Figuur 12: definitieschets van de morfologische eenheden (Huijs, 1996).

Areaal veranderingen platen

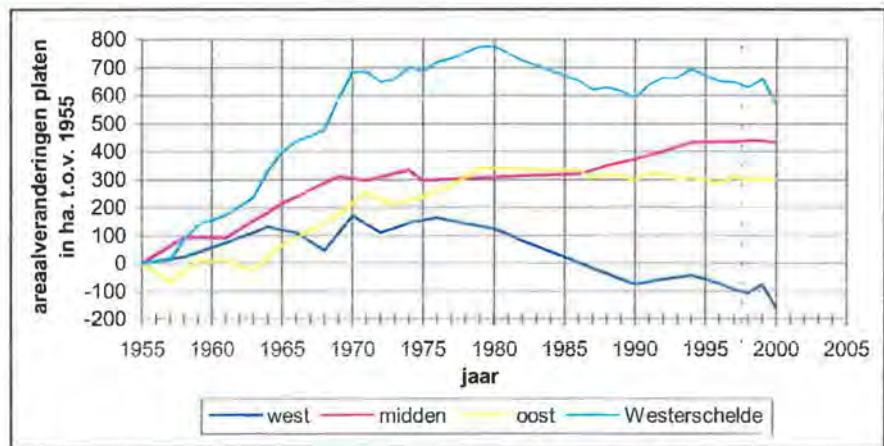
De areaalveranderingen van de platen worden besproken aan de hand van Figuur 13.

Het plaatareaal vertoont in het westen in de periode tot ca. 1976 een stijgende trend, waarna deze omslaat in een dalende trend tot op heden. Vanaf ca. 1990 gaat deze wel steeds meer naar een constante waarde.

In het midden laat het plaatareaal tot eind jaren '60 een stijgende trend zien, om vervolgens tot ca. 1981 een constante waarde te vertonen. De periode 1986-1994 laat weer een toename in plaatareaal zien. Vanaf 1994 is het plaatareaal in het westen constant.

Het plaatareaal in het oosten laat een stijgende trend zien in de periode 1964 tot 1979, waarna het areaal dan tot 1990 een zeer lichte daling vertoont. Na 1990 is het plaatareaal nauwelijks veranderd.

Voor de Westerschelde in zijn totaal kan in Figuur 13 gezien worden dat het plaatareaal in de periode 1955-1980 een flinke toename laat zien, waarna tot 1990 een daling inzet. In de periode 1990-1994 is dan weer een lichte toename te zien die weer omslaat in een dalende trend tot op heden. Deze ontwikkeling wordt voornamelijk gestuurd door de afname van het plaatareaal in het westelijk deel van de Westerschelde in diezelfde periode, waarin het plaatareaal in het midden en oosten constant is.

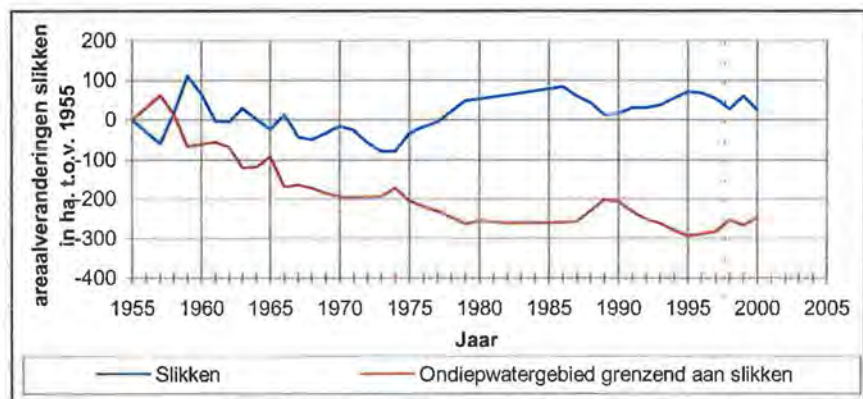


Figuur 13: cumulatieve areaalveranderingen platen t.o.v. 1955.

Areaalveranderingen slikken

De areaalveranderingen van de slikken in de Westerschelde worden besproken aan de hand van Figuur 14.

Het areaal slikken vertoont in de periode tot 1965-1974 een dalende trend, in de periode daaropvolgend tot 1986 een stijgende. Van 1986-1989 daalt het slikareaal wederom, om in de periode daaropvolgend tot 1995 weer een stijging te laten zien. In de periode 1995 tot heden lijkt het er op dat het slikareaal een dalende trend laat zien.



Figuur 14: cumulatieve areaalveranderingen slikken t.o.v. 1955

Areaalveranderingen ondiep watergebied

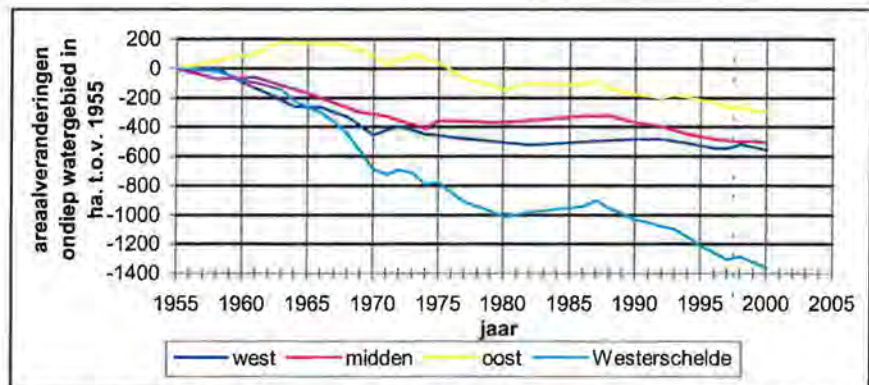
De areaalveranderingen van het ondiep watergebied worden besproken aan de hand van Figuur 15.

Het areaal ondiep water in het westen vertoont tot ca. 1982 een dalende trend, waarna de arealen tot op heden nauwelijks meer aan verandering onderhevig zijn.

In het midden zien we deze dalende trend in de periode tot 1974 ook terug, waarna de arealen tot 1986 een licht stijgende trend vertonen. In de periode 1986 tot 1996 dalen de arealen weer en vanaf 1996 tot op heden zijn ze constant.

Het areaal ondiep water in het oosten vertoont tot halverwege de jaren '60 een stijgende trend, die daarna omslaat in een dalende trend die eigenlijk tot op heden doorzet.

Van het totale areaal ondiep water in de gehele Westerschelde kan gesteld worden dat deze sinds 1955 een dalende trend vertoont, met uitzondering van de periode 1980-1987, die een lichte stijging te zien geeft. De afname van ondiep waterareaal in de Westerschelde wordt sinds begin jaren '90 voornamelijk veroorzaakt door de ontwikkelingen in areaal in het midden en oosten.



Figuur 15: cumulatieve areaalveranderingen ondiep watergebied t.o.v. 1955

Inhoudsveranderingen geulen

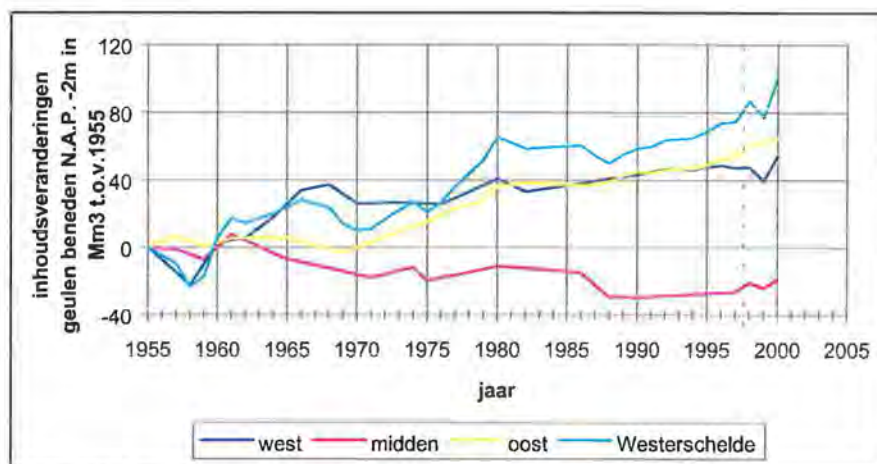
De inhoudsveranderingen van de geulen worden besproken aan de hand van Figuur 16.

De geulinhoud in het westen vertoont eigenlijk al sinds de jaren '50 een stijgende trend, die zich tot op heden voortzet.

De geulinhoud in het midden vertoont tot ca. 1971 een dalende trend, waarna in de periode 1971-1986 de inhoud een zeer geringe stijgende trend vertoont. Tussen 1986 en 1988 neemt de inhoud weer flink af, waarna tot op heden een stijgende trend waarneembaar is.

De geulinhoud in het oosten is de periode 1955 tot 1970 redelijk constant te noemen. Vanaf 1970 vertoont de geulinhoud in dit deel van de Westerschelde een stijgende trend, die tot op heden doorzet.

Aangaande de totale geulinhoud in de Westerschelde kan gesteld worden dat deze, afgezien van wat periodieke fluctuaties, vanaf 1955 een stijgende trend vertoont.



Figuur 16: cumulatieve inhoudsveranderingen geulen t.o.v. 1955

Algemene opmerking m.b.t. ontwikkelingen in arealen en inhouden

Met betrekking tot de waargenomen ontwikkelingen in de arealen en inhouden na de verruiming 48'/43' kan gezegd worden dat hiervoor op dit moment eveneens geen aanwijzing zijn te vinden dat deze buiten de langjarige trends vallen die reeds lang voor de verruiming zijn ingezet. Eveneens zou hiernaar nader statistisch onderzoek uitgevoerd kunnen worden.

Voor een gedetailleerde beschrijving op geul/plaat systeem niveau wordt verwezen naar Van der Male (2001).

3 Fysische tussenstand

3.1 Algemeen

Zoals reeds in de inleiding is vermeld zal in dit hoofdstuk een fysische tussenstand van de Westerschelde worden gegeven. Dit hoofdstuk is opgebouwd uit twee delen.

Het eerste deel behandelt de interpretatie van de resultaten van het deelonderzoek naar de (morfologische en hydraulische) systeemontwikkelingen. De resultaten uit hoofdstuk 2 zullen vergeleken worden met de destijds in het eerste evaluatierapport waargenomen veranderingen en verwachtingen. Deze verwachtingen zijn gebaseerd op het denkmodel van de Westerschelde dat is opgesteld in het kader van MOVE.

Het tweede deel behandelt de interpretatie van de resultaten van het deelonderzoek naar de verificatie van een recent ontwikkeld concept dat gebruikt kan worden om de stortcapaciteit in de Westerschelde optimaal te benutten. Dit onderzoek is uitgevoerd door WLI Delft Hydraulics. Er zal worden aangegeven of dit concept bruikbaar is en tevens waar in het huidige stortbeleid nog ruimte is voor optimalisatie.

Aangezien het denkmodel van de Westerschelde in de komende paragrafen gebruikt zal worden, zal dit denkmodel in de volgende paragraaf kort behandeld worden.

3.2 Het denkmodel van de Westerschelde

Het gebruikte denkmodel van de Westerschelde is gebaseerd op de aanname dat de morfologische ontwikkelingen na de huidige verruiming op een soortgelijke wijze zullen verlopen als na de vorige verruiming van 1970-1975.

Het denkmodel ziet er als volgt uit:

als gevolg van de baggerinspanning worden de drempels verlaagd, waardoor de getijgolf minder weerstand ondervindt en er meer water door de geul kan stromen. Als reactie hierop verdiepen en verbreden de geuldelen aan weerszijden van de drempel. Het sediment dat hierbij vrijkomt en het sediment dat wordt gebaggerd om de drempels op diepte te houden, wordt voornamelijk opgeslagen in de nevengeulen, kortsluitgeulen en plaatcomplexen. De platen nemen hierdoor zowel in oppervlak als gemiddelde hoogte toe. Dit draagt bij aan een sterke achteruitgang van het areaal ondiep water en leidt tot een kleinere komberging in de Westerschelde. Ook versmallen en verlagen de slikken in de buitenbochten. De diepere geulen versterken het binnendringen van het getij, zodat de getijslag met name in het oostelijk deel zal toenemen, hetgeen de afname in komberging compenseert.

Of in schematische vorm:



Opgemerkt moet worden dat de in dit schema weergegeven combinatie van processen niet de enige mogelijke is. Er zijn veel meer mogelijke relaties denkbaar, maar het weergegeven schema geeft de belangrijkste verwachte ontwikkelingen weer.

Figuur 17: schematisatie van het denkmodel van de Westerschelde.

3.3 Interpretatie van de systeemontwikkelingen

Ingrepen

Zoals reeds eerder vermeld is tijdens de recentelijke verruiming een nieuwe bagger-, en stortstrategie toegepast: in het oosten gebaggerd zand wordt niet meer voornamelijk in het oosten teruggestort, maar meer in het midden en westen van de Westerschelde. Eén van de verwachtingen van deze nieuwe strategie is dat de hoeveelheid onderhoudsbaggerwerk wel toeneemt, maar minder sterk dan wanneer teruggestort zou worden in het oosten. Door de verruiming zijn de geulen immers verder van hun evenwicht gebracht, dus zullen deze gaan sedimenteren, waardoor onderhoud nodig is. Maar doordat het sediment nu verder weg wordt gestort dan voorheen (nl. in het westen) verwacht men dat de hoeveelheid onderhoud minder is dan bij teruggestorten in het oosten. Wanneer we nu Bijlage 3 beschouwen zien we dat de baggerhoeveelheden in het oosten inderdaad iets is afgenomen en in het westen juist iets is toegenomen. Het totale onderhoud is in het jaar 1999 met 13,3 Mm³ globaal gezien 3 Mm³ meer dan in de jaren voor de verruiming. In 2000 bedroeg de baggerhoeveelheid 10,4 Mm³, hetgeen globaal overeenkomt met de baggerhoeveelheden voor de verruiming. Het is dus nu nog niet te zeggen dat het onderhoudsbaggerwerk na de meest recente verruiming relatief gezien is afgenomen. De verruiming is thans slechts twee jaar geleden, dus de waarnemingsperiode is eigenlijk nog te kort om hierover uitspraken te doen.

Waterstanden, getij

De verwachting, beschreven in het evaluatierapport en in het denkmodel, was dat het verlagen van de drempels vooral in het oosten er toe zou leiden tot een toename van de hoogwaterstanden en een daling van de laagwaterstanden, dus feitelijk een toename van het getijverschil. Ten aanzien van de ontwikkelingen van de hoogwaterstanden en de getijverschillen in Hansweert en Bath kan worden geconcludeerd dat die niet afwijken van ontwikkelingen die 10 tot 15 jaar voor de recente verruiming zijn ingezet. Ten aanzien van de laagwaterstanden kan in Hansweert sinds 1994 een verlagende trend worden waargenomen,

die nu afvlakt. In Bath kunnen we vanaf 1994 ook een trend van verlaging waarnemen, die tot op heden doorzet. De effecten van de verruiming zijn zo kort na deze verruiming nog niet in de in dit rapport gepresenteerde gegevens terug te vinden.

Een andere verwachting van het denkmodel was dat, door de verminderde weerstand t.g.v. het verlagen van de drempels, de debieten door de hoofdgeul toe zouden nemen. Op basis van de gegevens die thans beschikbaar zijn, zijn geen aanwijzingen te vinden dat dit inderdaad het geval is. Er zijn immers na de verruiming geen duidelijke ontwikkelingen in de debieten waargenomen die buiten de langjarige trends vallen die reeds voor deze verruiming zijn ingezet.

Samenvattend kan dus worden gesteld dat het op basis van een vergelijking met de gegevens van de waterstanden en debieten van voor de recente verruiming nog niet mogelijk is om effecten van deze verruiming op de waterstanden en debieten eenduidig vast te stellen of waar te nemen. Er zijn op dit moment geen aanwijzingen dat de waargenomen ontwikkelingen na de verruiming buiten de trends vallen die reeds voor deze verruiming zijn ingezet. Nadere statistische analyses in de toekomst zullen dit moeten staven.

Arealen en inhouden

Samenvattend kan met betrekking tot de ontwikkelingen van arealen en inhouden gezegd worden dat er volgend uit de in dit rapport gepresenteerde gegevens nog geen aanwijzingen zijn dat de recente ontwikkelingen zijn toe te wijzen aan de verruiming. De ontwikkelingen die gezien worden passen meestal in het beeld van de ontwikkelingen 10-15 voorafgaand aan de recente verruiming en zodoende zijn er tot nu toe nog geen aanwijzingen dat ze buiten deze voor de verruiming ingezette trend vallen. Wederom zullen nadere statistische analyses in de toekomst dit moeten staven.

Mogelijke verklaring waargenomen systeemontwikkelingen

Zoals in voorgaande reeds is behandeld, was de verwachting dat na de verruiming wel significante veranderingen in zowel de waterbeweging als de morfologie gezien zouden worden, die buiten de langjarige trends zouden vallen. Enkele mogelijke redenen waarom dit nu nog niet het geval is:

- de tijdschaal waarop het systeem (en de fysische parameters) zich aangepast aan de verruiming is 10-25 jaar. In dit onderzoek hebben we gegevens beschouwd die 2 tot 3 jaar na realisatie van de verruiming opgenomen zijn. Die periode is kort om de effecten reeds eenduidig waar te kunnen nemen.
- Autonome ontwikkelingen (bijv. langjarige getijcycli, zeespiegelstijging en meteorologische ontwikkelingen) en menselijke ingrepen (baggeren, storten en zandwinning) in de Westerschelde lopen door elkaar heen. Autonome processen kunnen t.o.v. menselijke ingrepen tegengestelde effecten hebben op het fysisch systeem. Voorbeeld hiervan is de 18,6 jarige cyclus. Deze had in 1996 een top. Tijdens en na de verruiming in '97/'98 zullen de hoogwaterstanden onder invloed van deze 18,6 jarige cyclus iets afnemen en de laagwaterstanden iets toenemen. Deze ontwikkeling kan de door de verruiming verwachte veranderingen van de waterstanden tijdelijk nivelleren.

3.4 Beschouwing van het bagger-, stort- en zandwinbeleid²

Achtergrond

In de studie voor de Lange Termijn Visie Schelde-estuarium (LTV) is door WLIDelft Hydraulics een morfologisch cellen-concept ontwikkeld, waarmee de grenzen van de stortcapaciteit van de geulen in de Westerschelde bepaald kunnen worden, zonder dat het meergeulensysteem degenereert als gevolg van het storten (Winterwerp et al., 2000). Uit dit cellen-concept volgt het zogenaamde 10% criterium: in ieder stelsel van twee parallelle geulen (=cel) kan netto 5-10% van de bruto sediment transportcapaciteit van die cel (= som van het totale eb- en vloedtransport van die cel) in één van beide geulen worden gestort zonder dat deze geul en dus het tweegeulensysteem degenereert. Dit stortcriterium is destijds grofstoffelijk geverifieerd, waarbij geconstateerd werd dat sinds de laatste verdieping in 1997-1998 (48'/43') de 10% grens is genaderd en in sommige gebieden (cellen) wordt overschreden.

Vanuit LTV zijn vervolgens aan de projectgroep MOVE vragen gesteld over de effecten van de verruiming 48'/43'. In dit kader wordt nu onderzocht wat de mogelijkheden zijn om het cellen-concept te gebruiken bij het beheer om de stortcapaciteit in de Westerschelde optimaal te benutten. Een eerste stap hierin is om het stortcriterium, zoals dat volgt uit het cellen-concept, nader te verifiëren. Deze verificatie is uitgevoerd op basis van historische gegevens over de periode 1955-1999. Tevens is een overzicht gemaakt van de stortcapaciteit in de verschillende cellen, waarbij aangegeven is waar deze capaciteit is/wordt overschreden en waar eventueel nog ruimte is om te storten. De resultaten van deze verificatie zullen in de komende paragrafen worden beschreven.

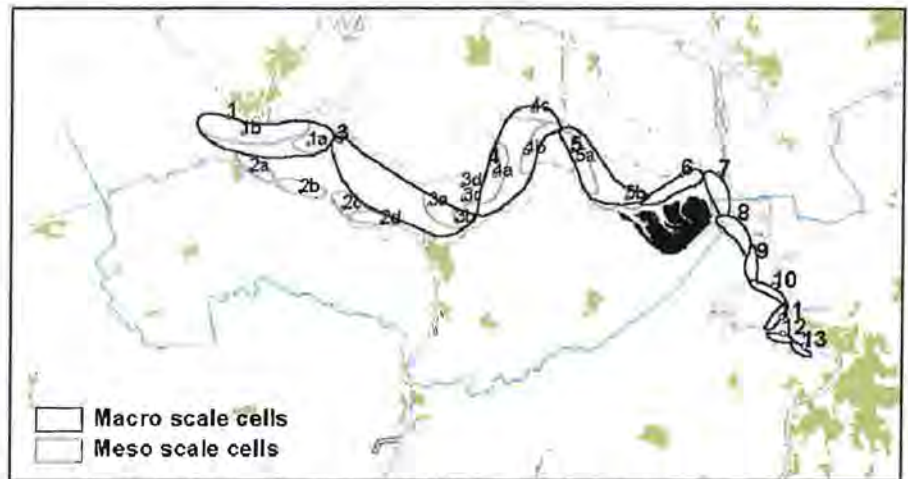
Het cellen-concept

Het cellenconcept voor de Westerschelde bestaat uit twee onderdelen:

- Een schematisatie van het systeem van geulen en platen.
- Een stabiliteitsanalyse van het geschematiseerde systeem.

Op basis van berekende getij-gemiddelde zandtransporten en het onderscheid tussen grote en kleine eb- en vloedgeulen kan het systeem van geulen geschematiseerd worden als een ketting van morfologische cellen (zie Figuur 18). Iedere cel bestaat uit een ebgedomineerde (eb)geul en een vloedgedomineerd (vloed)geul met daartussen een plaat. De grote geulen vormen de macro-cellen. De meso-cellen zijn geassocieerd met de kleinere geulen of inscharingen. Deze meso-cellen zijn in de studie niet behandeld omdat informatie over de erosie- en sedimentatiesnelheden in de individuele geulen van deze cellen niet beschikbaar was.

² het merendeel van de tekst in deze paragraaf is in samengevatte vorm overgenomen uit het rapport van Jeuken (2001).



Figuur 18: Macro- en mesocellen in de Westerschelde (winterwerp et al., 2000)

Geulen in de macro cellen:

- Cel 1: Honte, uitloop Wielingen en Schaar van de Spijkerplaat.
- Cel 3: Everingen, Pas van Terneuzen.
- Cel 4: Middelgat, Gat van Ossensisse.
- Cel 5: Zuidergat/Overloop van Valkenisse, Schaar van Waarde/Valkenisse/Zimmermangeul.
- Cel 6: Nauw van Bath, Schaar van de Noord.
- Cel 7: Vaarwater boven Bath, Appelzak.

Het tweede onderdeel van het cellen-concept bestaat zoals gezegd uit een stabiliteits-analyse. Deze analyse heeft uitgewezen dat baggeren en storten de stabiliteit van een morfologische cel beïnvloedt. Voorts is aan de hand van evenwichtsrelaties bepaald bij welke omvang van baggeren en storten in het geulsysteem van de cel instabiel wordt en tendeeert naar een ééngesysteem: het zogenaamde 5-10% stortcriterium, dat in de hier besproken studie is geverifieerd.

Resultaten van de verificatie

Uit de resultaten van het onderzoek is gebleken dat het theoretisch stortcriterium redelijkerwijs kan worden toegepast op de macro-cellen. Dit betekent dat 5-10% van de totale bruto transportcapaciteit in één van de twee geulen van een macro-cel kan worden teruggestort zonder dat de geul waar netto gestort wordt gaat verondiepen als gevolg van het storten. Het precieze percentage is afhankelijk van de hoeveelheden en de wijze waarop gebaggerd en gestort wordt en waarschijnlijk van de autonome ontwikkelingen.

Resultaten t.a.v. de beperkingen en mogelijkheden voor het storten

De toepasbaarheid van het theoretische stortcriterium impliceert dat met het huidige bagger- en stortbeleid (sinds 1997-1999):

1. De maximale stortcapaciteit van de totale Westerschelde gebruikt wordt en,
2. Dat deze stortcapaciteit zo optimaal mogelijk moet worden benut om ongewenste verondiepingen van de geulen waarin gestort wordt te voorkomen.

De maximale stortcapaciteit van de vloedgeulen in de cellen 5 en 6, in het oostelijk deel van de Westerschelde, is in het verleden gedurende langere perioden (5 jr.) overschreden. Deze overschrijding ging gepaard met een netto verondieping van de vloedgeulen.

Naar aanleiding van de Oostwest studie (Vroon et al., 1997) is besloten om meer baggerspecie te storten in het midden en westen van de Westerschelde. Echter, met name in de vloedgeul Everingen (cel 3) is sinds de laatste verdieping te veel gestort met ongewenste verondiepingen als gevolg. Daarnaast zijn de mogelijkheden voor het storten in cel 1 (1a) beperkt doordat de stortlocatie zich bevindt in een van nature verzandende kortsluitgeul (Ebschaar Spijkerplaat). Sinds 1997 wordt in dit gebied met veel moeite gestort, mede omdat de buitenbocht van de Schaar van de Spijkerplaat migreert tot buiten het vergunde stortvak.

In de vloedgeulen van de cellen 4 (Gat van Ossensisse, sinds 1997), 5 (Schaar van Valkenisse/Waarde), 6 (Schaar van de Noord) en 7 (Appelzak) is nog ruimte voor het storten van sediment.

Verdere optimalisatie van het stortbeleid lijkt mogelijk door het storten van sediment in de grote min of meer stabiele ebgeul Pas van Terneuzen (cel 3) en het winnen van (extra) zand op de stortlocaties in het westen waar te veel gestort is.

4 Conclusies en aanbevelingen

4.1 Conclusies

Algemene conclusies

- De periode van twee tot drie jaar na de verruiming 48'/43' (gegevens beschouwd t/m 2000) is te kort om eenduidige uitspraken te doen over de effecten van deze verruiming op de systeemontwikkelingen: de tijdschaal waarop het systeem (en de fysische parameters) zich aanpast aan de verruiming is namelijk 10-25 jaar.
- Op basis van de in dit rapport gepresenteerde gegevens is het nog niet te zeggen of het denkmodel van de Westerschelde voldoet. Hiervoor is een analyse van een langere tijdreeks van de gegevens na de verruiming noodzakelijk.

Conclusies m.b.t. waterstanden

- De getijdoordringing is in de Westerschelde in de periode 1950-1985 sterker geworden. Vanaf halverwege de jaren '80 is de getijdoordringing constant.
- De gemiddelde hoogwaterstanden vertonen sinds 1950 een stijgende trend die zich tot op heden voortzet. Deze stijging begint echter wel te vermindere, waarbij de hoogwaterstanden naar een constante waarde lijken te gaan.
- De gemiddelde laagwaterstanden in het midden en oostelijk deel van de Westerschelde vertonen vanaf 1993 een dalende trend, in het westelijk deel zijn de laagwaterstanden vanaf eind jaren '70 nauwelijks meer aan verandering onderhevig.
- Het getijverschil is in het midden en westelijk deel van de Westerschelde vanaf halverwege de jaren '70 constant. In het oostelijk deel vertoont het getijverschil vanaf 1970 tot op heden een stijgende trend.
- Er zijn op dit moment geen aanwijzingen dat de waargenomen veranderingen in waterstanden na de meest recente verruimingswerkzaamheden buiten de langjarige trends vallen die reeds voor de verruiming zijn ingezet.

Conclusies m.b.t. getijvolumina en stroomsnelheden

- De getijvolumina in het midden en oostelijk deel van de Westerschelde zijn sinds 1955 nauwelijks aan verandering onderhevig. De ebgeulen vertonen hier in de loop der tijd wel de trend meer water te voeren ten koste van de vloedgeulen. In het westelijk deel van de Westerschelde vertonen de getijvolumina vanaf halverwege de jaren '80 een stijgende trend, die tot op heden voortduurt. De verdeling over de eb- en vloedgeulen is echter nauwelijks veranderd.
- Er zijn op dit moment geen aanwijzingen dat de waargenomen ontwikkelingen in de getijvolumina na de verruiming 48'/43' buiten de langjarige trends vallen die reeds lang voor de verruiming zijn ingezet.
- Uit zowel de metingen als de berekeningen blijkt dat de stroomsnelheden en -richtingen op de beschouwde locaties geen significante veranderingen laten zien. De veranderingen in de periode na de verruiming 48'/43' lijken voor een belangrijk deel een voortzetting van de trend die vóór de verruiming is ingezet.

Conclusies m.b.t. morfologie

- Het plaatareaal laat in de periode 1955-1980 een flinke toename zien, voornamelijk veroorzaakt door de sterke toename in het midden en oosten in deze periode. Daarna treedt tot 1990 een daling op. In de periode 1990-1994 is weer een lichte toename te zien. Na 1994 treedt een daling op die tot op heden voortzet. Deze dalende trend wordt voornamelijk veroorzaakt door de afname van het plaatareaal in het westelijk deel van de Westerschelde in diezelfde periode, waarin het plaatareaal in het midden en oosten constant is.
- Het areaal aan slikken vertoont in de loop der jaren een zeer grillig verloop. Netto is het slikareaal sinds 1955 niet veel veranderd. Sinds de jaren '70 tot halverwege de jaren '90 lijkt een lichte toename aan areaal op te treden. In de periode 1995 tot heden lijkt het slikareaal weer af te nemen.
- Het totale areaal aan ondiep water vertoont sinds 1955 een dalende trend. De afname van ondiep waterareaal wordt sinds begin jaren '90 voornamelijk bepaald door de ontwikkelingen in het midden en oosten van de Westerschelde.
- De totale geulinhoud in de Westerschelde vertoont, afgezien van wat periodieke fluctuaties, sinds 1955 een stijgende trend.
- Met betrekking tot de waargenomen ontwikkelingen in de arealen en inhouden na de verruiming 48'/43' kan gezegd worden dat hiervoor op dit moment eveneens geen aanwijzing zijn te vinden dat deze buiten de langjarige trends vallen die reeds lang voor de verruiming zijn ingezet.

Conclusies uit verificatie cellen-concept

- Het theoretische stortcriterium van 5-10% kan redelijkerwijs toegepast worden op de macro-cellen. Dit betekent dat 5-10% van de bruto transportcapaciteit van het geulsysteem in één van de twee geulen van een macro-cel kan worden teruggestort zonder dat deze geul waarin gestort wordt verondiept. Het precieze percentage van dit criterium is afhankelijk van de hoeveelheden en de wijze waarop gebaggerd en gestort wordt in een cel en tevens van de autonome ontwikkeling van zo'n cel.
- Met het huidige stortbeleid wordt de maximale stortcapaciteit van de Westerschelde benut.
- De maximale stortcapaciteit moet zo optimaal mogelijk worden benut om ongewenste verondiepingen van geulen waarin gestort wordt te voorkomen.
- De stortcapaciteit van de cellen in het oostelijk deel van de Westerschelde is in het verleden overschreden.
- Sinds de laatste verruiming wordt de stortcapaciteit van de cellen in het westelijk deel van de Westerschelde overschreden, terwijl in het midden en oosten nog enige ruimte is om meer te storten.
- Verdere optimalisering van het stortbeleid lijkt mogelijk.

4.2 Aanbevelingen

Algemene aanbevelingen

- Statistische trendanalyses uitvoeren op de tijdreeksen die in dit rapport gepresenteerd zijn. Eventuele trendbreuken kunnen hierdoor opgespoord worden.
- Blijven monitoren van de fysische parameters, zodat onverwachte ontwikkelingen tijdig boven water komen.

Aanbevelingen voor het beheer uit verificatie cellen-concept

- Analyseren op welke wijzen het stortbeleid het beste kan worden geoptimaliseerd. Er zijn aanwijzingen dat met het huidige stortbeleid (storten in vloedgeulen) deze capaciteit nog niet optimaal wordt benut. Daarnaast kan worden overwogen om te storten in grote stabiele of eroderende ebgeulen en kan er (tijdelijk) extra zand gewonnen worden op locaties waar te veel gestort is.
- Het hanteren van een zo flexibel mogelijk stortbeleid. Hierbij kan bijvoorbeeld worden gedacht aan het aanwijzen van 'slapende' stortlocaties; stortlocaties die kunnen worden gebruikt in geval van een onverwachte overschrijding met ongewenste effecten elders.
- Het nauwgezet monitoren van de morfologische ontwikkelingen van individuele (hoofd)geulen en delen daarvan. Belangrijke aspecten zijn de lokale ontwikkelingen in stortgebieden en de ontwikkeling van de ebgeulen waar gebaggerd wordt; wordt het in de vloedgeul gestorte sediment door de getijstroom opgeruimd? In hoeverre gaan de gehele ebgeulen na de verdieping van 1997/1998 uitruimen. Beiden zijn van belang voor het verder evalueren en toepassen van het stortcriterium.

In het rapport van Jeuken (2001) wordt ook nog een aantal aanbevelingen gedaan voor vervolgonderzoek. Deze aanbevelingen zijn te splitsen in aanbevelingen die betrekking hebben op het verbeteren van de theorie die ten grondslag ligt aan het cellen-concept en in aanbevelingen die betrekking hebben op het analyseren en verklaren van morfologische ontwikkelingen. Deze laatste categorie is ook van belang voor het beheer en het verder onderbouwen en uitwerken van het cellen-concept. Deze aanbevelingen zijn te specifiek om in dit rapport op te nemen, daartoe wordt dan ook verwezen naar Jeuken (2001).

5 Literatuur

Arends, A.A., P. Kamermans, E.C. Stikvoort & B. de Winder (1999).

Monitoring van de effecten van de verruiming 48'-43'. Een eerste evaluatie van de bagger- en stortstrategie. Rapport RIKZ-99.019, Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg.

Dauwe, B. (2000).

Projectplan ZEEMOVE voor 2000-2003. Werkdocument RIKZ/AB/2000/835x, Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg.

Dekker, L. (2001)

MOVE: datarapport getij en zout 2000. Memo gericht aan projectgroep MOVE. Rijkswaterstaat, Directie Zeeland, Middelburg.

Huijs, S.W.E. (1996).

De ontwikkeling van de morfologie in de Westerschelde in relatie tot menselijke ingrepen, 1955-1994. Rapport R96-17, Faculteit der Ruimtelijke Wetenschappen, vakgroep Fysische Geografie, Universiteit Utrecht.

Jeuken, C. (2001).

Verificatie cellen-concept Westerschelde op basis van historische gegevens. Rapport Z3078, WLIDelft Hydraulics, Delft.

Jong, J. de (2000).

Zandbalans Westerschelde en monding periode 1955-1999. Notitie NWL-00.16. Rijkswaterstaat, Directie Zeeland, Middelburg.

Klerk, J. de, L. Dekker (2001)

Stromingsonderzoek ikv vervanging tonnen 4° gr door 3° gr. Memo gericht aan Frans Mol. Rijkswaterstaat, Directie Zeeland, Middelburg.

Kornman, B.A., A.A. Arends & J.H. Vroon (1998)

Advies aanleg geulwandverdediging Saeftinge. Werkdocument RIKZ/AB-98.849x, Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg.

Maldegem, D.C., B. Willemse & A.A. Arends (2000).

Ontwikkelingen ondiepwaterzone rond de platen van Valkenisse, periode 1990-heden. Werkdocument RIKZ/AB/2000/823x, Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg.

Male, K. van der (2001)

Aanvulling zandbalans MOVE 1997-2000. Werkdocument RIKZ/AB/2001/ , Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg.

Mol, G., (1997).

De toestand van de Westerschelde aan het begin van de verdieping 48'-43', rapport 1. Rapport RIKZ-97.049, Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg.

Mol, G. (1999).

De fysische toestand van de Westerschelde 1998; kort na de verdieping 48'-43'. Werkdocument RIKZ/AB-99.829x, Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg.

MOVE (1999)

Monitoring van de effecten van de verruiming 48'-43', voortgangsrapportage periode 1997-1998, rapport 3. Rijkswaterstaat, Directie Zeeland, Middelburg.

Parée, E. (2001)

Bagger-, stort- en zandwinhoeveelheden in de Westerschelde. Notitie AXL-01.22. Rijkswaterstaat, Directie Zeeland, Middelburg.

Svasek bv. (1999).

Tussentijdse evaluatie 48'/43'verruiming en stortbeleid Westerschelde. Rapport 99187/1111, ingenieursbureau Svasek bv, Rotterdam.

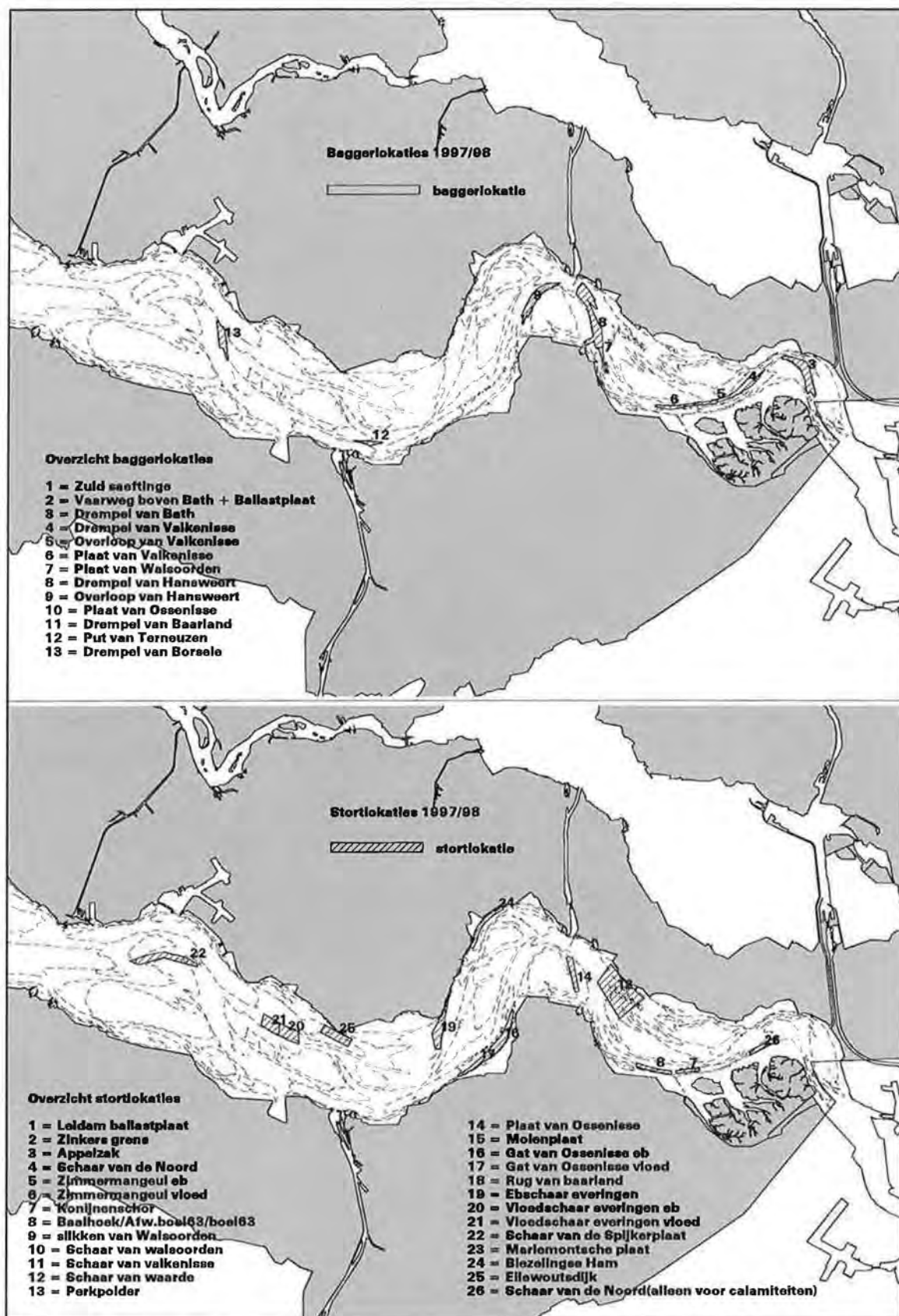
Vroon, J., Storm, C., Coosen, J. (1997).

Westerschelde, stram of struis? Eindrapport van het project Oostwest, een studie naar de beïnvloeding van fysische en verwante biologische patronen in een estuarium. Rapport RIKZ-97.023, Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg.

Winterwerp, J.C. et al. (2000).

Lange Termijnvisie Schelde-estuarium cluster morfologie, rapportage uitvoeringsfase. Rapport Z2878, WL I Delft Hydraulics, Delft.

Bijlage 1: overzicht bagger- en stortlocaties

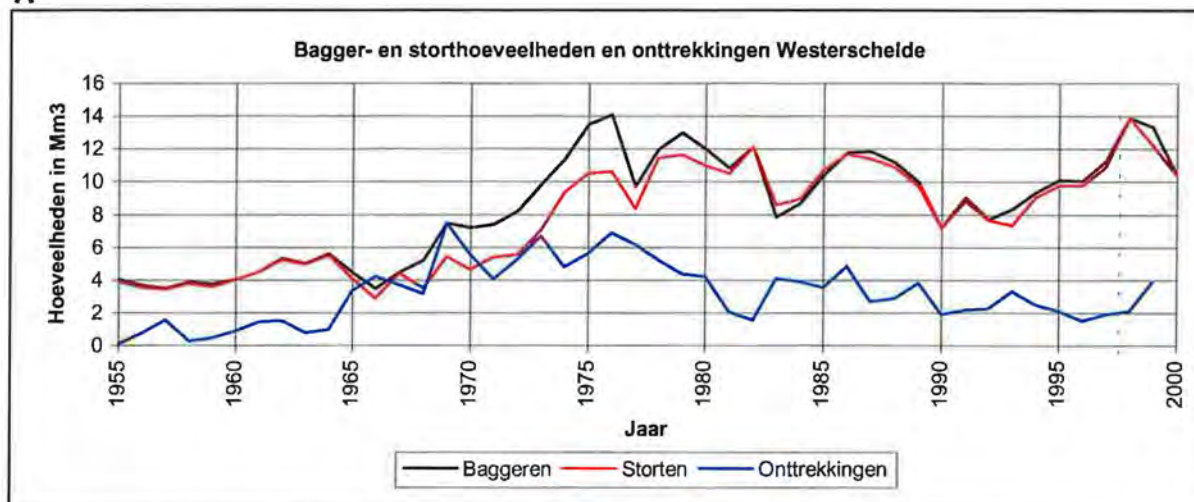


Bijlage 2: bruto ingrepen in m³ voor de periode 1955-2000 (getalsmatig)

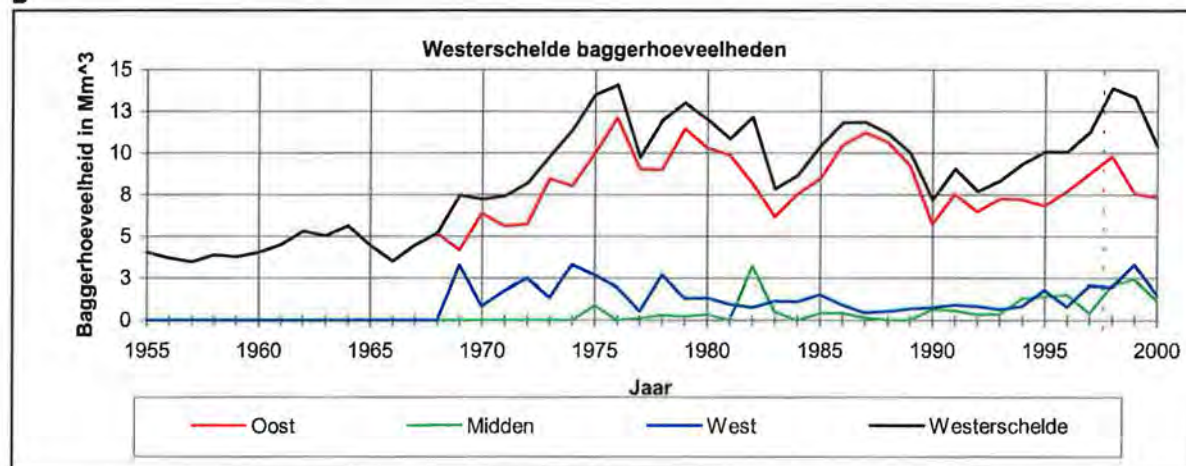
Jaar	Onderhoud en verbetering vaarweg		Import stort België	Onttrekkingen uit onderhoudsbaggerwerk		Zandwinning		Overige stortingen	Netto ingrepen
	Baggeren	Storten		Ned.	Belg.	Handel	Overheid		
1955	4.040.890	3.921.765	0	0	119.125	0	0	0	-238.250
1956	3.684.985	3.561.265	0	0	123.720	116.160	548.526	0	-912.126
1957	3.470.100	3.426.745	0	0	43.355	167.501	1.346.073	0	-1.600.284
1958	3.881.792	3.813.532	0	0	68.260	125.695	91.374	0	-353.589
1959	3.762.990	3.614.965	0	0	148.025	143.605	188.614	0	-628.269
1960	4.042.470	4.010.242	86.327	0	118.555	97.895	690.344	0	-852.695
1961	4.498.179	4.488.891	58.167	0	67.455	103.745	1.287.051	0	-1.409.372
1962	5.305.193	5.228.043	0	0	77.150	70.533	1.383.766	0	-1.608.599
1963	5.025.464	4.977.591	0	0	47.873	172.073	578.780	0	-846.599
1964	5.609.380	5.526.871	0	26.553	55.956	225.871	668.145	0	-1.059.034
1965	4.443.037	4.119.293	67.798	71.847	319.695	240.967	2.737.278	0	-3.625.733
1966	3.486.388	2.904.562	4.512	163.013	423.325	313.069	3.341.428	0	-4.818.149
1967	4.453.317	4.435.989	0	0	17.328	384.277	3.296.399	0	-3.715.332
1968	5.208.280	3.512.493	0	307.993	1.387.794	451.114	1.019.911	0	-4.862.599
1969	7.453.775	5.447.659	42.013	1.206.858	841.271	732.337	4.685.631	0	-9.430.200
1970	7.216.517	4.645.121	361.599	2.353.255	579.740	702.306	1.928.138	0	-7.773.236
1971	7.410.580	5.409.885	44.646	536.715	1.508.626	695.779	1.309.350	0	-6.006.519
1972	8.202.485	5.552.236	97.184	249.307	2.498.126	985.053	1.566.178	0	-7.851.729
1973	9.807.659	7.052.442	0	46.808	2.708.409	805.462	3.147.571	0	-9.463.467
1974	11.369.081	9.378.656	0	147.802	1.842.623	952.451	1.878.979	0	-6.812.280
1975	13.514.364	10.531.498	83.140	61.880	3.004.126	1.261.919	1.311.397	0	-8.539.048
1976	14.066.666	10.621.470	98.471	11.535	3.532.132	1.239.406	2.106.205	0	-10.236.003
1977	9.720.908	8.383.266	894.307	27.741	2.204.208	983.085	2.967.946	0	-6.626.315
1978	11.971.266	11.449.043	1.203.408	7.679	1.717.952	1.532.643	1.998.351	0	-4.575.440
1979	13.002.305	11.666.887	924.862	14.836	2.245.444	1.706.407	401.810	0	-4.779.053
1980	12.003.449	10.996.820	383.331	22.440	1.367.520	1.620.906	1.227.347	0	-4.861.511
1981	10.829.738	10.521.465	291.507	0	599.780	1.481.134	0	0	-2.097.680
1982	12.144.739	12.140.247	31.884	0	36.376	1.520.131	0	169.500	-1.359.615
1983	7.859.810	8.596.466	736.656	0	0	1.621.495	2.486.698	0	-2.634.881
1984	8.668.174	8.962.359	424.693	0	130.508	1.621.791	2.173.887	1.901.958	-1.305.350
1985	10.424.379	10.702.392	485.050	0	207.037	1.760.293	1.593.398	592.761	-2.204.904
1986	11.791.487	11.682.780	954.303	1.061.018	1.992	1.837.294	1.931.745	0	-3.986.453
1987	11.838.472	11.417.897	153.087	0	573.662	1.876.407	257.601	2.975.000	-158
1988	11.171.565	10.927.320	102.555	0	346.800	1.908.295	627.883	0	-3.024.668
1989	9.991.822	9.728.340	0	0	263.482	1.979.295	1.584.000	127.000	-3.963.259
1990	7.203.297	7.203.297	0	0	0	1.785.960	117.150	1.182.660	-720.450
1991	9.023.991	8.842.391	0	0	181.600	1.936.755	54.122	160.618	-2.193.459
1992	7.711.267	7.655.005	0	0	56.262	2.152.863	56.560	39.830	-2.282.117
1993	8.333.171	7.356.763	0	0	976.408	2.297.167	44.687	272.592	-4.022.078
1994	9.362.296	9.091.318	0	0	270.978	2.228.608	11.805	103.620	-2.678.749
1995	10.089.283	9.793.037	0	0	296.246	1.810.133	11.125	0	-2.413.750
1996	10.069.139	9.760.097	0	0	309.042	1.223.121	0	0	-1.841.205
1997	11.253.865	10.904.562	0	0	349.303	1.560.720	0	0	-2.259.326
1998	13.870.433	13.870.433	0	0	0	2.099.983	0	0	-2.099.983
1999	13.333.779	12.262.027	0	1.071.752	0	2.846.144	0	0	-4.989.648
2000	10.424.068	10.424.068	0	0	0	0	0	0	0
totaal	392.046.295	360.519.494	7.529.500	6.317.280	31.667.269	51.377.848	52.657.253	7.525.539	-159.563.164

Bijlage 3: bruto ingrepen in de periode 1955-2000 (grafisch)

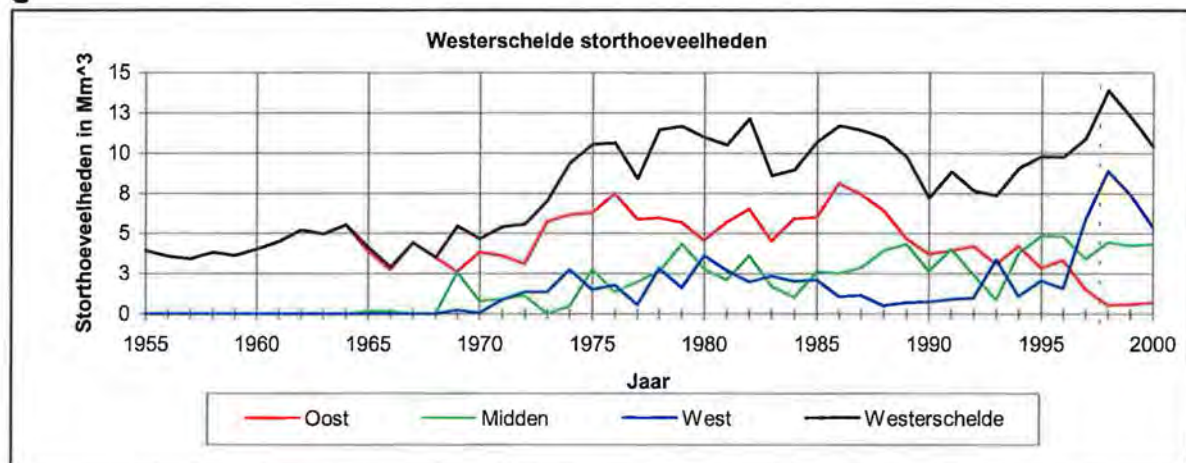
A



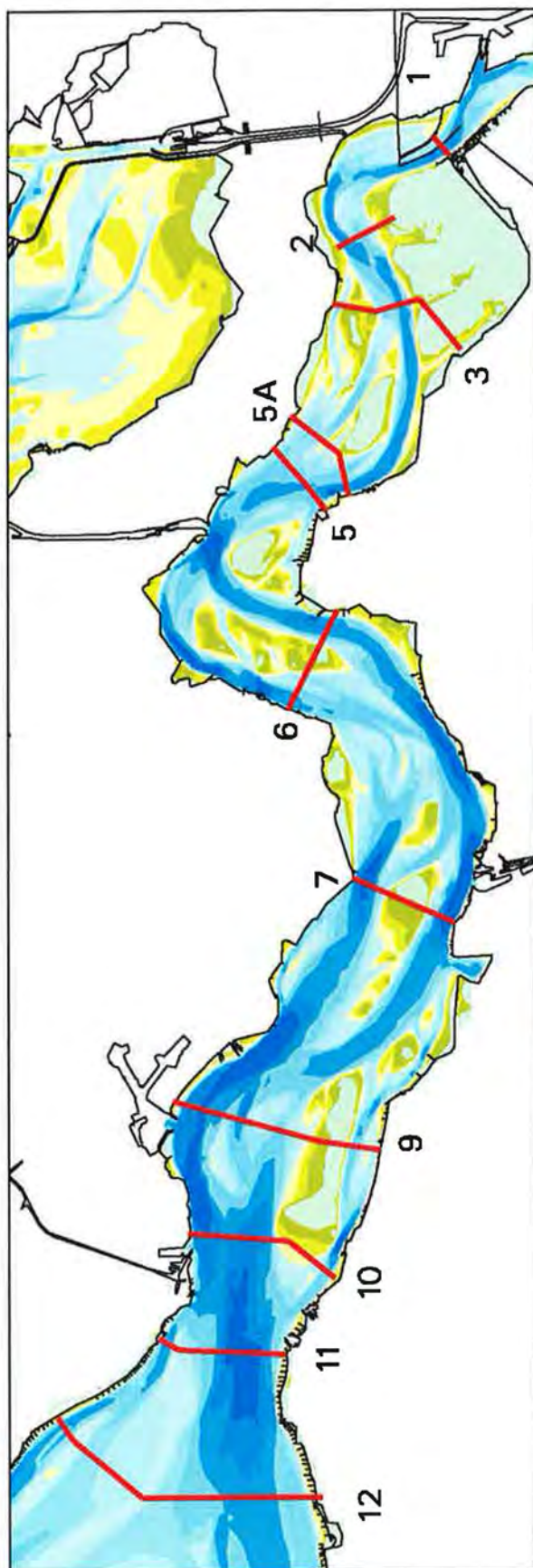
B



C



Bijlage 4: locaties debietraaien in de Westerschelde





Bijlage 6: snelheidsverschillen Westerschelde 2000-1996

