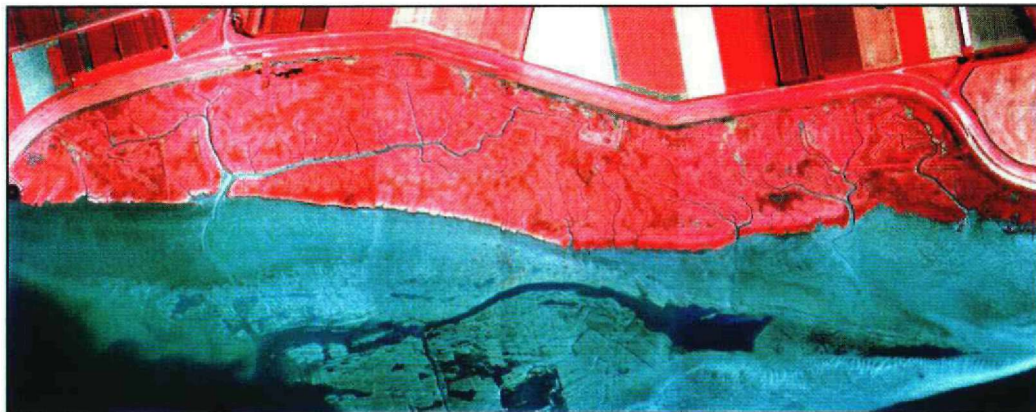
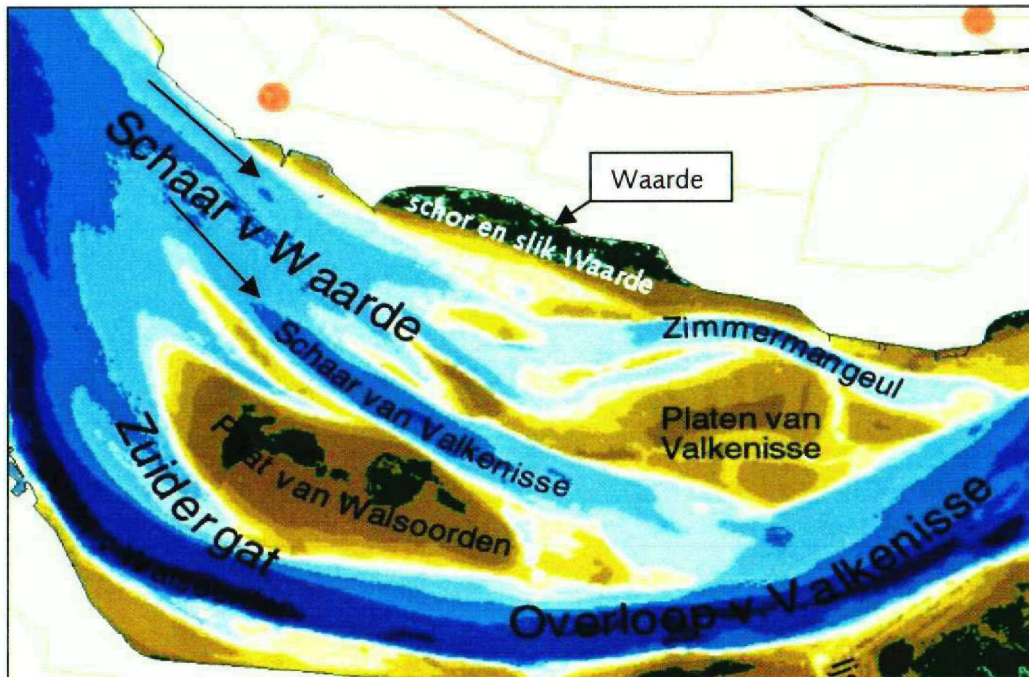


Slinkend Slik...?

Morfologische ontwikkeling rond het slik van Waarde van 1951 tot 2000



false-color luchtfoto van het slik en schor van Waarde, genomen in 1998

Werkdocument RIKZ
Project ZEEDELTAws NCP
Maart 2002
Nico Admiraal



Ministerie van verkeer en water
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ

Werkdocument

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

Aan
Geadresseerde

Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ
Bibliotheek (Middelburg)

C-14090 712

Contactpersoon	Doorkiesnummer
K. Admiraal	0118-672223
Datum	Bijlage(n)
maart 2002	5
Nummer	Project
RIKZ/	ZEEDELTAws NCP
Onderwerp	
morfologische ontwikkeling rond het slik van Waarde van 1951 tot 2000	

INHOUDSOPGAVE

VOORWOORD.....	2
SAMENVATTING.....	3
1. INLEIDING.....	5
1.1 ACHTERGROND PROJECT.....	5
1.2 OPZET ONDERZOEK.....	6
2. THEORETISCHE ASPECTEN.....	9
2.1 MORFOLOGIE GEULEN EN PLATEN.....	9
2.2 SLIKKEN.....	12
3. DATA-ANALYSE.....	14
3.1 GEMETEN DATA.....	15
3.2 BEREKENDE DATA.....	26
4. HYPOTHESEN/DISCUSSIE.....	30
4.1 ZIMMERMANGEUL.....	30
4.2 STORTEN.....	35
5. CONCLUSIES & AANBEVELINGEN.....	38
6. REFERENTIELIJST.....	40
7. BULAGEN.....	41

Vestiging Middelburg
Postbus 8039, 4330 EA Middelburg
Bezoekadres Grenadierweg 31

Telefoon 0118 672200
Telefax 0118 651046



Voorwoord

In het kader van de opleiding hydrologie van Wageningen Universiteit vindt tijdens de doctoraalfase een stage plaats. Deze stage heeft de duur van 24 studieweken. Het voor u liggende document is het resultaat van een stage bij het Rijksinstituut voor Kust en Zee (RIKZ) in Middelburg, afdeling OSB (Onderzoek & Strategie). Gedurende een periode van 6 maanden heb ik onderzoek gedaan naar het slik van Waarde en de morfologie van de daarbij behorende geulen en platen.

Tijdens de stage ben ik door verschillende mensen geholpen. In de eerste plaats wil ik mijn begeleiders Harm Verbeek, Bart Kornman en Gert-Jan Liek bedanken voor de begeleiding binnen het RIKZ en de mogelijkheid die mij geboden is om via het RIKZ aan een interessant onderwerp te kunnen werken. Daarnaast wil ik prof. Dr. Peter Troch bedanken voor de gesprekken die ik met hem over dit onderwerp gevoerd heb.

Verder wil ik alle collega's waarmee ik kennis heb gemaakt, bedanken voor de fijne werksfeer bij het RIKZ.

Nico Admiraal
Middelburg, maart 2002



Samenvatting

In het voor u liggende document wordt de morfodynamische interactie tussen de geulen en het slik van Waarde voor de periode van 1951-2000 beschreven. Deze geulen voor het slik zijn de Schaar van Waarde, de Schaar van Valkenisse (vloedscharen) en de Zimmermangeul (ebschaar). Het is een vervolg op het werkdocument van Liek & Kornman (2001). Hierin wordt ingegaan op de ontwikkelingen van het slik en het schor van Waarde in de periode 1957-2000. Naar aanleiding van de daar gepresenteerde data over het slik zijn enkele vragen / hypothesen naar voren gekomen over de oorzaak van de ontwikkelingen op het slik. In dit document zullen deze en andere daarmee verband houdende hypothesen getoetst worden. Het gaat hier voornamelijk om de achterliggende morfodynamische processen van het geulensysteem voor het slik in relatie tot de ontwikkeling op het slik.

Eerst is door middel van een uitvoerige data-analyse de ontwikkeling van het slik van Waarde in de periode 1951-2000 in kaart gebracht. Er is voor gekozen om deze ontwikkeling in perioden van 4 jaar te beschrijven om een gedetailleerd beeld te krijgen. Naast de ontwikkeling van de slikrand en de slikhoogte is in dit document ook de ontwikkeling van de slikinhoud onderzocht. De ontwikkeling van de slikinhoud geeft een nauwkeurig beeld van de ontwikkeling op het slik.

Uit bovenstaande data-analyse en de data uit Liek & Kornman (2001) zijn twee hypothesen geformuleerd die getoetst zijn door modelberekeningen.

1. *Zimmermangeul*: Erosie in het oostelijk deel van het slik wordt veroorzaakt door een vermindering van de inhoud van de Zimmermangeul. Sedimentatie wordt veroorzaakt door een toename van de inhoud.
2. *Storten*: Het water dat over het slik stroomt is onderverzadigd. Door te storten kan de stroom weer verzadigd worden, zodat er op het slik geen erosie meer optreedt. Eventueel kan het slik zelfs weer aangroeien.

Hypothese Zimmermangeul

De Zimmermangeul verliest duidelijk aan betekenis in de periode '80-'88. Het kleiner worden van de Zimmermangeul gaat in 75% van de jaren 1951-2000 samen met toename van de slikhoogte / slikinhoud. Hieruit blijkt dat het aangenomen verband tussen het verondiepen van de Zimmermangeul en de erosie in het oostelijk deel onjuist is. Het omgekeerde is aannemelijker. De verwachte ontwikkeling van de Zimmermangeul kan dus juist tot sedimentatie op het oostelijk deel van het slik leiden.

Hypothese storten

Uit het onderzoek blijkt dat storten vooral een korte termijn invloed op het slik van Waarde heeft. Een klein percentage van het gestorte materiaal komt ook daadwerkelijk op het slik terecht en dan vooral bij de geul-/slikrand. Alleen veel storten, dichtbij het slik heeft een merkbaar positief effect op aangroei van het slik.

Morfologische processen voor het slik.

De belangrijkste verklaring voor de ontwikkelingen in en rond het slik van Waarde is het west-oost gerichte sedimenttransport door de dominante vloedstroom. Morfologische fenomenen, zoals het ontstaan van landtongen voor het slik, maar ook gestorte materialen verplaatsen zich vanuit het westen naar het oosten. Ook voor de erosieverschijnselen geldt dit. Erosie die eerst in het westelijk deel van het slik is opgetreden, treedt in een volgende periode in het oostelijk deel op. De vloedstroom is



de primaire oorzaak voor de morfologische ontwikkelingen rond het slik van Waarde. Een secundaire oorzaak is de verandering in het geulenpatroon (Zimmermangeul, de Schaar van Valkenisse) voor het slik. Deze verandert in de loop van de tijd, waardoor de stroming soms meer, soms minder erosieve kracht vertoont. Vooral na '88 is te zien dat deze de ontwikkeling op het slik in positieve zin kan beïnvloeden, d.w.z. vermindering van de erosiedruk op het westelijk deel van het slik, aangroei op het oostelijk deel. De Schaar van Valkenisse neemt dan namelijk sterk toe qua getij-volume ten kosten van de Zimmermangeul, die zijn erosieve kracht op het oostelijk deel van het slik hierdoor verliest. Daarnaast is de stroming in het westelijk deel niet meer direct langs het slik georiënteerd, maar meer naar het zuiden. Deze recente ontwikkelingen hebben dus een positief effect op het slik. Ondanks deze secundaire ontwikkeling, blijft de west-oost georiënteerde dominante vloedstroom, de belangrijkste verklaring voor de ontwikkelingen van het slik van Waarde.

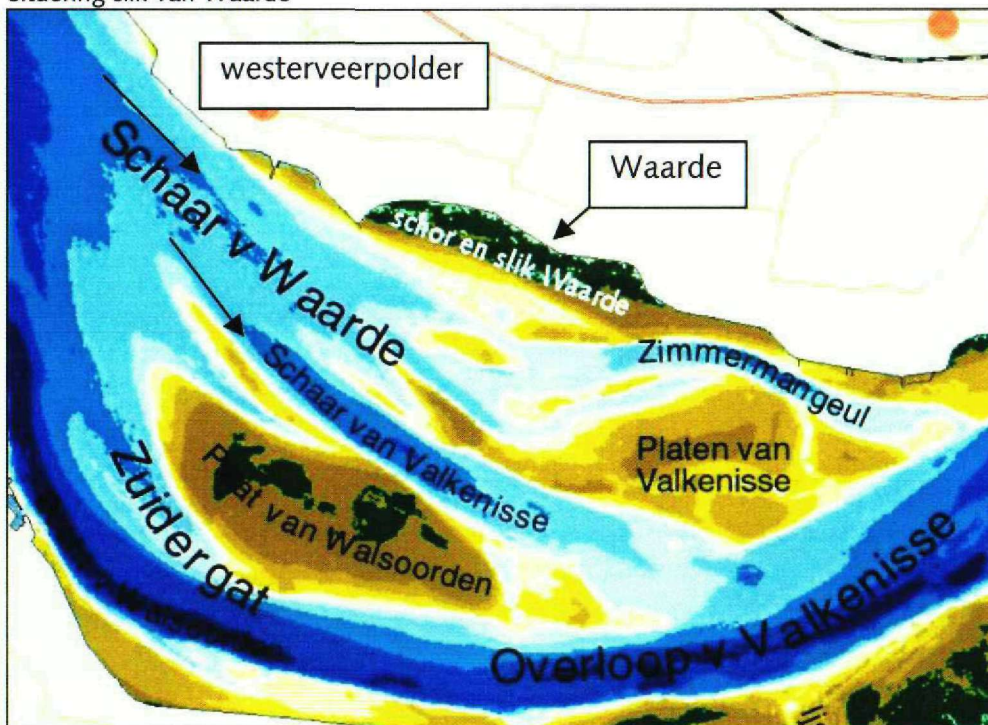


1. Inleiding

1.1 Achtergrond project

Dit document is gemaakt in het kader van het Natuur Compensatie Programma Westerschelde (NCP). Voor de uitvoering van dit programma is het onderzoek verdeeld in 3 fasen. In de 1^e fase wordt er inzicht gekregen in de morfologische ontwikkeling als gevolg van erosie / sedimentatie van het slik en schor van Waarde. In de 2^e fase worden er prognoses gedaan over de ontwikkeling van het gebied bij handhaving van het huidige gebruik en beheer (autonome ontwikkeling). Tijdens de laatste fase worden er mogelijkheden aangedragen om de erosieve tendensen van slik en schor te verminderen en uiteindelijk te stoppen. Binnen de eerste twee fasen past het voor u liggende document en het werkdocument 'de morfologische ontwikkeling van het slik en schor van Waarde in de periode 1957-2000', Liek & Kornman (2001). Dit werkdocument vormde de basis voor de in dit document onderzochte hypothesen.

Situering slik van Waarde



Figuur 2: situering slik van Waarde in de Westerschelde

Uit Liek & Kornman (2001) blijkt dat een mogelijke oorzaak van het eroderen van het slik en schor van Waarde gezocht kan worden in de functiewisseling van de getijgeulen. Dit proces speelt zich af op macroschaal. In het voor u liggende document wordt gekeken naar wat de oorzaak is van het eroderen van het slik van Waarde op mesoschaal, de morfologische interactie tussen de geulen en het slik van Waarde. Deze geulen zijn de Schaar van Waarde, de Schaar van Valkenisse en de Zimmermangeul.



Randvoorwaarde: functiewisseling

Er heeft zich ten westen van het slik van Waarde ter hoogte van Hoedekenskerke een functiewisseling van geulen voorgedaan. In de jaren '40 van de vorige eeuw is het Gat van Ossenisse doorgebroken, waardoor de Overloop van Hansweert is ontstaan. De Overloop van Hansweert is gaan uitbochten en heeft vervolgens de functie van de hoofdgeul overgenomen, ten koste van het Middelgat. De debietverhouding Overloop van Hansweert / Middelgat is nu 60/40.

Procesbeschrijving

Hieronder volgt een beschrijving van het proces dat zich rond het slik van Waarde kan afspelen. Deze procesbeschrijving is tot stand gekomen na bestudering van Liek & Kornman (2001).

Door de functiewisseling is de Schaar van Waarde naar het noorden opgeschoven. Zodoende stroomt meer water vlak langs de dijk van de Westerveerpolder. Deze ligt ten westen van het slik van Waarde, (zie overzichtskaartje boven) Het water stroomt hier vlak langs een verharde wand en kan onvoldoende sediment opnemen. Het heeft zodoende een lager sedimentgehalte dan vòòr de functiewisseling.

Daarnaast stroomt er door de functiewisseling ook meer water met een hogere snelheid over en langs het slik. Als gevolg hiervan, lager sedimentgehalte en hogere stroomsnelheid, heeft de vloedstroom sedimenthonger en zal het slik bij Waarde eroderen. Het residueele sedimenttransport is west-oost gericht. Dit betekent dat er netto tijdens een eb/vloedfase meer sediment naar het oosten wordt getransporteerd.

Op het scharnierpunt tussen deze twee sedimentstromen, treedt sedimentatie op en ontstaan landtongen. Deze landtongen ontstaan dus doordat de Schaar van Waarde en de Zimmermangeul beiden sediment naar een bepaald punt transporteren. Dit punt ligt op de plek waar het resulterende sedimenttransport naar het oosten / westen nul is. Dit scharnierpunt van erosie / sedimentatie schuift onder invloed van de functiewisseling dus naar het oosten op. De verzandde Zimmermangeul heeft de laatste tijd een lager debiet en voert daarom minder sediment aan. Door de verminderde sedimentaanvoer en toegenomen 'erosiedruk' vanuit het westen schuiven de landtongen verder op naar het oosten.

Met nadruk zij vermeld dat dit een van de mogelijke oorzaken is. Het slik bij Waarde is onderhevig aan verschillende processen, die veelal een dynamisch karakter dragen. Daarnaast zijn deze processen vaak ook weer onderling gekoppeld.

Samenvattend: Het slik van Waarde ligt op het scharnierpunt tussen twee geulen, de Schaar van Waarde (vloedgeul) en de Zimmermangeul (ebgeul), die beiden sediment naar het slik aan- of afvoeren. Al naar gelang een van beide sedimentstromen sterker is, zal dit scharnierpunt naar het westen dan wel oosten opschuiven. De functiewisseling heeft ervoor gezorgd dat dit scharnierpunt steeds meer naar het oosten is opgeschoven, maar of dit doorzet hangt weer af van de ontwikkelingen in de Zimmermangeul.

1.2 Opzet onderzoek

In hoofdstuk 2 wordt de morfologie van geulen en platen en de ontwikkeling van slikken beschreven. Deze korte literatuurstudie geeft een beeld van de diverse morfologische processen die zich in een estuarium voordoen.

Hoofdstuk 3 van dit document bestaat uit een inventarisatie van de beschikbare data over het onderzoeksgebied. Deze data-analyse is onderverdeeld in gemeten en berekende data. Deze data zijn een aanvulling op Liek & Kornman (2001). Aan de hand hiervan wordt meer inzicht verkregen over de morfologische processen die van invloed zijn op het slik van Waarde.



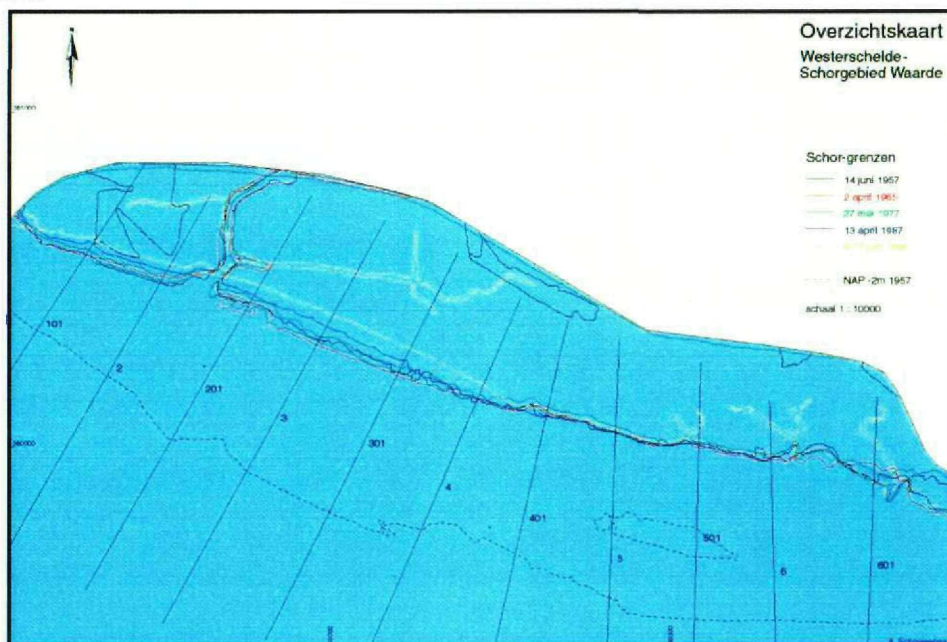
De vragen die door middel van data-analyse, beantwoord moeten worden zijn:

- Hoe heeft het slik van Waarde en het voorliggende geulengebied zich in de afgelopen 50 jaar ontwikkeld?
- Welke morfologische en hydrodynamische processen zijn de oorzaak van deze ontwikkelingen?

De volgende informatiebronnen zijn voor de data-analyse gebruikt:

- GIS bodemdieptekaarten (zie bijlage 1)
- Geomorfologische GIS-kaarten (zie bijlage 2)
- Luchtfoto's
- Bodemhoogteprofielen
- Stort- en zandwingegegevens
- Debietgegevens
- Stromingsgegevens, waterbewegingsmodel SCALWEST (zie bijlage 3)
- Inhoudsontwikkeling platen/geulen, GIS-analyse

Raaien



Figuur 3: raaien op slik van Waarde

Methodiek van het onderzoek

Voor het in beeld brengen van de morfologische ontwikkelingen in het onderzoeksgebied is de periode 1951-2000 bekeken. Deze periode is weer onderverdeeld in 12 perioden van 4 jaar, met uitzondering van de periode 1975-1980. De zo verkregen perioden zijn: 1951-1955, 1955-1959, 1959-1963, 1963-1967, 1967-1971, 1971-1975, 1975-1980, 1980-1984, 1984-1988, 1988-1992, 1992-1996, 1996-2000. De ontwikkelingen in het onderzoeksgebied zullen zoveel mogelijk aan de hand van deze perioden in beeld worden gebracht.



Methodiek gemeten data

Van het slik zijn, door middel van de GIS-applicatie profielGIS, bodemdieptekaarten gemaakt. Deze bodemdieptekaarten geven de hoogteligging van het slik weer in een betreffend jaar. Beginnend vanaf 1951 tot 2000 kan zo de hoogte ontwikkeling van het slik in een bepaalde raai bepaald worden. Het slik van 1951 dient als referentie ten opzichte waarvan de ontwikkelingen zijn bepaald. Op het slik zijn 11 van deze raaien getrokken. De onderlinge afstand tussen deze raaien is 250 m. De raaien zijn zo geplaatst dat de slik/geulrand en de schorrand zichtbaar zijn in de plots. Het slik is gedefinieerd als de afstand tussen de slikrand en de schorrand. De slikrand ligt op -2.0 m NAP, de schorrand op +2.2 m NAP. Naast deze 11 raaien zijn er nog 4 raaien die eigenlijk buiten het slik vallen, maar die toch tot het onderzoeksgebied behoren. Deze zijn apart in de beschrijving opgenomen. Met behulp van deze bodemhoogteprofielen is vervolgens de ontwikkeling van de slikrand, slikhoogte en slikinhoud bepaald.

De horizontale ontwikkeling (voor-/achteruitgang) van de slikrand is per periode en per profiel opgemeten uit de bodemhoogtekaarten. Om de totale ontwikkeling van het slik te bepalen zijn de gemeten verschillen gemiddeld over de raaien.

De verticale ontwikkeling (verhoging/verlaging) van het slik is bepaald door drie vaste punten op het slik aan te brengen. Deze vaste punten bevinden zich per raai op 1/3, 1/2 en 2/3 deel van de totale breedte van het slik, gemeten vanaf de schorrand. Ook hier is door middel van meten uit de bodemhoogtekaarten bepaald wat de ontwikkeling van het slik in de betreffende punten is geweest.

De inhoudsontwikkeling van het slik is bepaald door de bodemhoogten uit het GIS-programma in een excelbestand in te lezen. Door aftrekken van twee opeenvolgende jaren is nu per periode en per raai het verschil in slikhoogte bekend. Het verschil wordt als representatief beschouwd voor de breedte van 250 m slik. Dit hoogteverschil wordt vermenigvuldigd met de afstand tussen twee punten en met de breedte van het slik. Door deze te vergelijken met een volgende periode wordt een beeld verkregen over de ontwikkeling van de slikinhoud.

De gegevens van storten, zandwinnen en debieten zijn verkregen uit gegevens die beschikbaar zijn binnen het RIKZ. Deze gegevens zijn digitaal beschikbaar in een excel-bestand. Uit deze bestanden is de betreffende ontwikkeling per periode van 4 jaar bepaald.

Methodiek berekende data

Naast de gemeten gegevens is er nog gebruikt gemaakt van berekende gegevens. Deze zijn tot stand gekomen aan de hand van modelberekeningen met behulp van het waterbewegingsmodel SCALWEST en het morfologisch model Delft2D. Met behulp van SCALWEST kan de waterbeweging in de Westerschelde berekend worden en met Delft2D de sedimenttransporten. Beide modellen zijn gebruikt om een antwoord te vinden op de bovenstaande hypothesen.

Uit bovengenoemde data-analyse zijn twee hypothesen naar voren gekomen die in hoofdstuk 4 getoetst zullen worden.

1. Zimmermangeul: Erosie in het oostelijk deel wordt veroorzaakt door een vermindering van de inhoud van de Zimmermangeul. Sedimentatie wordt veroorzaakt door een toename van de inhoud.
2. Storten: Het water dat over het slik stroomt is onderverzadigd. Door te storten kan de stroom weer verzadigd worden, zodat er op het slik geen erosie meer optreedt. Eventueel kan het slik zelfs weer aangroeien.

In hoofdstuk 5 volgen tenslotte de conclusies en aanbevelingen.



2. Theoretische aspecten

2.1 Algemeen

In dit document wordt de morfologische interactie tussen de geulen en het slik van Waarde onderzocht. Deze interactie speelt zich af op mesoschaal. Om een goed beeld te krijgen van de processen die zich op deze schaal afspelen, volgt hier een korte theoretische inleiding over de morfologie van geulen en platen en over slikken.

2.2 Morfologie geulen en platen (J. van Veen, 1950)

De morfologie van geulen en platen is een ingewikkeld proces. Onder invloed van diverse dynamische processen komt een bepaalde morfologie in een estuarium tot stand. De onderliggende processen zijn onder andere: getij, komvulling, bochtwerking, zandtransport, golven en wind (in mindere mate). In een estuarium komen eb- en vloedgeulen voor, ook wel scharen genoemd.

Definitie: Een *vloedschaar* is een getijgeul die voornamelijk open ligt voor de vloedstroom en die aan het boveinde een drempel heeft. Een *eb-schaar* is een getijgeul die voornamelijk open ligt voor de ebstroom en die aan de zeekant een drempel heeft.

Het woord 'schaar' heeft dus de betekenis van een naar één richting ondieper wordende getijgeul. Men spreekt van *het* vloedschaar en *het* eb-schaar. Behalve de scharen zijn er nog de 'doorlopende hoofdgeulen'. Een op het eerste gezicht opmerkelijke eigenschap van scharen is, dat een vloedschaar een eb-schaar probeert te vermijden en omgekeerd. Soms maakt een eb- of vloedschaar twee vingers aan twee kanten van de tegenoverliggende geul (fig. 4), of buigen de twee geulen iets af om elkaar in een soort flankaanval te benaderen (fig. 5). Een van de redenen van deze eigenschap is het *zandtransport*. Een andere reden is de *bochtwerking*

Eb-/vloedschaar

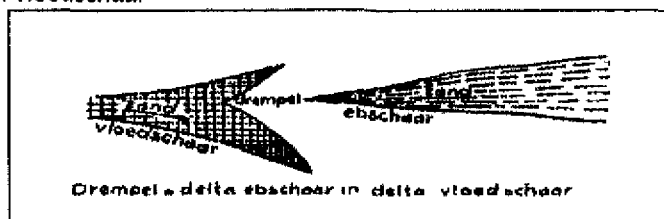


Fig. 4: Schema van het elkaar vermijden van een eb- en een vloedschaar door middel van voorkvorming.

Het is namelijk aannemelijk dat in een normale vloedschaar een vloed-zandstroom overheerst en dat dit in een normale eb-schaar met de eb-zandstroom het geval is. Bij het ontmoetingspunt van een eb- en een vloedschaar wordt dus zand van twee kanten aangevoerd en een deel hiervan vormt de zogenaamde drempel. Men kan dit 'de strijd der delta's' noemen.

Eb-/vloedschaar

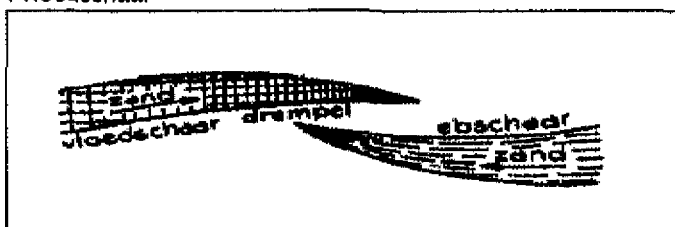


Fig. 5: Schema van het elkaar vermijden van een eb- en een vloedschaar met flankaanval.



De zandbeweging is ingewikkelder dan hierboven is besproken. Door de getijbeweging beweegt het zand als op een soort schudzeef; er is een zogenaamde reststroom of 'drift'. Bij eb- en vloedscharen bestaan er meestal *zandneren* waarbij het zand stroomopwaarts gaat in een vloedschaar en stroomafwaarts in een ebschaar. Een zandneer is een rondgaande zandbeweging, in de zin van een schudzeefbeweging. Deze is lang niet altijd cirkelvormig, zodat een korrel na verloop van tijd weer op dezelfde plaats kan komen (fig. 6). Maar de werkelijke beweging is meer zoals fig. 7 aangeeft.

Zandneren

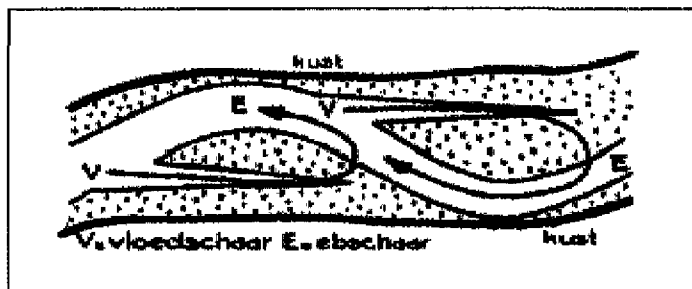


Fig. 6: Schema van zogenaamde zandneren; zandbeweging in het vloedschaar stroomop-, stroomafwaarts in het ebschaar.

De zandstromen eindigen er niet en gaan dus verder. Waar ze heen gaan, moet voor elk geval apart worden nagegaan. Soms verhoogd het zand de platen, soms keert het langs de kanten van de scharen en andere geulen terug.

Zandbeweging

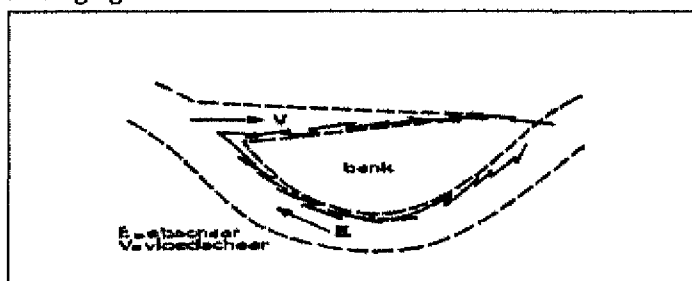


Fig. 7: Schema van de werkelijke zandbeweging bij een veel voorkomend systeem van eb- en vloedscharen.

Het is soms moeilijk te zeggen of er sprake is van een eb- of vloedschaar. Het komt voor dat een geul aan beide einden een drempel heeft; een dergelijke geul is als het ware uitgeschakeld uit het systeem en zal misschien in de loop van de tijd verder verzanden, of slechts een ondergeschikte rol in het systeem blijven spelen. Vanuit zee proberen een aantal forse vloedscharen elk zeegat binnen te dringen, vooral van de kant waar de getijgolf vandaan komt. Het vloedwater vanuit zee is namelijk aanvankelijk nog niet met zand beladen en neemt pas landwaarts zand op. Wanneer de hoofdegeul zich gaat splitsen in een vloedschaar en een ebschaar die langs elkaar gaan stromen, dan ontstaan twee parallelle geulen met daartussen een nieuwe hinderlijke drempel. Dit 'breken' van de hoofdegeul is een gevolg van een te grote plaatselijke breedte van het estuarium, m.a.w. van onvoldoende geleiding van de geul door de oevers. Elke wilde geul van



enige lengte wil zich splitsen, tenzij dit door geleidingswerken of baggeren tegengegaan wordt. Het kost moeite een ebschaar en een vloodschaar te laten samengaan in één geul. Waar de breedte tussen de vaste oevers niet al te groot is, bijvoorbeeld 3 à 5 keer groter dan de breedte van de hoofdebeul, zal zich een fraaie meanderende hoofdebeul ontwikkelen, die in de bochten leunt tegen de weerstandbiedende oever. De zandplaten in de holle bochten zullen daarbij elk een vloodschaar krijgen. In de Westerschelde herhaalt zich dit tot Antwerpen een 10-tal keren (fig. 8), in het Hollands Diep een paar keer.

Geulensysteem Westerschelde

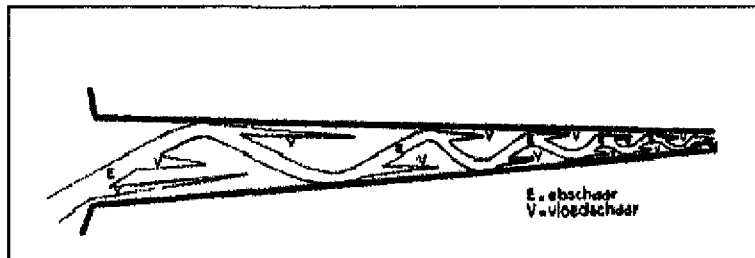


Fig. 8: Schema van een ideaal systeem ebgeul en vloodscharen (Schelde).

Een getijgeulensysteem is moeilijk te begrijpen zonder steeds de 2 hoofdfactoren in het oog te houden. Deze zijn: *Komvulling*, (primair), *Bochtwerking* en *Zandtransport*. De *bochtwerking* verklaart veel van de veranderingen die in een getijgeulensysteem optreden. Grote geulen blijven in beweging tenzij er sprake is van een met steenbekleding verdedigde oever; het kan echter ook gebeuren dat een wadmeander van nature wordt afgesneden. Wanneer er geen oever of dam is die de bochtvorming tegengaat, kan een bocht tenslotte zo groot worden dat er een afsnijding plaatsvindt. Men zou al veel eerder een bochtafsnijding verwachten omdat het vloodschaar al op de plaats van de afsnijding ligt, maar dit is niet correct. Normaal gesproken komt er van bochtafsnijdingen op een wad of in een estuarium niet veel terecht, d.w.z. een vloodschaar breekt zelden door, en dan nog kortstondig en onvolledig. Het eigenaardige verschijnsel doet zich namelijk voor dat de drempel aan het bovineinde van een vloodschaar hoog blijft, ondanks dat het vloodschaar precies ligt waar de afsnijding moet worden verwacht. Op de drempel zelf komen normaal gesproken bijzonder sterke stromen en verhangen voor. De oorzaak is waarschijnlijk het grote zandtransport op een drempel. Een ander voorbeeld van een tijdelijke bochtafsnijding, zoals veel op de Schelde voorkomt, geeft fig. 9. Gesteld er is op een gegeven ogenblik inderdaad een doorbraak E1 door de drempel, waardoor veel ebwater op het vloodschaar komt. Maar na korte tijd heeft E1 zich door bochtwerking bij eb verplaatst naar E2, vervolgens naar E3, enz..

Bochtafsnijding

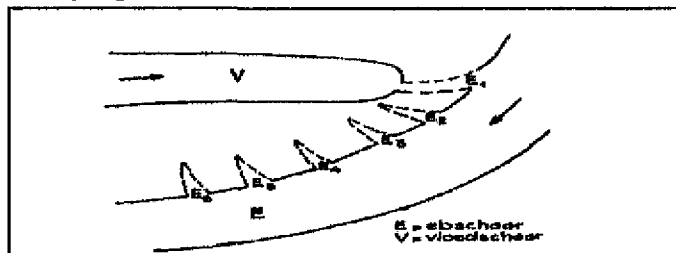


Fig. 9: Schema van het verlopen van een bochtafsnijding in een "wandelede" ebschaar.



Het ebschaar E1, E2, E3, E4, 'wandelt' stroomafwaarts door de bochtwerking van de ebstroom en hierdoor wordt de bocht die het water nemen moet steeds scherper. Tenslotte wordt de hoek met de grote geul ongeveer 90° en verdwijnt het ebschaar. Daarna begint E1 weer te komen en begint de cyclus, die verschillende jaren kan duren, weer opnieuw.

Zoals gezegd; de morfologie van geulen en platen is een ingewikkeld proces. De belangrijkste onderliggende fysische processen zijn: getij, golven en wind (in mindere mate) komvulling, bochtwerking en zandtransport.

2.3 Slikken (Storm, 1999)

Een slik is een intergetijdengebied en valt dus droog tijdens eb en loopt weer onder tijdens vloed. Het maakt samen met een getijgeul deel uit van het voorland van een schor. Idealiter is er vanaf de zeedijk eerst sprake van een schor daarna van een slik en vervolgens een geul. Platen zijn door een geul gescheiden van de zeedijk.

Het slik is de basis waarop een schor kan ontstaan en weer verdwijnen. Ook slikken kunnen weer ontstaan of verdwijnen al naar gelang de erosie / sedimentatie van de aangrenzende geulen. De morfologische ontwikkeling van het slik kan zodoende niet los gezien worden van de ontwikkeling van de aangrenzende geul of schor.

Slik en schor wisselen onderling sediment uit. Bij gemiddelde omstandigheden exporteert het slik fijn sediment richting het schor dat via de krekken het schor binnenkomt. Tijdens extreme omstandigheden, zoals storm, erodeert de schorrand weer en is er sprake van transport richting het slik. Dit erosieproces gebeurt onder invloed van golven, die op de schorrand breken en sediment losslaan. Een deel van het losgeslagen sediment slaat neer net achter de schorrand en een ander deel wordt verspreid over het slik.

De hoogte, breedte en vorm van het slik zijn van invloed op de erosieve kracht van golven en stroming op het slik /schor. Dit komt omdat de energie van de golven en de stroming meer of minder door het slik opgevangen of uitgedempt wordt. Bij een vlak oplopend slik wordt de golfenergie door het totale oppervlak van het slik opgevangen en zodoende evenredig verdeelt over het hele slik. Hierdoor zijn de krachten op het slik om het sediment los te woelen relatief gering. Een steile oever of een klif heeft echter een zeer klein oppervlak waar de golfenergie opgevangen moet worden. Hier treden grote krachten op en vindt veel erosie plaats. Het klif is onder deze omstandigheden aan ondermijning en sterke achteruitgang onderhevig. Bij een holle vorm (concaaf) is het vaak vooral het gedeelte dicht bij het schor dat de golfenergie opvangt. Bij een bolle vorm (convex) is het vooral het gedeelte vlakbij de geul. Een holle vorm van het slik is daarom, voor het schor, vaak erosiever dan een bolle vorm. Een holle vorm op zijn beurt komt vaak voor als de getijstroom op het hoge deel van het slik groot is. Een bolle vorm daarentegen komt vaak voor als de getijstroom op het hoge deel gering is. De vorm van het slik kan onder invloed van het dynamische karakter van een estuarium snel veranderen. Met name de verandering van het geulenpatroon heeft hier een grote invloed op. De morfologische ontwikkelingen op het slik zijn zo van grote invloed op de morfologische ontwikkelingen op het schor.

De ontwikkelingen van de ervoor gelegen getijgeul zijn weer van grote invloed op de morfologie van het slik. De getijgeul ontwikkeld zich onder invloed van het golfklimaat, ontwikkelingen in het horizontale en verticale getij en de sedimentbalans in het estuarium. Deze processen spelen op een veel groter tijd- en ruimteschaal een rol dan de dominantie processen rond de schorrand. Er is dus sprake van een zekere hiërarchie in de invloed van geulen, slikken en schorren op elkaar.



Bij de ontwikkelingen van het slik spelen dus meerdere schaalniveaus een rol. De tijdschalen van de processen in een estuarium variëren van uren tot decennia of zelfs eeuwen. Bij de laatste gaat het dan om veranderingen in de gemiddelde zeespiegel of in de getijgolf. Deze hebben invloed op de globale ontwikkelingen in een estuarium. Een ophoging of verlaging van het slik als gevolg van het 'ademen' van een geul speelt zich af op een tijdschaal van enkele jaren tot meerdere decennia. Voor een functiewisseling bij geulen, waar het in dit verslag onder andere over gaat, geldt nog weer een grotere tijdschaal. Door het dynamische karakter van een estuarium treden de verschillen tijden ruimteschalen vaak tegelijkertijd op. De ene keer versterken de processen elkaar, de andere keer heffen ze elkaar juist op. Deze dynamiek maakt het moeilijk om de oorzaken van het eroderen of aangroeien van een slik of schor eenduidig vast te stellen. Daarnaast is er in de Westerschelde geen sprake van een balans in het aangroeien / eroderen van slikken en schorren. Er is de laatste decennia duidelijk sprake van een netto eroderen van slikken en schorren. Deze 'onbalans' is het gevolg van, aan de ene kant een betrekkelijk jong geologisch systeem dat nog niet in evenwicht is, aan de andere kant de grote menselijk invloed op dit gebied. Er worden regelmatig ingrepen gedaan om het estuarium voor de verschillende sectoren / belangengroepen in de Westerschelde aantrekkelijk te maken en houden. Het uitbaggeren van de vaargeulen ten behoeve van de Antwerpse haven is daar een belangrijk voorbeeld van. Daarnaast zijn de inpolderingen van de laatste eeuwen er de oorzaak van dat het water van de Westerschelde door een steeds nauwer profiel moeten stromen, terwijl de debieten door de geulen zijn toegenomen. Deze vernauwing tussen dijk en geul is er de oorzaak van dat slikken en schorren minder speelruimte hebben. Het dynamische karakter van een estuarium neemt door deze maatregelen af. Dit alles heeft zijn weerslag op de processen die zich op het slik afspelen.

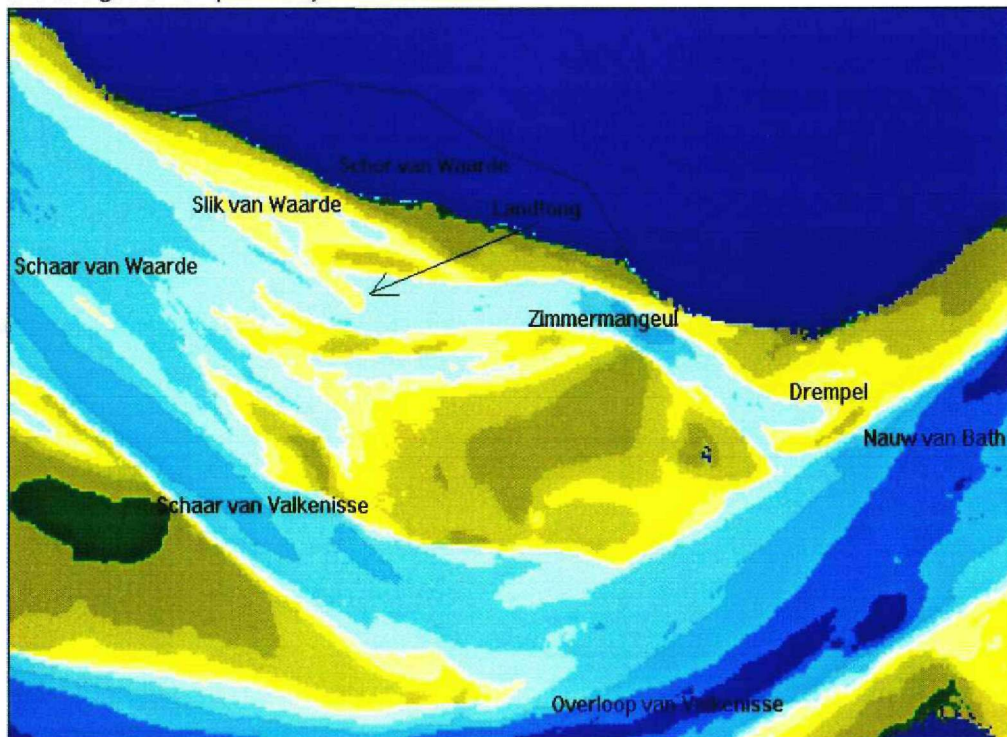


3. Data-analyse

Algemeen

De onderstaande gegevens beschrijven de ontwikkelingen van het slik van Waarde in de periode 1951-2000. De gevolgde werkwijze en methodiek staan beschreven in het voorgaande hoofdstuk. In volgorde worden hier besproken de ontwikkelingen van het storten, de slikrand, de slikhoogte en de slikinhoud in het onderzoeksgebied. Daarnaast worden de getij-volumia van de geulen net voor slik van Waarde getoond. Samen vormen deze de gemeten data. Daarna worden resultaten getoond van berekeningen met het waterbewegingsmodel SCALWEST en het 2 dimensionale morfologisch model Delft2D. Dit zijn de berekende data.

Situatie geulen en platen bij schor van Waarde in 2000



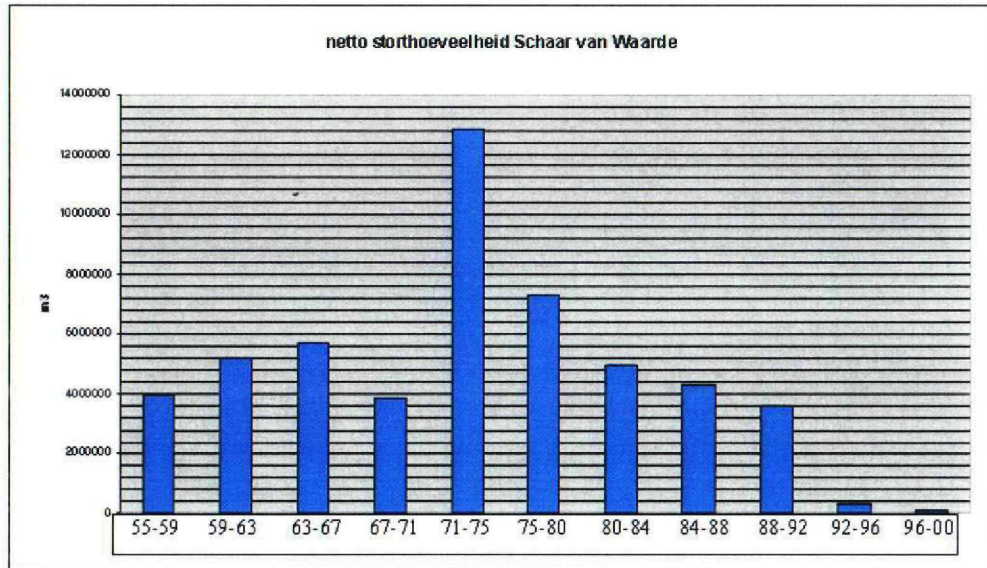
Figuur 10: Situatie geulen en platen bij schor van Waarde in 2000



3.1 Gemeten data

In het onderzoeksgebied is in het verleden veel gestort, voornamelijk in de Schaar van Waarde. Dit storten speelt een belangrijke rol in de ontwikkelingen op het slik.

Stortheoevelheden



Figuur 11: netto stortheoevelheid in de Schaar van Waarde tussen 1955 en 2000

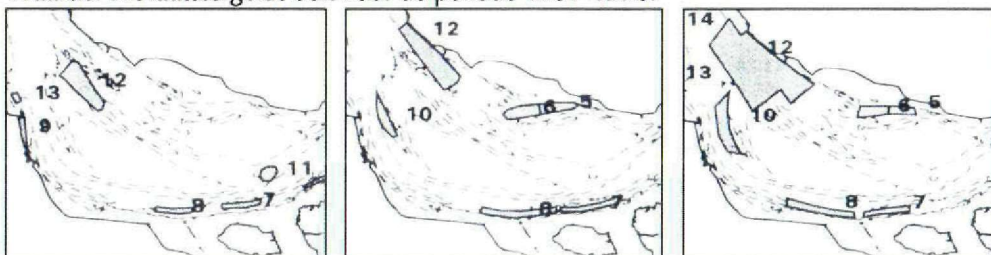
	55-59	59-63	63-67	67-71	71-75	75-80	80-84	84-88	88-92	92-96	96-00
Mm³	3,926	5,205	5,718	3,858	12,85	7,305	4,940	4,311	3,590	0,306	0,115

Tabel 1: storten in de Schaar van Waarde

Vanaf 1955 nemen de netto stortheoevelheden (storten-zandwinning) toe, om in '71-'75 een maximum van bijna 13 miljoen m³ te bereiken. Daarna nemen de netto stortheoevelheden af tot 0,1 miljoen m³ in de jaren negentig. Naast het storten van zand in het onderzoeksgebied, zijn er aan het eind van de jaren '80 ook aanzienlijke hoeveelheden slib in het gebied gestort. Deze gegevens zijn niet in de grafiek opgenomen.

Stortlocaties

Er is in de periode 1955-2000 op verschillende locaties in de Schaar van Waarde gestort. In de periode 1955-1970 is er gestort aan de noordwestelijke kop van de Plaat van Walsoorden, aan het begin van de Schaar van Valkenisse. In de periode 1971-1980 is er gestort voor de Westerveerpolder vlak bij de dijk, aan het begin van de Schaar van Waarde. Dit laatste geldt ook voor de periode 1981-1996.



periode 1955-1970.

periode 1971-1980.

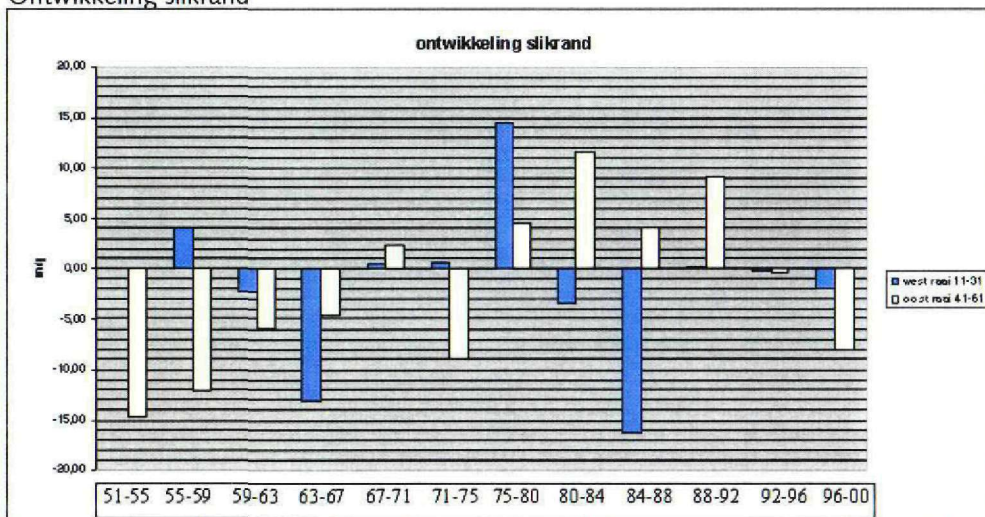
periode 1981-2000.



Slikrand

Het slik is gedefinieerd als het gedeelte tussen geul en schor en bevindt zich tussen -2.0 m en +2.2 m NAP. Het slik van 1951 dient hier als referentie ten opzichte waarvan de ontwikkeling van de slikrand in de navolgende jaren is bepaald. Het blijkt dat de ontwikkeling van de westelijk gelegen profielen (11-31) anders is dan de oostelijk gelegen profielen (41-61). Profiel 4 is de grens tussen het westelijk en het oostelijk deel. Dit profiel is daarom niet in de bewerkingen meegenomen. In het vervolg is er voor gekozen, om de ontwikkeling van het westelijk en oostelijk deel van het slik apart te beschrijven. Voor de GIS-profielen, zie bijlage 1

Ontwikkeling slikrand



Figuur 12: Gemiddelde horizontale ontwikkeling van de slik/geulrand per jaar voor de verschillende perioden. Een negatieve waarde betekent achteruitgang van de slikrand, een positieve vooruitgang.

	51-55	55-59	59-63	63-67	67-71	71-75	75-80	80-84	84-88	88-92	92-96	96-00
	m/j	m/j	m/j	m/j	m/j	m/j	m/j	m/j	m/j	m/j	m/j	m/j
West	-0,02	3,98	-2,19	-13,08	0,57	0,62	14,44	-3,40	-16,18	0,13	-0,31	-1,93
Oost	-14,61	-12,14	-5,89	-4,55	2,30	-8,91	4,52	11,52	4,03	9,08	-0,39	-8,01

Tabel 2: ontwikkeling slikrand

Westelijk deel

Het westelijk deel laat in het algemeen geen grote veranderingen zien, met uitzondering van de perioden '63-'67, '75-'80 en '84-'88, waarin juist zeer forse veranderingen optreden. In de perioden '63-'67 en '84-'88 is er sprake van achteruitgang. Alleen in '75-'80 is er sprake van een grote vooruitgang.

Beschrijving: Vanaf 1951 is er sprake van een lichte vooruitgang, die in '59 omslaat in een achteruitgang. De rand gaat vervolgens sterk achteruitgaat in '63-'67. Daarna treedt er weer stabilisatie op. Vervolgens is er in '75-'80 sprake van een grote vooruitgang. Deze wordt gevolgd door een periode van sterke achteruitgang. Tenslotte treedt er na '88 een lichte achteruitgang op.



Oostelijk deel

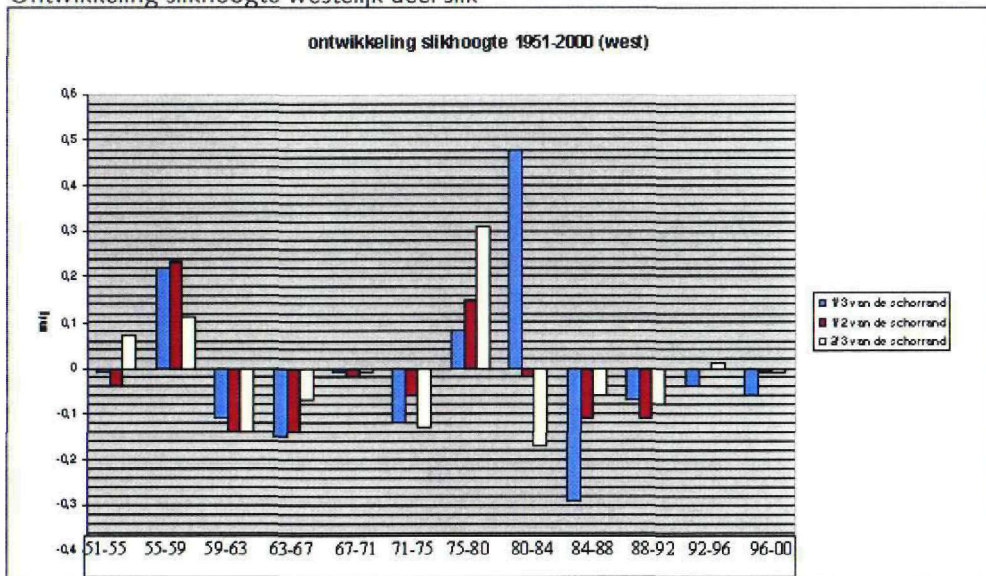
Het oostelijk deel laat een duidelijke trend zien. Eerst sterke achteruitgang, die steeds minder wordt. Vervolgens slaat deze om in een steeds sterker wordende vooruitgang. Deze vooruitgang slaat uiteindelijk weer om in achteruitgang.

Beschrijving: Vanaf 1951 is er sprake van een sterke achteruitgang, die steeds kleiner wordt om zich in '67-'71 te stabiliseren. In '71-'75 treedt nog een periode met achteruitgang op, maar deze slaat in '75 om in een steeds sterkere vooruitgang. Rond '80-'84 wordt een maximum bereikt. Daarna wordt de vooruitgang steeds minder om in '96 om te slaan in een achteruitgang. Alleen de achteruitgang van '71-'75 past niet in de verder overigens duidelijke trend.

Slikhoogte

De hoogte van het slik is bepaald op 3 plaatsen per raai, namelijk op 1/3, 1/2 en 2/3 deel van de schorrand. De ontwikkeling van de slikhoogte laat voor het westelijk deel een analoge ontwikkeling aan de slikrand zien.

Ontwikkeling slikhoogte westelijk deel slik



Figuur 13: Gemiddelde verticale ontwikkeling per jaar van het westelijk deel van het slik. Een negatieve waarde betekent erosie van het slik, een positieve sedimentatie.

	51-55	55-59	59-63	63-67	67-71	71-75	75-80	80-84	84-88	88-92	92-96	96-00
	cm/j	cm/j	cm/j	cm/j	cm/j	cm/j	cm/j	cm/j	cm/j	cm/j	cm/j	cm/j
1/3	-0,01	-0,01	-0,11	-0,15	-0,01	-0,12	0,08	0,48	-0,29	-0,07	-0,04	-0,06
1/2	-0,04	-0,04	-0,14	-0,14	-0,02	-0,06	0,15	-0,02	-0,11	-0,11	0,00	-0,01
2/3	0,07	0,07	-0,14	-0,07	-0,01	-0,13	0,31	-0,17	-0,06	-0,08	0,01	-0,01

Tabel 3: ontwikkeling slikhoogte westelijk deel van het slik

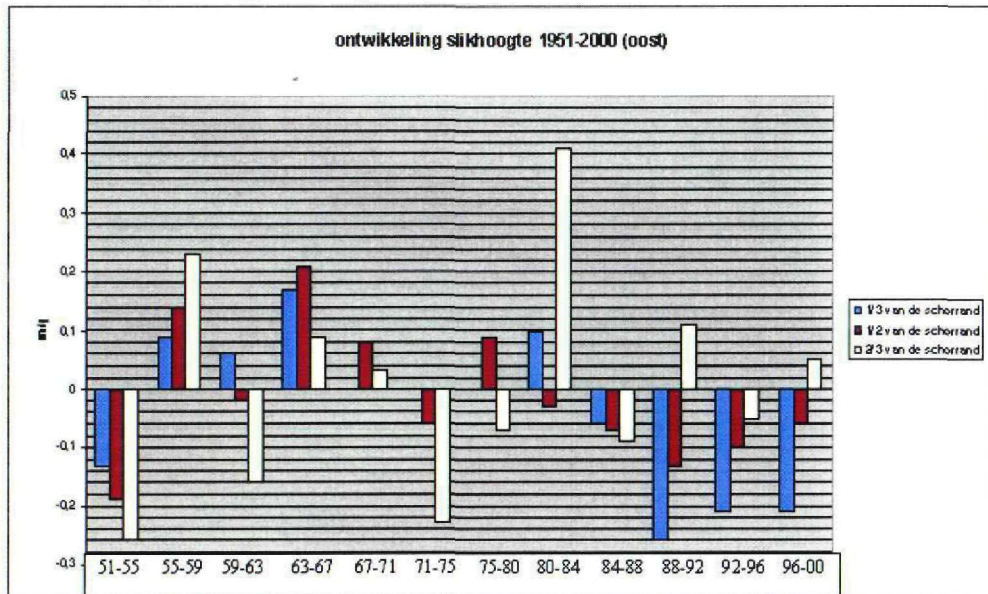
Het westelijk deel

Het westelijk deel van het slik erodeert in het algemeen. Uitzondering zijn de jaren '55-'59 en '75-'80.



Beschrijving: Vanaf 1951 is er sprake van slikverhoging, die in '59 omslaat in een sterke slikverlaging ('59-'75). In de periode '75-'80 treedt er weer sterke slikverhoging op. Na deze periode is er in het algemeen sprake van lichte slikverlaging ('80-'00) met een grote uitschieter in '84-'88. In '80-'84 treedt er bij 1/3 van de schorrand sterke slikverhoging op, maar deze is slechts gebaseerd op één van de drie meetpunten. In de laatste periode lijkt de erosie zich enigszins te stabiliseren, vooral op 2/3 van de schorrand is dit het geval.

Ontwikkeling slikhoogte oostelijk deel slik



Figuur 14: Gemiddelde verticale ontwikkeling per jaar van het oostelijk deel van het slik. Een negatieve waarde betekent verlaging van het slik, positieve verhoging.

	51-55	55-59	59-63	63-67	67-71	71-75	75-80	80-84	84-88	88-92	92-96	96-00
	cm/j	cm/j	cm/j	cm/j	cm/j	cm/j	cm/j	cm/j	cm/j	cm/j	cm/j	cm/j
1/3	-0,13	0,09	0,06	0,17	0,00	0,00	0,00	0,10	-0,06	-0,26	-0,21	-0,21
1/2	-0,19	0,14	-0,02	0,21	0,08	-0,06	0,09	-0,03	-0,07	-0,13	-0,10	-0,06
2/3	-0,26	0,23	-0,16	0,09	0,03	-0,23	-0,07	0,41	-0,09	0,11	-0,05	0,05

Tabel 4: ontwikkeling slikhoogte oostelijk deel van het slik

Het oostelijk deel

Het oostelijk deel laat een wisselend beeld zien. Nadat in '51-'55 een periode van forse slikverlaging is opgetreden, is er in '55-'67 sprake van forse slikverhoging. Daarna is er een periode ('67-'84) waarin er netto nauwelijks veranderingen optreden. Wel valt op dat in deze periode het 2/3 punt sterk fluctueert. Tenslotte treedt er vanaf 1984 duidelijk slikverlaging op. Uitzonderingen zijn het 2/3 punt in de perioden '88-'92 en '96-'00. Er treedt vooral erosie bij de schorrand op. Maar ook de erosie op 1/2 van de schorrand is fors te noemen.

Bespreking resultaten

De ontwikkelingen van de slikrand en de slikhoogte in het westen en oosten lopen vrijwel synchroon. Bij een vooruitgang van de rand hoogt het slik op en bij een achteruitgang verlaagt het slik. Het westelijk deel lijkt, ten opzichte van het oostelijk



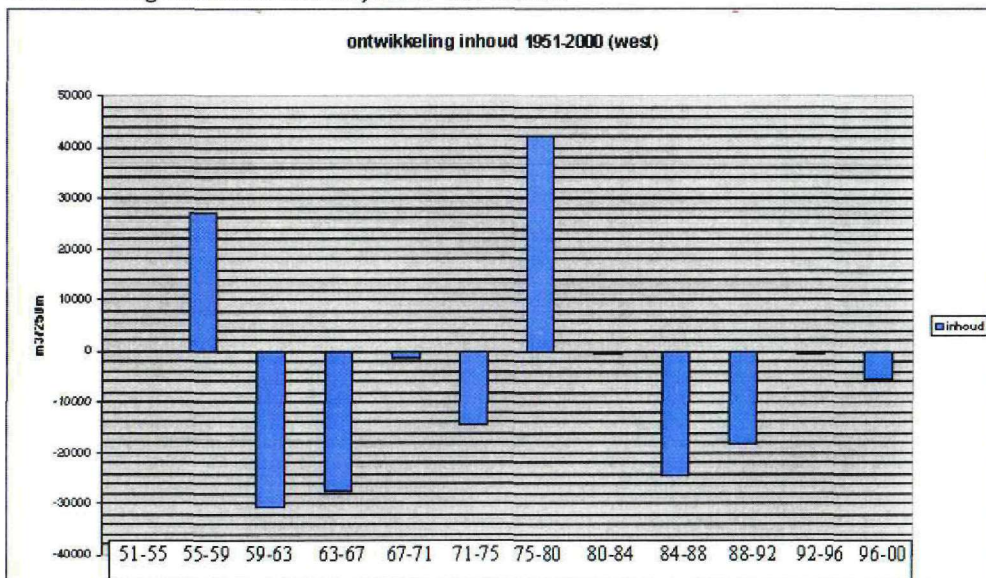
deel, op de ontwikkelingen vooruit te lopen. Maar vanaf 1980 is hier steeds minder sprake van. De erosie in het oostelijk deel is in deze periode veel forser dan in het westelijk deel. Dit kan het gevolg zijn van de veranderingen die zich rond 1980 voordoen in de Zimmermangeul. De Zimmermangeul verzandt en halveert dan qua volume. Verder kan opgemerkt worden dat het 2/3 punt erg gevoelig is voor meer c.q. minder beschikbaar sediment.

Slikinhoud

De inhoudsontwikkeling van het slik is bepaald door de profielen vanuit profielGIS in Excel in te lezen. Per raai is zo de inhoudsontwikkeling bepaald. Hieruit blijkt dat in het westelijk deel de raaien 11-2 en 21-31 ieder een eigen ontwikkeling laten zien. En in het oostelijk deel geldt dit voor de raaien 41-5 en 51-61. In de onderstaande beschrijving wordt toch de verdeling west / oost gehandhaafd. Dit om een vergelijking mogelijk te maken.

De inhoud is maar voor een bepaald gedeelte van het slik vastgesteld. Dit omdat de gegevens uit het GIS-programma beperkt waren en omdat de slik/geulrand verplaatst tijdens de perioden. Alleen het gedeelte dat continu deel uitmaakt van het slik en dat beschikbaar was in GIS is bij de bepaling meegenomen. Dit is 40 % van het westelijk en 50% van het oostelijk deel van het slik.

Ontwikkeling slikinhoud westelijk deel van het slik



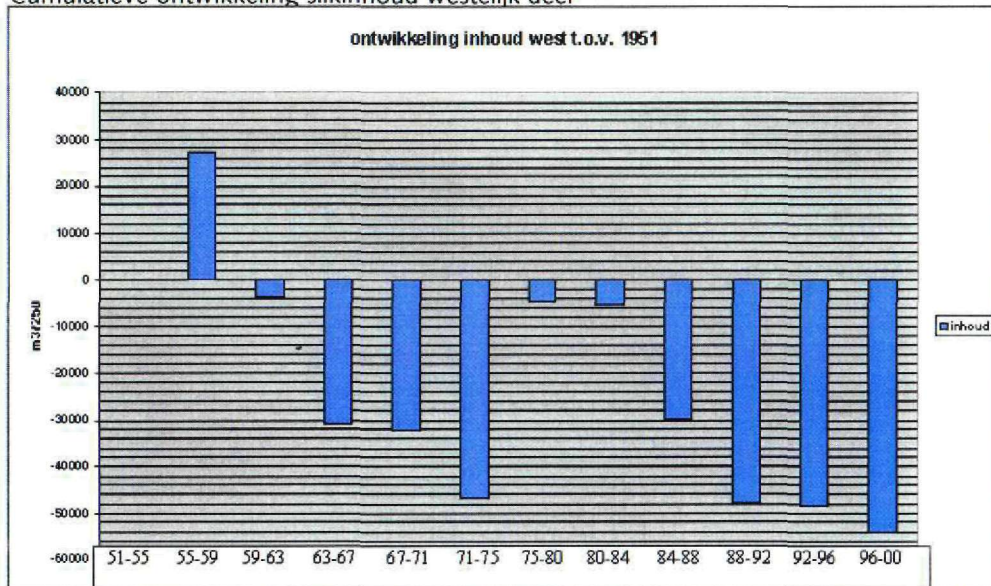
Figuur 15: Gemiddelde inhoudsontwikkeling in het westelijk deel van het slik per periode

*1000	51-55	55-59	59-63	63-67	67-71	71-75	75-80	80-84	84-88	88-92	92-96	96-00
m³	-0,04	27,2	-30,7	-27,5	-1,38	-14,5	42,1	-0,51	-24,6	-18,1	-0,70	-5,49

Tabel 5: ontwikkeling slikinhoud westelijk deel van het slik



Cumulatieve ontwikkeling slikinhoud westelijk deel



Figuur 16: Cumulatieve inhoudsontwikkeling ten opzichte van 1951 in het westelijk deel van het slik

*1000	51-55	55-59	59-63	63-67	67-71	71-75	75-80	80-84	84-88	88-92	92-96	96-00
m³	-0,04	27,2	-3,54	-31,0	-32,4	-46,9	-4,73	-5,24	-29,8	-47,9	-48,6	-54,1

Tabel 6: Cumulatieve ontwikkeling slikinhoud westelijk deel

Beschrijving slikinhoud westelijk deel

Het beeld dat uit de ontwikkeling van de rand en de hoogte kwam, wordt bevestigd. In het algemeen geldt dat het westelijk deel van het slik vrijwel continu erodeert met uitzondering van '55-'59 en '75-'80. In deze perioden treedt sterke sedimentatie op. Na '88 lijkt de erosie steeds minder te worden. Er treedt nu vrijwel geen erosie meer op.

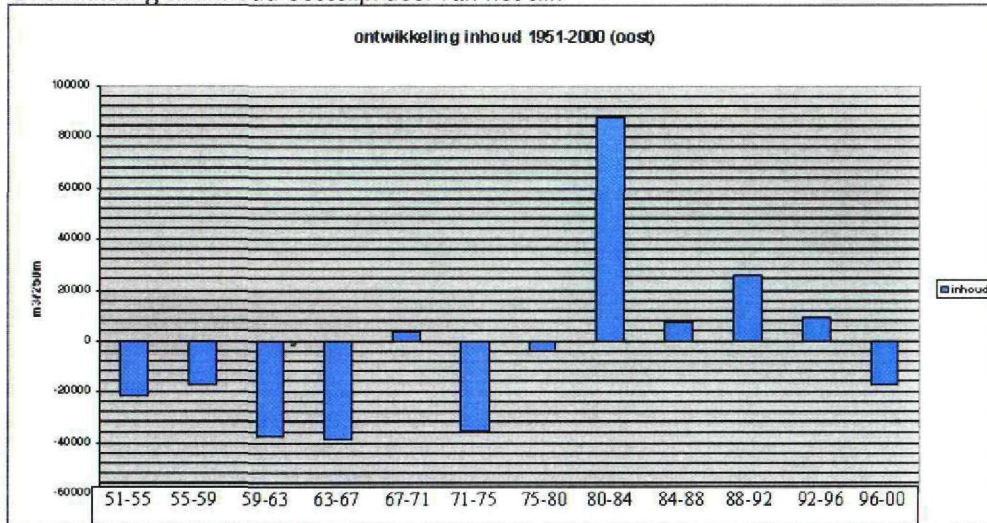
Bespreking resultaten

De ontwikkelingen in het westelijk deel van het slik lopen vrijwel synchroon aan de ontwikkeling van de slikrand en slikhoogte. Na 1960 erodeert het slik continu met uitzondering van de periode '75-'80. In deze periode neemt de slikinhoud toe onder invloed van storten in de Schaar van Waarde. In de jaren '90 lijkt het erosieproces tot stilstand te zijn gekomen.

De gegevens zijn geldig voor 40% van het slik. De totale afstand waarover de meting is uitgevoerd is 128 m. De breedte van een raai is 250 m. De totale afname sinds 1951 is ongeveer 54.000 m³. De hieruit berekende verlaging van het slik is 1,70 m. Over de laatste 12 jaar is de verlaging 0,19 m. Deze cijfers komen overeen met de bovenstaande gegevens over de ontwikkeling van de slikhoogte.



Ontwikkeling slikinhoud oostelijk deel van het slik

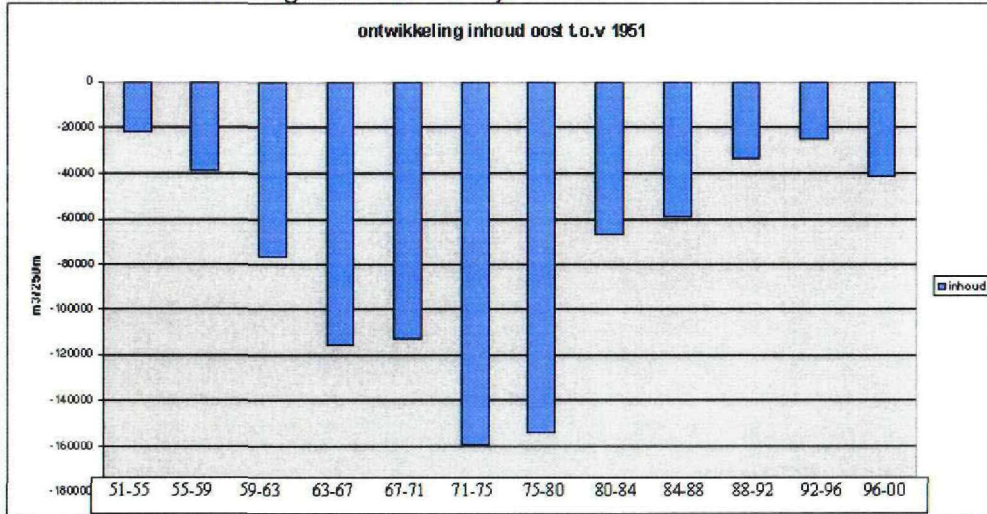


Figuur 17: Gemiddelde inhoudsontwikkeling in het oostelijk deel van het slik per periode

*1000	51-55	55-59	59-63	63-67	67-71	71-75	75-80	80-84	84-88	88-92	92-96	96-00
m³	-22,03	-17,21	-37,70	-38,91	3,237	-35,00	-3,998	87,70	7,257	25,66	9,072	-17,61

Tabel 7: ontwikkeling slikinhoud oostelijk deel van het slik

Cumulatieve ontwikkeling slikinhoud oostelijk deel slik



Figuur 18: Cumulatieve inhoudsontwikkeling ten opzichte van 1951 in het oostelijk deel van het slik

*1000	51-55	55-59	59-63	63-67	67-71	71-75	75-80	80-84	84-88	88-92	92-96	96-00
m³	-22,03	-39,24	-76,94	-115,8	-112,6	-159,1	-154,2	-66,51	-59,25	-33,60	-24,53	-41,39

Tabel 8: cumulatieve ontwikkeling slikinhoud oostelijk deel van het slik

Beschrijving slikinhoud oostelijk deel

Vanaf 1951 tot 1980 neemt de inhoud van het slik in het oosten vrijwel continu af. Vervolgens neemt de inhoud weer toe in de periode '80-'96. Tenslotte neemt de slikinhoud weer af.



Bespreking resultaten

De ontwikkeling van de inhoud komt goed overeen met die van de slikrand. De ontwikkeling van de slikhoogte geeft echter een ander beeld te zien. Een oorzaak hiervan kan gevonden worden in de gevolgde methodiek. De bepaling van de inhoud is accurater dan die van de slikhoogte, omdat hier maar 3 punten zijn meegenomen en bij de inhoud 260. De gegevens zijn geldig voor 50% van het slik. De totale afstand waarover de meting is uitgevoerd is 260 m. De breedte van een raai is 250 m. De totale afname sinds 1951 is 41.000 m³. De hieruit berekende verlaging is 0,64 m. Gemiddeld over de laatste 12 jaar is de verlaging 1 cm per jaar.

Ontwikkeling naast slik van Waarde

Naast deze 11 raaien zijn er nog 4 raaien, die niet echt deel uitmaken van het slik van Waarde, maar die toch een beeld kunnen geven van de ontwikkelingen in het onderzoeksgebied. Deze raaien hebben de nummers 1, 7, 13 en 14. De raaien 1, 13 en 14 liggen ten westen van het slik, raai 7 ten oosten hiervan. Door de gebruikte meetmethode, om de bodem van de Westerschelde in kaart te brengen, zijn niet van alle jaren voldoende gegevens beschikbaar. Hierom wordt volstaan met een zeer korte beschrijving. Uit deze gegevens blijkt dat de ontwikkeling in deze raaien niet significant anders is dan in de 11 raaien op het slik van Waarde. Dit geldt zowel voor de slikrand, slikhoogte als de slikinhoud.

Geomorfologische GIS-kaarten

Op de geomorfologische GIS-kaart van 1996 is duidelijk een veenlaag te herkennen. (zie bijlage 2) Deze veenlaag bevindt zich in het westelijk deel van het slik. In voorgaande jaren is deze veenlaag ook al aan de oppervlakte gekomen (bijv. 1977), maar niet in deze mate. Ook is in de kaart van 1996 te zien dat de schorrand in het westelijk deel van het slik zich heeft teruggetrokken.

Ontwikkeling geulen en platen

Van het slik van Waarde zijn ook animaties gemaakt, die de ontwikkeling van de bodem, geulen en slikken in de periode 1955-2000 weergeven. Uit deze animaties blijkt dat de Schaar van Waarde vanaf 1955 langzaam naar het zuiden migreert. Hieruit zou afgeleid kunnen worden dat er een verminderde erosie druk is op het slik van Waarde. Uit de bovenstaande ontwikkelingen van het slik blijkt dit overigens niet.

Tevens treedt er na 1973 verzanding van de Schaar van Waarde op. In de Schaar van Waarde is sprake van een duidelijke verondieping. Ook laten de platen van Walsoorden en Valkenisse, die voor het slik van Waarde liggen, in deze periode een groei te zien.

Een andere verandering in het geulensysteem voor het slik van Waarde is de Zimmermangeul, die tussen 1980 en 1988 qua getij-volume halveert. De invloed van deze geul is dus fors verminderd na 1988. In de Schaar van Valkenisse, die eind jaren '80 verdiept, neemt het getij-volume juist zeer sterk toe. Dit zorgt ervoor dat de stroomsnelheid en het sedimenttransport over het slik van Waarde vermindert.

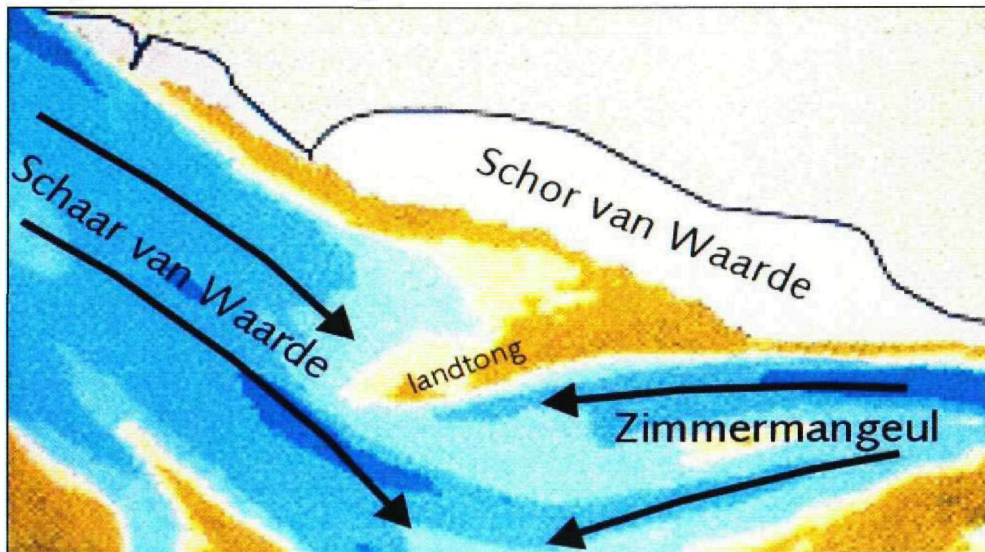
landtong

Uit de animaties blijkt verder dat het sediment van west naar oost wordt getransporteerd. Dit blijkt onder andere ook uit de landtong die zich periodiek voor het midden van het slik vormt. Uit de animaties blijkt dat er van een landtong sprake is in 1963, 1969, 1977, 1988, 1994. De landtong lijkt dus met enige regelmaat terug te komen. Een à twee jaar nadat een landtong is ontstaan, wordt deze weer doorbroken.

De landtong ontstaat doordat sediment vanuit de Schaar van Waarde en de Zimmermangeul naar een punt worden getransporteerd. (zie sedimenttransport bijlage 5)



Principeschets ontstaan landtongen

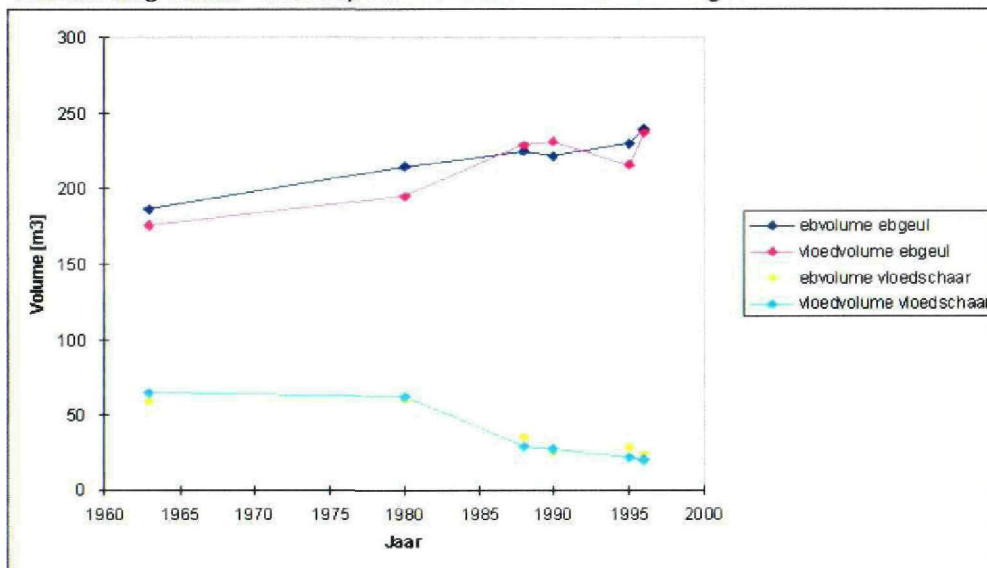


Figuur 19: principeschets ontstaan landtongen

Ontwikkeling debieten in het onderzoeksgebied

Ontwikkeling debieten in het onderzoeksgebied In de Westerschelde liggen 11 raaien, waarin de debieten gemeten worden. Gemiddeld wordt er in deze raaien eens in de 5 jaar het debiet te meten. De metingen maken deel uit van het MWTL-programma. (Monitoring Waterstaatkundige Toestand des Lands) De raaien die in dit onderzoek zijn meegenomen zijn de nummers 3 en 5. In deze raaien liggen de Zimmermangeul, de Overloop van Valkenisse, het Zuidergat en de Schaar van Waarde.

Ontwikkeling volume Overloop van Valkenisse en Zimmermangeul



Figuur 20: getij-volume ontwikkeling van de Overloop van Valkenisse en Zimmermangeul in de periode 1963-1996



Raai 3

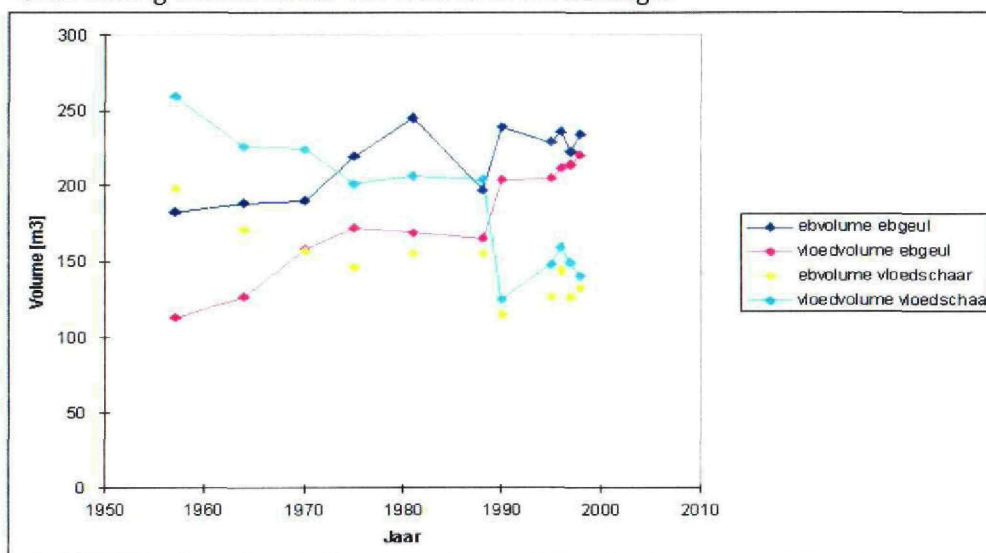
Ebgeul (Overl. V.Valkenisse):

Het volume van de Overloop van Valkenisse laat in de periode '63-'96 een doorgaande stijgende lijn zien.

Vloedschaar (Zimmermangeul):

In de periode '63-'80 veranderen de eb- enloedvolumia nauwelijks. Rond 1980 is een opvallende trendbreuk waarneembaar, waarin de volumia bijna halveren van 60 m³ naar 30 m³. Hierna nemen de volumia langzaam af tot 20 m³. De Zimmermangeul slaat langzaam om vanloedgedomineerd in ebgedomineerd.

Ontwikkeling volume Schaar van Waarde en het Zuidergat



Figuur 21: getij-volume ontwikkeling van de Schaar van Waarde en Overloop van Valkenisse in de periode 1963-1996

Raai 5

De sprong in de grafiek rond 1988 is veroorzaakt doordat de meetraai in dat jaar verplaatst is. Hierdoor is een vergelijking met de voorgaande jaren slechts op zekere hoogte mogelijk.

Ebgeul (Zuidergat):

Het volume van het Zuidergat laat in de periode 1963-1996 een stijgend verloop zien. Zowel het eb- al het loedvolume nemen toe. Wat verder opvalt is dat in de jaren negentig de ebdominantie afneemt.

Vloedgeul (Schaar van Waarde):

Het volume van de Schaar van Waarde neemt vanaf 1963 langzaam af. Tussen '88 en '90 wordt deze trend doorbroken en nemen de volumia weer toe. Vanaf '96 nemen het loedvolume af en het ebvolume toe. De Schaar van Waarde blijft echter wel vloedgedomineerd



Bespreking resultaten ontwikkeling slik

In het westelijk deel van het slik is er, tijdens de onderzochte periode, nauwelijks sprake van enige verandering. Na de forse achteruitgang in '63-'67 is een moeilijk erodeerbare veenlaag bereikt. Dit blijkt uit de geomorfologische kaarten van het gebied. (zie bijlage 2) Deze kan beschouwd worden als 'de basis' van het slik. Het materiaal dat in een bepaalde periode op het slik sedimenteert, erodeert weer in de volgende periode. Zo is de grote vooruitgang in het westelijk deel in '75-'80 het gevolg van storten in de Schaar van Waarde in '71-'75. In deze periode wordt vlak vòòr het slik van Waarde zeer veel gestort, voornamelijk bij de Westerveerpolder. De reactie hierop volgt in '80-'88, wanneer al het gestorte materiaal weer verdwijnt door erosie. De laatste tijd is er in het westelijk deel nauwelijks sprake van erosie. Een van de oorzaken hiervan is *dus* de moeilijk erodeerbare veenlaag, die verder eroderen van het slik voorkomt. Een andere oorzaak kan zijn de ontwikkeling in het geulensysteem na '88. Na dat jaar verdiept de Schaar van Valkenisse sterk ten koste van de Zimmermangeul. De stroming is zodoende naar het zuiden verplaatst. Hierdoor is de erosiedruk verminderd.

De erosie in het oostelijk deel, waarvan in de laatste periode sprake is, wordt misschien veroorzaakt door de volumevermindering van de Zimmermangeul. Tussen '80 en '88 is er sprake van een trendbreuk in het getij-volume van deze geul. Ook verandert de geul langzaam van vloedgedomineerd naar ebgedomineerd. Deze hypothese zal in hoofdstuk 4 verder uitgewerkt worden.

Verder is de tendens waarneembaar dat ontwikkelingen zich van west naar oost voortplanten. Zo is te zien dat de sedimentatie in het westen van '75-'80, zich in het oosten in de jaren daarna voordoet. Dit geldt ook weer voor de erosie in het westen waarvan in '84-'88 sprake is. Deze treedt in het oosten de laatste jaren op. Gestort materiaal wordt van west naar oost langs / over het slik van Waarde getransporteerd. Dit fenomeen is ook te zien aan de landtongen die voor het slik ontstaan. Doordat de ontwikkelingen zich van west naar oost voortplanten, kan het oostelijk deel van het slik ook de neiging hebben om verder te eroderen. Bovenstaande hypothesen worden in het volgende hoofdstuk nader uitgewerkt.



3.2 Berekende data

Stroomsnelheden

Hieronder volgende de stroomsnelheden rond het slik van Waarde, die berekend zijn met behulp van het waterbewegingsmodel SCALWEST (zie bijlage 3)

Vershil 1931 - 1955

Als er gekeken wordt naar de verschillen tussen 1931 en 1955, de periode waarin het gat van Ossensisse is doorgebroken, dan valt op dat vooral recht voor het slik, in de Schaar van Waarde en in de Schaar van Valkenisse, de stroomsnelheden zijn toegenomen. De verschillen kunnen oplopen tot 1,5 m/s. In de Zimmermangeul daarentegen zijn de stroomsnelheden juist afgenomen. Het overige gebied neemt niet significant toe of af. Bij de vergelijking moet opgemerkt worden, dat de hoge verschillen ook veroorzaakt kunnen worden door zandbanken die al dan niet in een bepaalde periode zijn opgetreden.

Vloed (2000)

De stroomrichting tijdens vloed is sterk west-oost gericht. Het water stroomt recht over het slik. Tijdens vloed treden er op het slik stroomsnelheden op van maximaal 1,1 m/s. Wat opvalt is dat vooral in het oostelijk deel de stroomsnelheden over het slik hoog zijn. Van west naar oost neemt deze snelheid toe van 0,8 m/s naar 1,1 m/s. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt doordat het water tijdens vloed door de Zimmermangeul kan stromen. De gemiddelde stroomsnelheid op het slik tijdens maximale vloed ligt tussen de 0,8 à 0,9 m/s. Als we een vergelijking maken met de stroomsnelheden tijdens vloed in 1955, dan valt op dat vooral in het oostelijk deel de stroomsnelheden zijn toegenomen. Tevens valt op dat de stroomsnelheden langs de schorrand in 2000 zijn toegenomen in vergelijking tot 1955. In de Schaar van Waarde blijven de stroomsnelheden nagenoeg constant. Op bijna het hele slik komen dus stroomsnelheden voor van 0,75 m/s tot 1,00 m/s. Alleen op een gedeelte van het oostelijk deel komen stroomsnelheden voor van 1,00 tot 1,25 m/s.

Eb (2000)

Tijdens eb gaat de stroom meer om het slik heen, voornamelijk door de Zimmermangeul. De stroomsnelheid neemt van oost naar west iets toe van 0,6 m/s tot 1,0 m/s recht voor het midden van het slik. Daarna nemen de stroomsnelheden weer af tot 0,4 m/s. Recht voor het midden van het slik ligt in '00 dus een gebied waar hoge snelheden voorkomen. Op nagenoeg het hele slik komen stroomsnelheden voor van 0,5 m/s tot 0,75 m/s.

Vershil 1977-2000

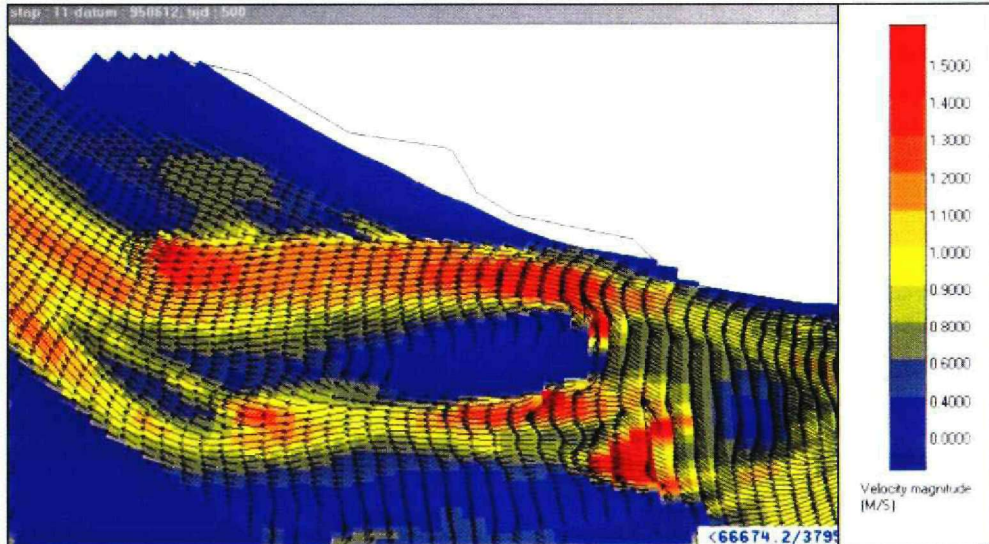
Als er gekeken wordt naar het verschil in waterbeweging tussen 1977 en 2000, dan valt op dat er in 1977 tijdens vloed hogere stroomsnelheden voorkwamen. Dit is vooral in de Schaar van Waarde en het westelijk deel van het slik het geval. In het oostelijk deel zijn de stroomsnelheden in 2000 juist hoger. Dit heeft vooral te maken met de aanwezigheid van een landtong in 1977. De verschillen bedragen zowel in het westelijk als oostelijk deel ongeveer 0,3 m/s.

Tijdens eb zijn de verschillen zeer duidelijk. In 1977 komen in de Zimmermangeul maximale stroomsnelheden voor van 1,5 m/s. In 2000 zijn deze maximaal 0,9 m/s. Verder valt op dat de Zimmermangeul in 1977 een belangrijke ebgeul is. Dit in tegenstelling tot 2000 waar de Zimmermangeul nauwelijks meer is te onderscheiden. De stroomsnelheden op het slik zijn in 2000 minder dan in 1977 al is het verschil niet erg groot. Onderstaande plots geven een indicatie van de veranderingen, tijdens eb, die zijn

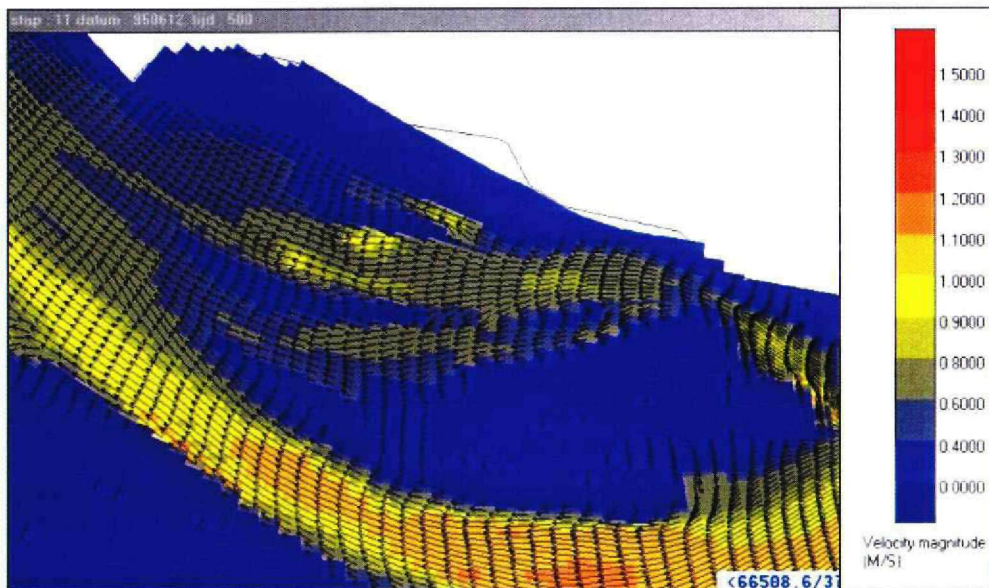


opgetreden in het stroombeeld van 1977 in vergelijking tot 2000. In bijlage 3 staan de stroombeelden tijdens vloed.

Stroombeelden 1977 en 2000



Figuur 22: Stroombeeld 1977 tijdens maximale eb



Figuur 23: Stroombeeld 2000 tijdens maximale eb

Vergelijking stroombeeld 1977 en 2000

Eb: De stroomsnelheden in de Zimmermangeul zijn tijdens maximale eb met 0,5 m/s afgenomen.

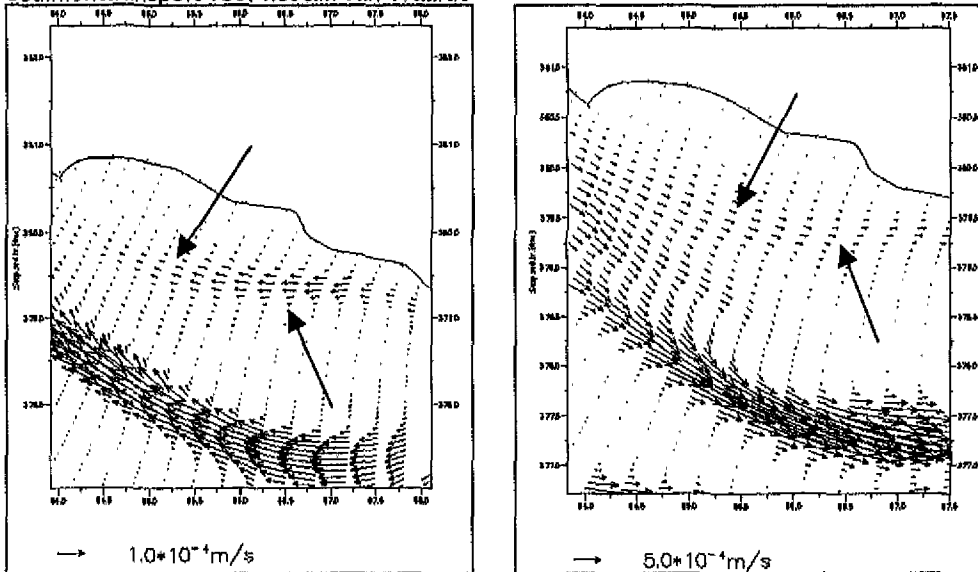
Vloed: De stroomsnelheden in de Zimmermangeul zijn tijdens maximale vloed met 0,3 m/s afgenomen.



Sedimenttransport

Hieronder volgen de sedimenttransporten over / langs het slik van Waarde, die berekend zijn met het 2 dimensionale morfologischmodel Delft2D. (Zie verder bijlage 5)

Sedimenttransport voor het slik van Waarde



Figuur 24: suspendedload-transport tijdens eb

suspendedload-transport tijdens vloed

	1988	1996	2000
Bedload [$\cdot 10^{-6}$ m/s]	7,5	7,5	5,0
Susp. load [$\cdot 10^{-6}$ m/s]	90	45	35

Tabel 9: sedimenttransport tijdens maximale eb recht voor het slik van Waarde

Vloed	1988	1996	2000
Bedload [$\cdot 10^{-6}$ m/s]	20	20	13
Susp. load [$\cdot 10^{-6}$ m/s]	200	200	150

Tabel 10: sedimenttransport tijdens vloed recht voor het slik van Waarde

Bovenstaande gegevens hebben betrekking op de naar beneden gerichte pijl. Er kan opgemerkt worden dat er tijdens vloed veel meer getransporteerd wordt dan tijdens eb. Het verschil bedraagt ongeveer factor 3 à 4. Verder kan er geconcludeerd worden dat de transporten, zowel bedload als suspendedload, in de beschouwde periode zijn afgenomen. Dit geldt voor zowel eb als vloed. Vooral '96 in vergelijking tot '00 laat een duidelijke afname zien. De afname van suspendedload tussen '88 en '00 is 60 % tijdens eb en 25 % tijdens vloed. De relatieve afname is tijdens eb dus een stuk groter dan tijdens vloed. Dit kan veroorzaakt worden door het in deze periode groter worden van de drempel, die de Zimmermangeul scheidt van het Nauw van Bath. Hierdoor kan er tijdens eb minder water de Zimmermangeul instromen. In de beschouwde periode is de Zimmermangeul overigens ebgedomineerd.

Sedimenttransport door Zimmermangeul

Op een vaste locatie in de Zimmermangeul is het sedimenttransport bekeken. (Zie de naar beneden gerichte pijl in de bovenstaande plot)



Eb	1988	1996	2000
Bedload [$\cdot 10^{-6}$ m/s]	10	9	7
Susp. load [$\cdot 10^{-6}$ m/s]	100	100	60

Tabel 11: sedimenttransport tijdens maximale eb in de Zimmermangeul

Vloed	1988	1996	2000
Bedload [$\cdot 10^{-6}$ m/s]	13	10	11
Susp. load [$\cdot 10^{-6}$ m/s]	190	120	120

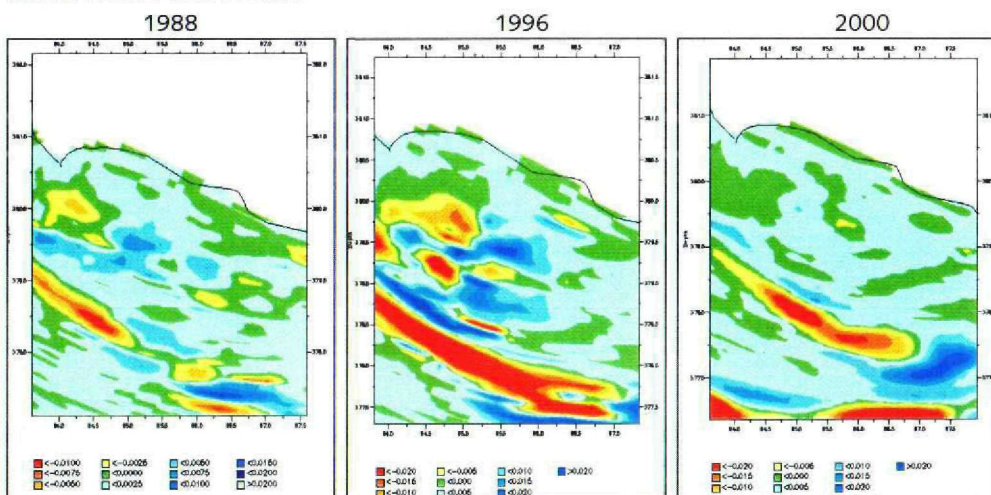
Tabel 12: sedimenttransport tijdens maximale vloed in de Zimmermangeul

Uit de gegevens kan geconcludeerd worden dat tussen 1988 en 2000 de sedimenttransporten in de Zimmermangeul zijn afgenomen. Tijdens eb zijn het bedload-transport en het suspendedload-transport met 30% resp. 40% afgenomen. Tijdens vloed zijn deze met 15% resp. 37% afgenomen. De afname komt overeen met het gegeven dat het getij-volume in de Zimmermangeul in deze periode is afgenomen.

Initiële erosie / sedimentatie

Onderstaande gegevens geven een beeld van de initiële erosie en sedimentatie rond het slik van Waarde in de jaren '88, '96 en '00. De gegevens zijn verkregen met behulp van het morfologischmodel Delft2D-mor. De blauwe gebieden geven zones met sedimentatie aan, de groene tot rode erosie. Het gaat hier om kwalitatieve gegevens over erosie / sedimentatie. De onderstaande plots rechtvaardigen het niet om kwantitatieve uitspraken te doen. (Zie bijlage 4)

Initiële erosie / sedimentatie



Figuur 25: de initiële erosie en sedimentatie rond het slik van Waarde in de jaren '88, '96 en '00

Uit de plots blijkt dat er in de jaren '88, '96 en '00 vooral rond het westelijk deel van het slik erosie optreedt. In het middel van het slik treedt sedimentatie op en in het oostelijk deel is er geen sprake van duidelijke erosie of sedimentatie. Verder valt op dat De Schaar van Valkenisse sterk erodeert.



4. hypothesen / discussie

4.1 Zimmermangeul

Uit de data-analyse blijkt dat de erosie in het westelijk deel grotendeels tot stilstand is gekomen. Het slik bestaat hier voor een groot deel uit een niet-erodeerbare veenlaag. De ontwikkelingen in het oostelijk deel zijn niet eenduidig. Perioden van sedimentatie en erosie wisselen elkaar af. De invloed van de Zimmermangeul op het oostelijk deel is onbekend. In Liek & Kornman (2001) is wel gesuggereerd dat de recente ontwikkelingen van deze geul een negatief effect hebben op het oostelijk deel van het slik. Er is toen opgemerkt dat de verlaging in het oostelijk deel van het slik in het begin van de jaren '90 samenvalt met de forse debietvermindering in de Zimmermangeul. Maar of dit ook werkelijk de oorzaak van het eroderen is, is niet duidelijk. Hieronder volgt een opzet om het effect van de Zimmermangeul op het oostelijk deel van het slik te onderzoeken. De volgende hypothese is opgesteld om dit te onderzoeken.

Hypothese:

Erosie in het oostelijk deel wordt veroorzaakt door een vermindering van de inhoud van de Zimmermangeul. Sedimentatie wordt veroorzaakt door een toename van de inhoud.

De achterliggende gedachte van de bovenstaande hypothese is, dat er door de debietvermindering van de Zimmermangeul meer water over het slik stroomt in plaats van door de Zimmermangeul. Doordat er meer water over het slik stroomt is deze ook aan meer erosie onderhevig. Of dit ook werkelijk de oorzaak van het eroderen van het slik is, kan middels deze hypothese uitgezocht worden.

Om de hypothese te toetsen moeten de gegevens over de ontwikkeling van het slik van Waarde naast de gegevens over de ontwikkeling van de Zimmermangeul gelegd worden. Hieronder volgt eerst een korte samenvatting van de ontwikkeling van het slik van Waarde. Daarna worden de gegevens over de ontwikkeling van de Zimmermangeul gepresenteerd. Met behulp van deze gegevens wordt de ontwikkeling van de Zimmermangeul in de periode '80-'00 beschreven. Tenslotte wordt aan de hand van de gegevens de bovenstaande hypothese getoetst.

Ontwikkeling oostelijk deel slik

Samengevat: vanaf 1951 tot ongeveer 1975 erosie is er opgetreden in het oostelijk deel van het slik. Vervolgens treedt er vanaf 1975 tot 1996 een periode van sedimentatie op. Na 1996 is er weer sprake van erosie.

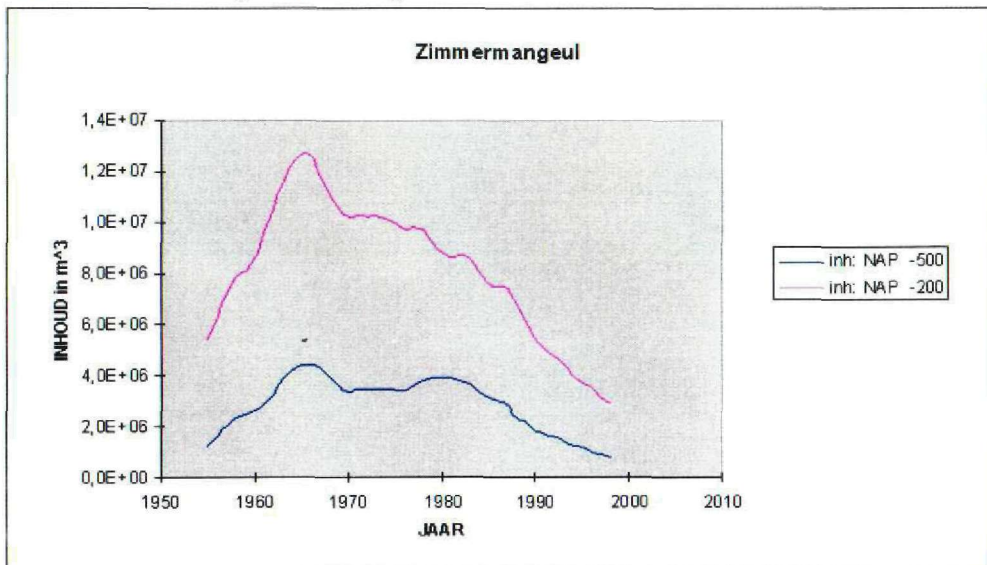
Gegevens Zimmermangeul

Er zijn diverse gegevens om de ontwikkeling van de Zimmermangeul te onderzoeken:

- Inhoudsontwikkeling m.b.v. GIS-analyse
- Getij-volumeontwikkeling / debieten
- Verschillen in stroombeeld uit het waterbewegingsmodel SCALWEST
- Horizontale / verticale ontwikkeling Zimmermangeul vanuit animaties
- Sedimenttransport uit het morfologischmodel Delft2D-mor



Inhoudsontwikkeling Zimmermangeul



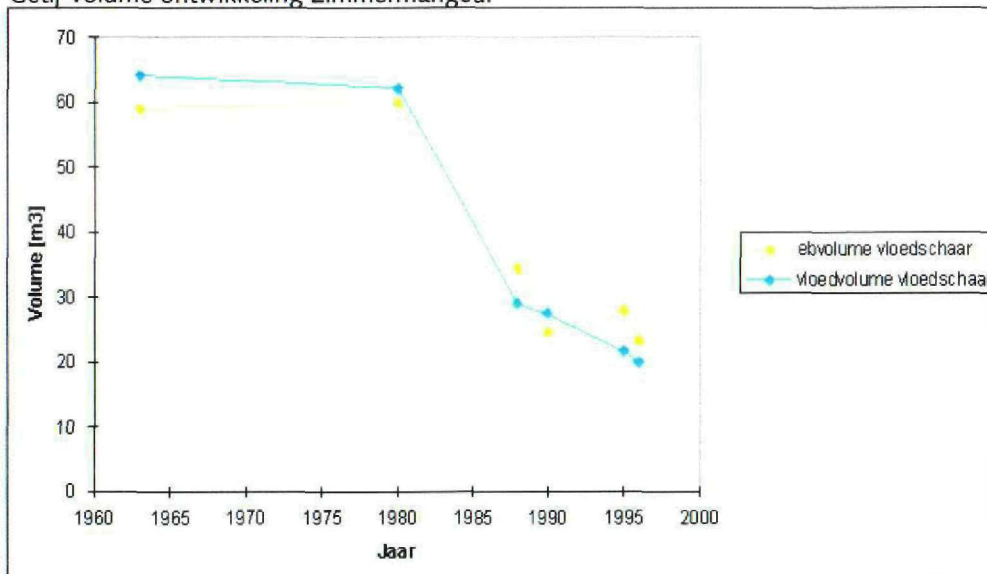
figuur 26: inhoudsontwikkeling van de Zimmermangeul in de periode 1955-1998

Beschrijving inhoudsontwikkeling Zimmermangeul

De inhoud van de Zimmermangeul beneden -2.0 m NAP neemt toe van 6 Mm^3 in 1955 naar bijna 13 Mm^3 in 1966. Vervolgens neemt de inhoud af tot 3 Mm^3 in 1998.

De inhoud van de Zimmermangeul beneden -5.0 m NAP neemt toe van 1 Mm^3 in 1955 naar ruim 4 Mm^3 in 1966. Tussen 1966 en 1980 blijft de inhoud redelijk stabiel. Daarna neemt de inhoud af tot minder dan 1 Mm^3 in 1998. Uit de gegevens blijkt dat de wanden van de Zimmermangeul tussen -2.0 m NAP en -5.0 m NAP steiler worden. De lijnen convergeren namelijk vanaf 1966.

Getij-volume ontwikkeling Zimmermangeul



Figuur 27: getij-volume ontwikkeling van de Zimmermangeul in de periode 1963-1996



Jaar	Ebvolume [m ³]	Vloedvolume [m ³]	Totaalvolume [m ³]	EV/VV
1963	59	64	123	0,92
1980	60	62	122	0,96
1988	34	29	63	1,19
1990	25	27	52	0,89
1995	28	22	49	1,29
1996	23	20	43	1,17

Tabel 13: getij-volume ontwikkeling van de Zimmermangeul in de periode 1963-1996

Beschrijving ontwikkeling getij-volume Zimmermangeul

Van de periode '63-'80 zijn er geen debietgegevens beschikbaar. In deze periode lijkt het eb- en vloedvolume van de Zimmermangeul nauwelijks te veranderen, maar gezien de inhoudsontwikkeling van de Zimmermangeul mag in deze periode een piek in het getij-volume verwacht worden. Rond 1980 is er echter een opvallende trendbreuk waarneembaar, waarin het getij-volume halveert van 60 m³ naar 30 m³. Hierna neemt het getij-volume langzaam verder af tot 20 m³. verder valt op dat de Zimmermangeul na 1980 omslaat van vloedgedomineerd naar ebgedomineerd. Dit is te zien aan de verhouding ebvolume/vloedvolume die boven 1 uitkomt.

Stroombeeld (zie data-analyse en bijlage 3)

In 2000 treden er duidelijk lagere stroomsnelheden in de Zimmermangeul op in tegenstelling tot 1977. Vooral het verschil tijdens eb is opmerkelijk. Verder valt op dat tijdens vloed beduidend meer water door de Schaar van Valkenisse is gaan stromen ten koste van de Zimmermangeul.

Sedimenttransport door Zimmermangeul (zie data-analyse en bijlage 5)

Tijdens vloed wordt er duidelijk meer getransporteerd dan tijdens eb, en dat terwijl de Zimmermangeul in deze periode ebgedomineerd is. Dat betekent dat er tijdens vloed per m³ water meer sediment wordt getransporteerd dan tijdens eb. Het water dat tijdens vloed uit de Schaar van Waarde de Zimmermangeul instroomt, is dus sedimentrijker dan het water dat tijdens eb uit het Nauw van Bath de Zimmermangeul instroomt. Dit proces wordt nog versterkt doordat het sedimenttransport tijdens eb een sterkere afname laat zien dan tijdens vloed. Qua sedimenttransport is de Zimmermangeul dus ook vloedgedomineerder geworden. Dit is weer een verklaring voor het feit dat de morfologische fenomenen, zoals landtongen, zich van west naar oost voortplanten.

Ontwikkeling Zimmermangeul

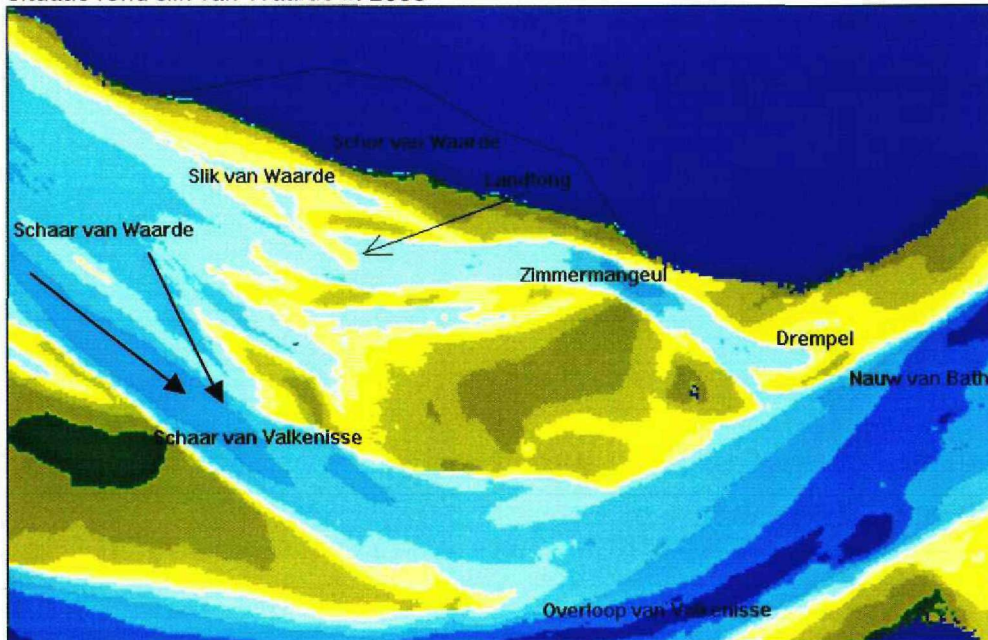
Door middel van de bovenstaande gegevens kan nu een beschrijving gegeven worden van de ontwikkeling van de Zimmermangeul. Het gaat hier om een soort reconstructie.

Horizontale / verticale ontwikkeling Zimmermangeul

De Zimmermangeul is vrijwel plaatsvast. Het jaar 1955 vergeleken met het jaar 2000 laat zien dat de Zimmermangeul iets naar het slik toe opgeschoven is, maar het verschil is marginaal. De verticale ontwikkeling laat een wisselend beeld zien, vrijwel analoog aan de ontwikkeling van de inhoud. Vanaf midden jaren '80 is de geul sterk aan het verzanden.



Situatie rond slik van Waarde in 2000



Figuur 28: geulen en platen rond slik van Waarde in 2000, pijlen geven stroomrichting aan tijdens vloed

Algemene beschrijving Zimmermangeul

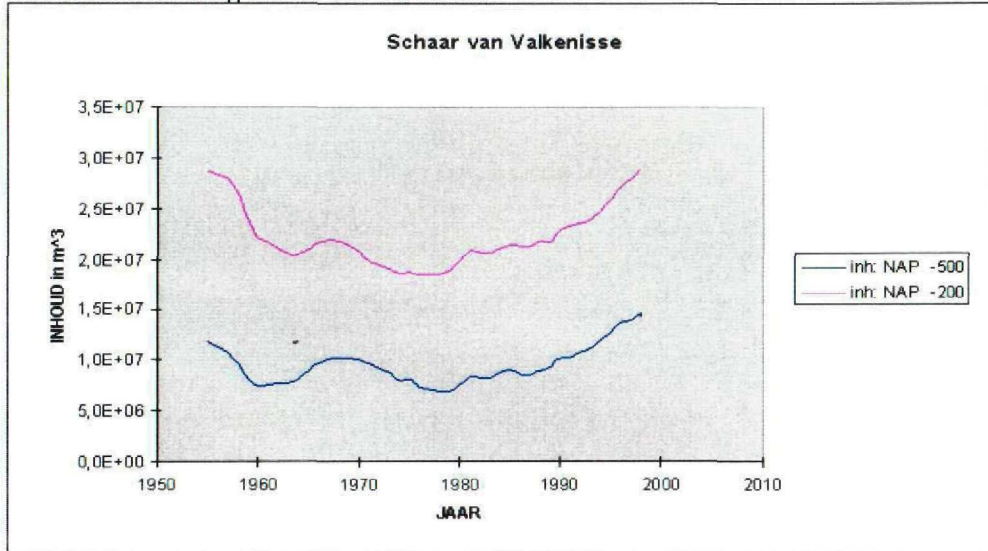
De Zimmermangeul is van origine een vloedschaar en kan beschouwd worden als een uitloper van de Schaar van Waarde. Tijdens vloed schiet het water uit het Zuidergat en stroomt door de Schaar van Waarde de Zimmermangeul in. Het meeste sediment dat door de vloed wordt aangevoerd, is echter al gesedimenteerd voordat het de Zimmermangeul kan bereiken. De Zimmermangeul is hierdoor relatief sedimentarm. Tijdens eb stroomt het water vanuit het Nauw van Bath de Zimmermangeul in. Hierdoor wordt sediment aangevoerd het slik van Waarde op. Het sedimenttransport tijdens vloed is echter ruim twee keer zo groot als het sedimenttransport tijdens eb.

Ontwikkeling Zimmermangeul

Rond 1966 sluit de Zimmermangeul niet meer rechtstreeks op de Schaar van Waarde aan. Er ontstaan landtongen voor het slik van Waarde. Blijkbaar wordt het water uit de Schaar van Waarde na 1966 dus gehinderd om de Zimmermangeul binnen te stromen. De Zimmermangeul verzandt dan ook na 1966. Dit proces heeft ook gevolgen voor het getij-volume. Deze neemt na 1980 drastisch af. Een gevolg van de afname van het getij-volume is, dat de drempel naar het Nauw van Bath groter is geworden. Hierdoor dreigt de Zimmermangeul dus van twee kanten afgesloten te worden van het systeem. De verzanding van de Zimmermangeul zal dus hoogstwaarschijnlijk verder doorzetten. Dit kan een gunstige uitwerking op het oostelijk deel van het slik hebben. (zie conclusie)



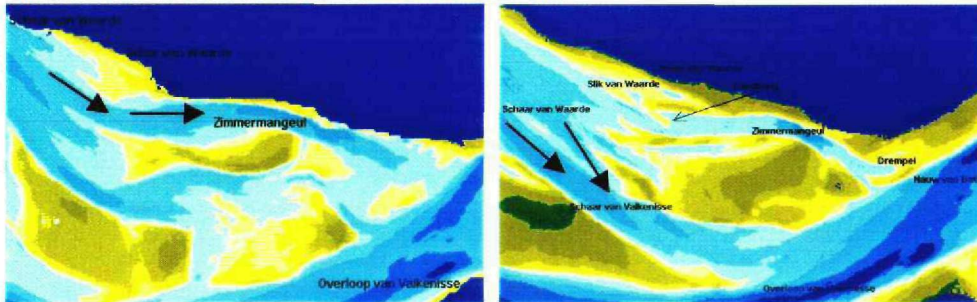
Inhoudsontwikkeling Schaar van Valkenisse



Figuur 29: inhoudsontwikkeling van de Schaar van Valkenisse in de periode 1955-1998

De verondieping van de Zimmermangeul gaat gepaard met de verdieping van de Schaar van Valkenisse. Dit proces van verdiepen / verondiepen is te zien in de stroombeelden (blz 31) en de bovenstaande figuur over inhoudsontwikkeling van de Schaar van Valkenisse. Rond 1988 treedt een sterke toename op van de inhoud van de Schaar van Valkenisse. In dit jaar breekt de Schaar van Valkenisse namelijk door de platen van Valkenisse heen en stroomt rechtstreeks in de Overloop van Valkenisse. Gelijktijdig neemt de inhoud van de Zimmermangeul sterk af.

Situatie voor en na doorbraak Schaar van Valkenisse



Figuur 30: situatieschets geulen en platen rond slik van Waarde in 1975 en in 2000

Toetsing hypothese

De onderstaande hypothese moet nu worden getoetst aan de verzamelde gegevens:

Erosie in het oostelijk deel wordt veroorzaakt door een vermindering van de inhoud van de Zimmermangeul. Sedimentatie wordt veroorzaakt door een toename van de inhoud.

Om de hypothese te toetsen worden de bovenstaande gegevens naast elkaar gelegd.



Vergelijking data

periode	Inhoud Z.geul	Getij-volume Z.geul	Erosie / sedimentatie slik
1955-1966	toename	-	Erosie
1967-1971	afname	afname	sedimentatie
1971-1974	geen ontw.	afname	erosie
1975-1996	afname	afname	sedimentatie

Tabel 14: vergelijking morfologische fenomenen

De onderzochte periode van 1955-1996 is onderverdeeld in 4 perioden. Voor deze onderverdeling is gekozen omdat in elk van deze perioden een ander morfologisch fenomeen optreedt. Of wel een periode waarin de Zimmermangeul duidelijk verandert of wel dat het slik duidelijk verandert. Het totaal aantal jaren in de onderzochte periode is 42. In het algemeen blijkt uit bovenstaande gegevens dat in jaren waarin er sprake is van een toename van de inhoud van de Zimmermangeul, er erosie van het slik optreedt. In jaren waarin sprake is van een afname van de inhoud is, treedt sedimentatie op. Dit geldt voor 32 van de 42 gevallen, dus voor ruim 75%. Een uitzondering hierop zijn de jaren '67-'71, waarin van het tegenovergestelde sprake is. In '71-'75 treedt er erosie op, maar neemt de inhoud van de Zimmermangeul niet toe of af.

De laatste periode van de data-analyse, '96-'00, is buiten beschouwing gelaten, omdat hier sprake is van te weinig en/of onjuiste gegevens, wat inhoudsontwikkeling van de Zimmermangeul betreft.

Conclusie

Uit deze gegevens kan geconcludeerd worden, dat de aangenomen hypothese onjuist is. In 75% van de beschouwde jaren is van het omgekeerde sprake. Het is in het algemeen dus aannemelijker dat in een periode met een toename van de inhoud er erosie optreedt. Terwijl in een periode van afname van de inhoud er sedimentatie optreedt. De verwachte ontwikkelingen van de Zimmermangeul kunnen dus juist een positief effect op het oostelijk deel van het slik van Waarde hebben. Men moet echter wel voorzichtig zijn, gezien de beperking in de gegevens en gevolgde onderzoeksmethodiek. De onderliggende fysische processen worden in deze methode niet verdisconteerd.

4.2 Storten

In het westelijk deel van het slik erodeert de slik-/geulrand bijna continu. Alleen bij veel storten heeft deze de neiging om aan te groeien. Na de forse achteruitgang in '63-'67 is een moeilijk erodeerbare veenlaag bereikt. Deze kan beschouwd worden als 'de basis' van het slik. Het materiaal dat in een bepaalde periode op het slik sedimenteert, erodeert weer in een volgende periode. Zo is de grote vooruitgang in het westelijk deel in '75-'80 hoogstwaarschijnlijk het gevolg van storten in de Schaar van Waarde in '71-'80. In deze periode wordt vlak vòòr het slik van Waarde zeer veel gestort, voornamelijk bij de Westerveerpolder. De onderstaande hypothese is opgesteld om te onderzoeken welke invloed storten in het gebied heeft.

Hypothese:

Het water dat over het slik stroomt is onderverzadigd. Door te storten kan de stroom weer verzadigd worden, zodat er op het slik geen erosie meer optreedt. Eventueel kan het slik zelfs weer aangroeien.

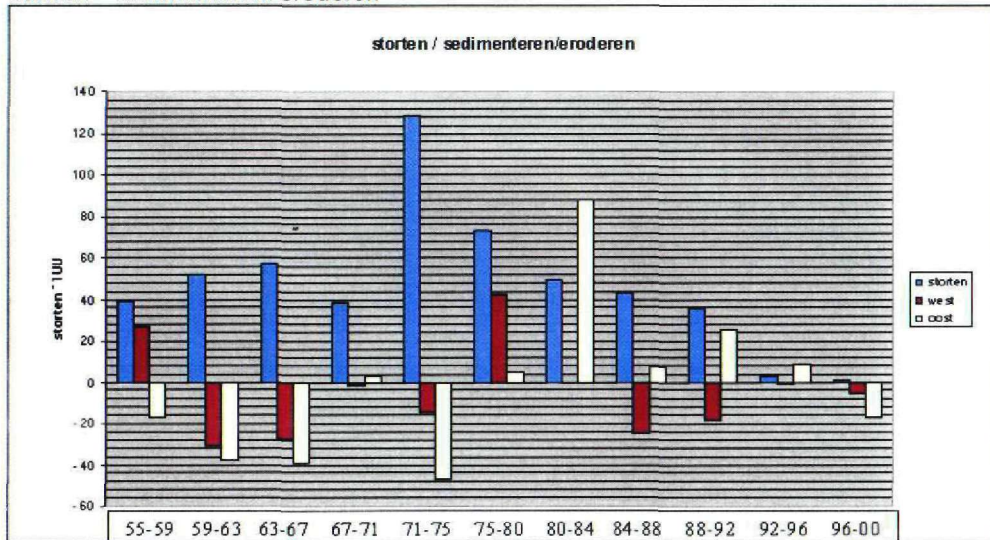
Van storten naar sedimenteren

Om deze hypothese te toetsen worden eerst de gegevens over storten en eroderen/sedimenteren uit de data-analyse naast elkaar gelegd. Deze laatste gegevens zijn gebaseerd op de inhoudsontwikkeling van het slik. Onderstaande grafiek rechtvaardigt het slechts een kwalitatieve vergelijking te maken. In werkelijkheid is het



storten 100 keer zo groot als hier is weergegeven. De totale inhoud van het oostelijk deel van het slik is ongeveer 2 keer zo groot als is weergegeven. De storthoeveelheid in de Schaar van Waarde is in 1996 slechts 1/10 van de hoeveelheid die in 1988 is gestort.

Storten – sedimenteren/eroderen



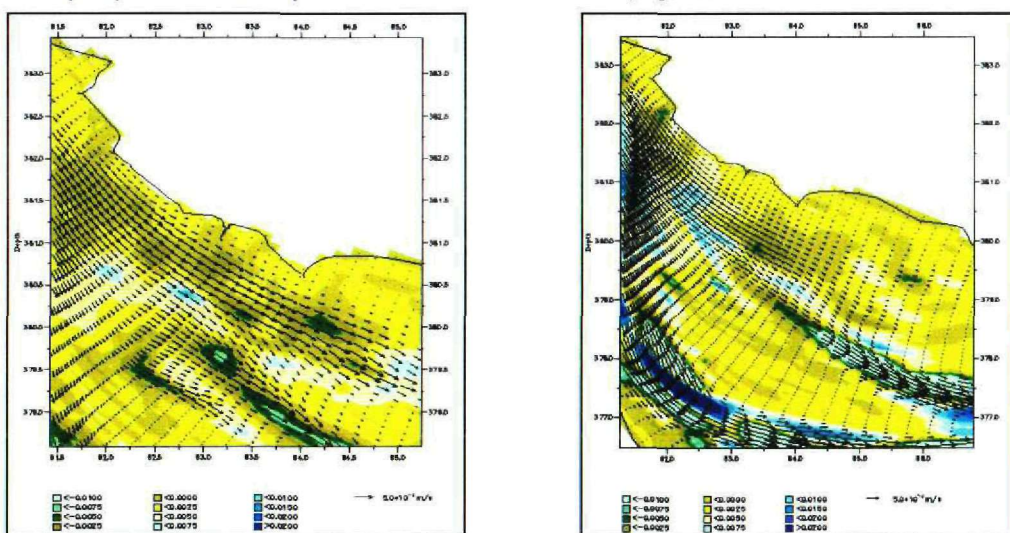
Figuur 31: van storten naar sedimenteren

Uit de bovenstaande grafiek blijkt dat slechts een klein deel (enkele procenten) van het sediment op het slik terecht komt. Pas na veel storten sedimenteert het op het slik. Na het stoppen van het storten treedt er evenwel geen sterke erosie op.

Sedimenttransport bij Westerveerpolder

In de onderstaande plots en tabel worden de transporten tijdens vloed bij de Westerveerpolder gepresenteerd. Er is hier alleen gekeken naar de suspendedload-transporten, omdat deze veruit de belangrijkste component in het sedimenttransport is.

Transportplot Westerveerpolder in 1988 en 2000 (Zie bijlage 4)



Figuur 32: Suspendedload-transport in 1988

Suspendedload-transport in 2000



Vloed	1988	1996	2000
Susp. load [$\cdot 10^{-6}$ m/s]	500	350	350

Tabel 15: sedimenttransport, zowel bedload als suspendedload tijdens vloed in de jaren '88, '96 en '00

Het valt op dat de transportpijlen, in de richting van de stroming, in 1988 even groot blijven. Dit duidt erop dat er geen sediment opgenomen of afgestaan wordt. Er vindt in de Schaar van Waarde dus geen sedimentatie of erosie plaats. Dit in tegenstelling tot de jaren '96 en '00. In deze jaren nemen de transportpijlen in de richting van de stroming af. Dit duidt op sedimentatie in de Schaar van Waarde. Deze ontwikkeling komt overeen met de data-analyse. Het westelijk deel van de slik van Waarde erodeert vanaf eind jaren '80 in een steeds lager tempo. In 2000 lijkt de erosie helemaal tot stilstand te zijn gekomen. Naast de niet-erodeerbare veenlaag kan dus ook het sedimenttransport als reden hiervoor aangemerkt worden.

Conclusie

Uit de gegevens blijkt van het gestorte materiaal bij de Westerveerpolder een paar procent op het slik terecht komt. Alleen veel storten heeft dus effect op het slik. Verder blijkt dat het water voor de Westerveerpolder steeds meer verzadigd is geworden. In 1988 is er geen sprake van onder- / oververzadiging van het water. In 2000 is er wel sprake van oververzadiging en treedt er sedimentatie op. Storten in 2000 heeft dus een positiever effect op de aangroei van het slik dan in 1988. Het water is hier al oververzadigd en al het sediment dat gestort wordt, sedimenteerd op in het westelijk deel van het slik.



5. Conclusies & Aanbevelingen

In dit document worden de onderliggende processen die aan de ontwikkeling van het slik en schor van Waarde ten grondslag liggen behandeld. Het is zodoende een vervolg op Liek & Kornman (2001). Hieruit kwamen hypothesen voor de ontwikkeling van het slik en schor van Waarde naar voren die in dit document behandeld zullen worden. Een van de genoemde oorzaken was de functiewisseling in de jaren '40 tussen het Middelgat en de Overloop van Hansweert.

Het volgende proces is hierbij als uitgangspunt genomen; *Het slik van Waarde ligt op het scharnierpunt tussen twee geulen, de Schaar van Waarde (vloedgeul) en de Zimmermangeul (ebgeul), die beiden sediment naar het slik aan- of afvoeren. Al naar gelang een van beide sedimentstromen sterker is, zal dit scharnierpunt naar het westen dan wel oosten opschuiven. De functiewisseling heeft ervoor gezorgd dat dit scharnierpunt steeds meer naar het oosten is opgeschoven, maar of dit doorzet hangt weer af van de ontwikkelingen in de Zimmermangeul.*

Morfologisch processen voor slik van Waarde

De belangrijkste verklaring voor de ontwikkelingen in en rond het slik van Waarde is de dominante west-oost gerichte vloedstroom. Morfologische fenomenen, zoals het ontstaan van landtongen voor het slik en gestorte materialen, verplaatsen zich vanuit het westen naar het oosten. Ook voor de erosieverschijnselen geldt dit. Erosie die eerst in het westelijk deel van het slik is opgetreden, treedt in een volgende periode in het oostelijk deel op. Dit is de primaire oorzaak voor de morfologische ontwikkelingen rond het slik van Waarde. Dit proces speelt zich af op macroschaal.

Een secundaire oorzaak ligt in de verandering van het geulenpatroon voor het slik. Dit patroon verandert namelijk in de loop van de tijd, waardoor de stroming soms meer, soms minder erosieve kracht vertoont. Vooral na '88 is te zien dat deze de ontwikkeling op het slik in positieve zin kan beïnvloeden, d.w.z. aangroei van het slik. De Schaar van Valkenisse neemt sterk toe qua getij-volume ten kosten van de Zimmermangeul, die zijn erosieve kracht op het oostelijk deel van het slik verliest. Daarnaast is de stroming in het westelijk deel niet meer direct langs het slik georiënteerd, maar meer naar het zuiden, zodat hierdoor de erosiedruk op het westelijk deel is afgenomen. Deze recente ontwikkelingen hebben een positief effect op het slik. Dit proces speelt zich af op mesoschaal.

Een derde oorzaak van de ontwikkelingen rond het slik van Waarde kan gevonden worden in menselijke invloed op de morfodynamische processen. Een voorbeeld hiervan zijn de stortingen in het gebied. Storten heeft duidelijk invloed op het slik, maar er moeten wel grote hoeveelheden gestort worden wil dit effect hebben. Bij het storten voor de Westerveerpolder komt namelijk slechts een paar procent op het slik terecht.

Ondanks deze ontwikkelingen blijft de primaire oorzaak, d.w.z. de west-oost georiënteerde vloedstroom, de belangrijkste motor achter de (erosieve) ontwikkelingen van het slik van Waarde. De macroschaal is hiermee dominant over de mesoschaal.

Aanbevelingen voor verder onderzoek slik van Waarde

- De oorzaak van het eroderen na '96 in het oostelijk deel van het slik is nog niet afdoende verklaard. De ontwikkeling van de Zimmermangeul heeft een positieve invloed op de aangroei van het slik. En ook door de afbuiging van de stroomrichting (door Schaar van Valkenisse) lijkt de erosiedruk af te nemen. Toch blijkt uit de data-analyse dat het slik aan erosie onderhevig is. Hoewel deze erosie



gezien de voorgaande jaren niet dramatisch is. (Zie inhoudsontwikkeling slik) Is er misschien een andere oorzaak dat van het feit dat er erosie optreedt?

- De methode waarmee de invloed van de Zimmermangeul op het oostelijk deel van het slik is onderzocht geeft geen inzicht in de onderliggende fysische processen. Het onderzoeken wat de invloed van het verdiepen / verondiepen van een geul ten opzichte van het aanliggende slik betekent, kan ons inzicht in de geul/slikinteractie vergroten.
- Dat storten rond het slik van Waarde grote invloed op het slik heeft, is wel duidelijk. Al komt maar een beperkt deel van het gestorte materiaal op het slik terecht, toch zorgt dit voor grote aangroei van het slik. Maar hoeveel moet er in het gebied gestort worden om eventueel eroderen te voorkomen? En waar moet dit gedaan worden? Vooral storten vlak voor het westelijk deel van het slik kan waarschijnlijk veel winst opleveren. Een sedimenttransportmodel moet hier antwoord op kunnen geven.



8. Referentielijst

Ilek, G.J., Kornman, B. (2001)

De morfologische ontwikkeling van het slik en schor van Waarde in de periode 1951-2000, werkdocument RIKZ/AB/2001/802x.

Veen, van J. (1950)

Eb- en vloed-schaar systemen in de Nederlandse getijwateren, TIJDSCHRIFT KONINKLIJK NEDERLANDSCH AARDRIJKSKUNDIG GENOOTSCHAP Vol. 67 (1950) Pagina 303-325

Storm, K. (1999)

Slinkend Onland, Over de omvang van Zeeuwse schorren; ontwikkelingen, oorzaken en mogelijke beheersmaatregelen, RWS Zeeland, NOTA AX-99.007

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

Ontwikkeling ondiepwaterzone rond de platen van Valkenisse periode 1990-heden. Rijkswaterstaat/Rijksinstituut voor Kust en Zee, werkdocument RIKZ/AB/2000/823x.

Stapel, J., D. de Jong

Sedimentatiemetingen op het schor van Waarde en het verdrinken land van Saeftinge, Westerschelde (ZW Nederland), rapport RIKZ-98.022.

Pwa, s.t. (1998)

Eindverslag waterbeweging en morfologie van slikken in de Westerschelde, Witteveen & Bos,

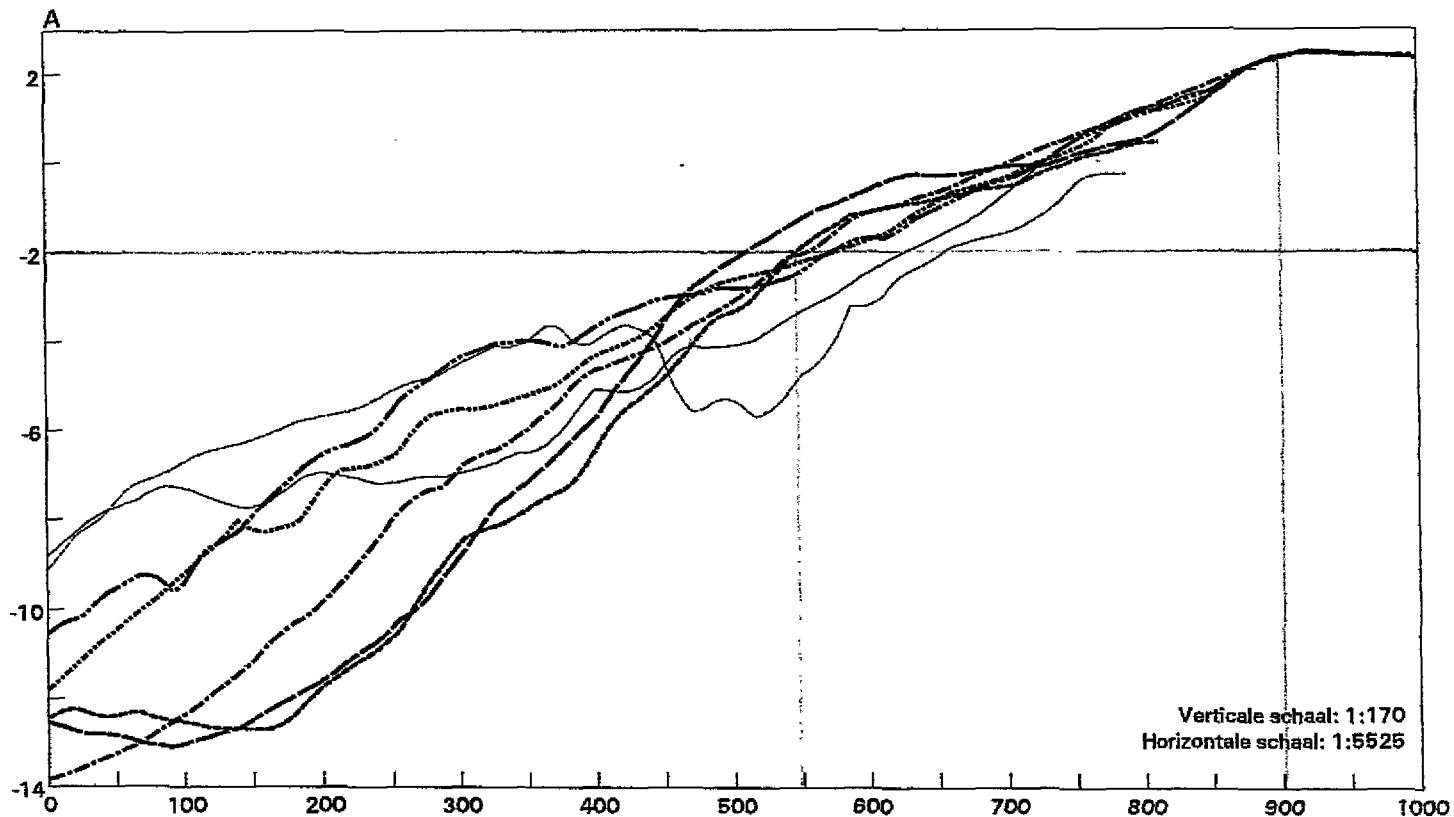
Berchum, A. van (2001)

Gewikt en gewogen, afwegingsdocument voor de bescherming van Zuidgors en Baarland, RWS Zeeland, NOTA AXW-2001.01

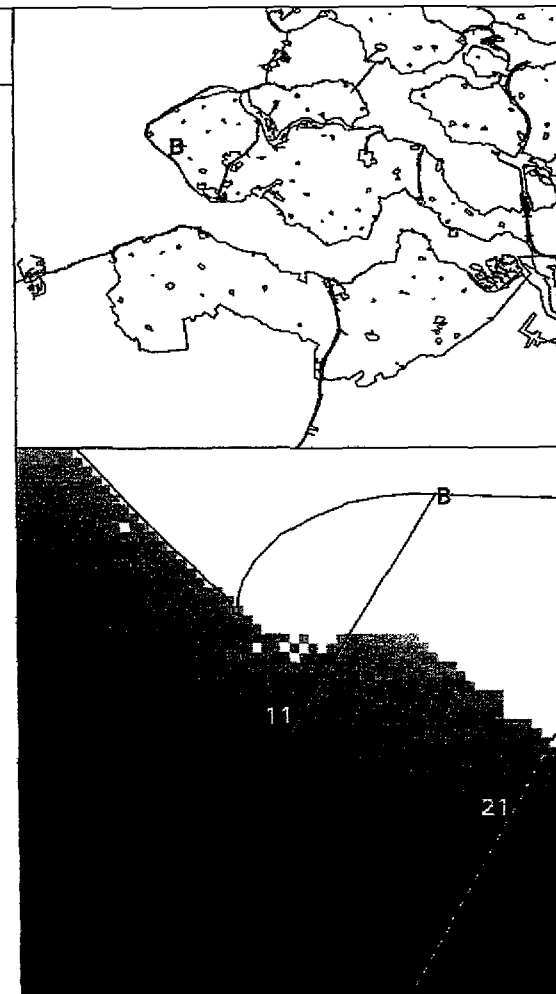
Bijlage 1: GIS-bodemdieptekaarten

Profiel 11

'1206.120000'



Verticale schaal: 1:170
 Horizontale schaal: 1:5525



- Profiel 11 van g1951v1_2
- _____ Profiel 11 van g1955v1_2
- Profiel 11 van g1959v1_2
- . - . Profiel 11 van g1963v1_2
- _____ Profiel 11 van g1967v1_2
- Profiel 11 van g1971v1_2
- _____ Profiel 11 van g1975v1_2

slik 550
 $\frac{1}{3} \frac{1}{4} \text{ slik} = 700$
 $\frac{1}{2} \text{ " " } = 775$
 $\frac{2}{3} \text{ " " } = 850$

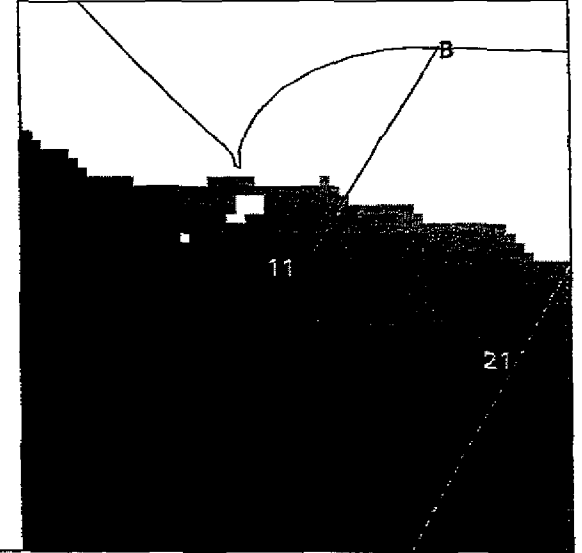
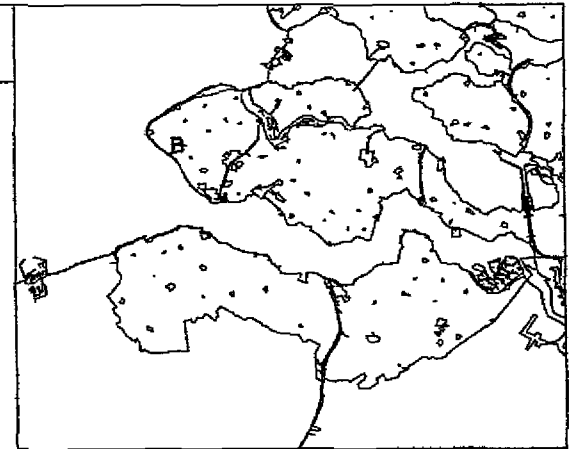
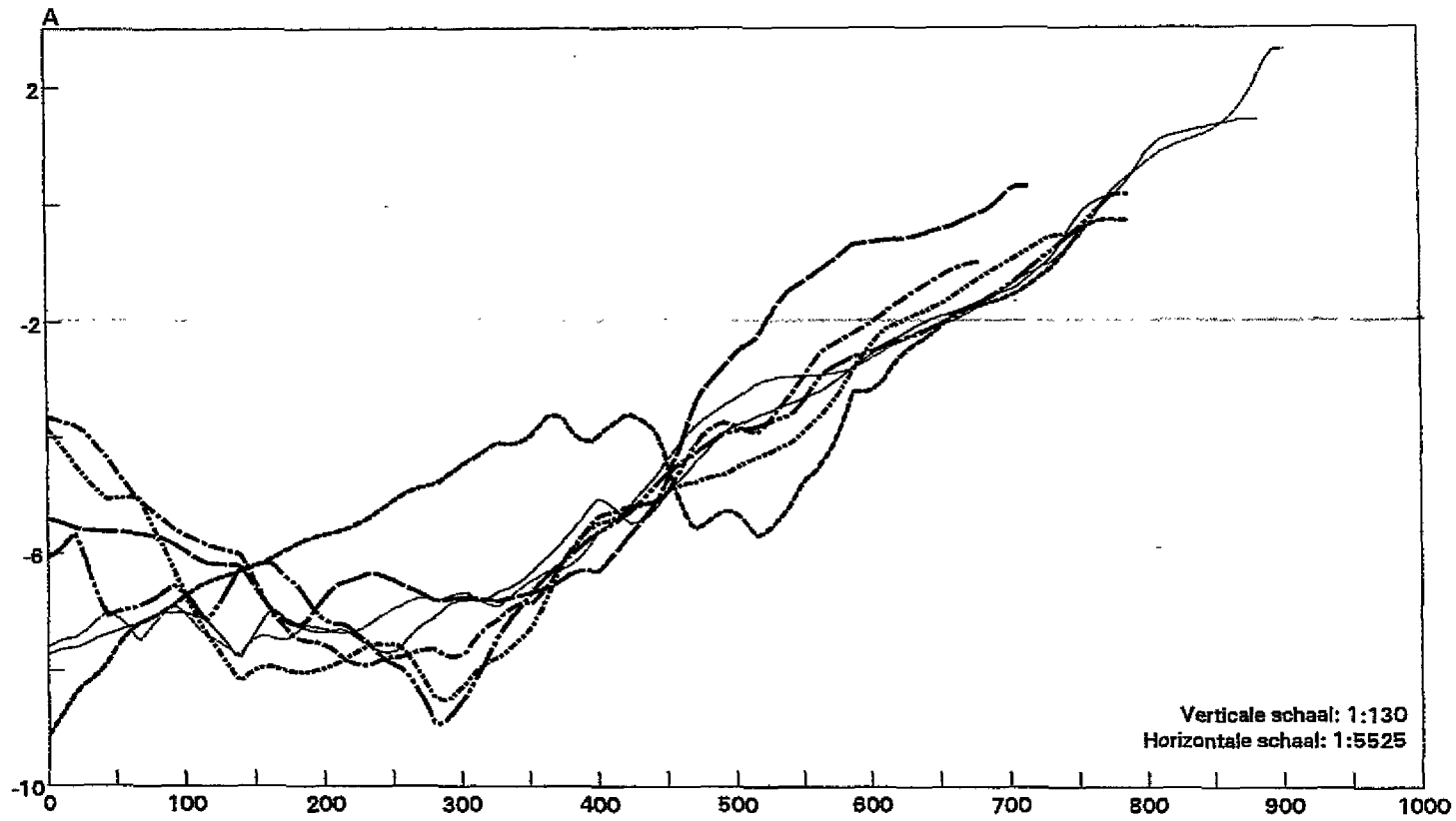


Ministerie van Verkeer
 en Waterstaat
 Directoraat-Generaal
 Rijkswaterstaat
 Rijksinstituut voor Kust en Zee
 RIKZ Middelburg

Arc-info applicatie: ProfielGIS

Profiel 11

'1209.120000'



- Profiel 11 van g1975v1_2
- Profiel 11 van g1980v1_2
- Profiel 11 van g1984v1_2
- Profiel 11 van g1988v1_2
- Profiel 11 van g1992v1_2
- Profiel 11 van g1998v1_2
- Profiel 11 van g2000v1_2



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

Arc-Info applicatie: ProfielGIS