



Verklaring voor de veranderingen in de grootschalige zandbalans van het gebied rond het Middeldgat, Westerschelde

Notitie NWL-95.02-A

drs. A.W. van Kleef
afdeling NWL



Verklaring voor de veranderingen in
de grootschalige zandbalans van het
gebied rond het Middellgat, Wester-
schelde

Inhoudsopgave

- 1 Inleiding 4
- 2 Beschrijving van de morfologische veranderingen en de zandbalans 5
 - 2.1 Inleiding 5
 - 2.2 Veranderingen in de morfologie 5
 - 2.3 Langjarige ontwikkeling van de zandbalans van het gebied rond het Middellgat en de aangrenzende delen van de Westerschelde 6
- 3 Veranderingen in het getijvolume en de gevolgen voor de zandbalans 8
 - 3.1 Inleiding 8
 - 3.2 Correctie van getijvolumina 8
 - 3.3 Relatie van gecorrigeerde getijvolumina met doorstroomoppervlak 11
 - 3.4 De ontwikkeling van de zandbalans in relatie tot de ontwikkeling van het getijvolume 11
 - 3.5 Het dominante getijvolume 12
 - 3.6 Interne dominantie 17
 - 3.7 Conclusies 17
- 4 De relatie tussen de zandbalans van het gebied en de dominantie ter plaatse van de debietraai 19
 - 4.1 Inleiding 19
 - 4.2 Ontwikkeling van de recente zandbalans van vak 3 19
 - 4.3 Relatie tussen de zandbalans en de dominantie 19
 - 4.4 Conclusies 20
- 5 Korte beschrijving van de langjarige zandbalans in relatie tot wijzigingen in de morfologie en de dominantie 22
 - 5.1 Inleiding 22
 - 5.2 De periode van 1878 tot 1931 22
 - 5.3 De periode van 1931 tot heden 23
 - 5.4 Conclusies 23
- 6 Samenvatting en conclusies 24
- 7 Literatuur 25



Verklaring voor de veranderingen in
de grootschalige zandbalans van het
gebied rond het Middelgat, Wester-
schelde

.....

Figuren

- Figuur 1: Relatie tussen de getijfactor en het (oude) gecorrigeerde
getijvolume van raai 6 9
- Figuur 2: Relatie tussen de getijfactor en het gemeten debiet voor
debietraai 6 10
- Figuur 3: Verloop van het gecorrigeerde getijvolume van debietraai 6
in de tijd 11
- Figuur 4: Relatie tussen het gecorrigeerde getijvolume en het
doorstroomoppervlak van raai 6 12
- Figuur 5: Relatie tussen het gecorrigeerde dominante getijvolume en
het doorstroomoppervlak van raai 6 13
- Figuur 6: Relatie tussen het doorstroomoppervlak en de dominantie
van debietraai 6 14
- Figuur 7: Verloop van de mate van dominantie en het doorstroomopper-
vlak van debietraai 6 15
- Figuur 8: Interne dominantie 17
- Figuur 9: Verloop van de geulinhoud van vak 3 20
- Figuur 10: Verloop van de geulinhoud van vak 3 en de dominantie en
het doorstroomoppervlak van raai 6 21



Verklaring voor de veranderingen in de grootschalige zandbalans van het gebied rond het Middeldgat, Westerschelde

1 Inleiding

In het gebied rond het Middeldgat hebben zich in het verleden flinke veranderingen in de morfologie en in de omvang van het geulenstelsel voorgedaan. Sinds 1878 is er, tot op de dag van vandaag, resulterend forse sedimentatie opgetreden. Op het moment blijkt het geulenstelsel toch in evenwicht te zijn. Ook zijn er geen aanwijzingen uit de debietmetingen dat dat in het verleden anders is geweest.

Een interessante vraag, met name met het oog op de heersende evenwichtsconcepten die binnen het onderzoek in estuaria en vloedkommen worden gebruikt (met name Oostwest), is door welke processen deze sedimentatie heeft kunnen plaatsvinden; wat heeft de ruimte voor deze sedimentatie gecreëerd? Deze notitie heeft tot doel antwoord te geven op deze vraag.

In hoofdstuk 2 zal eerst een beschrijving gegeven worden van de meest in het oog springende veranderingen in de morfologie van het gebied. In hoofdstuk 3 zal een analyse plaatsvinden van de verrichte debietmetingen. De hierbij beschikbaar komende kennis zal in hoofdstuk 4 gebruikt worden om de recente zandbalans (sinds 1956) te verklaren. In hoofdstuk 5 zal vervolgens gepoogd worden de morfologische ontwikkeling van het gebied te relateren aan de inhoudsveranderingen.



Verklaring voor de veranderingen in de grootschalige zandbalans van het gebied rond het Middeldgat, Westerschelde

2 Beschrijving van de morfologische veranderingen en de zandbalans

2.1 Inleiding

In het gebied rond het Middeldgat zijn in de laatste twee eeuwen grote veranderingen opgetreden in zowel ligging als omvang van de geulen en platen. In dit hoofdstuk worden allereerst de grootschalige morfologische veranderingen besproken. Vervolgens worden globaal de inhoudsveranderingen van het gebied en de aangrenzende gebieden beschreven.

2.2 Veranderingen in de morfologie

In 1800 liggen in het midden van de Westerschelde een aantal middelgrote geulen (zie bijlage 1 voor kaarten van het gebied). De noordelijkste tak in het gebied, tussen Hoedekenskerke en Hansweert, heette toen de Pas van Kapelle. Ongeveer twee kilometer ten zuiden van de Pas van Kapelle liep toentertijd het Middeldgat. Tussen beide geulen lag de Kapellebank, een bij eb droogvallende plaat. Het Middeldgat was aan de zeewaartse zijde verbonden met de Pas van Terneuzen. Ten zuidoosten van het Middeldgat liep een derde geul in het gebied; het Gat van Ossenissee. Deze zuidwest-noordoost georiënteerde geul mondde nabij Hansweert uit in het Middeldgat. Aan de zeewaartse zijde was het Gat van Ossenissee, middels een geul genaamd de Appelzak, verbonden aan het Middeldgat. Halverwege het Gat van Ossenissee is een aftakking naar het oosten aanwezig: de Schaar van Ossenissee.

In de periode na 1800 wordt het Middeldgat geleidelijk dieper en breder. Tevens migreert de noordelijke bocht naar het noorden, waardoor de Kapellebank en de Pas van Kapelle smaller worden. Tussen 1818 en 1860 zijn de vloedstroom door de Pas van Terneuzen en de ebstroom van het Middeldgat elkaar gaan ontlopen, voornamelijk door een migratie naar het oosten van de eerste geul. Tussen beide stromingen is een (weliswaar nog niet boven de -5m GLLWS uitkomende) rug ontstaan, de Rug van Baarland. Inmiddels is het Gat van Ossenissee, inclusief de monding in het Middeldgat, sterk naar het westen gemigreerd. De appelzak, die inmiddels rechtstreeks aansluit op de Schaar van Ossenissee, is in betekenis afgenomen.

Na 1860 migreert de Pas van Terneuzen verder naar het oosten. De Rug van Baarland, tussen de Pas van Terneuzen en het Middeldgat, wordt hoger en breder. Ook het Gat van Ossenissee krijgt geleidelijk een wat oostelijker ligging. De appelzak en de Schaar van Ossenissee blijven qua omvang ongeveer constant. Het Zuidergat raakt rond 1878 ten dele afgesneden van het Middeldgat; het Zuidergat richt zich tijdelijk meer op de Pas van Terneuzen.

Rond 1890 wordt de Rug van Baarland aan de zuidzijde meer en meer geërodeerd. Het contact tussen het Gat van Ossenissee en het Middeldgat verschuift weer wat verder naar het oosten. Inmiddels is de Pas van Kapelle gereduceerd tot een klein geultje.



Verklaring voor de veranderingen in de grootschalige zandbalans van het gebied rond het Middelgat, Westerschelde

In 1905 is een diepe opening ontstaan tussen het Middelgat en de Pas van Terneuzen. De zuidelijke punt van de Rug van Baarland wordt geërodeerd. Het Gat van Ossenissee is verder naar het oosten gemigreerd, en maakt nu via de (recent ontstane) Geul van de Molenplaat contact met het Middelgat. Ook het Zuidergat maakt weer beter contact met het Middelgat.

In 1921 blijkt de aansluiting tussen het Middelgat en de Pas van Terneuzen weer iets ondieper te worden. Ook gaat de ebstroom van het Middelgat duidelijk weer op zoek naar een noordelijker kortsluiting met de Everingen. De Appelzak en het zuidelijk deel van de Schaar van Ossenissee zijn inmiddels sterk in betekenis afgenomen. De Schaar van Ossenissee maakt nu op een noordelijker plaats contact met het Gat van Ossenissee.

Tussen 1921 en 1931 wordt de aansluiting van het Middelgat op de Pas van Terneuzen opnieuw wat minder diep. De noordelijke uitloop van het Gat van Ossenissee is naar het westen gemigreerd, samen met de Geul van de Molenplaat. De Schaar van Ossenissee wint aan kracht.

Na 1931 zetten de ontwikkelingen zich voort: het Middelgat maakt beter contact met de Everingen, en de Geul van de Molenplaat migreert naar het westen. De west-oost verlopende Schaar van Ossenissee migreert iets naar het noorden. Rond 1945 ligt de Geul van de Molenplaat al erg westelijk; de uitloop van het Gat van Ossenissee richt zich meer en meer op de Schaar van Ossenissee. Over de Platen van Ossenissee, ten noorden van de Schaar van Ossenissee, ontstaat een eerste aanzet voor een kortsluiting van het Gat van Ossenissee met het Middelgat.

In 1955 is het dan zover: de kortsluiting over de Platen van Ossenissee (de latere Overloop van Hansweert) is vergroot, en de Geul van de Molenplaat is los komen te liggen van het Gat van Ossenissee. Inmiddels is het Middelgat door erosie van de zuidpunt van de Rug van Baarland weer beter in contact gekomen met de Pas van Terneuzen.

Na 1955 gaat het snel: de Overloop van Hansweert wordt snel breder en dieper, zeker nadat tussen 1955 en 1959 de ebstroom door het Middelgat wordt aangetapt. De Schaar van Ossenissee en de Geul van de Molenplaat nemen in de loop der jaren steeds verder in betekenis af. Het Middelgat behoudt tot het begin van de jaren '80 een goede aansluiting met de Pas van Terneuzen, met een tijdelijke (lichte) inzinking rond het einde van de jaren '60. De Overloop van Hansweert blijft zich verruimen, en beweegt tegelijkertijd (tot op de dag van vandaag) licht naar het noordwesten. Het Middelgat neemt geleidelijk in betekenis af.

.....

2.3 Langjarige ontwikkeling van de zandbalans van het gebied rond het Middelgat en de aangrenzende delen van de Westerschelde

Het gebied rond het Middelgat heeft in het verleden grote wisselingen in de zandbalans (c.q. de omvang van het geulenstelsel) gekend. Onderstaand worden deze grootschalige veranderingen besproken. Hierbij wordt gebruik gemaakt van gegevens van Kleinjan (opgenomen in Van Veen, 1944), van De Looff (1983), van Van de Berg et al (1990), en van enkele recente gegevens van Uit den Bogaard e.a. (in voorbereiding).



Verklaring voor de veranderingen in de grootschalige zandbalans van het gebied rond het Middeldgat, Westerschelde

Tussen 1878 en 1900 vindt sterke sedimentatie plaats in het gebied rond het Middeldgat (in totaal zo'n 25 miljoen m³). Na 1900 slaat het proces om. In 1921 blijkt ongeveer een zelfde hoeveelheid zand te zijn verdwenen uit de geulen van het gebied. Resultierend vindt vervolgens tot 1931 lichte aanzanding plaats (enkele miljoenen m³). Oostelijk van dit gebied treedt tussen 1878 en 1931 forse aanzanding op (25 miljoen m³), terwijl ten westen ervan erosie optreedt (35 tot 40 miljoen m³). In Saeftinge, de Braakman, het Sloe en in de Kreekrak treedt flink wat sedimentatie plaats (35 miljoen m³ in het oostelijk deel, 40 miljoen m³ in het westelijk deel).

Tussen 1931 en 1952 verondiept het gebied rond het Middeldgat fors (20 miljoen m³). Ook ten westen en oosten ervan treedt aanzanding op, respectievelijk ruim 5 en ruim 2 miljoen m³. Het uiterste westen van de Westerschelde verliest opnieuw veel zand: 20 miljoen m³. Bovengenoemde dode takken en schorgebieden staan opnieuw voor forse aangroei garant (15 miljoen m³ in oostelijk deel, 10 miljoen m³ in westelijk deel).

Tussen 1955 en 1965 sedimenteert in het gebied rond het Middeldgat 5 tot 10 miljoen m³ (afgeleid uit De Loof, 1983, en Van de Berg, 1990). Het oostelijke en westelijke deel van de geulen van de Westerschelde blijken met respectievelijk 10 tot 15 en 5 tot 10 miljoen m³ te zijn verruimd. Bij nadere beschouwing door Uit den Bogaard e.a. blijkt een en ander iets genuanceerder, te liggen: tussen 1956 en 1960 is lichte erosie van het midden opgetreden (lodingsblad 3), terwijl tussen 1960 en 1964 juist forse aanzanding is opgetreden.

Tussen 1965 en 1970 vinden forse veranderingen plaats: in het gedeelte rond het Middeldgat sedimenteert zo'n 20 miljoen m³, in de oostelijke geulen ruim 5 miljoen m³, terwijl uit de westelijke geulen opnieuw bijna 15 miljoen m³ verdwijnt. Ook nu blijkt volgens recente inhoudsberekeningen de zaak iets genuanceerder te liggen: tussen 1964 en 1968 is flink wat erosie opgetreden in vak 3, terwijl tussen 1968 en 1972 enorme sedimentatie is opgetreden.

Tussen 1970 en 1990 verruimen de westelijke en oostelijke geulen (respectievelijk ruim 15 en ruim 50 miljoen m³), voornamelijk door onttrekking van zand. In het gebied rond het Middeldgat en de Overloop van Hansweert vindt nog steeds netto aanzanding plaats: netto bijna 10 miljoen m³ over de periode 1970 tot 1990. Ook uit recente inhoudsberekeningen blijkt dit proces in vak 3 redelijk gelijkmatig te verlopen.

Over de gehele periode vanaf 1878 is in het westelijk deel 80 miljoen m³ zand uit de geulen verdwenen, heeft in het middelste deel 60 miljoen m³ aanzanding plaatsgevonden, en zijn in het oosten de geulen met 40 miljoen m³ verruimd.



3 Veranderingen in het getijvolume en de gevolgen voor de zandbalans

.....

3.1 Inleiding

De beschrijving in paragraaf 2.2 geeft aan dat in het gedeelte rond het Middellgat in het verleden grote veranderingen hebben plaatsgevonden in de omvang van het geulenstelsel. Deze veranderingen zijn zó groot, dat ze terug te vinden moeten zijn in zowel de grootschalige morfologische veranderingen van het gebied als in de gemeten getijvolumina van (in ieder geval) raai 6. De gelukkige omstandigheid doet zich voor, dat debietraai 6 de meest doorgemeten debietraai in de Westerschelde is. In dit hoofdstuk zal een analyse gedaan worden naar veranderingen in de getijvolumina en de profieldoorsnedes ter plaatse van raai 6. In het volgende hoofdstuk zal een vertaling plaatsvinden van de resultaten van deze analyse naar de morfologische veranderingen in het gebied. In dit rapport wordt getijvolume gedefinieerd als het *gemiddelde* van het vloed- en het ebvolume.

.....

3.2 Correctie van getijvolumina

Debietmetingen worden telkens gedurende andere omstandigheden uitgevoerd. Het gevolg hiervan is dat in principe altijd weer andere getijvolumina worden gemeten. Om de resultaten van de metingen onderling vergelijkbaar te maken worden de gemeten getijvolumina gecorrigeerd naar gemiddelde omstandigheden. Deze correctie vindt plaats door het gemeten getijvolume te delen door de verhouding tussen het getijverschil (hoogwater min laagwater) tijdens de meting en het gemiddelde getijverschil tijdens het jaar van meting (ook genoemd de getijfactor). Hierbij wordt aangenomen dat een groter getijverschil een evenredig groter getijvolume tot gevolg heeft.

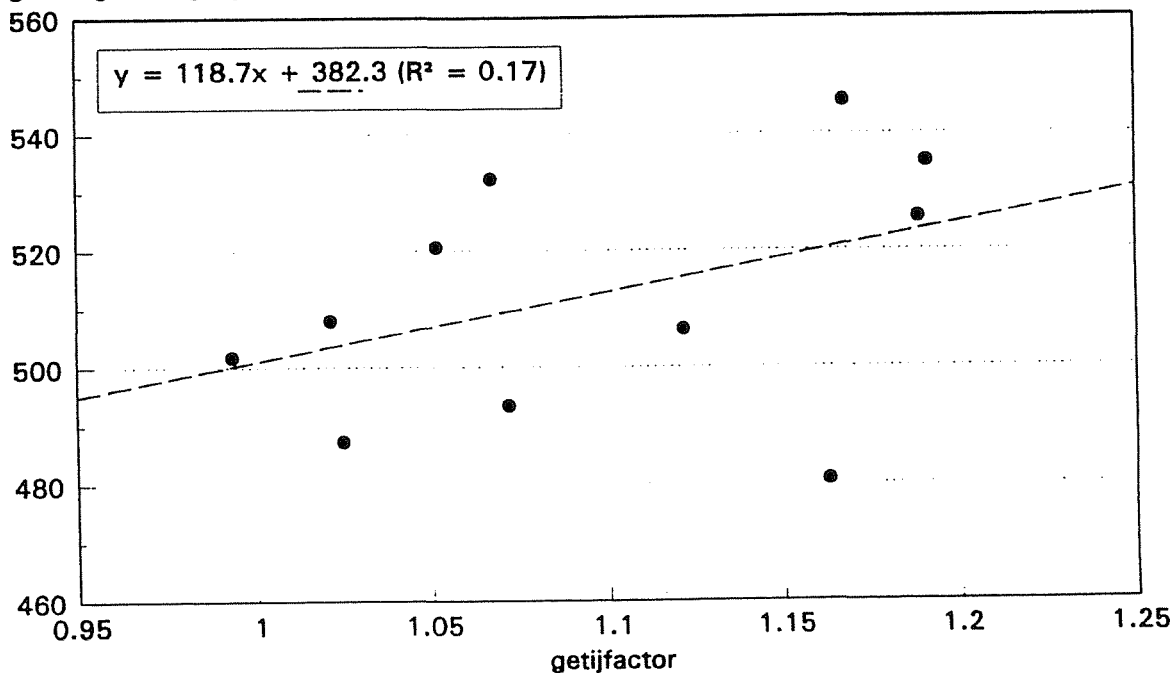
In de vierde kolom van tabel 1 staan de getijvolumina zoals die berekend worden met behulp van deze correctiemethode. Wat opvalt (zie figuur 1) is dat het gecorrigeerde getijvolume nog steeds een relatie vertoont met de getijfactor tijdens de meting. Dit impliceert dat de aanname dat een grotere getijfactor een evenredig groter getijvolume tot gevolg heeft, niet juist is. (Overigens blijkt uit tabel 1 dat vooral de debietmetingen in april 1968 vreemde resultaten hebben opgeleverd: ondanks het feit dat op 18 april het getijverschil aanmerkelijk kleiner is dan op 17 april, wordt er toch meer getijvolume gemeten! Het getijvolume van 17 april blijkt na correctie het kleinste te zijn van alle metingen, het getijvolume van 18 april juist het grootste!)



Verklaring voor de veranderingen in de grootschalige zandbalans van het gebied rond het Middelpgat, Westerschelde

Tabel 1: Correctie van gemeten getijvolumina volgens "nieuwe" en "oude" methode van debietraai 6				
datum meting	gemeten getijvolume	getijfactor (gem. Hansweert = 4.45m)	gecorrigeerde debieten oude methode	gecorrigeerde debieten nieuwe methode
2 juli 1957	531	1,072	493	488
3 juli 1957	502	1,025	487	487
17 april 1968	567	1,163	481	469
18 april 1968	576	1,067	532	536
1 juni 1972	520	1,021	508	507
2 juni 1972	500	0,993	502	504
25 april 1978	628	1,191	535	513
26 april 1978	627	1,167	546	526
26 april 1983	625	1,189	526	511
2 juni 1988	569	1,121	506	496
3 oktober 1989	558	1,052	521	527
gemiddeld:	564	1,097	512	506
stand.deviate:	45,7	0,069	20,0	19,0
fout:	0,081		0,039	0,038

gecorrigeerde getijvolume (miljoen m³)

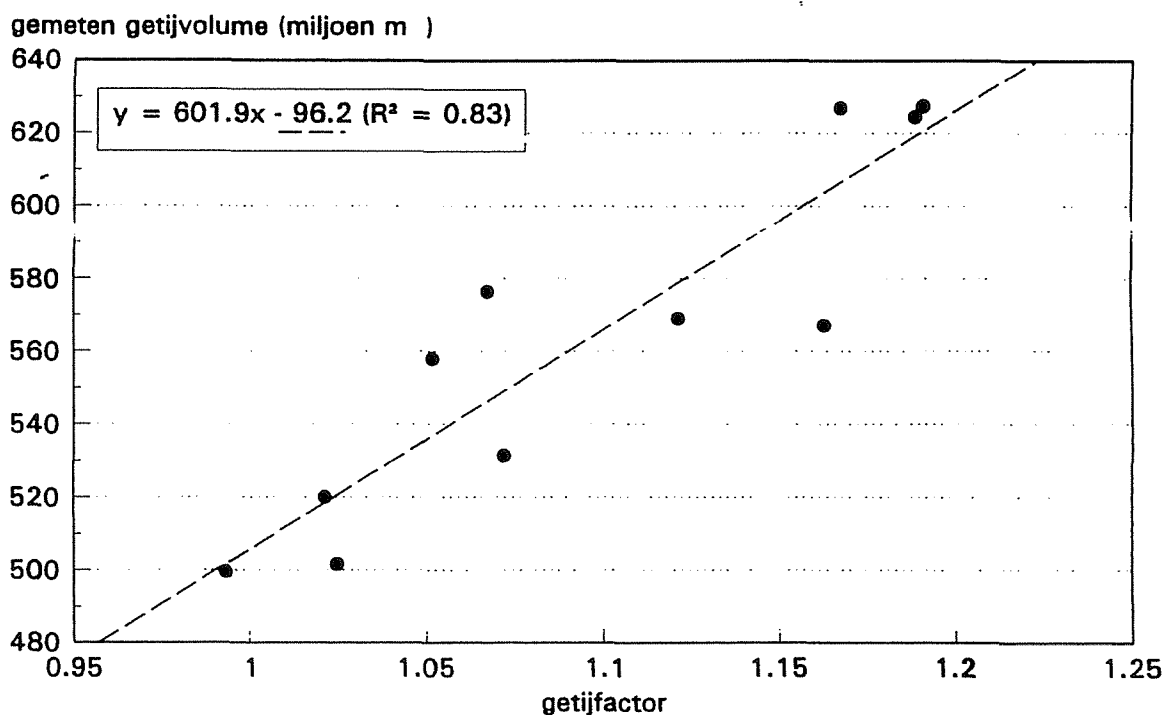


Figuur 1: Relatie tussen de getijfactor en het (oude) gecorrigeerde getijvolume van raai 6



Verklaring voor de veranderingen in de grootschalige zandbalans van het gebied rond het Middellgat, Westerschelde

Een betere correctie is mogelijk door het gemeten getijvolume en de getijfactor door middel van regressie aan elkaar te correleren, en dan met behulp van deze relatie de correctie uit te voeren. De correlatie blijkt sterk te zijn ($R^2 = 0.83$, zie figuur 2). Hierbij moet worden opgemerkt dat voor het bepalen van de getijfactor voor alle metingen de gemiddelde getijslag constant is gehouden (namelijk 4.45 meter bij Hansweert). Voordeel hiervan is, dat veranderingen in het getijvolume tengevolge van de 18.6-jarige cyclus in de getijslag worden uitgefilterd. Het getijvolume wat op deze wijze is verkregen, is het getijvolume bij een getijverschil van 4.45 meter in Hansweert (en dus niet het getijvolume bij gemiddelde getijomstandigheden tijdens het jaar van meting). In tabel 1 staan de op deze wijze gecorrigeerde getijvolumina uitgezet. In de tabel zijn tevens de resterende standaarddeviatie, de gemiddelde waarde en de uit deze waarden afgeleide gemiddelde fout opgenomen. Het blijkt, dat na correctie (uitgaande van een onveranderlijk getijvolume in de tijd) de fout slechts 3.8% bedraagt!

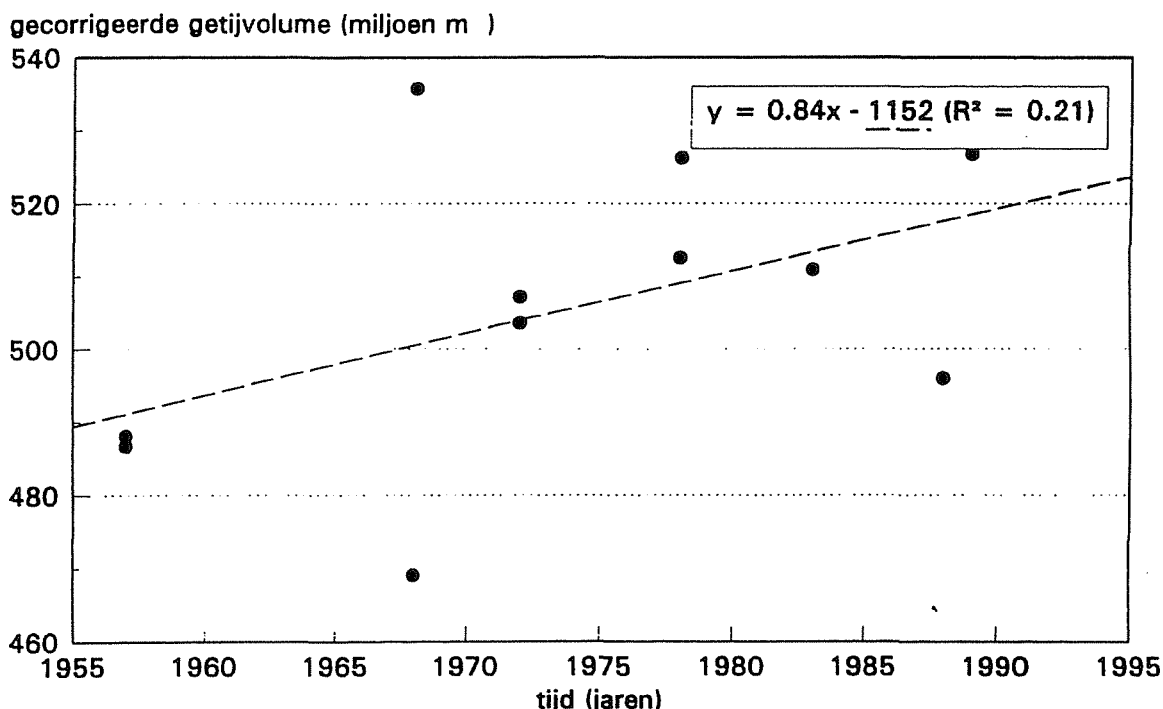


Figuur 2: Relatie tussen de getijfactor en het gemeten debiet voor debietraai 6

Aangezien de 18.6-jarige cyclus is uitgefilterd, kan onderzocht worden of in de volumina een trend in de tijd te ontdekken is. De gecorrigeerde debieten zijn in figuur 3 uitgezet tegen de tijd. Na lineaire regressie blijkt, dat sprake is van een zwak verband ($R^2 = 0.21$), met name door de grote afwijking van twee direct na elkaar uitgevoerde debietmetingen in 1968 (zie hierboven).



Verklaring voor de veranderingen in de grootschalige zandbalans van het gebied rond het Middelgat, Westerschelde



Figuur 3: Verloop van het gecorrigeerde getijvolume van debietraai 6 in de tijd

Het getijvolume van raai 6 blijkt gemiddeld sinds 1957 met 0.84 miljoen m³ per jaar te stijgen.

.....

3.3 Relatie van gecorrigeerde getijvolumina met doorstroomoppervlak

De in paragraaf 3.2 gevonden gecorrigeerde getijvolumina kunnen gerelateerd worden aan de gemeten profieloppervlakken ten tijde van de debietmetingen. In figuur 4 is de relatie tussen het doorstroomoppervlak en het getijvolume voor raai 6 weergegeven. De relatie is ronduit slecht: uit de relatie blijkt zelfs, dat bij grotere getijvolumina de dwarsdoorsnede kleiner wordt!

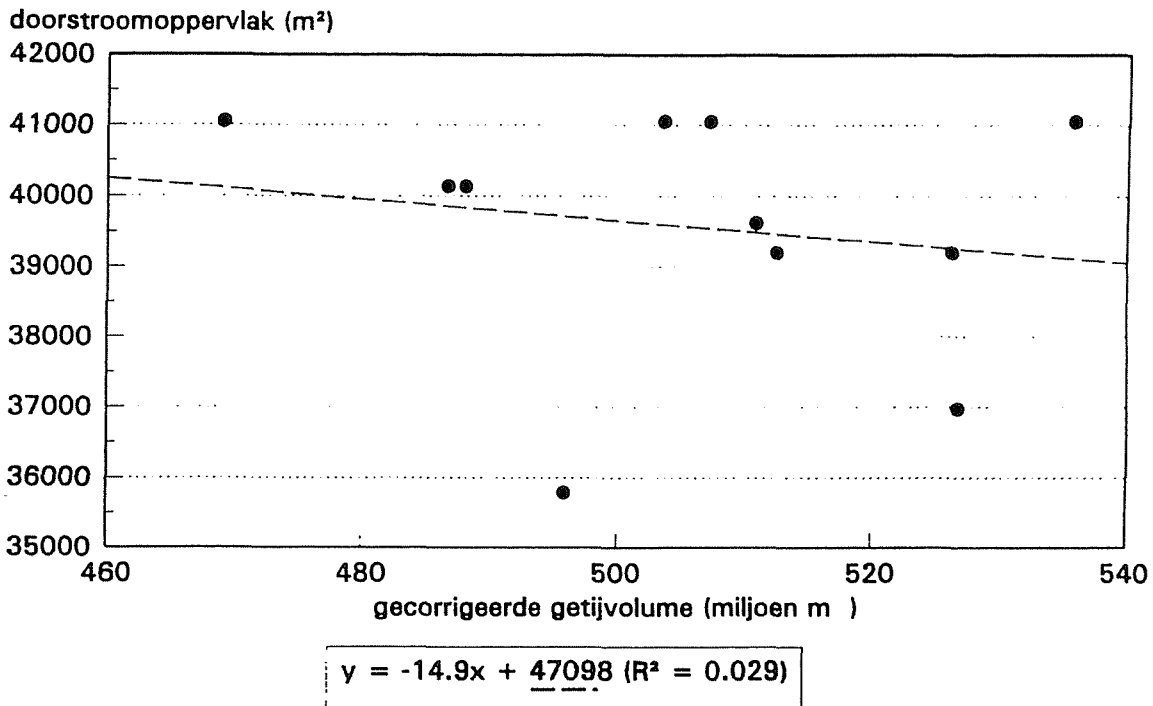
.....

3.4 De ontwikkeling van de zandbalans in relatie tot de ontwikkeling van het getijvolume

In het gebied rond debietraai 6 sedimenteert in de periode tussen 1955 en 1990 zo'n 40 miljoen m³. Uit paragraaf 3.2 blijkt dat het getijvolume in diezelfde periode in debietraai 6 eerder is toegenomen dan is afgenomen. Tevens blijkt uit paragraaf 3.3 dat de relatie tussen het getijvolume en de dwarsdoorsnede slecht is. Veranderingen in de omvang van totale getijvolume in het gebied kunnen dus geen verklaring geven voor de enorme aanzanding die heeft plaatsge-



Verklaring voor de veranderingen in de grootschalige zandbalans van het gebied rond het Middelgat, Westerschelde



Figuur 4: Relatie tussen het gecorrigeerde getijvolume en het doorstroomoppervlak van raai 6

vonden in het gebied.

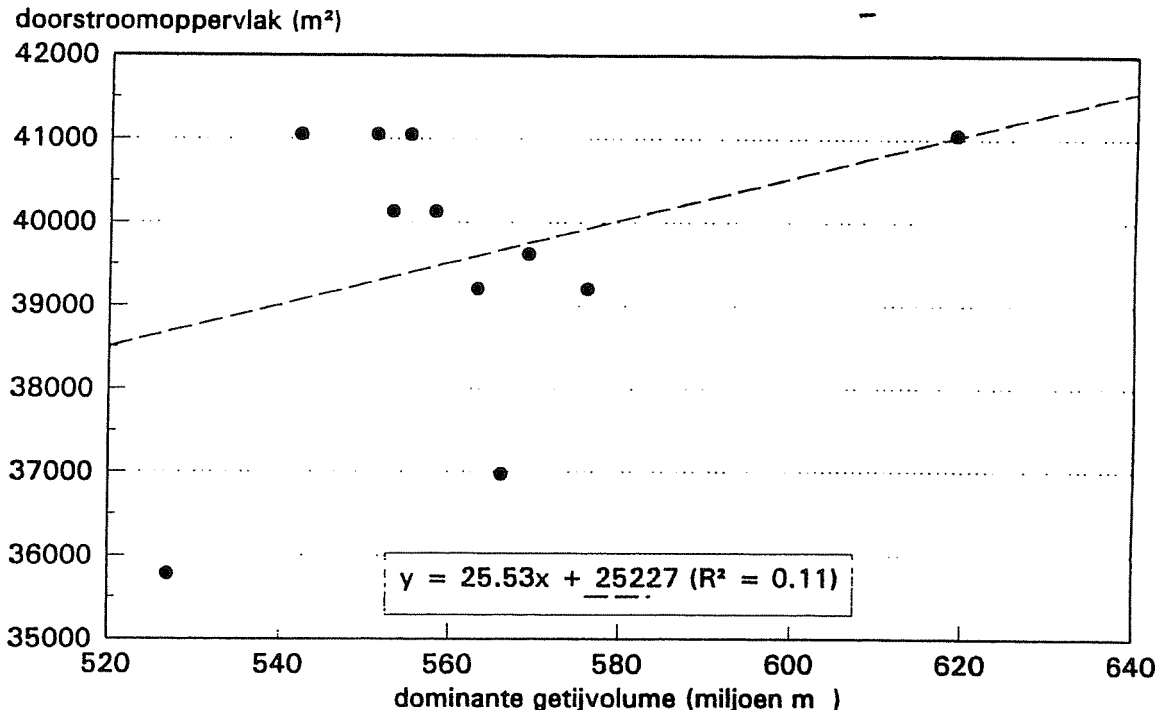
.....
3.5 Het dominante getijvolume

Volgens Svasek (1994) is, als binnen een geul een vloed- en een ebgedomineerde tak zijn te onderscheiden, niet het totale getijvolume over de gehele raai maar het volume van de overheersende getijfase van de afzonderlijke geulen bepalend voor de totale doorsnede van deze geulen. In tabel 2 zijn de dominante volumina van het Middelgat en de Overloop van Hansweert, alsmede de som van beiden als dominant volume voor de gehele geul opgenomen. Tevens zijn de doorstroomoppervlakken van beide afzonderlijke geulen en van de totale geul opgenomen. In tabel 3 zijn de gecorrigeerde waarden voor het totale dominante en het totale ondergeschikte getijvolume opgenomen. In figuur 5 wordt het gecorrigeerde totale dominante getijvolume gerelateerd aan het totale doorstroomoppervlak van de raai.

Uit figuur 5 blijkt, dat de relatie tussen het totale dominante getijvolume en het totale doorstroomoppervlak niet eenduidig is. Het gecorrigeerde dominante getijvolume geeft geen verklaring voor de veranderingen in het doorstroomoppervlak. De oorzaak voor de afwijkingen kan gelegen zijn in de onnauwkeurigheid van de metingen (en dus ook van het gecorrigeerde dominante getijvolume)



Verklaring voor de veranderingen in de grootschalige zandbalans van het gebied rond het Middelgat, Westerschelde



Figuur 5: Relatie tussen het gecorrigeerde dominante getijvolume en het doorstroomoppervlak van raai 6

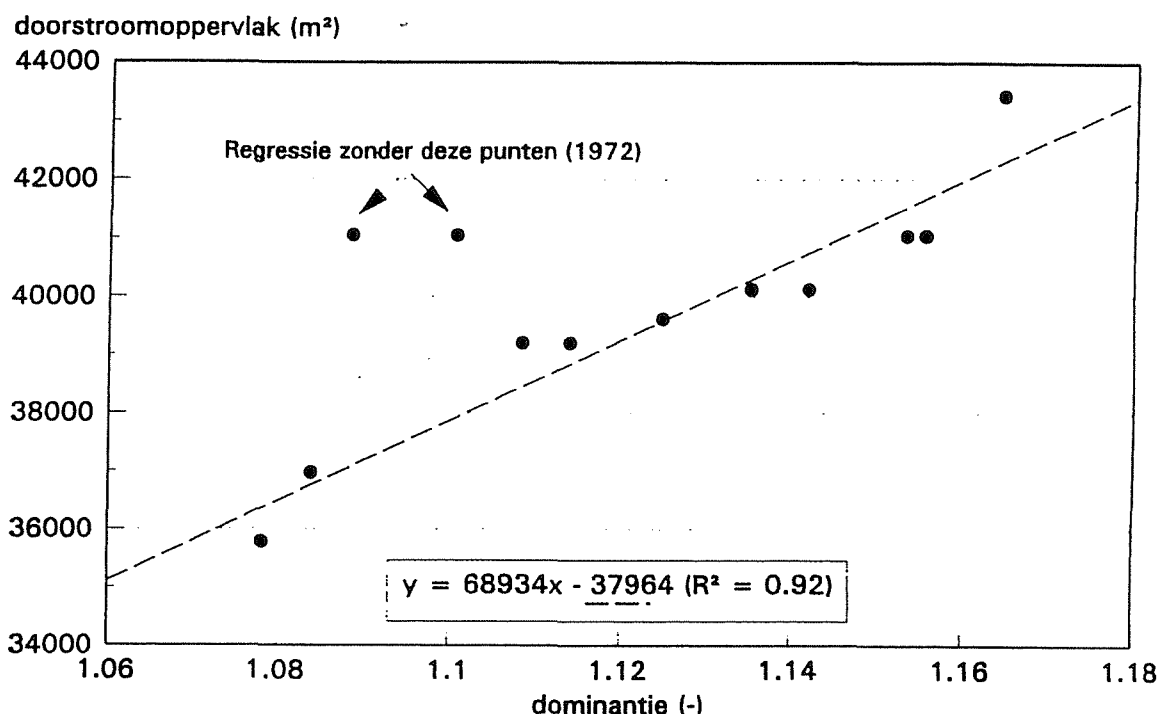
of in de mogelijkheid dat er geen relatie bestaat tussen het dominante getijvolume en het doorstroomoppervlak.

Uit paragraaf 3.2 blijkt, dat het getijvolume door raai 6 in de loop der tijd licht aan het toenemen is, hoewel de relatie niet bijzonder sterk is. Als er vanuit wordt gegaan dat er geen sprake is van verandering van het getijvolume in de loop van de tijd, dan moet de verhouding tussen het dominante en het gemiddelde getijvolume (de dominantie) een goede relatie vertonen met het totale doorstroomoppervlak van de debietraai (tenminste als het dominante volume bepalend is voor de dwarsdoorsnede van een geul). De dominantie is opgenomen in tabel 3. Hierin is ook de dominantie tijdens de meting van 1932 opgenomen, omdat voor de bepaling van de dominantie een juiste correctie naar het gemiddelde getij tijdens een jaar niet noodzakelijk is (de volumina door beide geulen worden op dezelfde wijze gecorrigeerd: de correctie heeft daarom geen invloed op de dominantie). In figuur 6 is het doorstroomoppervlak tegen de dominantie uitgezet; in figuur 7 is het verloop van beiden in de tijd uitgezet. Opgemerkt moet worden dat bij de regressie in figuur 6 de twee waarden uit 1972 niet zijn meegenomen wegens grote afwijkingen (waarmee niet gezegd is dat deze afwijkingen het gevolg zijn van meeton nauwkeurigheden).

Uit beide figuren blijkt echter wel, dat de relatie tussen de dominantie en



Verklaring voor de veranderingen in de grootschalige zandbalans van het gebied rond het Middelpgat, Westerschelde



Figuur 6: Relatie tussen het doorstroomoppervlak en de dominantie van debietraai 6

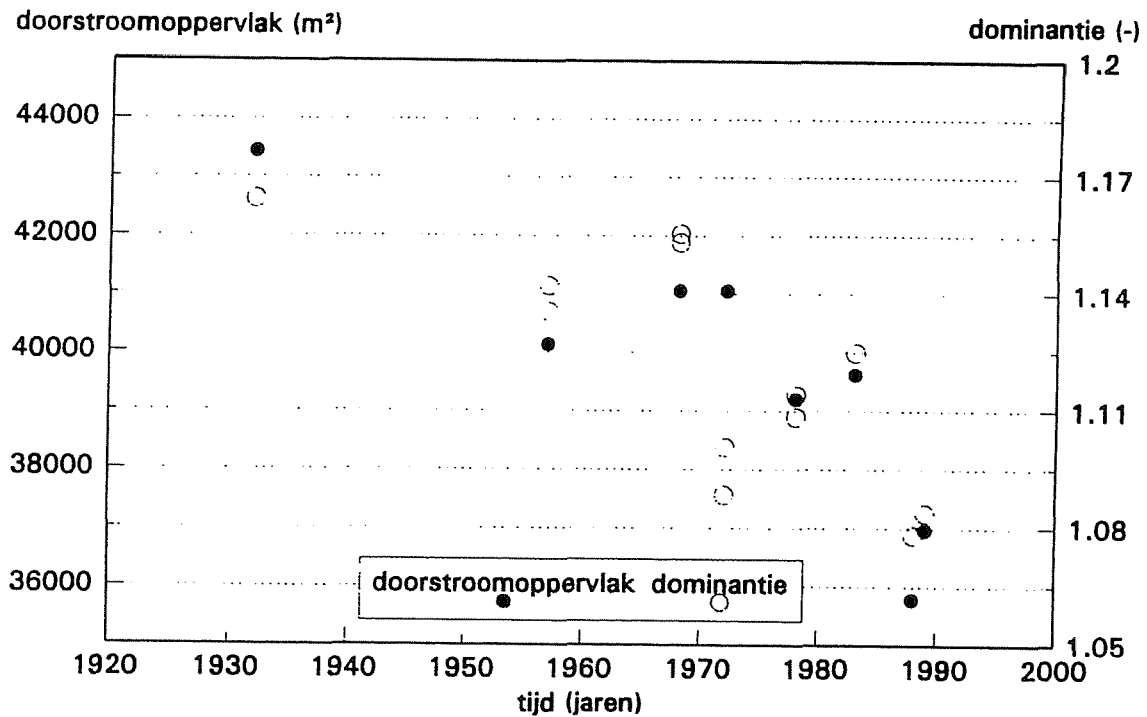
het doorstroomoppervlak opmerkelijk goed is: veranderingen in dominantie gaan gepaard met veranderingen in het doorstroomoppervlak en omgekeerd. De relatie geeft zodoende een vrijwel sluitende verklaring voor de veranderingen in het doorstroomoppervlak. Aangezien het oppervlak van het profiel globaal de ontwikkeling van de zandbalans van het gebied weerspiegelt, kan de verandering in dominantie (op het eerste gezicht) verantwoordelijk gesteld worden voor de veranderingen van de zandbalans in het gebied. Deze conclusie is zeer belangrijk, omdat hiermee een duidelijke oplossing wordt gegeven voor de vraag waarom bij een gelijkblijvend getijvolume weldegelijk sprake kan zijn van een sterk importerende zandbalans.

In 1972 wijkt het doorstroomoppervlak sterk af van het bij de gemeten dominantie (volgens de relatie van figuur 6) horende doorstroomoppervlak. Ook in 1988 en in mindere mate in 1989 is sprake van een zekere afwijking (zie figuur 7).

Tussen 1967 en 1972 neemt de dominantie erg sterk af, terwijl het doorstroomoppervlak van raai 6 precies gelijk blijft. Uit recente inhoudsberekeningen (Uit den Bogaard, in voorbereiding) blijkt echter, dat in het gebied rond het middelpgat in deze periode (1968 tot 1972) weldegelijk flinke aanzanding plaatsvindt (21 miljoen m³ in deze periode van 4 jaar!). Deze wordt klaarblijkelijk niet weerspiegeld in een afname van het doorstroomoppervlak van raai 6 (lokaal effect?), maar geeft wel aan dat de forse afname van de dominantie ook in deze periode gepaard is gegaan met afname van de totale



Verklaring voor de veranderingen in de grootschalige zandbalans van het gebied rond het Middelgat, Westerschelde



Figuur 7: Verloop van de mate van dominantie en het doorstroomoppervlak van debietraai 6

geulinhoud.

Juist ten zuiden van debietraai 6 ligt in het Gat van Ossensisse stortloka- tie B11. Op deze lokatie is vanaf 1980 ongeveer 1 miljoen m³ zand per jaar gestort. In 1985 is deze hoeveelheid sterk opgevoerd, en bereikte een omvang van 2.8 miljoen m³ in 1988 en 2.4 miljoen m³ in 1989. Deze stortingen kunnen een verklaring zijn voor een onevenredig grote vernauwing van het profiel in deze jaren, en zodoende van de in figuur 7 zichtbare afwijking.



Verklaring voor de veranderingen in de grootschalige zandbalans van het gebied rond het Middelgat, Westerschelde

datum meting	gemeten dominante getijvolume Middelgat	dwarsdoorsnede Middelgat	gemeten dominante getijvolume Gat van Ossensisse	dwarsdoorsnede Gat van Ossensisse	totale ongecorrigeerde dominante getijvolume	totale doorsnede debietraai 6
1932	388	24030	246	19400	634	43430
2 juli 1957	361	23529	248	16600	609	40129
3 juli 1957	337	23529	234	16600	571	40129
17 april 1968	390	22250	268	18800	658	41050
18 april 1968	381	22250	286	18800	667	41050
1 juni 1972	287	22100	279	18950	566	41050
2 juni 1972	286	22100	264	18950	550	41050
25 april 1978	345	20200	354	19000	699	39200
26 april 1978	340	20200	355	19000	695	39200
26 april 1983	341	19570	362	20050	703	39620
2 juni 1988	288	18110	325	17670	613	35780
3 oktober 1989	288	18790	315	18183	603	36973
gemiddeld:	331	21148	299	18418	630	39566
stand.deviation:					53,9	
fout:					0,086	

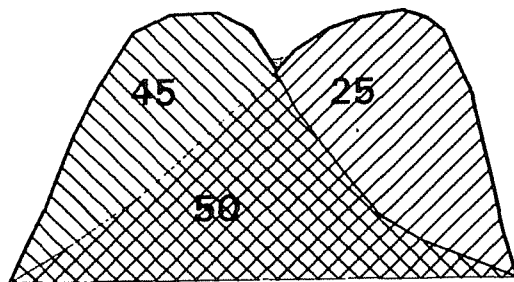
datum meting	totale ongecorrigeerde dominante getijvolume	getijfactor (gem. Hansweert = 4,45m)	totale doorsnede debietraai 6	totale gecorrigeerde dominante getijvolume	totale gecorrigeerde ondergeschikte getijvolume	mate van dominantie (dominant/ondergeschikt)
1932	634	-	43430	-	-	1.164
2 juli 1957	609	1,072	40129	558	419	1.142
3 juli 1957	571	1,025	40129	553	420	1.136
17 april 1968	658	1,163	41050	542	396	1.156
18 april 1968	667	1,067	41050	619	453	1.155
1 juni 1972	566	1,021	41050	551	463	1.086
2 juni 1972	550	0,993	41050	555	452	1.102
25 april 1978	699	1,191	39200	563	462	1.099
26 april 1978	695	1,167	39200	576	477	1.094
26 april 1983	703	1,189	39620	569	453	1.113
2 juni 1988	613	1,121	35780	527	465	1.062
3 oktober 1989	603	1,052	36973	566	487	1.075
gemiddeld:	630	1,097	39566	562	450	1.110
stand.deviation:	53,9	0,069		22,2	26,1	
fout:	0,086			0,039	0,058	



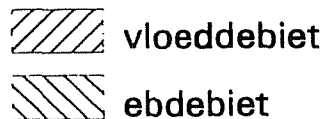
Verklaring voor de veranderingen in de grootschalige zandbalans van het gebied rond het Middellgat, Westerschelde

.....
3.6 Interne dominantie

Iets wat tot nu toe niet in de beschouwingen is betrokken is de mate van dominantie *binnen een geul*. Er is gerekend met de dominantie van de afzonderlijke geulen. Binnen een geul kan echter in het ene deel sprake zijn van een overheersende vloedstroom en in een ander deel juist weer van een overheersende ebstroom (zie figuur 10). De mate waarin binnen een geul deze interne dominantie voorkomt, bepaalt ook de dwarsdoorsnede van de geul, hoewel het totale debiet of zelfs de verhouding tussen vloed- en ebdebet niet hoeft te veranderen. In de loop der tijd is de dominantie van het geulenpaar afgenomen. Ook de interne dominantie kan zijn veranderd; het zou interessant zijn om te kijken in hoeverre een eventuele verandering in de interne dominantie een relatie vertoont met het doorstroomoppervlak en/of met de algehele dominantie. Het is niet onwaarschijnlijk dat bij andere debietraaien, waar geulen minder makkelijk van elkaar te scheiden zijn, interne dominantie een grote rol speelt.



Debietverdeling
dwars over een geul



$$\begin{aligned} \text{dominantie} &= \text{vloed/eb} = 95/75 = 1.27 \\ \text{interne dominantie} &= \text{totaal / gem. vloed en eb} \\ &= 120/85 = 1.41 \end{aligned}$$

Figuur 8: Interne dominantie

.....
3.7 Conclusies

Na onderzoek van de resultaten van debietmetingen in raai 6, gelegen in het gebied rond het Middellgat, blijkt dat een verbluffend goede relatie bestaat tussen de dominantie (de mate waarin de dominante getijvolumina overheersen over de ondergeschikte volumina) en het doorstroomoppervlak van de raai. Slechts in 1972 bestaat een afwijkende situatie; in dit jaar blijkt het doorstroomoppervlak niet representatief te zijn voor het gebied.

Er blijkt dat het (volgens een nieuwe methode gecorrigeerde) getijvolume geen significante wijziging in de loop van de tijd ondergaat. Het



Verklaring voor de veranderingen in
de grootschalige zandbalans van het
gebied rond het Middellgat, Wester-
schelde

gecorrigeerde getijvolume blijkt geen relatie te vertonen met het totale doorstroomoppervlak van raai 6.

De fout in de debietmetingen blijkt, na correctie, maximaal ongeveer 3.8% te bedragen.

Dit hoofdstuk toont aan dat in een dubbel geulensysteem op grote schaal inhoudsveranderingen kunnen optreden, zonder dat de getijvolumina van de geulen significant wijzigen. In het volgende hoofdstuk wordt gepoogd een verband te leggen tussen inhoudsveranderingen van het gebied rond het Middellgat en veranderingen in de dominantie.

De rol van interne dominantie, de mate waarin binnen één geul de vloed- en ebstroom dezelfde laterale verdeling hebben, is niet nader onderzocht. Voor het beschouwen van ~~andere~~ de dominantie in andere debietraaien wordt interne dominantie wel van groot belang geacht.



4 De relatie tussen de zandbalans van het gebied en de dominantie ter plaatse van de debietraai

.....

4.1 Inleiding

Zoals uit het voorgaande hoofdstuk blijkt, bestaat ter hoogte van debietraai 6 een goede relatie tussen het doorstroomoppervlak en de dominantie van het getij. Slechts in een enkel geval (metingen van 1972) blijkt van een afwijking van de relatie sprake te zijn. In dit hoofdstuk wordt gekeken naar de representativiteit van dit opmerkelijk verband voor het gehele gebied rond het Middelgat. Hierbij wordt gebruik gemaakt van recente, in concept-vorm beschikbare resultaten van inhoudsberekeningen die door Uit den Bogaard, De Jong en Mol worden verricht. De resultaten van lodingsblad 3 worden hierbij als representatief voor het aandachtsgebied verondersteld.

.....

4.2 Ontwikkeling van de recente zandbalans van vak 3

Uit de recente inhoudsberekeningen blijkt het volgende (zie figuur 8):

- Tussen 1956 en 1960 treedt lichte erosie op van de geulen van vak 3.
- Tussen 1960 en 1964 vindt forse aanzanding plaats.
- Tussen 1964 en 1968 vindt opnieuw een omslag plaats: er treedt flinke erosie op.
- Na 1968 treedt een definitieve omslag op: aanvankelijk treedt bijzonder veel aanzanding op in het gebied (tot 1972 ruim 20 miljoen m³ in vier jaar), later vermindert de aanzanding tot een snelheid van ongeveer 1 miljoen m³ per jaar. De aanzanding houdt aan tot op heden.

Zeer opmerkelijk in het verloop van de zandbalans is het sterk wisselende karakter ervan in de periode van 1956 tot 1972. Opgemerkt moet worden, dat in vak 3 niet alleen het geulenaar Middelgat - Gat van Ossensisse/Overloop van Hansweert liggen, maar ook een gedeelte van de sterk veranderlijke vloeddelta van de Everingen.

.....

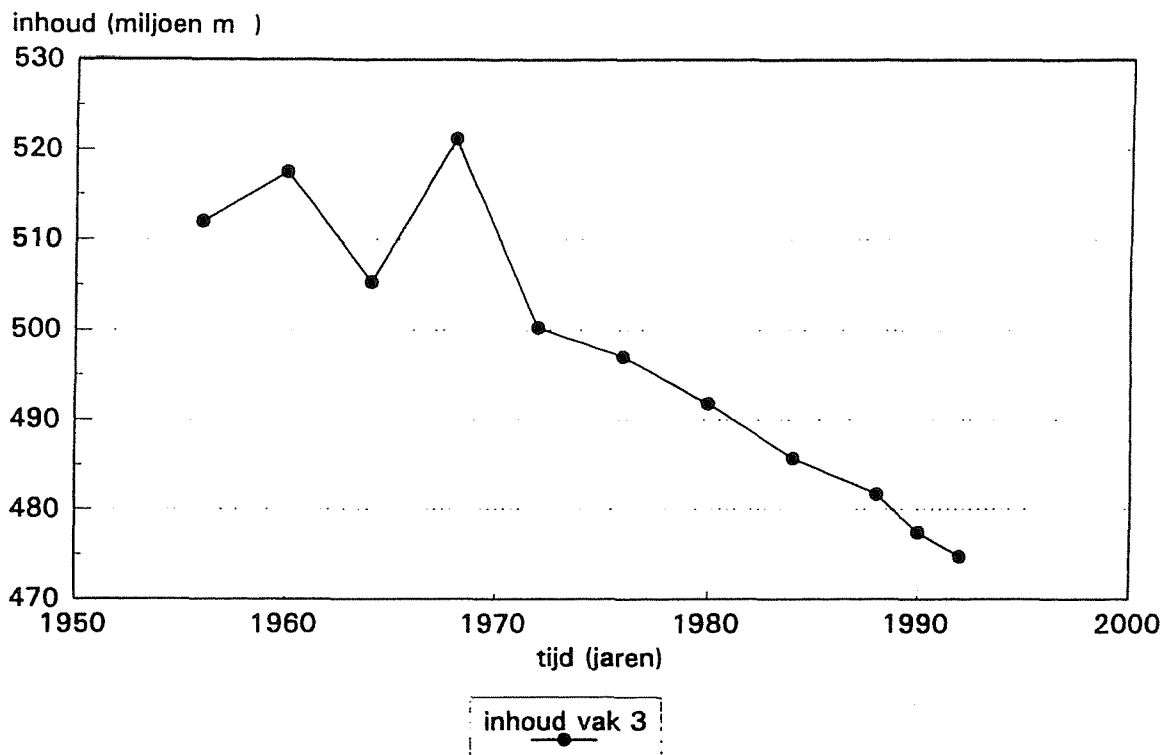
4.3 Relatie tussen de zandbalans en de dominantie

In figuur 9 zijn het verloop van de dominantie, het doorstroomoppervlak ter plaatse van de debietmeting en het verloop van de geulinhoud (berekend op de tijdstippen waarop de debietmetingen zijn uitgevoerd: het wisselende karakter tussen 1956 en 1968 wordt hierdoor uitgefiltterd) weergegeven. Uit de figuur blijkt, dat de trend van de geulinhoud ruwweg gelijk loopt met de trend van de dominantie. De dominantie vertoont een wat sterkere variatie. De relatieve verandering van beiden is sterk vergelijkbaar.

Theoretisch zou een afname van de dominantie gepaard moeten gaan met een evenredige afname van het geulvolume/de dwarsdoorsnede. Dit blijkt



Verklaring voor de veranderingen in de grootschalige zandbalans van het gebied rond het Middelgat, Westerschelde



Figuur 9: Verloop van de geulinhoud van vak 3

in de praktijk grotendeels het geval te zijn. Hieruit blijkt dat de dominantie van debietraai 6 min of meer representatief is voor de dominantie van de geulen in vak 3. Het voorafgaande geeft aan dat de afname van de dominantie voldoende verklaring kan zijn voor de afgenomen inhoud van vak 3. Wel moet opgemerkt worden dat het mogelijk is dat in andere delen van vak 3 andere factoren voor netto sedimentatie gezorgd hebben.

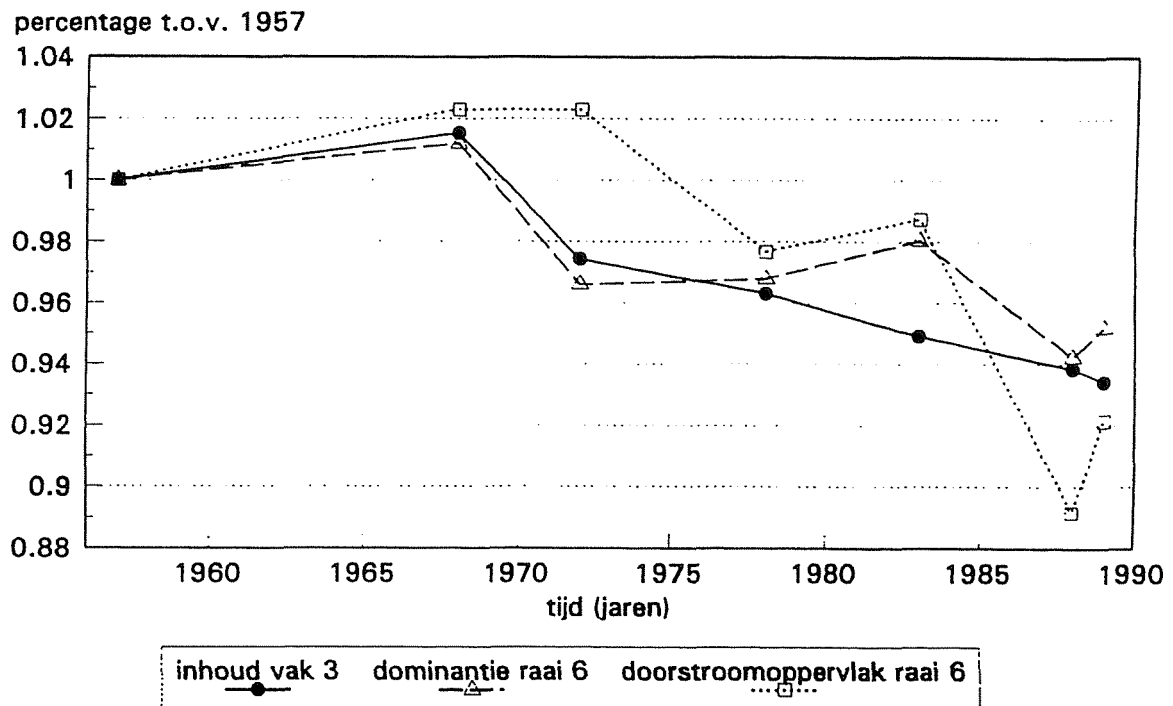
.....
4.4 Conclusies

De recente inhoudsveranderingen van vak 3 (1956 tot en met 1989) kunnen, voorzover debietmetingen voorhanden zijn, goed worden gerelateerd aan veranderingen in de dominantie ter plaatse van raai 6. Zowel de richting als de omvang van de veranderingen in de dominantie en de geulinhoud komen goed overeen.

Het is nog onduidelijk of de inhoudsveranderingen veroorzaakt zijn door veranderingen in de dominantie, die op zich weer het gevolg zijn van morfologische veranderingen, of dat de veranderingen in de dominantie het gevolg zijn van de inhoudsveranderingen. Vooralsnog wordt van de eerste veronderstelling uitgegaan.



Verklaring voor de veranderingen in de grootschalige zandbalans van het gebied rond het Middellgat, Westerschelde



Figuur 10: Verloop van de geulinhoud van vak 3 en de dominantie en het doorstroomoppervlak van raai 6



Verklaring voor de veranderingen in de grootschalige zandbalans van het gebied rond het Middeldgat, Westerschelde

5 Korte beschrijving van de langjarige zandbalans in relatie tot wijzigingen in de morfologie en de dominantie

.....
5.1 Inleiding

In het onderstaande wordt een poging ondernomen om, met de kennis van de relatie van de dominantie met de geulinhoud in gedachten, de zandbalans van het gebied rond het Middeldgat vanaf 1800 met behulp van het kaartmateriaal van bijlage 1 nader te verklaren. Benadrukt moet worden, dat deze analyse zeer kwalitatief zal zijn. In eventueel vervolgonderzoek zal moeten worden bekeken in hoeverre bepaalde configuraties van geulen de mate van dominantie beïnvloeden. In het onderstaande worden daar enkele eenvoudige aannames voor gemaakt.

In dit hoofdstuk wordt gebruik gemaakt van de beschrijving van de zandbalans en van de morfologische veranderingen in hoofdstuk 2.

.....
5.2 De periode van 1878 tot 1931

In de periode van 1878 tot 1905 treedt sedimentatie op in het gebied rond het Middeldgat. Tussen 1905 en 1931 (met name in de eerste 20 jaar) treedt erosie op.

Volgens hoofdstuk 3 zou de dominantie in 1905 beduidend kleiner geweest moeten zijn dan in 1878 en in 1931. Uit de debietmetingen blijkt dat in 1932 de dominantie behoorlijk groot was. Bij het vergelijken van de dieptekaarten van de drie jaren blijkt, dat in 1905 één doorlopende hoofdgeul in het gebied aanwezig was: de Pas van Terneuzen was goed verbonden met het Middeldgat, welke op zijn beurt weer goed verbonden was met het Zuidergat. De kortsluitgeulen over de Platen van Ossensisse waren van relatief weinig belang. In 1878, daarentegen, was de Pas van Terneuzen voornamelijk middels kortsluitgeulen verbonden aan het Zuidergat, en was slechts een slechte verbinding met het Middeldgat aanwezig. Het Middeldgat stond in verbinding met de Everingen en met de Schaar van Waarde, maar niet of nauwelijks met het Zuidergat. Ook in 1931 was de verbinding van de Pas van Terneuzen met het Middeldgat minder belangrijk dan in 1905. Het Middeldgat trok opnieuw sterk naar de Everingen. Ook de aansluiting van het Middeldgat met het Zuidergat was beduidend onbelangrijker dan in 1905.

Volgens de theorie over de dominantie zou dit betekenen, dat de situatie met een doorlopende hoofdgeul gepaard gaat met een kleinere dominantie dan een situatie met voornamelijk afzonderlijke, slecht aansluitende, geultakken. Op zich is dit geen onlogische conclusie.



Verklaring voor de veranderingen in de grootschalige zandbalans van het gebied rond het Middelgat, Westerschelde

..... 5.3 De periode van 1931 tot heden

Vanaf 1931 is sprake van doorgaande sedimentatie van het gebied, met uitzondering van enkele forse slingeringen tussen 1956 en 1972. Tussen 1956 en 1960 en tussen 1964 en 1968 was daarbij zelfs sprake van erosie, terwijl tussen 1960 en 1964 en tussen 1968 en 1972 sprake was van uitgebreide sedimentatie.

Kort na 1931 verliezen de Pas van Terneuzen en het Middelgat nog meer het contact. Het Zuidergat krijgt echter al snel een wat betere aansluiting met het Middelgat dan voorheen. Resultierend zal de dominantie hierdoor tot 1938 niet veel verandering hebben ondergaan. Na 1938 verbeterd de aansluiting van de Pas van terneuzen met het Middelgat snel. De verbetering van de aansluiting Zuidergat met Middelgat zet door. Na verloop van tijd (begin jaren '50) breekt het Gat van Ossenis- se door de Platen van Ossenis- se heen. Hierdoor wordt ook een verbeterde verbinding gemaakt tussen het Gat van Ossenis- se en het Middelgat (de Overloop van Hansweert). De verbeterde aansluitingen hebben tot gevolg dat de dominantie afneemt, en sedimentatie kan plaatsvinden. Ook na 1955 zetten de morfologische veranderingen zich voort: de Overloop van Hansweert versterkt zich, en de verbinding van de Pas van Terneuzen met het Middelgat wordt steeds minder belangrijk. Op de langere termijn resulteert dit in een afname van de dominantie, en dientengevolge ruimte voor sedimentatie.

Een verklaring voor de heftige korte-termijn fluctuaties tussen 1956 en 1972 kan niet zomaar gevonden worden uit een globale analyse van de beschikbare dieptekaarten. De resulterende tendens klopt met de veranderende morfologie. Om meer grip te krijgen op deze fluctuaties, die niet beperkt zijn gebleven tot vak 3, moet een diepgaande analyse van morfologische veranderingen worden ondernomen.

..... 5.4 Conclusies

Uit het bovenstaande blijkt, dat veranderingen in inhoud van het middelste deel globaal gezien zijn terug te voeren op morfologische veranderingen, die invloed hebben op de dominantie. De dominantie van het getij blijkt hierbij lager te zijn als sprake is van een zoveel mogelijk aaneengesloten enkelvoudig (1905) of dubbelvoudig (1990) geulsysteem. Losliggende geultakken (1878, 1931) hebben tot gevolg dat de dominantie hoog wordt, wat zich uit in een relatief grote geulin- houd.

De grote veranderingen in de inhoud van het middendeel van de Westerschelde in de periode van 1956 tot 1972 verdienen nader aandacht. Een oplossing voor dit vraagstuk moet gezocht worden in morfologische veranderingen.



Verklaring voor de veranderingen in de grootschalige zandbalans van het gebied rond het Middeldgat, Westerschelde

6 Samenvatting en conclusies

In het gebied rond het Middeldgat hebben zich vanaf 1800 grote veranderingen voorgedaan. Geulmigraties zijn gepaard gegaan met flinke inhoudsveranderingen, waarbij vanaf 1878 resulterend sedimentatie de overhand heeft gehad.

Uit een analyse van debietmetingen, die vanaf 1932 in dit gebied zijn uitgevoerd, blijkt dat het getijvolume in de loop der tijd niet is afgenomen. Wat wel blijkt, is dat de dominantie, de mate waarin de vloed door een vloedgeul en de eb door een ebgeul stroomt, vanaf 1932 sterk is afgenomen. Het blijkt dat de afname goed te relateren is aan de aanzanding van zowel het profiel ter plaatse van de debietmeting als aan de algehele aanzanding van het gebied.

Met deze wetenschap kan een flinke stap worden gezet in de verklaring van de zandbalans van het gebied. Uit een analyse van de ligging van de hoofdgeulen in het gebied blijkt, dat aanzanding gepaard gaat met het ontstaan van een doorlopend enkelvoudig dan wel dubbelvoudig geulsysteem, terwijl erosie gepaard gaat met het ontstaan van meer losse geuldelen.

Heftige inhoudsveranderingen die tussen 1956 en 1972 in het gebied zijn opgetreden kunnen niet eenvoudig met behulp van de gegevens worden verklaard. Wel blijkt dat ook in de dominantie van het getij in die periode flinke veranderingen optreden (met name in 1972).



Verklaring voor de veranderingen in de grootschalige zandbalans van het gebied rond het Middelgat, Westerschelde

7 Literatuur

- Gerritsen, F. en de Jong, H., 1983.** Stabiliteit van doorstroomprofielen in de Westerschelde. Nota WWKZ-83.V008. Rijkswaterstaat Vlissingen.
- De Jong, H. de, 1989.** Debietgegevens van de Westerschelde vanaf 1932. Nota GWAO-89.1004, Rijkswaterstaat Dienst Getijdewateren
- De Looff, D de, 1983.** Inhoudsveranderingen en zandbalans Westerschelde, op basis van de resultaten van vroeger over de periode 1878 - 1971/72 en recnt over de periode 1971/72 - 1980 uitgevoerde berekeningen. Nota WWKZ-83.V003, Rijkswaterstaat Vlissingen.
- Veen, J. van, 1944.** Schelderegiem en Schelderegie. Heruitgave, Rijkswaterstaat, RIKZ, Middelburg.
- Van den Berg, J.H., D. Schouten en C.J. van Westenbrugge, 1991.** Zandbalans Westerschelde. Nota NWL-91.36, Rijkswaterstaat Directie Zeeland, Middelburg.

BIJLAGE 1

**Dieptekaarten van het middendeel van
de Westerschelde**

