



INSTITUUT VOOR MARIEN EN ATMOSFERISCH ONDERZOEK UTRECHT

GROOTSCHALIGE EN INTERNE ZANDBALANS WESTERSCHELDEMONDING
(1969-1993)

drs M.J. van der Slikke

R 98-05

VOORWOORD

Dit onderzoek is uitgevoerd in het kader van het project K2000*KOP door de Universiteit Utrecht, faculteit Ruimtelijke Wetenschappen in opdracht van het RIKZ. Deze studie is het vervolg op de grootschalige zandbalans van de Westerscheldemond (van der Slikke, 1997).

In de huidige studie worden de veranderingen van het zandvolume van de gehele Westerscheldemonding, voor zover mogelijk, gekoppeld aan de veranderingen in de morfologie van de aanpalende gebieden. In het vorige onderzoek kwam de vraag naar voren; hoe de ontwikkeling van het zandvolume van de verschillende geulen en platen in het gebied is.

Deze vraag zal in dit onderzoek beantwoord worden. Dit gebeurt aan de hand van het kwantificeren van het zandvolume van de verschillende geulen en banken over de periode 1969 t/m 1993. Deze veranderingen in zandvolume worden gekoppeld aan de menselijk ingrepen (o.a. baggeren en storten). Op basis van de migratie van de dieptelijnen en de import/export van de verschillende balansvakken, zullen de veranderingen in zandvolumes van de verschillende vakken aan elkaar gekoppeld worden.

Kwantitatieve uitspraken worden gerelativeerd door middel van een nauwkeurigheidsbeschouwing. De basisgegevens die nodig zijn voor de berekening van de zandbalans en de ruwe resultaten zullen ter zijner tijd gearchiveerd worden, zodat de berekening kunnen worden uitgebreid met nieuwe gegevens.

Hierbij wil ik de volgende mensen bedanken; Ad Langerak (RIKZ), Daan Dunsbergen (RIKZ, productleider K2000*WS), Saskia Huijs (Directie Zeeland) en Jan Rik van den Berg (UU). Daarnaast wil ik voor het becommentariëren van het conceptrapport Piet Roelse (RIKZ) bedanken en verder Maarten Jansen en Arie de Gelder (Svašek).

INHOUDSOPGAVE

1. INLEIDING	5
2. WESTERSCHELDEMOND	8
2.1 INLEIDING	8
2.2 MORFOLOGIE	8
2.3 HYDRAULICA	9
2.4 GEOLOGIE	11
2.5 MENSELIJK INGRIJPEN	11
3. GEGEVENS EN METHODIEK	13
3.1 INLEIDING	13
3.2 GEGEVENS	13
3.2.1 Lodingsgegevens	13
3.2.2 Bagger- stort- en zandwinggegevens	15
3.3 VAKINDELING	15
3.3.1 Algemene vakindeling	15
3.3.2 Variabele vakindeling	17
3.3.3 Specifieke vakindeling	19
3.4 BEREKENING ZANDBALANS	19
4. ZANDBALANS WESTERSCHELDEMONDING	21
4.1 INLEIDING	21
4.2 BALANS VAN DE WESTERSCHELDEMOND EN DE WESTERSCHELDE	21
4.2.1 Ontwikkeling zandvolume Westerscheldemonnd	21
4.2.2 Koppeling Westerscheldemonnd aan Westerschelde	22
4.3 DE TRANSPORTRICHTING	26
5. INTERNE ZANDBALANS	27
5.1 INLEIDING	27
5.2 VERANDERINGEN IN ZANDVOLUME	27
5.2.1 Algemeen	27
5.2.2 Karakteristieken in volumeveranderingen	27
5.2.3 Volumeverandering, variabele vakindeling	36
5.2.4 Bankje van Zoutelande	38
5.3 INTERNE ZANDBALANS	38
6. DISCUSSIE	42
6.1 INLEIDING	42
6.2 NAUWKEURIGHEID	42
6.3 BIJDRAGE VAN DE MENSELIJKE INGEPEN AAN DE TOTALE BALANS	43
6.4 INVLOED VAN DE 18.6 JARIGE GETIJCOPONENT	44
6.5 TRANSPORTRICHTING	44

7. CONCLUSIE.....	45
7.1 VERANDERINGEN VAN HET ZANDVOLUME.....	45
7.2 ZANDBALANS	46
7.3 BEPERKINGEN	46
8. AANBEVELINGEN	47
9. LITERATUUR	48

BIJLAGES

Bijlage A1	Overzicht RWS Vaklodingen
Bijlage A2	<i>Overzicht beschikbare grids van de Westerscheldemonnding</i>
Bijlage A3	Vakindeling interne balans
Bijlage B1	Zandvolumeveranderingen van de verschillende balansvakken
Bijlage C1	Correctie op de zandvolumes
Bijlage C2	Bijdrage van de verschillende vakken aan de totale balans

Definities

Balansvak:	Vak waarbinnen het natte volume wordt berekend.
Lodingsvak:	Vast gedefinieerd vak waarbinnen de lodingen worden uitgevoerd.
Dieptezone:	Zone tussen twee verschillende referentieniveau's waarvoor het natte volume wordt berekend.
Natte volume:	Het berekende volume tussen een referentieniveau en de bodem voor een bepaald balansvak.
Netto ingreep:	Som van menselijke ingrepen in het gebied = storten - (baggeren + zandwinnen)
Vaste vakindeling:	Vakindeling die niet varieert in de tijd
Variabele vakindeling:	Op splitsing van de vaste vakindeling in de verticaal. Dit wordt de variabele vakindeling genoemd, omdat het oppervlak van het vak per diepte in de tijd varieert.
Morfologische eenheid:	Samenvoeging van verschillende gebieden die dezelfde morfologische eigenschappen hebben, waaronder;
Hoofdgeul:	Geulen die door de scheepvaart worden gebruikt als vaargeulen.
Secundaire geul:	Het doorstroomoppervlak van deze geulen is kleiner dan de hoofdgeulen. De secundaire geulen zijn gelegen in het bankengebied.
Bank:	Ondiepte tussen de geulen
Oever:	Ondiepte die grenst aan het land
Raan:	Centraal gelegen bankengebied, ondiepe gedeelte tussen de geulen Wielingen/Scheur en de Geul van de Rassen en Oostelijke Deurloo
Vlakte van Raan:	Een van de banken op de Raan, andere zijn Nolleplaat, Rassen en de Droogte van Schooneveld
Stochastische fout:	Volledig willekeurige fout (Storm et al. 1994).
Systematische fout:	Fout of afwijking consequent in één richting (Storm et al. 1994).
Squat:	Inzinking van het schip welke afhankelijk is van de waterdiepte en de vaarsnelheid (Storm et al. 1994).

1. INLEIDING

In 1997 is, als onderdeel van het programma KUST2000, het project K2000*KOP gestart. Dit project richt zich op de morfologische ontwikkelingen van de verschillende eilandkoppen, waaronder de Westerscheldemon. De verschillende onderzoeken, die in het kader van K2000*KOP in de Westerscheldemon worden uitgevoerd, leveren een bijdrage aan het algemene begrip over de lange termijn ontwikkeling van de Westerscheldemon (Svašek, 1995). De kennis zal worden gebruikt om een antwoord te geven op de vraag wat de oorzaken zijn van de erosie aan de zuidwestkust van Walcheren en de kust van Zeeuwsch-Vlaanderen en op de vraag wat de effecten van de bagger- en stortactiviteiten in de Westerscheldemon op lange termijn zijn.

In dit kader is het voorliggende onderzoek naar de verandering van het zandvolume van de Westerscheldemon over de periode 1970 t/m 1992 gedaan (zie fig. 2.1). Het doel van dit onderzoek is meer inzicht te krijgen in de verandering van het zandvolume van de verschillende morfologische eenheden en het opstellen van hypothesen over de transportrichting van het zand op basis van de zandvolume en de veranderingen in morfologie.

De vragen die hierbij beantwoord worden zijn;

- Is de zandinhoud van de Westerscheldemon veranderd, zo ja hoe, en volgt de verandering van het zandvolume een bepaalde trend of fluctueren deze veranderingen?

Deze vraag is reeds beantwoord in van der Slikke (1997). Uit dit onderzoek blijkt dat de Westerscheldemon een exporterend systeem is. De volgende vraag is dan ook:

- Waar gaat het sediment naar toe? Zijn de transportrichtingen en de grootte van het transport aan te geven tussen de verschillende aangrenzende gebieden?

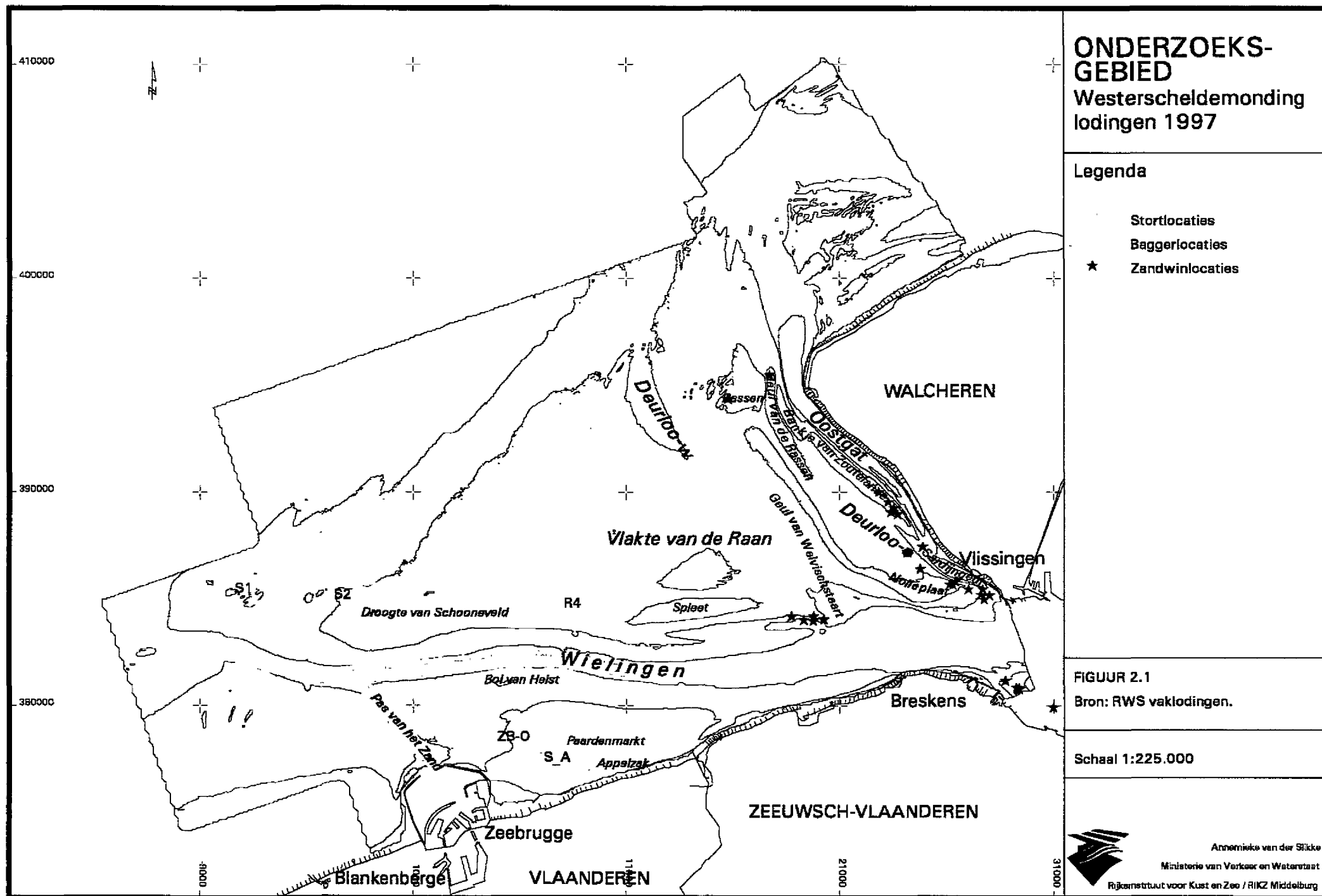
Om de vragen van Directie Zeeland te kunnen beantwoorden en om meer inzicht te krijgen in de ontwikkeling van de verschillende morfologische eenheden zullen de verschillende morfologische deelgebieden apart bestudeerd worden, daarbij kunnen de volgende vragen gesteld worden;

- Hoe is de ontwikkeling van het zandvolume van de verschillende morfologische eenheden? Zijn de veranderingen van zandvolume van de verschillende morfologische eenheden hetzelfde als de veranderingen van het zandvolume van het gehele monding? Kunnen op basis van de veranderingen van zandvolume en de kennis over de hydraulica zandtransportrichting worden aangegeven?

De bovenstaande vragen zijn beantwoord door een zandbalans op te stellen van de gehele Westerscheldemon en door een interne zandbalans op te stellen.

Leeswijzer

In hoofdstuk 2 zullen in het kort de morfologie van de Westerscheldemon en de hydraulica beschreven worden. De methodiek van het opstellen van de interne zandbalans wordt in hoofdstuk 3 beschreven. In hoofdstuk 4 zal de grootschalige zandbalans besproken worden. De resultaten van de interne zandbalans wordt vervolgens in hoofdstuk 5 besproken. De discussie volgt in hoofdstuk 6 en de conclusie en de aanbevelingen in respectievelijk hoofdstuk 7 en hoofdstuk 8.



2. WESTERSCHELDEMOND

2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zal een algemeen beeld worden geschetst van de Westerscheldemonnd. Voordat de verschillende aspecten van de Westerscheldemonnd besproken worden, wordt eerst het onderzoeksgebied afgebakend. De afbakening is in eerst instantie gebaseerd op de morfologie van het gebied, waarbij de grens gekozen is op de banken (vb. Domburger Rassen). Door de beschikbare gegevens is het gebied echter op verschillende plaatsen ingeperkt.

De Westerscheldemonnd is de zuidelijkste buitendelta van Nederland en is gelegen tussen de kust van Walcheren en Zeeuwsch-Vlaanderen (zie figuur 2.1). Voor de oostgrens wordt de lijn Vlissingen-Breskens genomen (deze grens komt overeen met de westgrens van het lodingsvak 6). Tussen Breskens en Blankeberge wordt de grens van de Westerscheldemonnd gelegd aan de voet van de dijk of aan de duinen. De meest zuidelijke grens is gelegd op de lijn loodrecht op de kust bij Blankenberge, waar de delta geleidelijk overgaat in de Vlaamse Banken. Voor de scheiding tussen de Noordzee en de Monding wordt de NAP-20m lijn gehanteerd. De Domburger Rassen, aan de noordzijde van de Monding, scheidt de Oosterscheldemonnd van de Westerscheldemonnd. De grens loopt vervolgens langs de zuidwest kust van Walcheren naar Vlissingen.

De morfologie van een gebied wordt bepaald door de hydraulische, de geologische randvoorwaarden en beïnvloed door menselijk ingrijpen. Deze aspecten van het mondingsgebied zullen in dit hoofdstuk achtereenvolgens besproken worden. Maar allereerst een korte beschrijving van de morfologie.

2.2 Morfologie

De Westerscheldemonnding is in vier algemene morfologische eenheden op te delen, namelijk de geulen, de banken en de oevers en de vooroever. De onderstaande beschrijving van de morfologie is gebaseerd op de huidige situatie.

De geulen zijn vervolgens op te delen in hoofd- en secundaire geulen (zie figuur 2.1 en 5.1). Het onderscheid tussen wordt gemaakt op basis van de bevaarbaarheid en het doorstroomoppervlak. Onder de hoofdgeulen vallen de Wielingen/Scheur en Oostgat/Deurloo. De Wielingen/Scheur is een oost-west georiënteerde geul en ligt aan de zuidzijde van de Westerscheldemonnding tussen de Zeeuwsch-Vlaamse en Vlaamse kuststrook en de Raan. Wielingen/Scheur voert het grootste deel van het water in en uit het estuarium en is licht eb-georiënteerd (Svašek 1998). Het Oostgat/Deurloo systeem is een beduidend kleiner systeem (op basis van de eb- enloedvolumes) dan de Wielingen/Scheur en is noordwest-zuidoost georiënteerd. Onder het Oostgat/Deurloo systeem vallen: Oostgat, Sardijngeul, Geul van de Rassen en Deurloo-oost. Het Oostgat ligt bijna direct tegen de zuidwestkust van Walcheren en wordt aan de westzijde geflankeerd door het Bankje van Zoutelande. De Sardijngeul ligt aan de zuidkant van het Oostgat. Deze twee geulen worden door de Galgeput van elkaar gescheiden. Aan de westzijde van het Bankje van Zoutelande liggen de Geul van de Rassen (in het noorden) en Deurloo-oost (in het zuiden). Deze twee geulen sluiten respectievelijk aan op het Oostgat en op de Sardijngeul.

De secundaire geulen zijn Deurloo-west, Geul van de Walvisstaart en de Spleet. De Deurloo-west en Geul van de Walvisstaart doorsnijden de Raan van zuid naar noord. Deurloo-west ligt aan de noordzijde

en sluit aan op de zeerand, de Geul van de Walvisstaart ligt ten zuiden van de Deurloo-west en sluit aan op de Wielingen/Scheur. De Spleet is een geul die ongeveer evenwijdig aan de Wielingen/Scheur loopt (de Looft & Verhagen, 1986).

Het bankengebied kan ingedeeld worden op basis van locatie; in de banken op de Raan en de banken langs de kust van de Vlaamse en de Zeeuwsch-Vlaamse kust. Met banken wordt hier de ruime definitie gehanteerd (banken zijn ondiepten tussen de geulen). Op de Raan liggen van oost naar west, het Bankje van Zoutelande, de Rassen en de Nolleplaat, de Vlake van de Raan en de Droogte van Schooneveld. Langs de Vlaamse kust ligt de Paardemarkt.

Onder de oever wordt hier verstaan het gebied tussen de laagwaterlijn en de duin. Langs de zuid-west oever van Walcheren sluit de oever direct aan op het Oostgat, aan de landzijde van het Oostgat liggen duinen. In tegenstelling tot de kust van Zeeuwsch-Vlaanderen waar de kust voor een groot deel beschermd is door dijken.

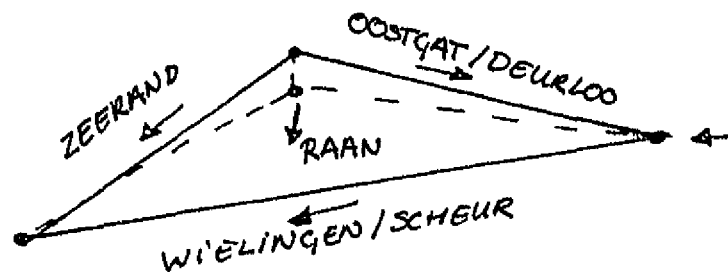
De vooroever van de Westerscheldemon is gedefinieerd als het gebied aan de noordzijde van de Raan tussen de NAP-15m lijn en de NAP-20 m lijn. Deze dieptelijnen lopen vrijwel evenwijdig aan elkaar en hebben een zuidwest-noordoost oriëntatie. Deze oriëntatie is gelijk aan de richting van de vloedstroming van de getijgolf op de Noordzee.

2.3 Hydraulica

De hydraulica en de morfologie van een gebied zijn twee aspecten die elkaar beïnvloeden en dus in wezen elkaars randvoorwaarden zijn. Immers door de hydraulica verandert de morfologie van een gebied, die vervolgens weer invloed heeft op de hydraulica van dat gebied. Het is bij de interpretatie van de morfologische ontwikkeling van belang te weten hoe de hydraulica van het gebied in elkaar zit. Het onderstaande verhaal over de hydraulica is ontleend aan het rapport van Van Enckevort (1996) en het conceptrapport van Svašek (1998).

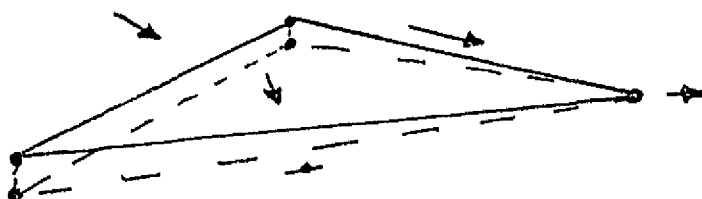
De hydraulische karakteristieken in de Westerscheldemon worden bepaald door de geometrie van het gebied, door het getij op de Noordzee, door de reactie van de Monding en de Westerschelde hierop en door de meteorologische omstandigheden, die een bepaald golfklimaat veroorzaken. Voor de karakteristieken van het golfklimaat wordt verwezen naar Van Enckevort (1996).

Voor de beschrijving van het getij kan de Westerscheldemon in vier delen worden opgedeeld, de zeerand, Oostgat/Deurloo, Wielingen/Scheur en de Raan. De getijgolf van de Noordzee loopt van zuid naar noord (tijdens vloed), dit veroorzaakt een fase verschil tussen de zuidgrens van de Westerscheldemon en de noordgrens. Doordat de noordgrens (Westkapelle) invloed heeft op de stroming in Oostgat/Deurloo en de zuidgrens invloed heeft op de stroming door Wielingen/Scheur, is het getij in deze twee geulen uit fase. De stromingsrichting op de Raan wordt bepaald door de zeerand, Oostgat/Deurloo en Wielingen/Scheur. Figuur 2.2 (Svašek, 1998) geeft een schematische weergave van de waterstanden en de stromingsrichting gedurende een getijcyclus weer. In dit figuur is de gestippelde lijn de referentie (de waterstand die gelijk is aan de waterstand in Vlissingen). In het eerste plaatje is te zien dat tijdens hoogwater in Vlissingen de waterstand bij Westkapelle hoger is. Dit waterstandsverschil draagt bij aan de stroming van Westkapelle naar Vlissingen.

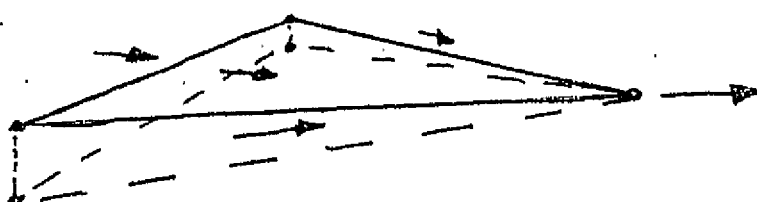


geelstip t.o.v.
Hw Vlissingen:

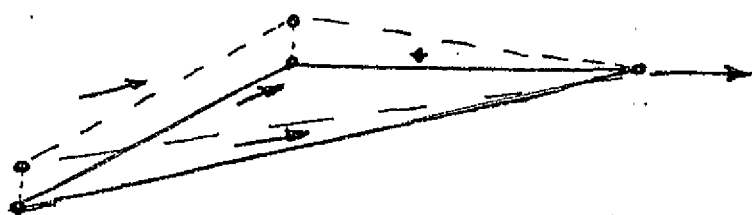
ca. 6 uur voor
en 6 uur na
LAAGWATER



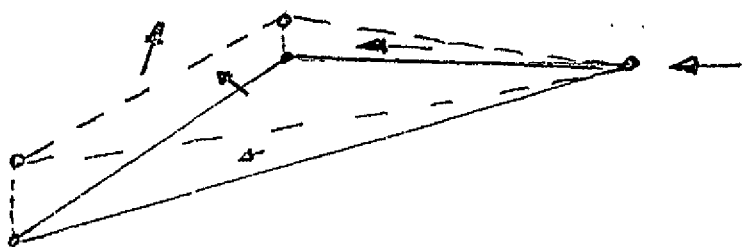
ca. 4 uur voor
BEGIN VLOED



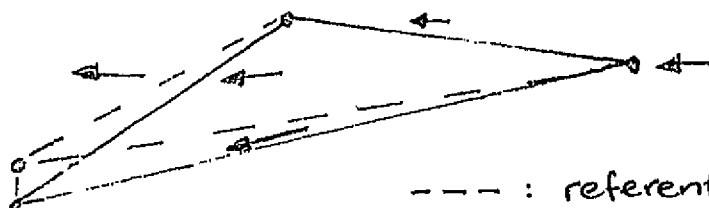
ca. 2 uur voor
EIND VLOED



HW Vlissingen
HOOGWATER



ca. 2 uur na
BEGIN EB



ca. 4 uur na
EIND EB

--- : referentievlak (waterstand bij Vlissingen)
vlak : waterstanden t.o.v. Vlissingen
pielen : stroming

Bij de stroming in de Westerscheldemonding spelen vele facetten een rol, voor meer informatie over het getij wordt verwezen naar Svašek (1998).

2.4 Geologie

De geologische ondergrond van een gebied kan een randvoorwaarde voor de morfologische ontwikkeling van een gebied zijn. Daarbij moet vooral gedacht worden aan resistente lagen die de ontwikkeling van een gebied kunnen vertragen. In de Westerscheldemonding zijn slechts enkele resistente lagen aan de oppervlak, die de morfologische ontwikkeling kunnen beïnvloeden. Een van deze lagen is de Boomse klei, die door de Wielingen is aangesneden (van der Spek, 1997). Het is niet waarschijnlijk dat de geologische ondergrond de morfologische ontwikkelingen stuurt, wel kan de geologische ondergrond de snelheid van de morfologische veranderingen beïnvloeden (commentaar van der Spek).

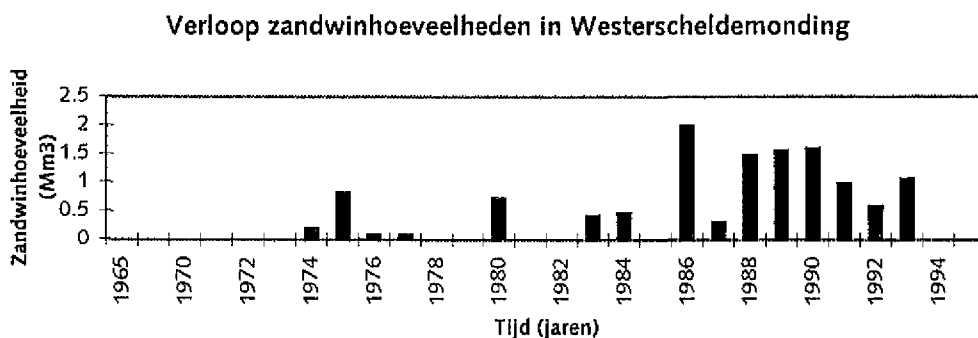
2.5 Menselijk ingrijpen

In de Westerscheldemonding is sinds de jaren zestig de Wielingen/Scheur verdiept ten behoeve van de scheepvaart. De piek van de baggerwerkzaamheden bevond zich aan het einde van de jaren zeventig (fig. 2.4). De baggerspecie (zand en slib) is op verschillende plaatsen in de Westerscheldemonding gestort, waarvan de Droogte van Schooneveld (S1) en de Paardemarkt de belangrijkste zijn (zie figuur 2.1).

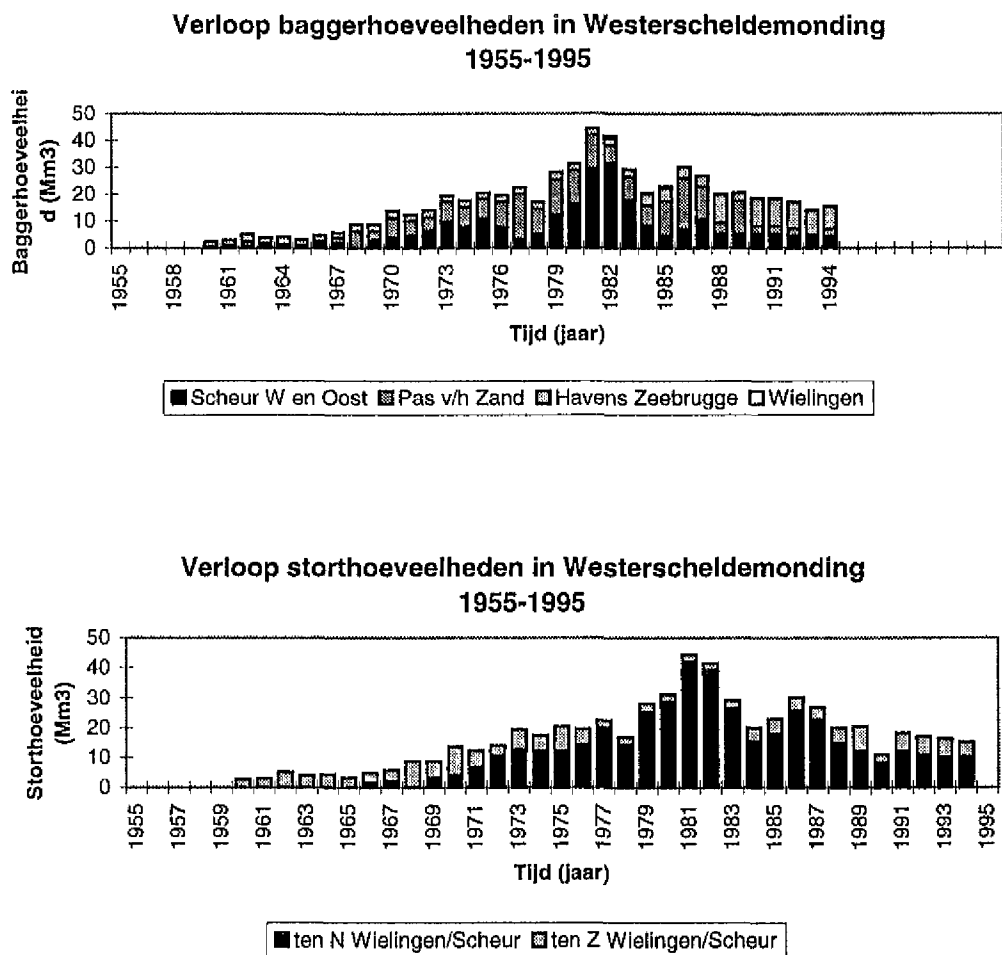
In 1984 is de haven van Zeebrugge uitgebouwd. Voor deze uitbouw is de haven uitgebaggerd en is een pas (Pas van 't Zand) van de haven naar de Wielingen/Scheur gebaggerd.

Wanneer gesproken wordt over baggerspecie, is het een menging van zand en slib. Dit betekent dat de hoeveelheden gestort en gebaggerd zand kleiner zijn dan de baggerspeciegegevens.

Zowel langs de Nederlandse kust als de Vlaamse kust vinden zandsuppleties plaats (Roelse, 1996). Voor de Nederlandse kust werd eerst zand van het Bankje van Zoutelande gewonnen, tegenwoordig (1998) wordt het zand van de Steenbanken gehaald (fig 2.3, GIS-applicatie zandbalans, Uit den Bogaard).



Figuur 2.3 Zandwinhoefelheden



Figuur 2.4 Baggergegevens exclusief zandwinning en stortgegevens exclusief suppleties Westerscheldemonnd

3. GEGEVENS EN METHODIEK

3.1 Inleiding

Zoals reeds in de inleiding is genoemd, is het doel van dit onderzoek het kwantificeren van de morfologische veranderingen van de Westerscheldemond. Het kwantificeren van de morfologische veranderingen is gedaan door de natte volumes te berekenen. De veranderingen in de natte volumes kunnen vervolgens omgerekend worden naar veranderingen in zandvolumes. Op basis van de verandering van het zandvolume en de menselijke ingrepen in het gebied, kan de natuurlijke import/export van dat gebied bepaald worden. Hetzelfde geldt voor de morfologische deelgebieden in de Westerscheldemond. Voordat de zandvolumes berekend kunnen worden, moeten echter eerst een aantal stappen doorlopen worden.

Aan de basis van de berekeningen liggen de lodingsgegevens en gegevens over menselijke ingrepen. Deze gegevens zijn dusdanig bewerkt dat de natte volumes berekend kunnen worden (paragraaf 3.2). Voor de berekening moet aangegeven worden binnen welke gebieden en t.o.v. welke referentieniveau's deze berekeningen uitgevoerd worden (paragraaf 3.3). De methodiek van het berekenen en het opstellen van de zandbalans wordt in paragraaf 3.4. besproken.

3.2 Gegevens

3.2.1 Lodingsgegevens

Sinds 1969 wordt de bodemligging van de Westerscheldemonding door Rijkswaterstaat met een regelmaat van ongeveer eens in de twee jaar gemeten. Daarvoor was het meten van de Westerscheldemonding een taak van de Hydrografische Dienst van de Marine.

De Westerscheldemonding is voor het loden opgedeeld in 11 lodingsvakken (11 t/m 19 + 44 en 49, zie bijlage A1) en wordt ongeveer om het jaar gemeten, waarvan de ene helft het ene jaar en de andere helft het daarop volgend jaar wordt gemeten.

Voor het berekenen van een zandbalans is het belangrijk dat de bodemgegevens gebiedsdekkend zijn. Om aan deze eis te kunnen voldoen moeten de verschillende lodingsvakken uit opeenvolgende jaren met elkaar gecombineerd worden. Er zijn in totaal acht bodems samengesteld (bijlage A2). Hierbij wordt verondersteld dat de geconstrueerde bodem representatief is voor een periode van 2 jaar.

De gegevens van deze bodems beslaan echter niet altijd precies hetzelfde gebied. Soms zijn delen van een lodingsvak niet gemeten. Deze "nodata"-gebieden hebben grote invloed op de berekende volumes. Daarom is het van belang het effect van deze "nodata"-gebieden te verminderen. Dit kan op twee verschillende manieren.

Ten eerste worden de "nodata"-gebieden opgevuld met gegevens van het dichtstbijzijnde jaar. Hierbij wordt aangenomen dat als het gebied niet te groot is en het niet te veel scheelt in tijd, dat de morfologische veranderingen dan geen tot nauwelijks invloed zullen hebben op de zandbalans.

Soms is het echter niet mogelijk om deze "nodata"-gebieden op te vullen met data uit dichtstbijzijnde jaren. Voor deze gebieden is een tweede oplossing gekozen; Als de "nodata"-gebieden voorkomen in alle jaren, dan heeft het ontbreken van de gegevens geen invloed meer op de verandering van het natte volume.

Bij het gebruik maken van gegevens is het belangrijk te weten hoe nauwkeurig en betrouwbaar de gegevens zijn. Bij het meten van de bodemhoogte van de Westerscheldemonnd zijn verschillende foutenbronnen aan te wijzen. Voor het opstellen van een zandbalans zijn voornamelijk de systematische fouten van belang (Storm et al. 1994). Daarbij zijn fouten als gevolg van systematische fouten in het reductievlak en door "squat" de twee belangrijkste foutenbronnen.

Bij de verwerking van de gegevens kunnen fouten geïntroduceerd worden. Hierbij moet gedacht worden aan fouten door interpolatie, kuberingen en samenvoegen van grids. De fout die veroorzaakt wordt door interpolatie en kuberingen van de gegevens zijn klein t.o.v. de systematische fouten die worden gemaakt bij het loden (Storm et al. 1994). De fout die ontstaat door het samenvoegen van grids van verschillende jaren is afhankelijk van de dynamiek van het systeem. Voor een gebied dat weinig verandert in twee jaar is het samenvoegen van de twee jaar geen groot probleem. Voor dynamische gebieden zal de fout groter zijn dan de weinig dynamische gebieden. In hoeverre deze fout doorwerkt in de zandbalans is tot nu toe onduidelijk. Om de fout te kunnen bepalen zou een nieuwe combinatie van verschillende jaren van lodingsvakken vergeleken moeten worden met de gebruikte bodems. Voor het berekenen van de zandbalans is het aan te bevelen dat de gehele Westerscheldemonnd binnen een jaar in haar geheel zou worden gemeten.

Storm et al. (1994) en Westlake et al. (1996) gaan uitgebreid in op de diverse foutenbronnen die bij het loden optreden. Deze twee rapporten geven een weergave van de nauwkeurigheid van de instrumenten die rond die periode zijn gebruikt. Als gekeken wordt naar gegevens over langere periode is er ook sprake van verschillende meetinstrumenten en verschillende meetnauwkeurigheden.

Voor de Westerscheldemonnding speelt dit over de periode 1969 t/m 1993 zeker mee. Zo is eind jaren tachtig een ander plaatsbepalingssysteem in gebruik genomen. De stochastische fout van het nieuwe instrument is kleiner dan die van het oude meetinstrument. Een goed plaatsbepalingssysteem heeft vooral invloed op de betrouwbaarheid van de steilere gebieden, omdat deze veel gevoeliger zijn voor fouten in de plaatsbepaling. Maar is ook belangrijk als gekeken wordt naar de verschuiving van de dieptelijnen.

Een andere verandering die heeft plaats gevonden en die ook invloed heeft op het gehele gebied is de verandering van het reductiesysteem. De reductie van de gemeten waterhoogte naar een vast referentievlak (NAP) kan een grote foutenbron zijn. Verandering in de methodiek kan dan ook zorgen voor een discrepantie in de resultaten.

Het is moeilijk te achterhalen wat voor verschillende effecten de oude en de nieuwe methodiek geven. Het moment van verandering (1985) van methodiek kan alleen gebruikt worden als één van de argumenten om vreemde verandering in de trends van de volumes te verklaren.

3.2.2 Bagger- stort- en zandwingegevens

Voor het opstellen van een zandbalans zijn behalve gegevens van de bodem ook gegevens over de ingrepen nodig. Hierbij gaat het om bagger-, stort-, zandwin- en suppletiegegevens. Alle gegevens zijn beschikbaar in m³. De bagger- en storthoeveelheden zijn verre weg het grootst. De baggerwerkzaamheden zijn uitgevoerd ter bevordering van de zeescheepvaart en de uitbouw van de haven van Zeebrugge. Bij bagger- en storthoeveelheden is geen onderscheid gemaakt tussen zand en slib. Dit betekent dat de totale hoeveelheid gebaggerd en gestort zand overschat is.

Voor sommige deelgebieden zullen de suppletie- en zandwingegevens van een groter belang zijn. Daarom zijn deze gegevens, ook al vallen ze in het niet bij de baggerhoeveelheden, wel van belang. De suppletiegegevens zijn niet gebruikt, omdat de oevergegevens ook niet zijn meegenomen in de zandbalans.

3.3 Vakindeling

3.3.1 Algemene vakindeling

Als de gegevens bewerkt zijn (zie 3.2.1), moet nog slechts één (essentiële) stap doorlopen worden, namelijk het opstellen van de vakindeling. Deze vakindeling is gebaseerd op basis van de morfologische deelgebieden.

Voor het opstellen van een vakindeling op basis van de morfologie zou in het ideale geval de grens van de vakken samenvallen met de grens tussen de verschillende morfologische eenheden.

Het zou alleen mogelijk zijn als de overgang tussen de verschillende deelgebieden duidelijk aan te geven zou zijn en als de morfologische deelgebieden niet zouden migreren. Dit laatste is natuurlijk niet het geval, de Westerscheldemonnding is immers een dynamische systeem. Het eerste is ook moeilijk te realiseren, omdat de overgang tussen de bank en de geul geen scherpe overgang is. Daarnaast is de hoogte van de schouder van de geul (de overgang van bank naar geul) per geul verschillend.

De vakindeling is in eerste instantie gebaseerd op de ligging van de geulen in de periode 1969 t/m 1993. Hierdoor liggen de vakken niet strak om de overgang van geul naar bank, maar liggen ruim om de geulen heen. Deze vakindeling zorgt er ook voor dat een deel van de banken in de geulvakken ligt.

Deze vakindeling (bijlage A3) is als volgt opgesteld:

Als eerste zijn de vakken ingedeeld op basis van de hoofdgeulen (Wielingen/Scheur en Oostgat/Sardijngeul). Vervolgens is een indeling gemaakt op basis van de dieptelijnen vanaf de NAP -20m lijn naar de NAP -14m en de NAP -10m lijn, waardoor de Voordelta en de rand van de Voordelta als aparte vakken zijn aangegeven. Vervolgens is ingedeeld op secundaire geulen (Westelijke Deurloo en Geul van Walvisstraat, Geul van de Rassen en Oostelijke Deurloo). Het menselijk ingrijpen in sommige gebieden zijn erg groot. Voor deze gebieden zijn aparte vakken gedefinieerd (bagger-, stortvakken en de ontgrondingskuilen bij Zeebrugge). Dan blijven de vakken tussen de geulen ofwel het bankengebied en de ondiepere delen langs de kust over.

Deze vakindeling wordt de **vaste vakindeling** genoemd en is de basis voor de zandbalans.

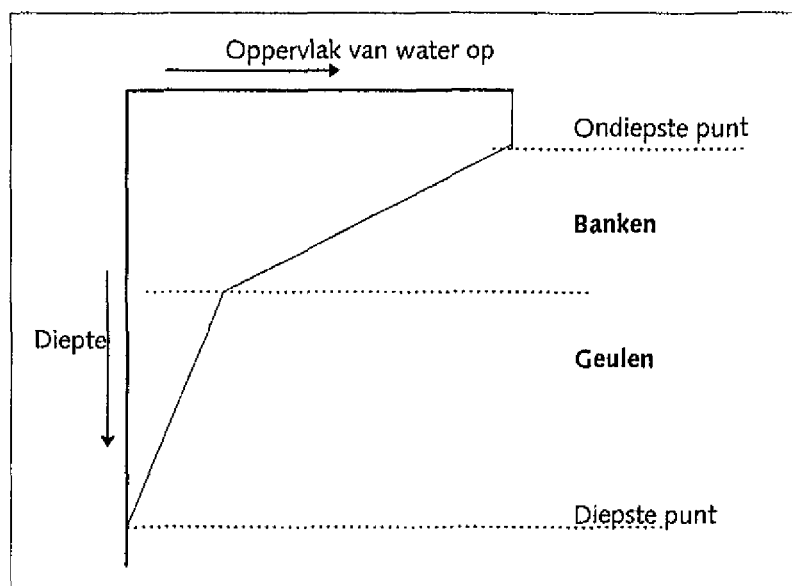
Door deze vorm van vakindeling (ruime vakken rond de geulen) zijn twee problemen ontstaan. Ten eerste is door de ruime vakindeling in de vakken van de geulen soms grote delen van de banken komen te liggen. Hierdoor zou de ontwikkeling van de geulen versluierd kunnen worden. Een tweede probleem is dat door het accent te leggen op de geulen het niet meer mogelijk is de ontwikkeling van de banken te bestuderen.

Deze twee problemen zijn als volgt opgelost. De vaste vakindeling is verder opgedeeld, om zodoende de geulen alleen te kunnen bestuderen. Deze gedetailleerde vakindeling wordt de variabele vakindeling genoemd, omdat het oppervlak van de vakken op de verschillende diepten varieert (paragraaf 3.3.2). Voor het tweede probleem zijn een aantal aparte vakken opgesteld voor een aantal interessante gebieden (paragraaf 3.3.3)

3.3.2 Variabele vakindeling

In de vaste vakindeling is een tweede indeling gemaakt, omdat bij de vaste vakindeling de veranderingen van volume van de geulen deels versluierd kunnen worden door de veranderingen in de banken. Deze indeling is gemaakt door een onderscheid te maken in de verticaal, dus door alles onder een bepaalde diepte (referentieniveau) als geul te definiëren.

Om het referentieniveau (de overgang tussen de geul en de banken) te bepalen, is tussen NAP 0 en NAP-15m om de meter het wateroppervlak van de Westerscheldemon bepaald. Als het oppervlak van het water op de verschillende diepten wordt uitgezet tegen de diepten, kan het volgende verloop in oppervlak verwacht worden (zie figuur 3.1).

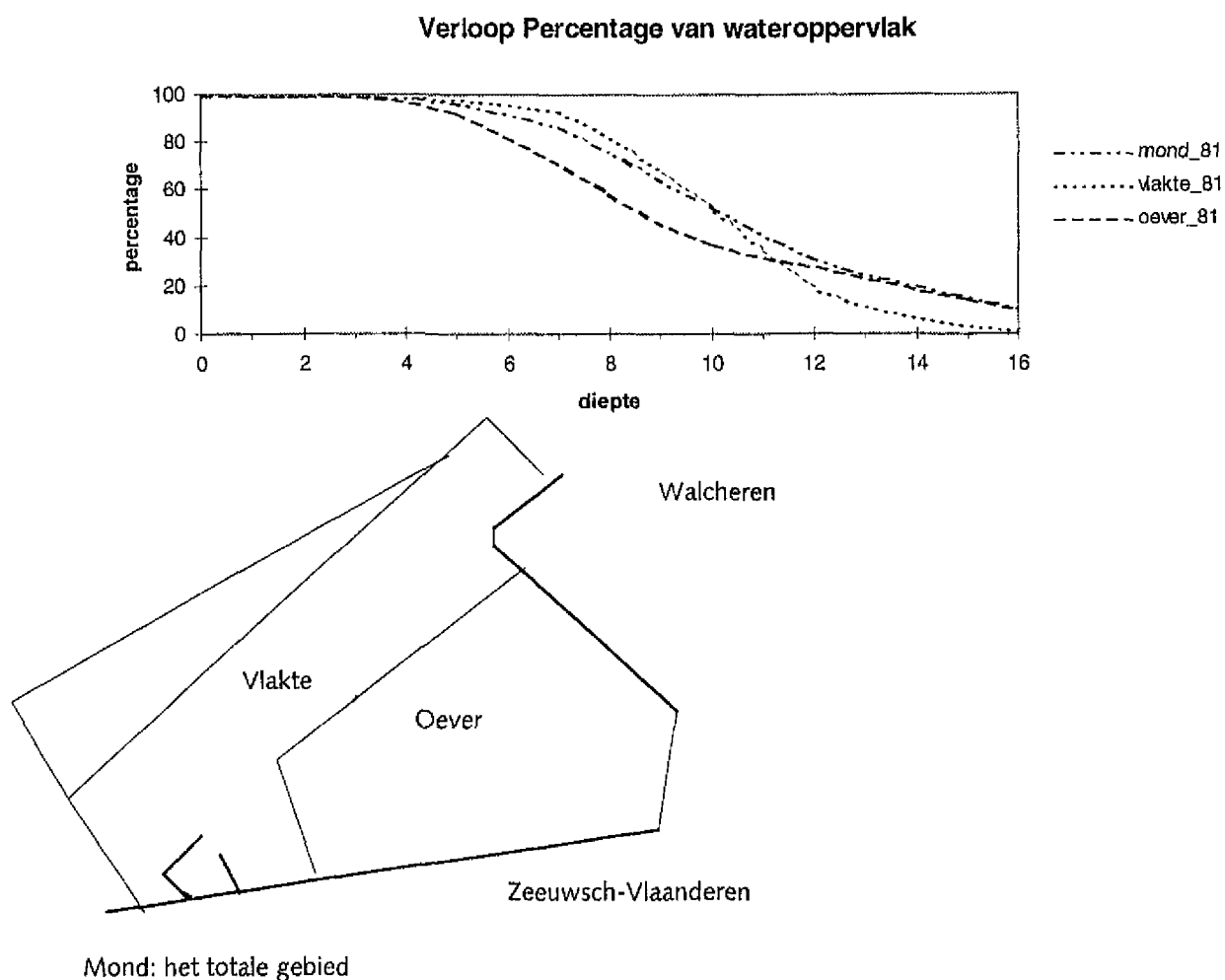


Figuur 3.1 Schets van verandering van wateroppervlak in de diepte

Tot het ondiepste bodempunt blijft het oppervlak van het natte volume gelijk (zie figuur 3.1). De banken zijn vlak en groot in oppervlak, hierdoor neemt het oppervlak van het water in de diepte snel af. In de geulen, met steile helling, neemt het oppervlak langzaam af, om vervolgens bij het diepste punt op nul oppervlak te komen.

Het onderscheid tussen de geulen en de banken kan in de verticaal dus gelegd worden op het tweede knikpunt (waar de afname van het oppervlak in de diepte opeens sterk wordt verminderd).

De Westerscheldemon heeft verschillende geulsystemen met verschillende karakters, hierdoor is het niet mogelijk een vast referentieniveau te bepalen waaronder de geul ligt (de vakken van de Voordelta worden hierbij uitgesloten). Er is voor drie verschillende vakken het referentieniveau bepaald. De resultaten van de berekeningen zijn weergegeven in fig. 3.2. De berekeningen zijn uitgevoerd met bodemgegevens van 1981.



Figuur 3.2 Verloop van percentage van wateroppervlak

Op basis van de figuur 3.2 zijn de knikpunten voor de verschillende deelgebieden bepaald en deze zijn weergegeven in tabel 3.1.

tabel 3.1 Diepte knikpunten

	top v.d. bank	overgang bank naar geul
Monding	NAP -5 m	NAP -12m
Bankengebied (Vlakte)	NAP -5 m	NAP -12m
Oever	NAP -7 m	NAP -10m

3.3.3 Specifieke vakindeling

Het Bankje van Zoutelande is mogelijk belangrijk in het verminderen van de golfaanvallen op de zuidwestkust van Walcheren. Het is dan ook van belang te weten hoe het Bankje van Zoutelande zich ontwikkelt. Daarom zijn voor dit specifieke gebied de zandvolumes berekend.

3.4 Berekening zandbalans

De berekeningen van de veranderingen van zandvolume worden uitgevoerd met behulp van de GIS-applicatie VAKGIS (gemaakt door Uit den Bogaard) op basis van de lodingsgegevens van een gebied. Voor elk tijdstip (combinatie van twee jaar) wordt het natte volume van het vak berekend.

Het **natte volume** is het water volume tussen het referentieniveau en de bodem en binnen het vak waarover de zandbalans wordt berekend. Een toename van het natte volume betekent een afname in het zandvolume in het gebied.

De veranderingen die bestudeerd worden, zijn veranderingen van het zandvolume. Met VAKIGS worden echter natte volumes berekend. De veranderingen van het natte volume komt overeen met $V_{t1} - V_{t0}$. Een afname in het natte volume is hetzelfde als een toename in het zandvolume. De verandering van het zandvolume in de tijd kan als volgt beschreven worden:

$$\Delta \text{Inh}_{\text{netto}} = V_{t0} - V_{t1}$$

Voor het opstellen van de zandbalans is ΔT_{natuur} de belangrijkste parameter, die overeenkomt met;

$$\Delta T_{\text{natuur}} = \Delta \text{Inh}_{\text{netto}} - \Delta T_{\text{mens}}$$

waarin:

$$\Delta \text{Inh}_{\text{netto}} = \Delta T_{\text{mens}} + \Delta T_{\text{natuur}}$$

= netto veranderingen van zandvolume als gevolg van menselijk ingrijpen en natuurlijke veranderingen

$$V_{t0} = \text{natte volume op tijdstip 0}$$

$$V_{t1} = \text{natte volume op tijdstip 1}$$

$$\Delta T_{\text{natuur}} = I_{\text{natuur}} - E_{\text{natuur}} = \longleftrightarrow$$

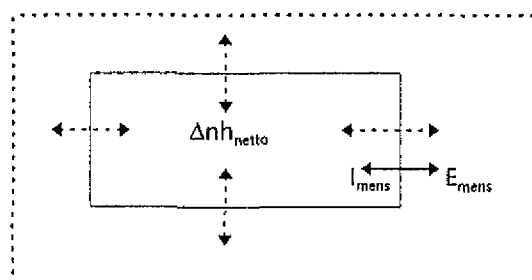
= uitwisseling van zand met de omgeving als gevolg van natuurlijke processen
import = positief

$$\Delta T_{\text{mens}} = I_{\text{mens}} - E_{\text{mens}} = \longleftrightarrow$$

= transport van zand als gevolg van storten/baggeren

$$E = \text{export (baggeren, zandwin)}$$

$$I = \text{import (storten)}$$



Figuur 3.3 Schematisatie van zandbalans

De netto verandering van het zandvolume worden berekend m.b.v. de GIS-applicatie VAKGIS (gemaakt door Uit den Bogaard). De hoeveelheden en de locaties van het baggeren en storten en eventueel andere menselijke ingrepen zijn bekend in kubieke meters. Met deze gegevens worden de uitwisseling tussen de verschillende balansvakken bepaald. Dit export of import getal is een sommatie van de uitwisseling van sediment over alle grenzen van een vak, er kan geen onderscheid gemaakt worden voor de verschillende grenzen. Voor het bepalen van de netto sediment uitwisseling tussen twee vakken zijn gegevens over de netto transportrichting nodig.

4. ZANDBALANS WESTERSCHELDEMONTING

4.1 Inleiding

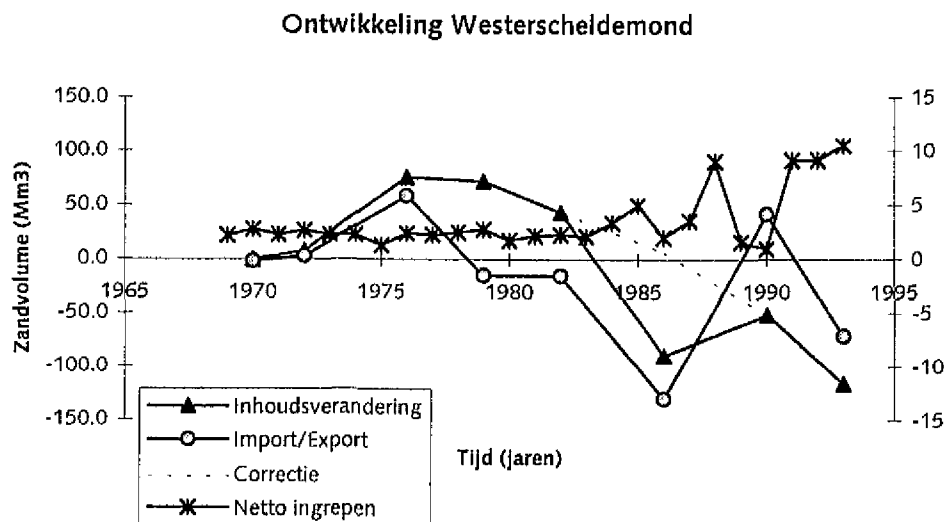
In het vorige hoofdstuk is de methodiek van het berekenen van een zandbalans beschreven. De resultaten van de interne zandbalans zullen in het volgende hoofdstuk besproken worden. Dit hoofdstuk gaat over de algehele veranderingen van het zandvolume van de Westerscheldemon in relatie met de aanpalende gebieden.

Allereerst zullen de resultaten van de veranderingen van de Westerscheldemon besproken worden. In dezelfde paragraaf (4.2) zullen de resultaten van de volumeveranderingen van de Westerscheldemon gekoppeld worden aan de veranderingen in de Westerschelde. In de daarop volgende paragraaf zal een beschouwing volgen van de transportrichting (paragraaf 4.3).

4.2 Balans van de Westerscheldemon en de Westerschelde

4.2.1 Ontwikkeling zandvolume Westerscheldemon

Figuur 4.1 geeft de ontwikkeling van het zandvolume van de Westerscheldemon over de periode 1970 t/m 1993 weer. Daarnaast zijn in deze figuur de netto menselijke ingrepen en de import/export van sediment te zien.



Figuur 4.1 Ontwikkeling van de Westerscheldemon

Inhoudsverandering: 1970 is als ijkpunt genomen, alle andere punten geven het verschil met 1970 weer.

Netto ingrepen: de ingrepen die plaats hebben gevonden.
Storten - (Baggeren + Zandwin)

Import/Export: de import/export die heeft plaats gevonden tussen het voorafgaande en het huidige lodingsjaar

Correctie: correctie voor het volume van 1985

In grote lijnen is uit de figuur het volgende op te maken:

- 1) Het zandvolume neemt tot 1975 toe. Vervolgens neemt het volume af. Het zandvolume tussen 1982 en 1985 wordt kleiner dan het zandvolume van 1970.
- 2) Door menselijk handelen wordt er meer sediment aan het systeem toegevoegd dan onttrokken.
- 3) De import/export van sediment wordt voornamelijk bepaald door de inhoudsverandering, omdat deze groot is in vergelijking met de netto menselijke ingrepen. Bij de verandering van een toename van het zandvolume naar een afname van het zandvolume, slaat het systeem om van importerend naar exporterend.

Ad 1) De omslag van de toe- naar afname van het zandvolume kan een aantal oorzaken hebben.

Als aangenomen wordt dat een deel van het sediment van de Droogte van Schooneveld naar de Noordzee wordt getransporteerd, dan zal de hoeveelheid getransporteerd materiaal afhankelijk zijn van de hoeveelheid gestorte baggerspecie op de Droogte van Schooneveld. De stortactiviteiten nemen in eind jaren zeventig sterk toe (fig 2.4), dit tijdstip komt ongeveer overeen met de omslag van import naar export (fig. 4.1).

Het omslagpunt kan ook het gevolg zijn van fouten in de gegevens. Bijvoorbeeld systematische fouten in de lodingen van 1970 en 1972, alhoewel hier geen duidelijke aanwijzingen zijn.

Een andere mogelijkheid is dat de omslag een morfologische cycliciteit weergeeft. Hierbij kan gedacht worden aan de reactie van de morfologie op de 18.6 jarige cyclus van het getij (hier zal in hoofdstuk 6 meer aandacht aan geschonken worden).

Het volume van 1985 wijkt af van de trend die zich in 1975 heeft ingezet. Dit is mogelijk het gevolg van de piek in menselijk ingrepen in het systeem. Maar dan zouden de veranderingen zich vooral concentreren op de bagger- en stortlokatie. Uit verschilkaarten blijkt dat 1985 afwijkt over het gehele gebied (van der Slikke, 1997). Het is dus aannemelijker dat we te maken hebben met een systematische lodingsfout, die mogelijk is te wijten aan de verandering van meetmethode (andere reductievlak, ander plaatsbepalingssysteem, e.d.).

Ad 2) In de figuur 4.1 is verder te zien dat over bijna de gehele periode netto sediment in het balansvak wordt gestort. Doordat de haven van Zeebrugge buiten het balansvak is gehouden, valt het baggeren van Zeebrugge buiten het balansvak terwijl het storten van deze baggerspecie in het balansvak valt. Hierdoor hebben we dus te maken met een import van sediment in het balansvak.

Het probleem van de bagger- en stortcijfers is echter dat niet aan te geven is hoeveel van het sediment zand is. Omdat er in de Westerscheldemon maar weinig gebieden zijn die puur uit zand bestaan (Ministerie van Volksgezondheid et al, 1993), kan aangenomen worden dat de bagger- en stortcijfers een overschatting is van de totale hoeveelheid gebaggerd en gestort zand.

4.2.2 Koppeling Westerscheldemon aan Westerschelde

Voor de gegevens van de Westerschelde is gebruik gemaakt van de gegevens van de zandbalans van Uit den Bogaard (1995).

Verder zijn de volgende aannamen gedaan:

- Er vindt geen uitwisseling van sediment plaats tussen de Zeeschelde (bovenloop van de Westerschelde) en de Westerschelde.

- De lodingen van 1985 van de Westerscheldemond is niet realistisch, daarom is voor het zandvolume een gecorrigeerde waarde aangenomen op basis van de trendlijn tussen 1982 en 1990.

De uitkomsten van de zandbalans van de Westerschelde en de Westerscheldemonding zijn in figuur 4.2 en tabel 4.1 gepresenteerd. Daarbij zijn de bovenstaande aannamen gebruikt.

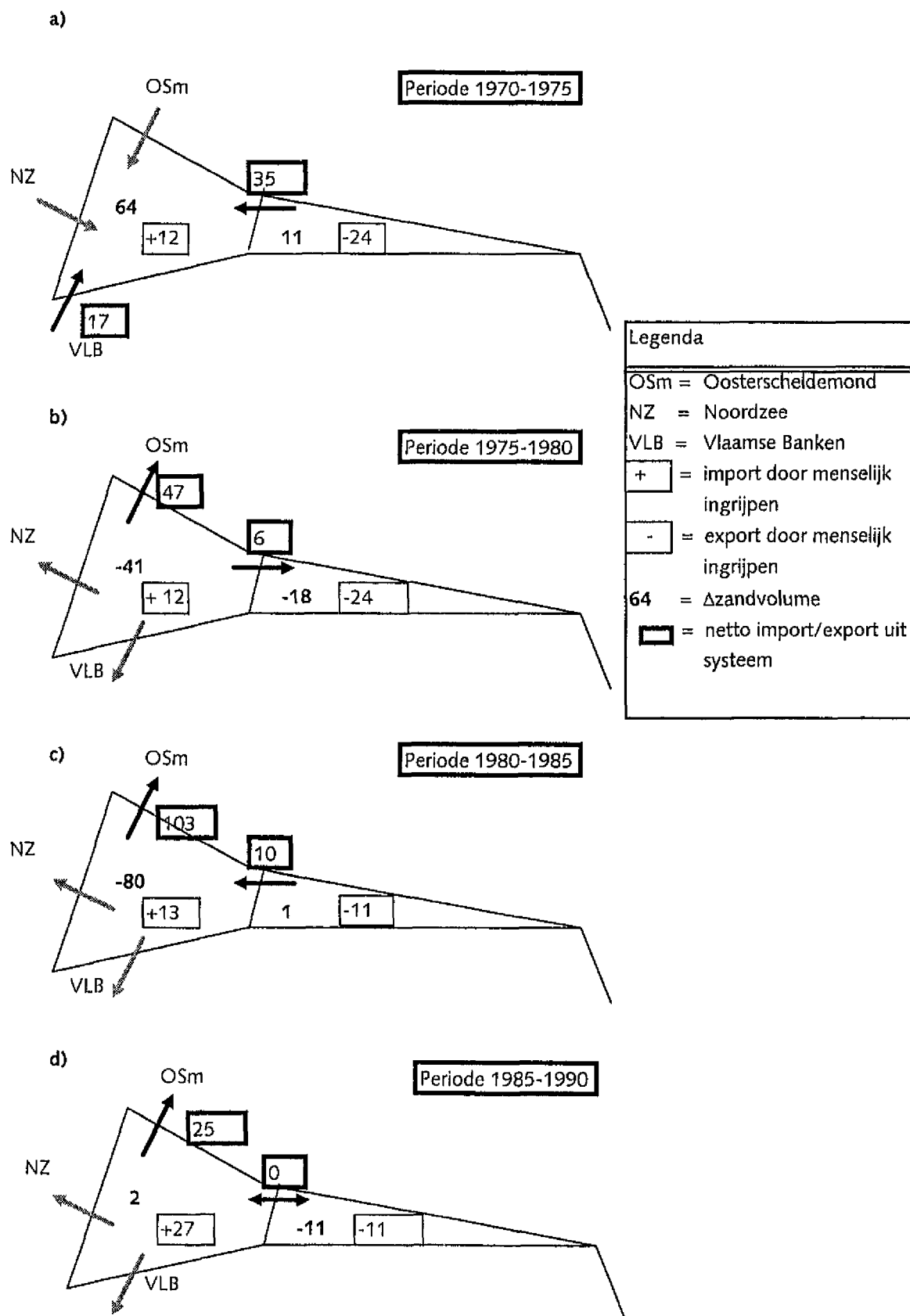
Tabel 4.1 Overzicht van import/export Westerscheldemond

	'70-'75	'75-'80	'80-'85	'85-'90	bron
ΔI_{nh_netto}	64	-41	-80	2	eigen berekening
ΔT_{mens}	12	12	13	27	
ΔT_{natuur}	52	-53	-93	-25	
ΔT_{natuur}^{WS}	35	-6	10	0	Uit den Bogaard, 1995
ΔT_{natuur}^{rest}	17	-47	-103	-25	

Berekeningen zie paragraaf 3.5. ΔT_{natuur} is het totale Import/export getal tussen de Westerscheldemonding en haar omgeving (als gevolg van natuurlijke processen). De toevoeging WS staat voor de uitwisseling met de Westerschelde en de toevoeging rest staat voor de uitwisseling met de andere aanpalende gebieden (zie paragraaf 3.4).

Beschrijving van de figuur 4.2:

- '70-'75 In deze periode is er sprake van een toename van het zandvolume in het gehele gebied. In de Westerschelde wordt zand onttrokken, terwijl in de Westerscheldemond sediment wordt toegevoegd aan het systeem. Dit betekent dat in deze periode de Westerscheldemond sediment importeert vanuit de aanpalende gebieden.
- '75-'80 In tegenstelling tot de vorige periode is in deze periode het zandvolume in het gehele gebied afgenomen. De netto ingrepen in het systeem zijn ongeveer gelijk gebleven. De Westerscheldemond is hierdoor van een importerend een exporterend systeem geworden.
- '80-'85 In deze periode is het zandvolume van de Westerscheldemond sterk afgenomen. Het zandvolume in de Westerschelde is nagenoegen gelijk gebleven. Ondanks de toename van de menselijke ingrepen, zijn de netto menselijke ingrepen in de Westerscheldemond zijn ongeveer gelijk gebleven. De Westerscheldemond exporteert sediment in deze periode, maar ontvangt daarnaast sediment van de Westerschelde.
- '85-'90 In deze periode is het zandvolume in de Westerschelde afgenomen en in de Monding nagenoegen gelijk gebleven. De netto ingrepen in de Westerscheldemond zijn verdubbeld. In deze periode heeft er geen netto uitwisseling plaats gevonden tussen de Monding en de Westerschelde. Door de import van sediment en het bijna gelijk blijven van het zandvolume van de Monding is er toch sprake van een exporterend systeem.



Figuur 4.2 Zandbalans Westerschelde en Westerscheldemon

Kanttekening:

1) De volumes van de inhoudsveranderingen zijn berekend voor zand, terwijl bij de volumes van het baggeren en storten het om zand- en slibvolumes gaat (zie paragraaf 4.2.1 ad1). Dit betekent dat de volumes van de ingrepen overschat worden. Hoeveel deze overschatting is, is per gebied (Wielingen/Scheur/Haven van Zeebrugge) verschillend. Voor de Westerscheldemon wordt binnen het balansvak meer gestort dan gebaggerd. Dit komt omdat de haven van Zeebrugge buiten het balansvak valt. Aangezien het hier waarschijnlijk om voornamelijk slibrijk materiaal gaat, zal de waarde van het storten in de Westerscheldemon een overschatting zijn. Dit betekent dat de export uit de Monding mogelijk kleiner is en de import mogelijk groter.

2) De lodingsgegevens van de Westerscheldemon zijn niet van elk jaar beschikbaar. Daarom zijn verschillende jaren aan elkaar gekoppeld. De gegevens zijn ook niet voor elke periode exact beschikbaar. Daarom is de volgende methode gebruikt;

voorbeeld

Voor de periode 1970 -1975 is de volumeveranderingen als volgt berekend. Er zijn gegevens beschikbaar van de 1969/1970 en van 1975/1976. Van beide samengestelde data is de lading gezet op 1 januari van het tweede jaar (dus 1 jan. 1970 en 1 jan. 1976). Vervolgens is de volumeverandering over deze periode berekend. Dit is een volumeverandering die over 6 jaar heeft plaatsgevonden. Op basis daarvan is de volumeverandering voor 5 jaar berekend. Deze is gebruikt in de zandbalans.

Dit betekent dat de berekende zandvolumeveranderingen slechts een schatting is van de volumeverandering.

3) Transportrichting import/export van systeem is aangegeven met een transportrichting naar het noorden (zwarte pijlen, grijze pijlen geven de andere mogelijkheden aan). In de volgende paragraaf zal hier verder op worden ingegaan.

4.3 De transportrichting

In deze paragraaf zal op basis van de zandbalans een beschouwing volgen van de mogelijke netto transportrichtingen van en naar de Westerscheldemonnd. Deze beschouwing zal zoverre mogelijk ondersteund worden met gegevens van de hydraulica en de morfologie.

De periode 1975 t/m 1990 wordt hier bekeken, omdat deze periode een eenduidige trend weergeeft (fig. 4.1).

In de periode 1975 t/m 1990 (figuur 4.2) is het zandvolume met ongeveer 120 Mm^3 afgenomen. Vanuit de Westerschelde wordt in dezelfde periode 5 Mm^3 sediment geïmporteerd, verder wordt door het storten netto ongeveer 50 Mm^3 aan het systeem toegevoegd. Dit betekent dat over een periode van 15 jaar 165 Mm^3 is geëxporteerd (overeenkomend met 11 Mm^3 per jaar).

Waar blijft dit sediment?

Om deze vraag te beantwoorden zijn gegevens nodig over de hydraulica van het systeem. Daarbij moet vooral gedacht worden aan de hydraulische randvoorwaarden die de reststroming over lange termijn bepalen. Wat de bijdrage van getijstroming of golven is, is tot dusverre nog niet gekwantificeerd. In het kader van K2000* Kop is reeds onderzoek uitgevoerd naar de rol van het getij in de morfologische ontwikkeling op basis van computermodellen (Svašek, 1998). Daarnaast wordt onderzoek gedaan naar de invloed van golven op de ontwikkeling van de zuidwestkust van Walcheren op basis van meetgegevens. Zolang niet alle aspecten van het sedimenttransport meegenomen worden, is het niet mogelijk om duidelijke uitspraken te doen over de residuele sedimenttransporten. De data uit de studie van Svašek (1998) zijn niet zomaar om te zetten naar netto sedimenttransport, daarom wordt voor de transportrichting gebruik gemaakt van de migratie van de dieptelijnen. De verschuiving van de dieptelijnen van een gebied geven het resultaat van het netto transport weer. Op basis van de migratie van de dieptelijnen in de Westerscheldemonnd (figuur 5.9a) verwacht ik dat een deel van de sediment naar de Oosterscheldemonnd wordt getransporteerd. Een ander deel verdwijnt vermoedelijk van de stortplaatsen naar het zuiden of naar de Noordzee. Er zijn echter te weinig gegevens direct rond dit gebied om dit te ondersteunen. Deze gedachte is gebaseerd op het feit dat er een te grote afname van zand plaats vindt, die niet alleen te verklaren is door export naar de Oosterscheldemonnd. De hoeveelheden sediment die bij S1 worden gestort en weer voor het overgrote deel verdwijnen, doen vermoeden dat een deel van dit materiaal uit het gebied verdwijnt.

De bovenstaande theorie kan worden bevestigd of ontkracht als de resttransporten voor de Westerscheldemonnd worden berekend en gecombineerd met de kennis over transport door golven. Het lopend onderzoek naar de effecten van stormen op de kust van Walcheren kan daar mogelijk een bijdrage aan leveren.

5. INTERNE ZANDBALANS

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zullen de veranderingen van de zandvolumes van de verschillende morfologische eenheden besproken worden (paragraaf 5.2). Deze zandvolumes en de menselijke ingrepen in het vak worden gebruikt om de import/export te bepalen. Op basis van de hydraulica en de import- en exportgegevens zal in paragraaf 5.3 de interne zandbalans behandeld worden.

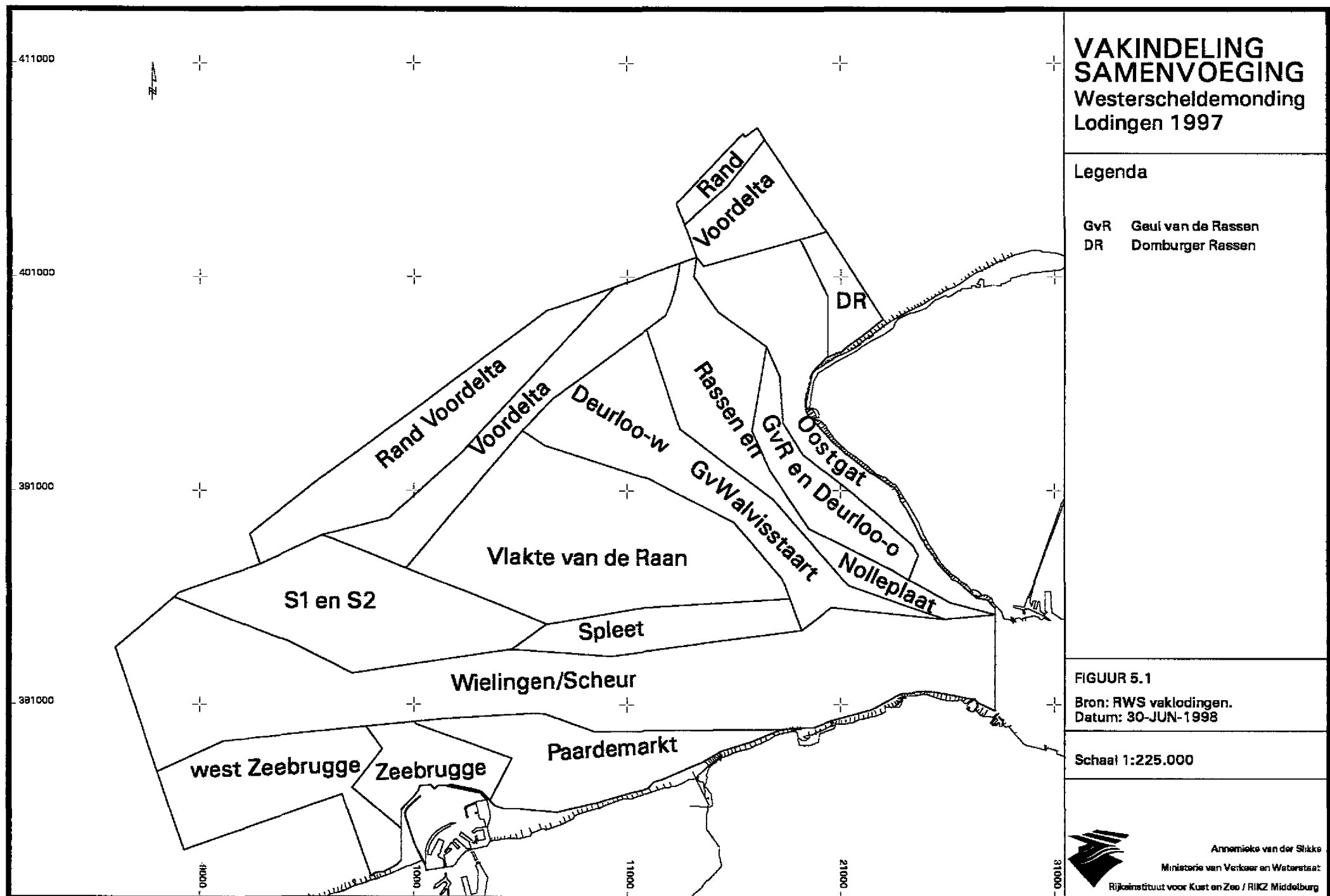
5.2 Veranderingen in zandvolume

5.2.1 Algemeen

In deze paragraaf zullen de verschillende morfologische balansvakken beschreven worden. Allereerst volgt een beschrijving van een aantal samengevoegde vakken van de vaste vakindeling (figuur 5.1). Vervolgens zullen een aantal van deze vakken ook ten opzichte van andere referentieniveau's dan NAP 0 m besproken worden. Tot slot zal het Bankje van Zoutelande nog apart beschreven worden.

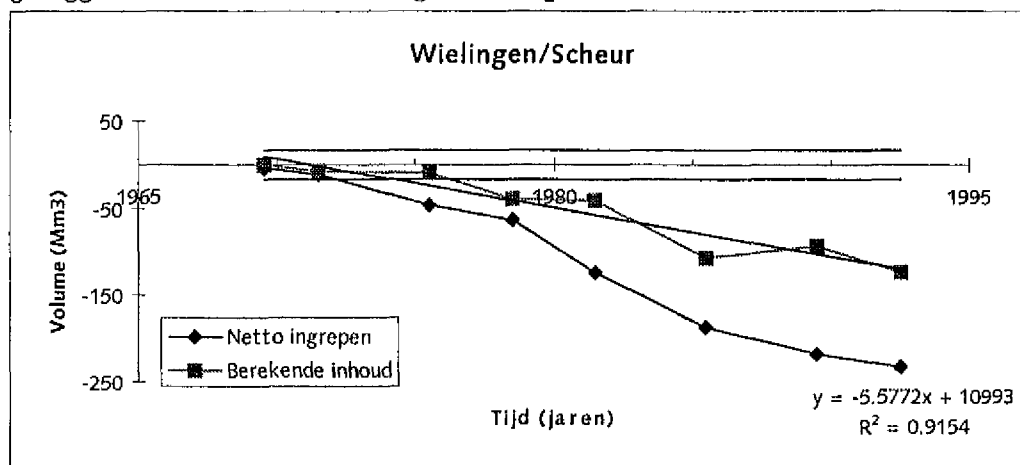
5.2.2 Karakteristieken in volumeveranderingen

Een aantal vakken zijn samengevoegd om zo een duidelijker beeld van de ontwikkelingen te kunnen schetsen (figuren 5.2 t/m 5.3). In deze figuren staan de zandvolumeveranderingen van de verschillende vakken en de netto ingrepen uitgezet tegen de tijd. Voor alle grafieken is het volume van 1969/1970 als uitgangspunt genomen en is het vervolgens het verschil van de jaren met dit jaar berekend. Er is sprake van een duidelijke trend als R^2 groter is dan 0.8. Daarnaast is een foutenmarge aangenomen die overeenkomt met een mogelijke systematische lodingsfout van 0.1 meter (0.1 meter * oppervlak van het balansvak). Als de zandvolumes tussen de lijnen van de foutenmarge blijven, dan betekent dat de veranderingen niet betrouwbaar zijn. In bijlage B1 staan de grafieken van alle vakken weergegeven.



De geulen (figuur 5.2)*Wielingen/Scheur*

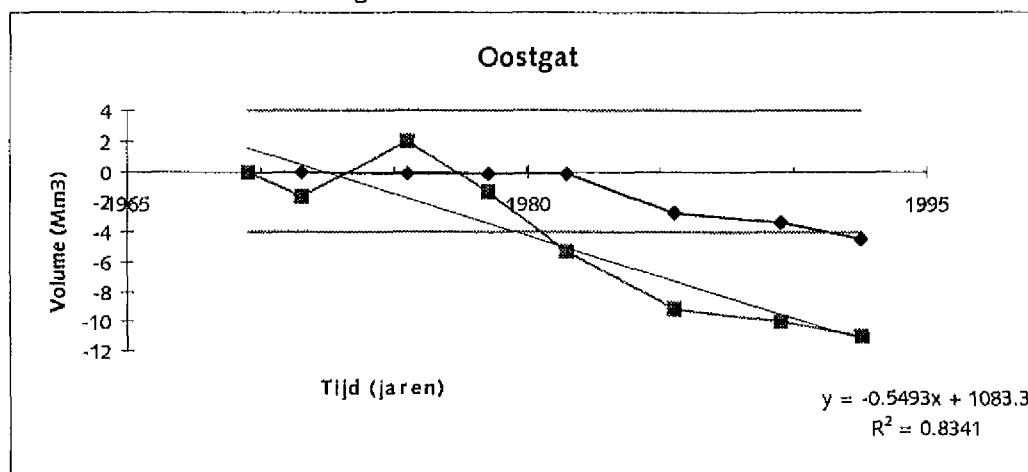
Over de periode 1969 t/m 1992 is het zandvolume van de Wielingen/Scheur met zo'n 125 Mm³ afgenomen. De afname van het volume volgt een duidelijke trend. De afname van het zandvolume is veroorzaakt door de intensieve baggerwerkzaamheden in dit gebied (235 Mm³). Een deel van dit gebaggerde sediment wordt weer afgezet in de geulen.



Figuur 5.2a Cumulatieve zandvolumeveranderingen

Oostgat

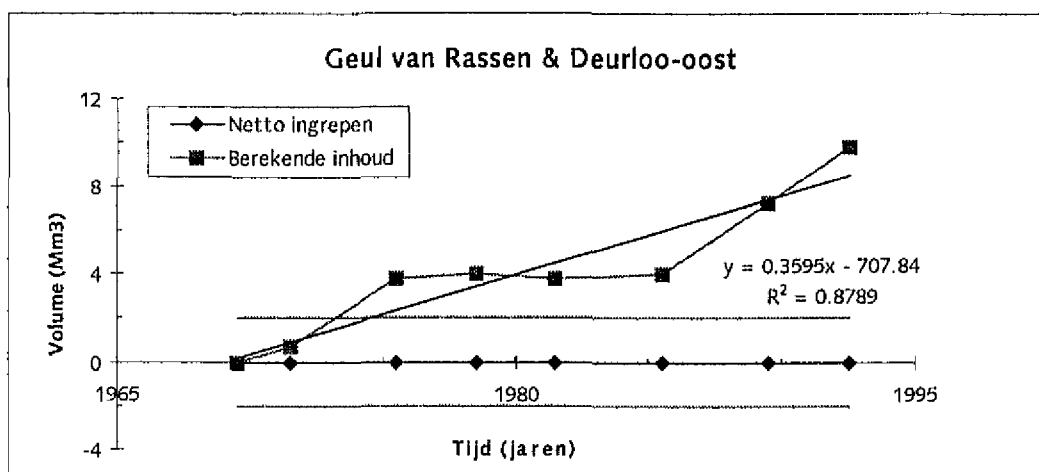
Het Oostgat vertoont een minder duidelijke trend in de verandering van het zandvolume dan de Wielingen/Scheur. Dit is hoogst waarschijnlijk het gevolg van de minder grote menselijke ingrepen in dit systeem. De veranderingen in het zandvolume zijn ook veel kleiner (-13 Mm³), maar dat is ten dele het gevolg van de grootte van het vak. In de periode 1970 t/m 1976 blijft het volume van dit vak ongeveer gelijk en blijft binnen de foutenmarge. Daarna wordt pas een duidelijke trend in de afname van het zandvolume ingezet.



Figuur 5.2b Cumulatieve zandvolumeveranderingen

Geul van de Rassen en Deurloo-oost

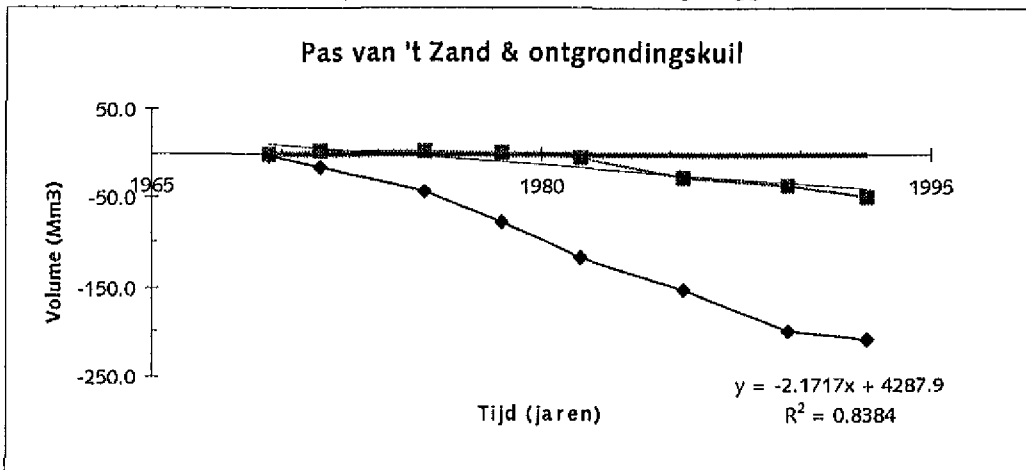
Deze twee geulen vertonen een tegengestelde ontwikkeling ten opzicht van de ontwikkeling van het Oostgat. Het zandvolume van deze twee geulen neemt toe. Binnen deze vakken liggen ook een deel van de banken (Bankje van Zoutelande, de Rassen, Nolleplaat). Het is dus ook mogelijk dat de banken zijn verhoogd of dat door migratie een groter deel van de banken binnen het vak is komen te liggen. Om uitsluitsel te kunnen geven of de geulen ondieper of smaller geworden zijn, zal gekeken moeten worden naar de verandering van het zandvolume op verschillende diepten. Hierop zal in paragraaf 5.2.3 antwoord worden gegeven.



Figuur 5.2c Cumulatieve zandvolumeveranderingen

Pas van 't Zand en de ontgrondingskuilen bij Zeebrugge

In dit vak is duidelijke de invloed van de uitbouw van de haven van Zeebrugge te zien. Tot 1984 blijft het zandvolume ongeveer gelijk, waarna het na 1985 opeens sterk afneemt. Dit komt overeen met het moment waarop de haven van Zeebrugge is uitgebreid (1984). Het volume is door de ontgraving en het uitbaggeren van Pas van 't Zand en andere processen met zo'n 50 Mm³ afgenomen. Terwijl er in deze periode ongeveer 150 Mm³ is gebaggerd.



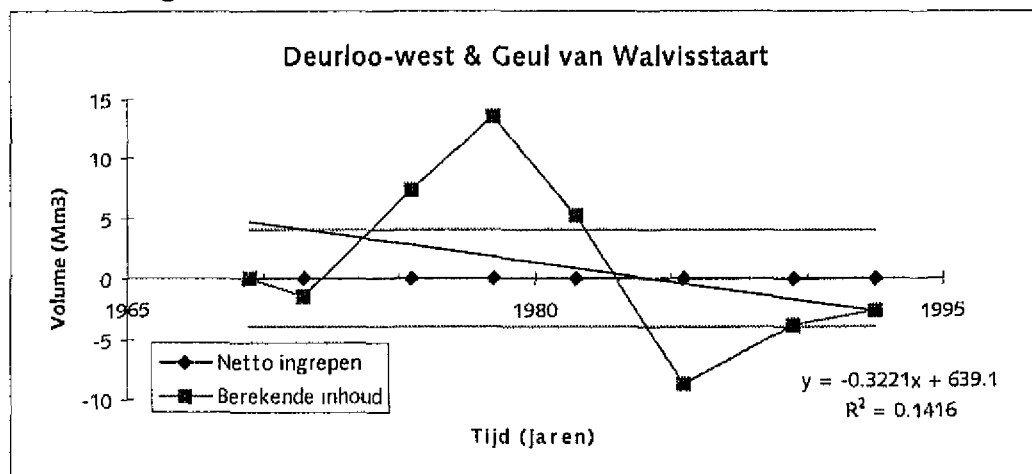
Figuur 5.2d Cumulatieve zandvolumeveranderingen

Een derde van het totale gebaggerde materiaal is dus weer rondgepompt. Bij deze constatering kunnen twee kanttekeningen geplaatst worden. De baggercijfers zijn waarschijnlijk een overschatting waar het om de hoeveelheid zand gaat. In dit vak vallen ook de ontgrondingskuilen,

waardoor een groter zandverlies wordt berekend dan wanneer alleen naar Pas van 't Zand gekeken zou worden.

Deurloo-west en Geul van de Walvisstaart

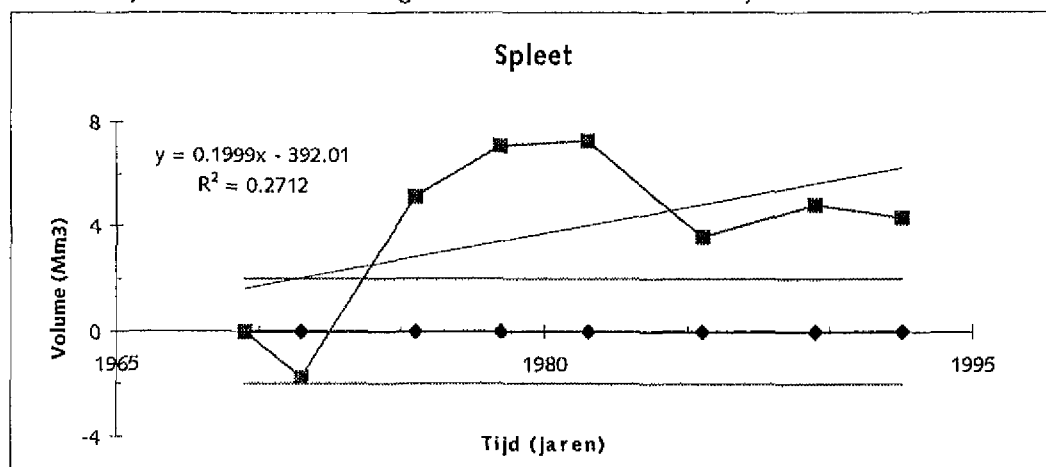
De ontwikkelingen van deze twee geulen is niet eenduidig, er is geen duidelijke trend over deze periode te zien. Tot 1978 neemt het zandvolume toe, vervolgens neemt het af. Het vak bereikt een zandvolume die kleiner is dan in 1969. Na 1985 neemt het zandvolume weer iets toe en komt op ongeveer hetzelfde niveau als in 1969. De veranderingen blijven nagenoegen binnen de band van de foutenmarge.



Figuur 5.2e Cumulatieve zandvolumeveranderingen

Spleet

De Spleet is een geul die evenwijdig met de Wielingen loopt en wordt gescheiden van de Wielingen door een aantal ondieptes. Het zandvolume is over de periode '69 t/m '93 iets toegenomen, maar een duidelijke trend is niet aanwezig. Na 1975 is het volume redelijk stabiel.



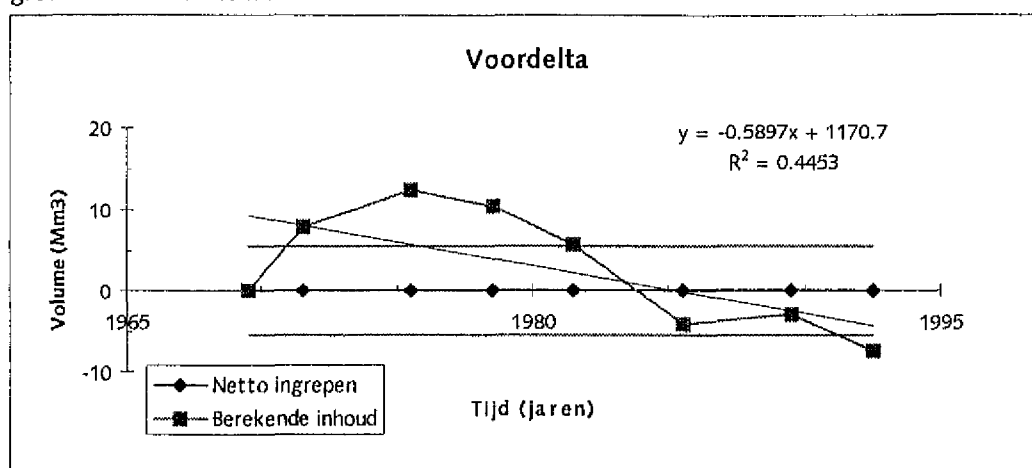
Figuur 5.2f Cumulatieve zandvolumeveranderingen

Voordelta en Banken (figuur 5.3)

Voordelta

De veranderingen van de Voordelta volgen geen eenduidige trend. In de periode t/m 1978 neemt het zandvolume toe, waarna het weer afneemt tot beneden het niveau van 1969. Dit gebied is

echter een moeilijk gebied om de exacte waterhoogte en de plaats te bepalen in verband met de grote afstand van de kust.

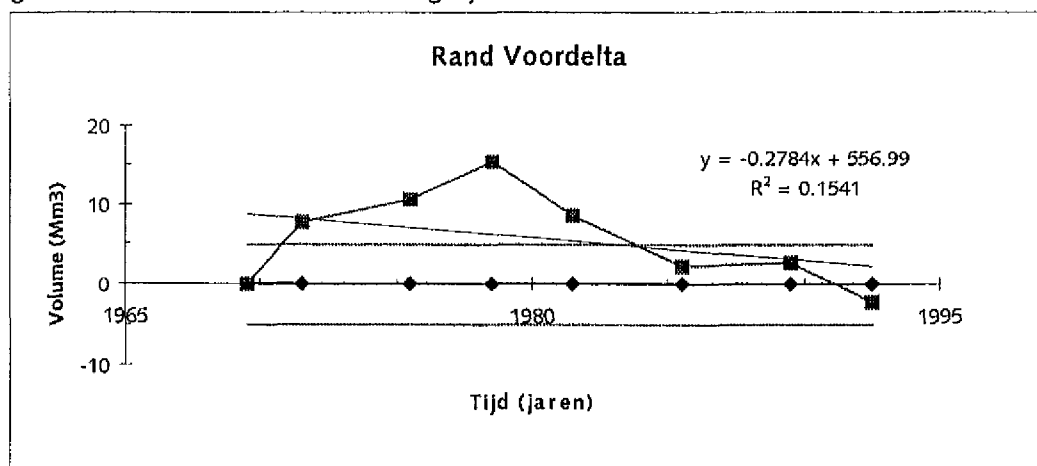


Figuur 5.3a Cumulatieve zandvolumeveranderingen

De plaats is moeilijker te bepalen omdat het gebied ongunstig ligt ten opzicht van de meetstations. Verbetering van de lodingsmethodiek en lodingsapparatuur zal hier waarschijnlijk grotere verbeteringen in de nauwkeurigheid van de lodingen geven, dan de gebieden dicht bij de kust.

Rand voordelta

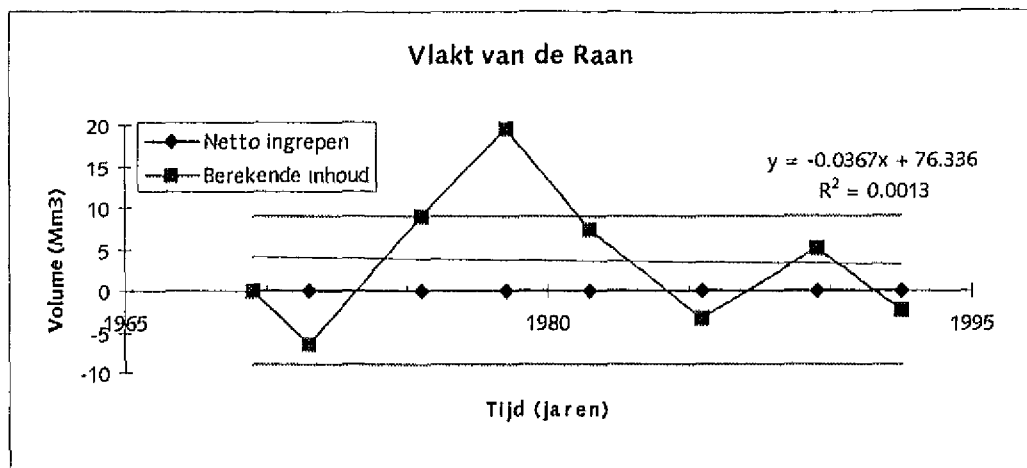
Dit gebied toont grote gelijkenis met de Voordelta. Een toename van het zandvolume tot eind jaren '70 en vervolgens een afname van het zandvolume. Pas in 1992 is het volume echter kleiner geworden dan het volume van het begin jaar 1970.



Figuur 5.3b Cumulatieve zandvolumeveranderingen

Vlakte van de Raan

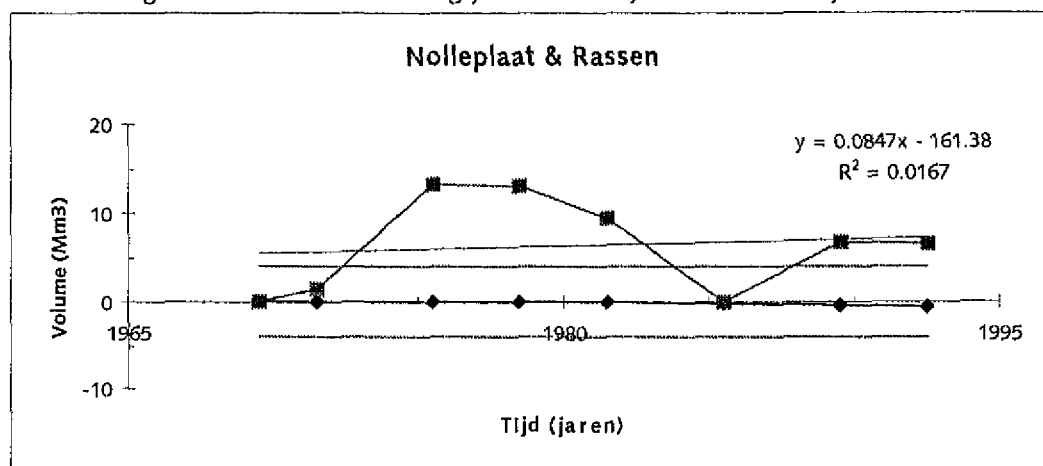
De veranderingen van het zandvolume van de Vlakte van de Raan wisselen sterk, maar blijven rond het volume van 1969. Hetzelfde patroon van veranderingen is te zien bij de Nolleplaat, de Rassen en de Geul van de Walvisstaart en de Deurloo-west.



Figuur 5.3c Cumulatieve zandvolumeveranderingen

Nolleplaat en de Rassen

Zoals hierboven is genoemd vertoont dit morfologische deelgebied een zelfde patroon als de verandering van de Raan. In dit vak zijn de veranderingen echter wel allemaal positief, er is dus sprake van toename van het zandvolume. Het zandvolume neemt echter sinds 1975 af. In paragraaf 4.2 is reeds geconstateerd dat het lodingsjaar 1985 afwijkt van de andere jaren.

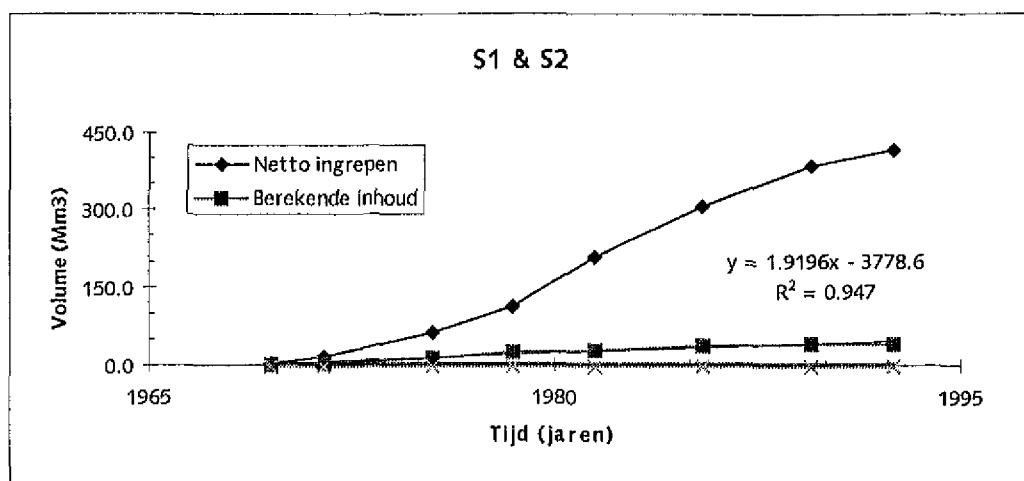


Figuur 5.3d Cumulatieve zandvolumeveranderingen

Stortgebieden en overige gebieden (figuur 5.4)

Stortvak S1 en S2

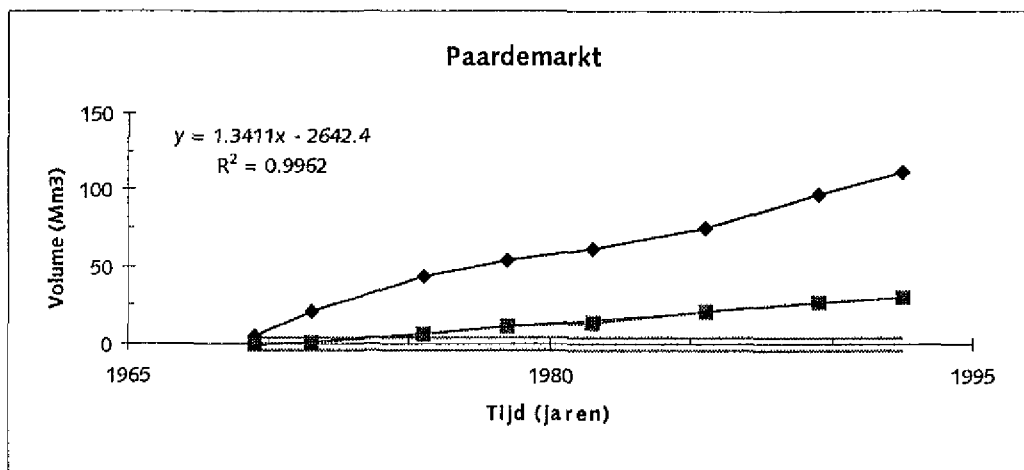
In dit vak is een duidelijke trend van toename van het sediment te zien. Dit is waarschijnlijk allemaal toe te schrijven aan de stortactiviteiten in dit gebied. De volumeveranderingen (40 Mm³ over de gehele periode) zijn klein ten opzichte van de storthoeveelheden (436 Mm³) in dit gebied. Dus slecht een tiende van het totaal gestorte materiaal blijft liggen. Waarschijnlijk is een groot deel van het gestorte materiaal slibrijk (dus een overschatting van het zandvolume). Een deel zal naar de geulen terug worden getransporteerd. Het ziet er naar uit dat het zandvolume een maximum bereikt, dat het gevolg is van de afname van de stortactiviteiten of het gevolg van dat deze locatie verzadigd is.



Figuur 5.4a Cumulatieve zandvolumeveranderingen

Paardemarkt

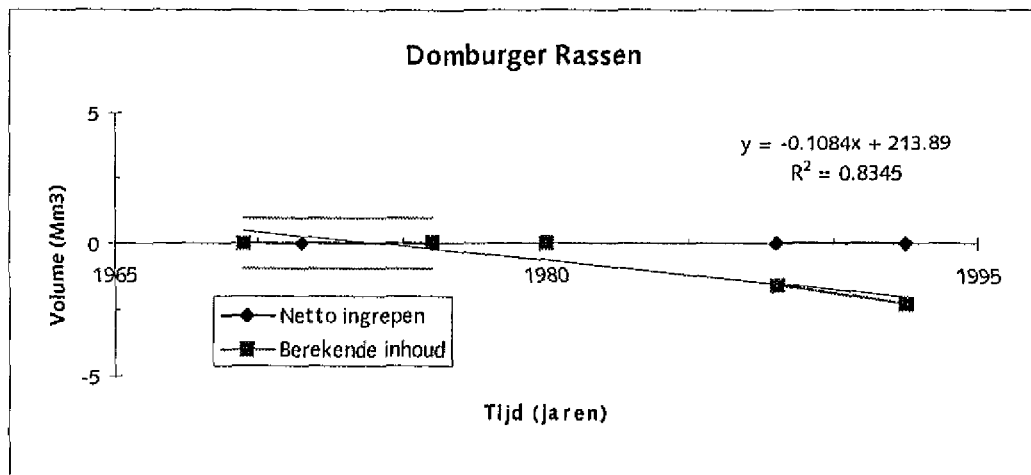
De trend van de veranderingen van het zandvolume in dit morfologisch deelgebied is sterk. Terwijl de storthoeveelheden, die de trend voor het grootste deel bepalen, toch kleiner zijn dan de storthoeveelheden (123 Mm³) bij de stortlocaties S1 en S2. Dit heeft mogelijke als oorzaak dat stroming minder invloed heeft op het gestorte sediment dan bij S1 en S2 en er dus minder sediment weer wordt herverdeeld.



Figuur 5.4b Cumulatieve verandering zandvolume

Domburger Rassen (figuur 5.4).

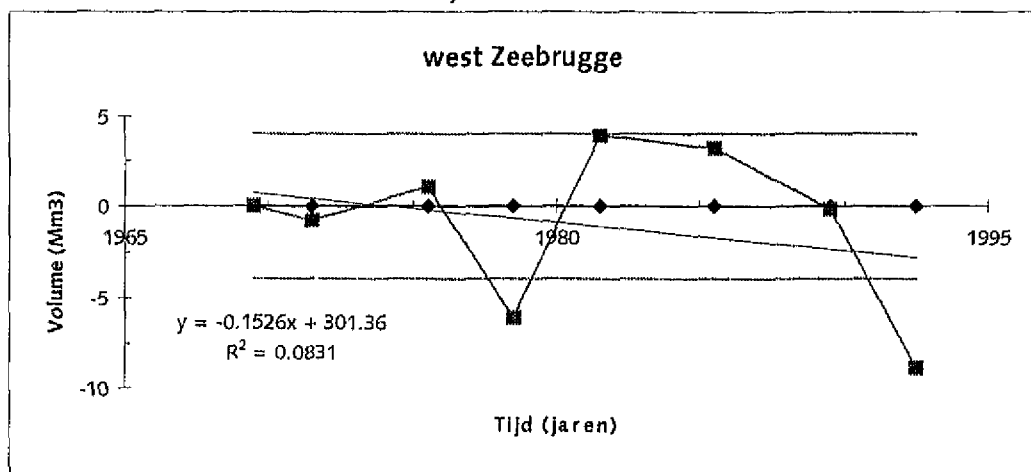
Het zandvolume neemt af, maar de veranderingen zijn erg klein (2 Mm³). Er zijn van dit gebied niet zoveel gegevens, omdat de lodingsfrequentie laag is.



Figuur 5.4c Cumulatieve verandering zandvolume

Westelijk van Zeebrugge

In 1978 is het zandvolume afgenomen, maar is in 1981 weer toegenomen. Dit zijn grote veranderingen in vergelijking met de veranderingen die in de jaren erna plaats vinden. Deze vreemde uitschieter is mogelijk het gevolg van lodingsfouten. Na 1982 neemt het zandvolume geleidelijk aan weer af. De afname wordt in de laatste jaren sterker.



Figuur 5.4d Cumulatieve verandering zandvolume

Samenvattend

Het zandvolume in de hoofdgeulen (Wielingen/Scheur en Oostgat) neemt af. Als gevolg van de uitbouw van de haven van Zeebrugge en de baggerwerkzaamheden neemt ook het zandvolume ten noorden van Zeebrugge (Pas van 't Zand) af. Het zandvolume van de Geul van de Rassen en Deurloo-oost neemt echter toe.

De veranderingen van in het gebied tussen de Geul van de Rassen en de Wielingen (dus de Raan en de Nolleplaat, Rassen) vertonen een sterk fluctuerend beeld zonder duidelijke trend.

Op de stortlocaties, zowel ten noorden als ten zuiden van de Wielingen vertonen toename van het zandvolume.

Een aantal vragen die de grafieken hebben opgeroepen zijn:

- Is de volumeverandering van de Geul van de Rassen het gevolg van een verandering van de geul of het gevolg van verandering van de banken die voor een deel in het vak liggen (paragraaf 5.3).
- Zijn de fluctuaties die banken vertonen het gevolg van lodingsfouten of veranderingen in methode van lodingen of het gevolg van cycliciteit in de morfologische ontwikkelingen (hfst 6)

5.2.3 Volumeverandering, variabele vakindeling

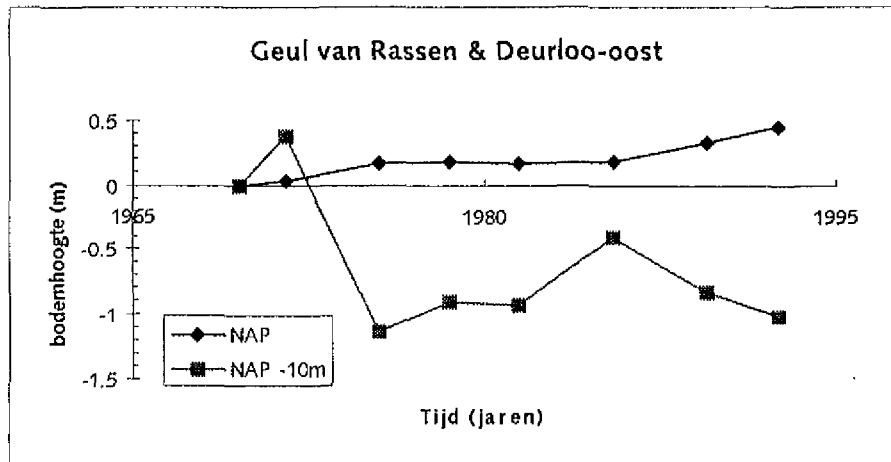
Uit het bovenstaande blijkt dat de berekende zandvolumeveranderingen in de gedefinieerde geulvakken nog geen eenduidige conclusie oplevert te aanzien van de natuurlijke geulontwikkeling. De vaste vakindeling is daarom verder opgedeeld in een aantal zones in de verticaal. Voor de weergave van de ontwikkeling van de vakken is in plaats van het zandvolume de gemiddelde hoogte genomen.

De bodemhoogteveranderingen zijn berekend voor het volume beneden NAP -12m en beneden NAP -10m. Van de berekeningen zullen slechts een aantal deelgebieden besproken worden, omdat een groot aantal van de gebieden voor de verschillende dieptezones dezelfde trend laten zien.

In de onderstaande figuren is de gemiddelde bodemhoogteverandering uitgezet; voor NAP betekent dit de totale volumeverandering gedeeld door het totale oppervlak, voor NAP -10m betekent dit de volumeveranderingen beneden NAP -10m gedeeld door het oppervlak van NAP-10m.

Geul van de Rassen en Deurloo-oost

Uit de balans was een toename van het zandvolume geconstateerd, terwijl op basis van de verschilkaarten (van der Slikke, 1997) verwacht werd dat dit geulsysteem zich in deze periode verder had ontwikkeld. Het is mogelijk dat de verdieping van de geul zich alleen in de diepere delen heeft plaatsgevonden en dat de migratie van banken in het gebied dit beeld overschaduwde. Alleen de geul van de Rassen ligt dieper dan de NAP-10m lijn, wat betekent dat alleen deze geul hier beschouwd wordt.

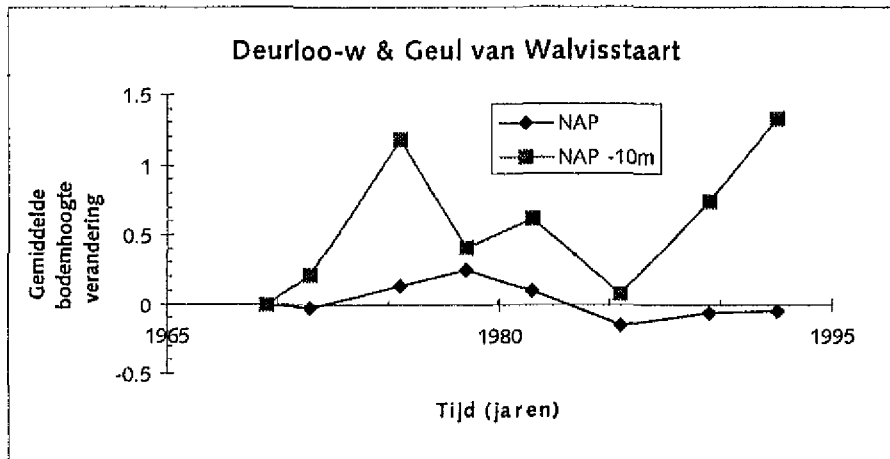


Figuur 5.5 Cumulatieve gemiddelde bodemhoogteverandering

De gemiddelde hoogte beneden NAP -10m van de Geul van de Rassen neemt iets af over de gehele periode. Vooral de sterke daling van de bodem tussen 1972 en 1975 is opvallend. De gemiddelde hoogte van het gehele gebied neemt in de periode 1970 t/m 1992 toe. Blijkbaar is in de zone tussen NAP en NAP -10m sediment bijgekomen, terwijl in de zone beneden NAP -10m sediment is verdwenen.

Deurloo-west en de Geul van de Walvisstaart

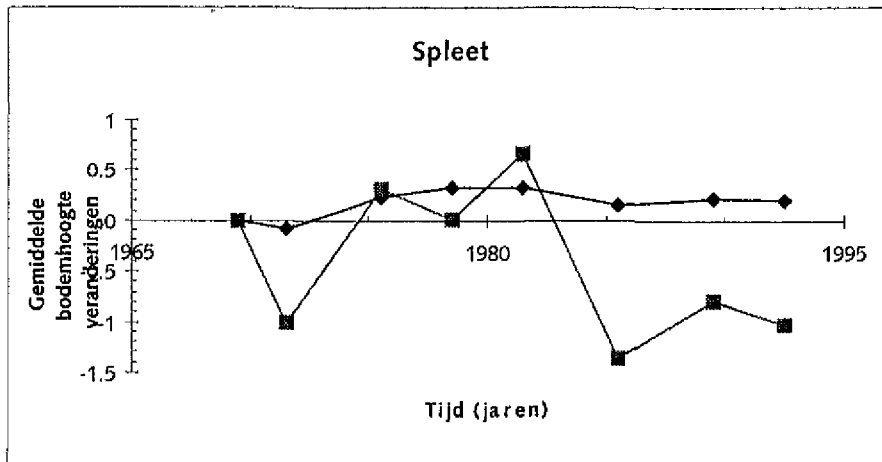
De gemiddelde bodemhoogte van dit deel gebied fluctueert sterk, zowel voor de gehele zone als de zone beneden NAP -10m. De mate van fluctuatie van de bodemhoogte beneden NAP en beneden NAP -10m verschillen. De veranderingen beneden NAP geven minder grote amplitude, wat waarschijnlijk veroorzaakt wordt door de verandering van het oppervlak van NAP -10m. Dit deelgebied laat geen duidelijk lineaire ontwikkeling zien.



Figuur 5.6 Cumulatieve bodemhoogteverandering

Spleet

Voor de ontwikkeling van de Spleet valt een zelfde verhaal te vertellen als voor de Deurloo-oost en de Geul van de Rassen. De ontwikkeling van het zandvolume verloopt voor beide zones ongeveer gelijk. De ontwikkeling van de bodemhoogte verschilt voor de twee zones. De gemiddelde bodemhoogte neemt tot 1975 toe en blijft vervolgens ongeveer stabiel voor de gehele zone. De bodemhoogte voor de zone beneden NAP -10m fluctueert sterk en neemt na 1982 sterk af (2 m).

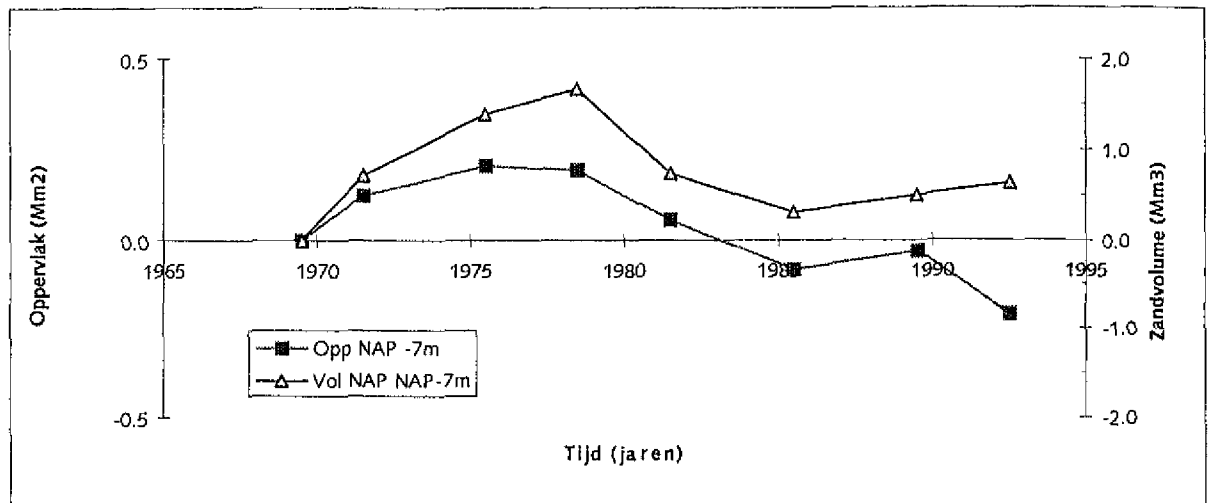


Figuur 5.7 Cumulatieve bodemhoogteverandering

De gemiddelde hoogteveranderingen in de zone beneden de NAP -10m lijn volgt voor een groot deel de ontwikkeling van de hoogte beneden NAP. Na 1982 is er een sterke daling van de gemiddelde hoogte te zien voor de zone beneden de NAP -10m. Er is dus sprake van verdieping van de zone beneden NAP-10m en verondieping van de zone tussen NAP en NAP -10m.

5.2.4 Bankje van Zoutelande

Het Bankje van Zoutelande speelt mogelijk een belangrijk rol in de kustverdediging van zuidwest Walcheren. Voor de scheiding tussen de geul en de bank is hier de NAP-7m lijn genomen i.p.v. de NAP-10m, hierdoor kan de ontwikkeling van de geulen met zekerheid uitgesloten worden.



Figuur 5.8 Ontwikkeling Bankje van Zoutelande (cumulatief)

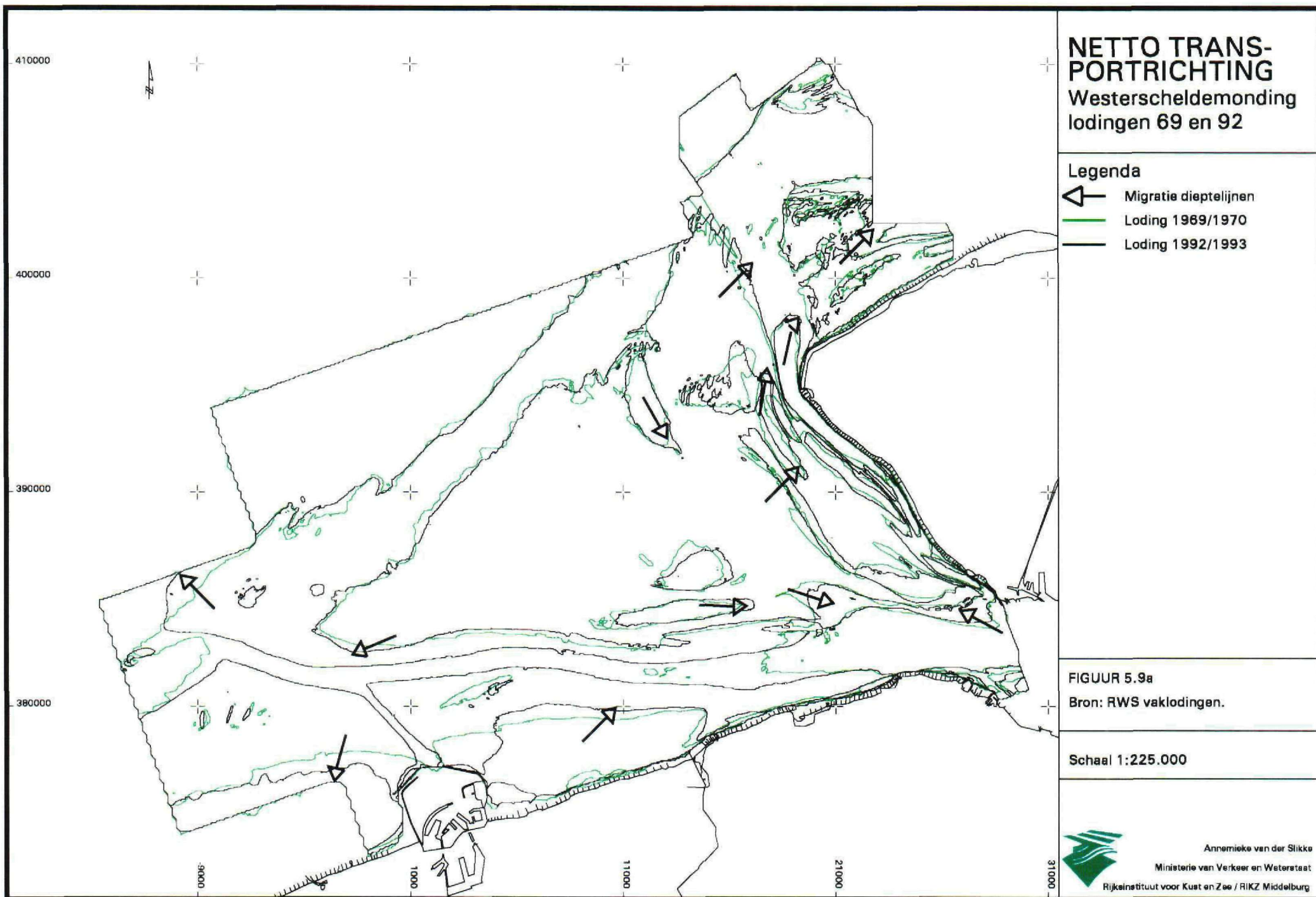
Het zandvolume (tussen NAP om en NAP -7m, als oppervlak is NAP -7m genomen) van het Bankje van fluctueert sterk (figuur 5.8). Het oppervlak neemt na 1975 af, dit betekent dat de basis van het Bankje smaller of korter wordt. Uit de figuur valt op te maken dat het zandvolume en het oppervlak dezelfde ontwikkeling doormaken.

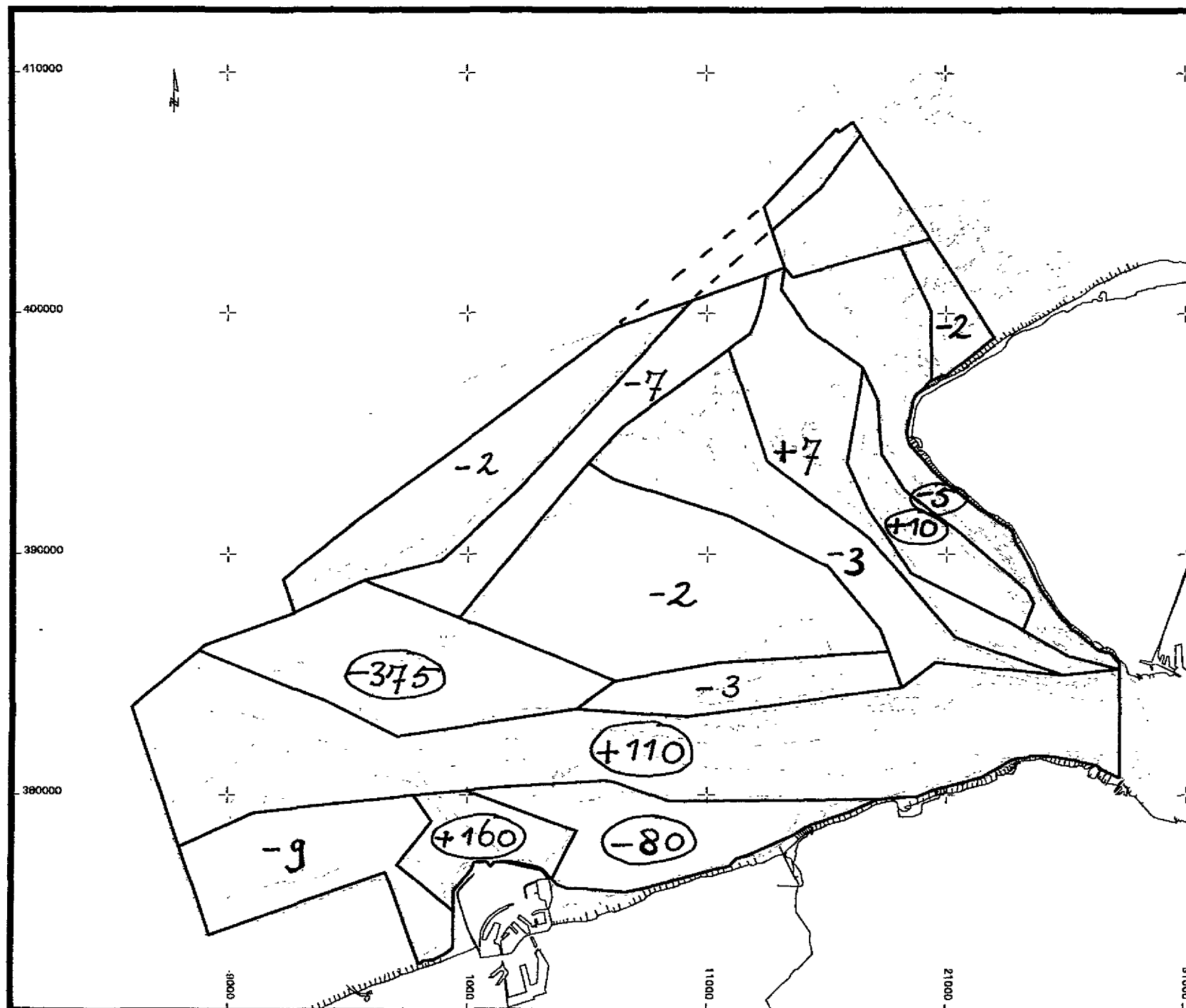
5.3 Interne zandbalans

Voor het opstellen van een interne zandbalans zijn gegevens nodig van de import/export van de verschillende vakken en de netto sediment transportrichting. De natuurlijke import (export) van een vak wordt bepaald op basis van de netto ingrepen in een vak en de zandvolumeveranderingen ($T_{\text{natuur}} = \Delta \text{Inh} - T_{\text{mens}}$). De T_{natuur} wordt gebruikt voor de zandbalans, omdat dit de reactie van het systeem is op de natuurlijke veranderingen en de menselijke ingrepen.

De netto sediment transportrichting kan bepaald worden op basis van de golfcondities en de getijstromingen. Op basis van de huidige kennis van de hydraulica van de Westerscheldemon is het echter moeilijk om de netto sediment transportrichting aan te geven. Voor het bepalen van de netto sedimenttransportrichting is daarom gebruik gemaakt van morfologische gegevens (verschuiving van dieptelijnen, fig. 5.9a). De verschuiving van de dieptelijnen geven het lange termijn resultaat van het sedimenttransport weer.

Uit figuur 5.9a blijkt dat de transportrichting in de omgeving van de Rassen naar het noordoosten is gericht. De Geul van de Walvisstaart en de Deurloo-west hebben zich naar het zuiden verplaatst. Verder zijn de ontgrondingskuilen bij Zeebrugge duidelijk te zien. Deze migratie van de dieptelijnen naar het zuiden in dit gebied zet zich aan de westkant voort. Aan de oostkant is de migratie van de dieptelijnen omgeslagen in een migratie naar het noorden (als gevolg van het storten op de Paardemarkt). Als gevolg van het storten op S1 en S2, heeft de Droogte van Schooneveld zich uitgebreid naar het noorden.





IMPORT/EXPORT

Westerschelddemanding
lodingen 92

FIGUUR 5.9b

Bron: RWS vaklodingen.

Schaal 1:225.000



Annemieke van der Sluis
Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Rijkswaterstaat voor Kust en Zee / RIKZ Middelburg

Tabel 5.1 Veranderingen zandvolumes, periode 1969 t/m 1993

	ΔInh	T_{mens}	T_{natuur}	$R^2 > 0.8 ?$
Wielingen	-125	-235	+110	Ja
Oostgat	-10	-5	+10	Ja
GeulvRassen & Deurloo-oost	+10	0	+10	Ja
Pas v 't Zand & ontgrondingskuil	-50	-210	+160	Ja
S1 & S2	+40	+415	-375	Ja
Paardemarkt	+30	+110	-80	Ja
Spleet	+4	0	+4	Nee
Vlakte v.d Raan	-2	0	-2	Nee
GeulvWalvisstaart & Deurloo-west	-3	0	-3	Nee
Nolleplaat & Rassen	+7	0	+7	Nee
Voordelta	-7	0	-7	Nee
Rand Voordelta	-2	0	-2	Nee
Domburger Rassen	-2	0	-2	Nee
west Zeebrugge	-9	0	-9	Nee

In tabel 5.1 zijn de veranderingen van de zandvolumes en de transporten weergegeven. De gegevens van de T_{natuur} zijn ruimtelijk weergegeven in fig. 5.9b. Als de veranderingen van het zandvolume een duidelijke trend volgen zijn de T_{natuur} zijn de cijfers omcirkeld (de andere getallen niet).

In combinatie met fig. 5.9a kan het volgende gezegd worden over de zandbalans;

Een deel van het gestorte materiaal op S1 & S2 verdwijnt uit de Westerscheldemon (noordelijke pijl in het vak S1 & S2). Naar alle waarschijnlijkheid wordt een deel van het sediment weer terug getransporteerd naar de geulen en de Haven van Zeebrugge. De Wielingen/Scheur ontvangt het grootste deel van het sediment van de stortplaatsen (zowel van S1 & S2 als van de Paardemarkt). Verder vindt er uitwisseling van sediment plaats tussen de geulen (Geul van de Rassen) en de Westerschelde.

De Paardemarkt breidt zich naar het noorden toe uit als gevolg van de stortactiviteiten. Uit de gegevens blijkt verder dat de Pas van 't Zand sediment ontvangt (naar alle waarschijnlijkheid van de stortplaatsen).

Naar de Geul van de Rassen en de Deurloo-oost wordt sediment getransporteerd, dat afkomstig is van de Raan en de Nolleplaat (zie fig. 5.9a). Het Oostgat exporteert sediment naar het noorden.

De export uit de balansvakken is mogelijk kleiner en de import mogelijk groter dan is weergegeven, als gevolg van het feit dat de baggergegevens in zand- en slibhoeveelheden zijn gegeven i.p.v. alleen zandvolumes.

De overige gebieden zijn niet meegenomen in de beschouwing van de interne zandbalans, omdat er geen duidelijke trend aanwezig is in de verandering van het zandvolume en omdat de veranderingen vaak kleiner zijn dan de opgegeven foutenmarge. Hierdoor zijn deze gegevens niet betrouwbaar.

6. DISCUSSIE

6.1 Inleiding

In de voorgaande hoofdstukken zijn al een aantal discussiepunten naar voren gekomen. In dit hoofdstuk zullen een aantal van die discussiepunten alsnog besproken worden. Allereerst komt de nauwkeurigheid van de gegevens aan bod (paragraaf 6.2). Vervolgens wordt de invloed van de mens op de zandbalans (6.2) besproken. Tot slot wordt kort ingegaan op de transportrichting, die grotendeels al is bediscussieerd in paragraaf 4.3 en paragraaf 5.3.

6.2 Nauwkeurigheid

Een belangrijk punt van discussie is de nauwkeurigheid van de data. Als je te maken hebt met gegevens waarvan de nauwkeurigheid niet te achterhalen valt, blijft de nauwkeurigheid van de gegevens altijd een discussiepunt

Lodingsgegevens

Op basis van de onderstaande aanname kunnen de volumeveranderingen gecorrigeerd worden, om zodoende een indicatie te kunnen krijgen van de lodingsfouten;

- Van een gebied met weinig dynamiek wordt aangenomen dat de veranderingen geen morfologische veranderingen zijn, maar lodingsfouten.
- Deze lodingsfouten gelden voor het gehele mondingsgebied.

De Raan is het minst dynamische gebied van de Westerscheldemon. Dit gebied is daarom gekozen als "correctiegebied". De volumeveranderingen in dit gebied zijn omgezet naar hoogteveranderingen, waarna deze hoogteveranderingen omgezet zijn naar volumeveranderingen voor de andere gebieden (op basis van het oppervlak van het betreffende gebied).

De resultaten van deze correctie heeft niet de uitwerking die verwacht werd. Een aantal uitschieters zijn wel gecorrigeerd, maar daar zijn weer andere uitschieters voor in de plaats gekomen (bijlage C1). Op de vakken waar een duidelijke trend te zien was (bijv. Wielingen) heeft de correctie niet veel effect gehad.

De correctie is dus mogelijk niet voor het gehele gebied geldig of/en de verandering op de Raan zijn toch significante morfologische veranderingen.

Bagger- en stortgegevens

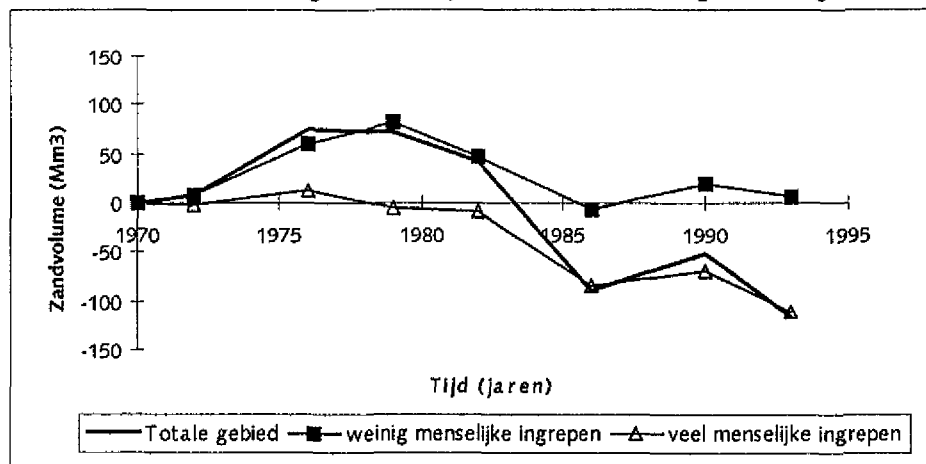
Behalve lodingsdata zijn voor het opstellen van een zandbalans ook gegevens van de bagger- en stortcijfers van belang. Twee belangrijke fouten die in de bagger- en stortcijfers doorwerken voor een (interne) zandbalans zijn de locatie van de activiteiten en de samenstelling van het materiaal. De locatie gaat een minder belangrijke rol spelen als de vakken van de interne zandbalans ruim worden gekozen. De samenstelling van de baggerspecie is voor het opstellen van een zandbalans essentieel. Als de baggerspecie alleen uit slib bestaat hoeft het niet meegenomen te worden in een zandbalans. Er kan vanuit gegaan worden dat de bagger- en stortcijfers een overschatting zijn voor het zandvolume.

Methodiek

De gebruikte methodiek, het interpoleren en het synchroniseren van de lodingen, heeft ook invloed op de betrouwbaarheid van de gegevens. Voor de effecten van deze verwerkingslagen wordt terug verwezen naar paragraaf 3.2.

6.3 Bijdrage van de menselijke ingrepen aan de totale balans

De ontwikkeling van de grootschalige zandbalans is op te delen in twee periodes, 1970 t/m 1975 en 1975 t/m 1993. In de eerste periode is sprake van een toename van het zandvolume in de tweede periode is sprake van een afname van het zandvolume. Het is de vraag wat de invloed van de toenemende baggeractiviteiten in het gebied is en wat de invloed is van de veranderingen van de gebieden waar de mensen geen invloed op hebben uitgeoefend. De Monding is daarom opgesplitst in een gebied waar de mens heeft ingegrepen en een gebied waarin de ingrepen van de mens niet erg groot zijn. Onder het gebied waar de mens veel invloed hebben gehad vallen de hoofdgeulen, de vakken rond Zeebrugge, de stortvakken. In het andere gebied vallen de Raan en de secundaire geulen, de Voordelta en de rand van de Voordelta (zie fig. 5.1). Het vak ten westen van Zeebrugge en het vak van de Domburger Rassen zijn in deze beschouwing niet meegenomen (bijlage C2).



Figuur 6.1 Bijdrage van de verschillende deelgebieden aan de ontwikkeling van het totale zandvolume van de Westerscheldemon

De toename van het zandvolume in de eerste periode wordt blijkbaar voornamelijk bepaald door de gebieden waar de mensen geen duidelijke invloed hebben uitgeoefend. Als de baggeractiviteiten toenemen, wordt de totale volumeveranderingen bepaald door het gebied waar de mensen het meest invloed hebben gehad.

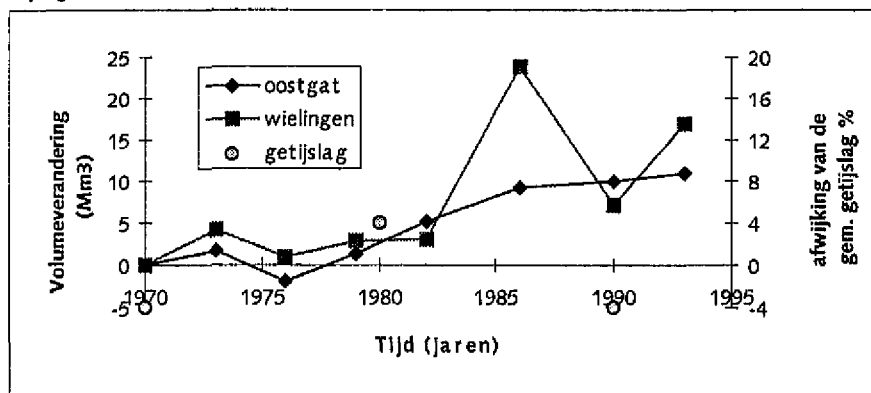
Het blijft echter vreemd dat het zandvolume van de Westerscheldemon gebied afneemt, terwijl er netto gezien sediment gestort wordt (figuur 4.1). Uit de interne zandbalans valt op te maken dat bijna alle gebieden exporterend zijn. Verder was in de interne zandbalans te zien dat het exportgetal van de stortlocatie S1 en S2 ruim twee keer zo groot is dan de import van de Wielingen/Scheur. Hieruit valt op te maken dat een groot deel van het sediment de Westerscheldemon verlaat via de stortlocatie S1 en S2.

6.4 Invloed van de 18.6 jarige getijcomponent

Een punt van discussie dat uit figuur 6.1 te halen is, is de reactie van de morfologie op de 18.6 jarige van het getij. Het getij heeft een 18.6 jarige component, waardoor de getijslag met 4% bij Vlissingen verandert (Dillingh en Heinen, 1994 in Israël en Huijs, 1998).

Het maximum van deze getijcomponent valt in 1980, de minima rond 1970 en 1980 (Mol et al. 1997). Bij het maximum zouden de geulen kunnen reageren en zou het natte volume van de geulen moeten toenemen.

Om een goed beeld van de reactie van de geulen op de verandering van getij weer te geven, zijn twee geulen uitgekozen waar weinig is ingegrepen (met de Wielingen wordt hier balansvak 1, bijlage A3 bedoeld).



Figuur 6.2 Veranderingen van natte volume

Uit de figuur blijkt dat de veranderingen van het natte volume niet zo'n duidelijke cyclus vertoont. Blijkbaar zijn de veranderingen dan ook geen reactie op 18.6 jarige getijcomponent, maar misschien onnauwkeurigheden in de lodingen.

6.5 Transportrichting

Een belangrijk deel van het opstellen van een zandbalans is het sluitend maken van de balans door de transportrichting tussen de verschillende balansvakken aan te geven. Uit hoofdstuk 4 en 5 is gebleken dat er nog de nodige kennis ontbreekt om met zekerheid een uitspraak te doen over de transportrichting van en naar en in de Westerscheldemon. Daarbij speelt nog de bovengenoemde onzekerheid in de gegevens. Op basis van de verschillende gegevens kan toch geconcludeerd worden dat in het noorden van de Westerscheldemon het sediment naar de Oosterscheldemon wordt getransporteerd. Terwijl op basis van de veranderingen van de zandvolumes bij de stortvakken S1 en S2 de transportrichting naar de Noordzee (noord/oosten) en naar de Wielingen/Scheur (zuid/zuidoosten). Het sediment dat wordt geïmporteerd in de Wielingen/Scheur moet toch ook ergens vandaan komen. Hier komt echter de onzekerheden in de bagger- en stortgegevens weer om de hoek kijken. Als de bagger- en stortgegevens een overschatting zijn van het zandvolume, dan komen uit de berekeningen van de import en export geheel andere getallen. Om de interne zandbalans met zekerheid op te kunnen stellen zijn dus gegevens van het zandvolume van de bagger- en stortspecie nodig (helaas zijn deze niet aanwezig) en een beter beeld over de bijdrage van de golven en de getijstromingen aan het netto transport.

7. CONCLUSIE

7.1 Veranderingen van het zandvolume

- Het zandvolume van de Westerscheldemon is in de periode 1969 t/m 1993 met 115 Mm^3 (+ of - 70 Mm^3) afgenomen. Er is een omslag in de ontwikkeling van het zandvolume van een toename naar een afname rond 1975. De foutenmarge is de vermenigvuldiging van het oppervlak van het balansvak en een aangenomen stochastische fout (0.1m) in de lodingen. In de periode is netto 80 Mm^3 gestort in het gebied.

De zandvolumes die hieronder staan beschreven volgen alle een duidelijke trend (trendlijn hebben dan de eigenschap $R^2 > 0.8$). De volumeveranderingen over de periode 1969 t/m 1993 zijn groter dan de foutenmarge, wat betekent dat de richting van de trendlijn betrouwbaar is.

- Het zandvolume van de Wielingen/Scheur is in deze periode met 120 Mm^3 (+ of - 17 Mm^3) afgenomen, als gevolg van verdiepingswerkzaamheden (230 Mm^3 gebaggerd).
- In het Oostgat is het zandvolume met 10 Mm^3 (+ of - 4 Mm^3) afgenomen. Tot eind jaren tachtig is het zandvolume vrij stabiel en blijven de veranderingen tussen de foutenmarge van 4 Mm^3 schommelen. In de gehele periode is in dit vak totaal 5 Mm^3 zand gewonnen.
- In tegenstelling tot de andere geulen neemt het zandvolume van de Deurloo-oost en de Geul van de Rassen toe met 7 Mm^3 (+ of - 2 Mm^3). Uit verdere bestuderen van dit vak blijkt dat het zandvolume in de geul (beneden de NAP -10m) is afgenomen.
- Door de baggerwerkzaamheden (205 Mm^3 gebaggerd) en de ontgronding bij Zeebrugge, is het zandvolume van het gebied rond Zeebrugge met 50 Mm^3 afgenomen (+ of - 2 Mm^3).
- De Droogte van Schooneveld is in zandvolume toegenomen (40 Mm^3 + of - 3 Mm^3) als gevolg van stortactiviteiten (415 Mm^3 gestort).
- Ook het zandvolume van de Paardemarkt is, als gevolg van stortactiviteiten (110 Mm^3 gestort), toegenomen met 30 Mm^3 (+ of - 4 Mm^3).

De veranderingen in het zandvolume in de overige vakken fluctueert sterk in vergelijking met de veranderingen van de zandvolumes van de hierboven beschreven gebieden. De veranderingen van het zandvolume blijft voor een aantal van deze vakken ook ruim binnen de foutenmarge. Dit betekent dat de berekende zandvolumes lodingsfouten of veranderingen van het zandvolume zijn. Een aantal voorbeelden:

- Het zandvolume van de Vlakte van de Raan neemt met 2 Mm^3 af, terwijl de foutenmarge 9 Mm^3 bedraagt.
- De veranderingen in zandvolume (3 Mm^3) van de Geul van de Walvisstaart en Deurloo-west zijn ongeveer even groot als de foutenmarge (+ of - 4 Mm^3).

Geconcludeerd kan worden dat de gebieden waar de mensen hebben ingegrepen het meest veranderen. In de geulen het Oostgat, de Geul van de Rassen en Deurloo-oost volgen de veranderingen van het zandvolume een duidelijke trend en zijn de veranderingen groter dan de foutenmarge. De veranderingen in de zandvolumes van de overige gebieden volgen geen duidelijke trend en zijn vaak kleiner dan de foutenmarges.

7.2 Zandbalans

Over de periode 1970 t/m 1995 is ongeveer 120 Mm^3 (+ of - 70 Mm^3) sediment uit de Westerscheldemon geëxporteerd. Vanuit de Westerschelde is ongeveer 40 Mm^3 geïmporteerd. Dit betekent dat 160 Mm^3 vanuit de Westerscheldemon naar de Noordzee, de Oosterscheldemon en de Belgische kust is geëxporteerd. Hoe de verdelingen van het sedimenttransport over deze drie gebieden is, is niet vastgesteld.

Er zijn op dit moment te weinig gegevens over de transportrichting bekend om de interne zandbalans sluitend te maken. Daarnaast zijn de veranderingen van de zandvolume van een aantal vakken van de Westerscheldemon kleiner dan de foutenmarge, waardoor het niet verstandig is om op basis van deze gegevens de balans verder uit te werken.

7.3 Beperkingen

- Bij de veranderingen van de zandvolumes is een foutenmarge van de lodingen van 10 centimeter aangenomen. Dit is een schatting van de systematische fout die in de lodingen kan optreden.
- De gegevens van de bagger- en stortcijfers zijn gegevens van zand en slib. Voor de zandbalans worden deze cijfers niet gecorrigeerd op de aanwezigheid van slib, wat betekent dat de gegevens als een bovengrens geïnterpreteerd moeten worden.
- Het samenvoegen van bodemgegevens door middel van synchronisatie om tot een representatieve bodem te komen voor een vooraf gekozen jaar, introduceert fouten. De grootte van de fout is afhankelijk van de dynamiek van het gebied.
- Door de in deze studie gekozen vakindeling kunnen de veranderingen in zandvolumes van de banken en de oevers niet goed bestudeerd worden. In de huidige vakindeling maken banken en oevers soms deel uit van geulvakken.
- Er zijn nog te weinig gegevens van de transportrichtingen in de Westerscheldemon om de veranderingen van de zandvolumes van de verschillende vakken ruimtelijk aan elkaar te koppelen.

8. AANBEVELINGEN

De grootste veranderingen in de zandvolumes zijn opgetreden in de Wielingen/Scheur, Oostgat, Deurloo-oost en de stortlokaties. Deze gebieden zijn bepalend voor de ontwikkeling van de gehele Westerscheldemond, daarom zou vervolg onderzoek voornamelijk op deze gebieden gericht moeten zijn. Hierbij moet vooral gedacht worden aan onderzoek dat antwoord kan geven op de vraag waar het sediment naar toe wordt getransporteerd;

- Welke rol spelen de stormen in de transporten door het Oostgat. Zijn daarbij vooral de zuidwester stormen (aanvoer van sediment van de Rassen) belangrijk of de noordwester stormen, die zand kunnen opwoelen bij de Rassen.
- Hoeveel sediment verdwijnt van de stortplaats S1 naar de Noordzee? Deze vraag is vooral van belang, omdat dit een antwoord kan zijn voor de export van sediment van de gehele Westerscheldemond. Vragen die hierbij van belang zijn, zijn; Welke proces is hier het belangrijkste voor het sedimenttransport; de golfgedreven- of getijgedrevenstroming of een combinatie van die twee? Hoeveel invloed heeft het moment (getijfase) van storten op de transportrichting?
- Hoeveel van het gestorte sediment wordt terug naar de geulen en de haven van Zeebrugge getransporteerd? Deze vraag is van belang, omdat het bij de baggeractiviteiten om grote getallen gaat (waardoor ze veel invloed hebben op de zandbalans).

De veranderingen van de zandvolumes van de secundaire geulen, de banken en de vooroever waren klein in verhouding met de foutenmarge. Dit kan worden opgelost door nauwkeuriger te loden (wat al optimaal gebeurt), door de volumeveranderingen over een langere reeks te bestuderen of door de balansvakken te vergroten. Hoe lang de gegevens reeks en hoe nauwkeurig de gegevens worden, er blijft altijd het probleem van de grenzen leggen tussen de geulen en de banken.

Voordat deze gebieden verder bestudeerd worden, is het belangrijk inzicht te krijgen in de transportcapaciteit van deze gebieden.

- Wat is de reststroming van het sediment op de Raan als gevolg van getijgedrevenstromingen?
- Bij welke golfhoogte gaan golven een rol spelen in het transport van sediment? Wat is de transportcapaciteit onder deze omstandigheden?
- Is netto gezien de getij- of de golfgedrevenstroming dominant?

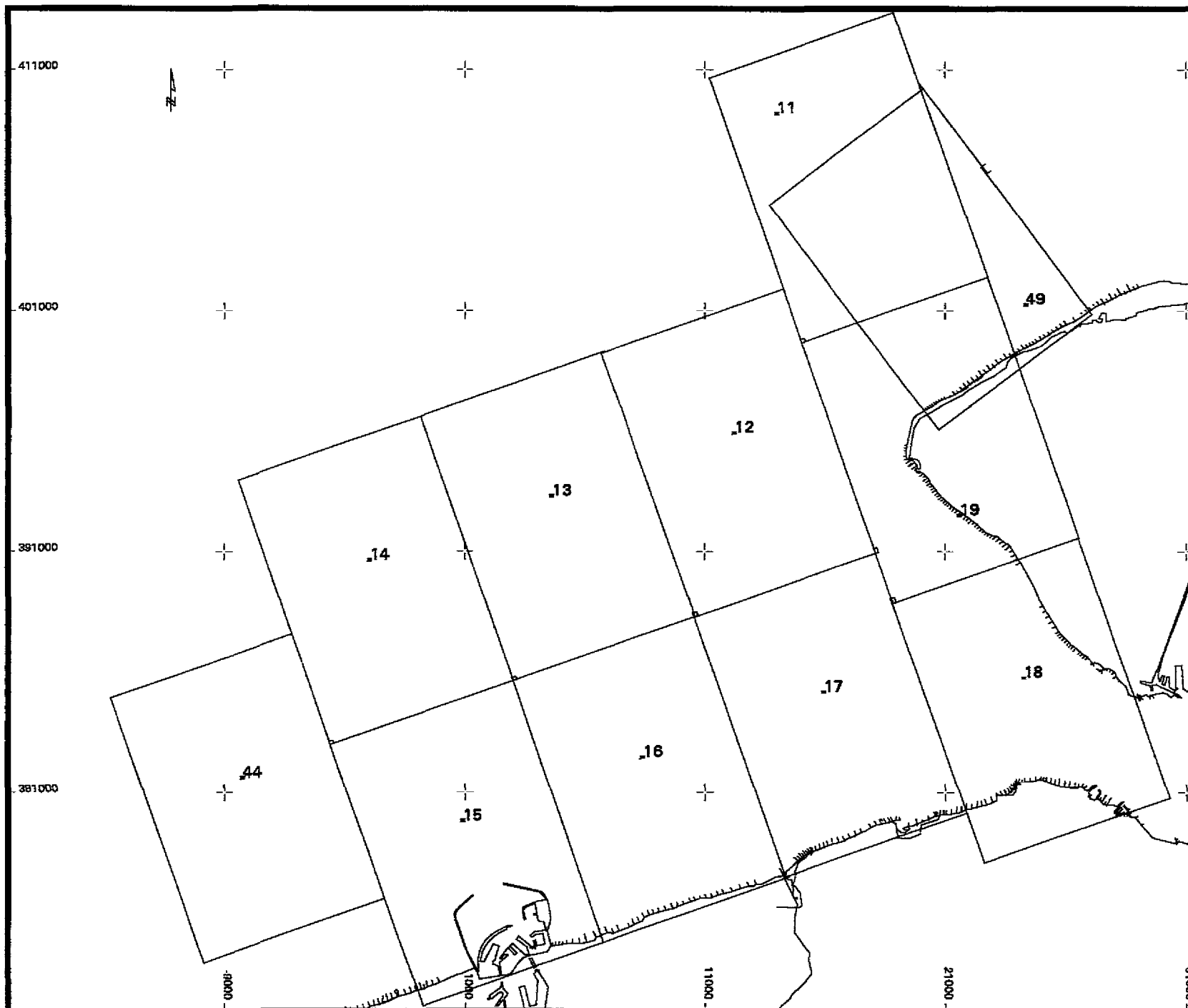
Aanbevelingen betreffende de methodiek

- Het bepalen van het effect van de keuze van de synchronisatie van de bodemgegevens. Door een andere combinatie van de lodingsgegevens (voor een aantal lodingsvakken andere jaren kiezen) samen te stellen en de volumes opnieuw te berekenen.
- Het bepalen van het effect van de keuze van de vakindeling. Dit kan door de vakken iets te verschuiven en kijken of de zandvolumes veranderen.
- Samenvoegen of splitsen van een aantal vakken, om zodoende te kijken of de trend dan duidelijker of onduidelijker wordt (in termen van R^2). Hierbij moet vooral gedacht worden aan de Raan.
- Voortaan de percentages zand van de baggerspecie bepalen.
- De lodingen zoveel mogelijk in 1 jaar meten. (zoals in 1997 is gedaan)

De gegevens van dit onderzoek (bodems, vakindeling en de ruwe resultaten van de volumes) zouden gearchiveerd moeten worden (d.w.z. opslaan en toegankelijk maken).

9. LITERATUUR

- Berg van den, J.H., 1987. Toelichting bij de isallobatenkaart Voordelta 1975-1984, nota ZL 87.0020.
- Bogaard uit den, L.A., 1991. Relatie zandbalans Westerschelde met de morfologie van de eb-getijdedelta en kust, Universiteit Utrecht, Faculteit der Ruimtelijke Wetenschappen, GEOPRO 1991.021
- Bogaard uit den, L.A., 1995. Zandbalans Westerschelde. 1955 - 1994. Universiteit Utrecht, Faculteit der Ruimtelijke Wetenschappen, IMAU Rapport 95-0
- Enkevort van, I., 1996. Morfologische onderzoek Westerschelde monding. Deel 1 en 2. . Universiteit Utrecht, Faculteit der Ruimtelijke Wetenschappen, IMAU Rapport 96-21.
- Dillingh, D. P.F. Heinen (1994). Zeespiegelstijging, getijdeverandering en deltaveiligheid. Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor kust en Zee. Rapport RIKZ-94.026
- Israël C.G., S.W.E. Huijs, 1998. Zandbalans Westerschelde 1994-1997, Notitie NWL-98.15
- Looft de A.P., H.J. Verhagen, 1986. Mondingsgebied golfklimaatgegevens, bodemligging en morfologische processen Rapport GWWS-86.404 1986
- Ministerie van Volksgezondheid en Leefmilieu-Beheerseenheid van het Mathematische Model van de Noordzee en het Scheldeëstuarium (IHE-BMM) en Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap/ departement Leefmilieu en Infrastructuur Administratie Waterinfrastructuur en Zeewezen, 1993. Ecologische impact van baggerspecieoplossingen voor de Belgische kust
- Mol, G., A.M. van Berchum, G.M. Krijger (1997). De toestand van de Westerschelde aan het begin van de verdieping 48'/43'. Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor kust en Zee. Rapport RIKZ-97.049
- Roelse P., 1996. Evaluatie van zandsuppleties aan de Nederlandse kust 1975-1994. Rapport RIKZ-96.028
- Slikke van der M.J., 1997. Grootschalige zandbalans van de Westerscheldemonding (1969-1993). Een inventarisatie van de dieptegegevens. IMAU-rapport R97-18
- Spek van der, A., 1997. De geologische opbouw van de ondergrond van het mondingsgebied van de Westerschelde en de rol hiervan in de morfologische ontwikkeling. Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, Afdeling Geo-Marien en Kust.
- Storm, C., P. Bollebakker, J. de Jong en G. Mol, 1994. Nauwkeurigheid zandbalans Westerschelde 1965-1990 en aanbevelingen ter optimalisatie. Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee, Rapport RIKZ-94-008.
- Svašek, 1995. KUST*2000. Definitiestudie: Westerscheldemond (no. 1).
- Svašek, 1997. Getijanalyse Westerscheldemond.
- Svašek, 1998. De rol van het getij in de morfologische ontwikkeling van de Westerscheldemond, een modelmatige onderbouwing, conceptrapport
- Postma, R., J. Mulder, T. Louters, F. Hallie en F. de Vos, 1991. Een kwalitatieve prognose van de morfologie van de Oosterschelde-buitendelta in 2010. Rijks Universiteit Utrecht, Geografisch Instituut, Vakgroep Fysische Geografie, Instituut voor Ruimtelijk Onderzoek, Rapport GEOPRO 1991.10
- Westlake S.J., P.F. Heinen, S. Knudsen, P. Heddinga, 1996. Accuracy of Nourtec bathymetric survey, Rijkswaterstaat, National Institute for Coastal and Marine Management/RIKZ, Coastal Research Station, Danish Coastal Authority.



OVERZICHT RWS VAKLODINGEN Westerscheldemonding Loding vanaf 1960

BIJLAGE A1

Bron: RWS vaklodingen.
Datum: 30-JUN-1998

Schaal 1:225.000



Annemieke van der Sluis
Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Rijkswaterstaat voor Kust en Zee / RIKZ Middelburg

BIJLAGE A2 Overzicht beschikbare grid van de Westerscheldemonding

Vak Jaar	11	12	13	14	15	16	17	18	19	44	49
64	.						.	.	.		
65		.									
66			.			.					
67	.							.	.		
68		.					.				
69											
70											
71											
72											
73				.	.	.					
74	.	.					.	.	.		
75											
76											
77					.	.				.	
78											
79				.							
80	.	.	.				.	.	.		
81											
82											
83					.	.				.	.
84							.	.			
85	.								.		
86											
87	.				.	.			.	.	
88	.						.	.	.		
89											
90					.	.	.		.	.	
91	.										
92											
93											
94	.						.	.	.		
95					.	.				.	.
96	.						.		.		

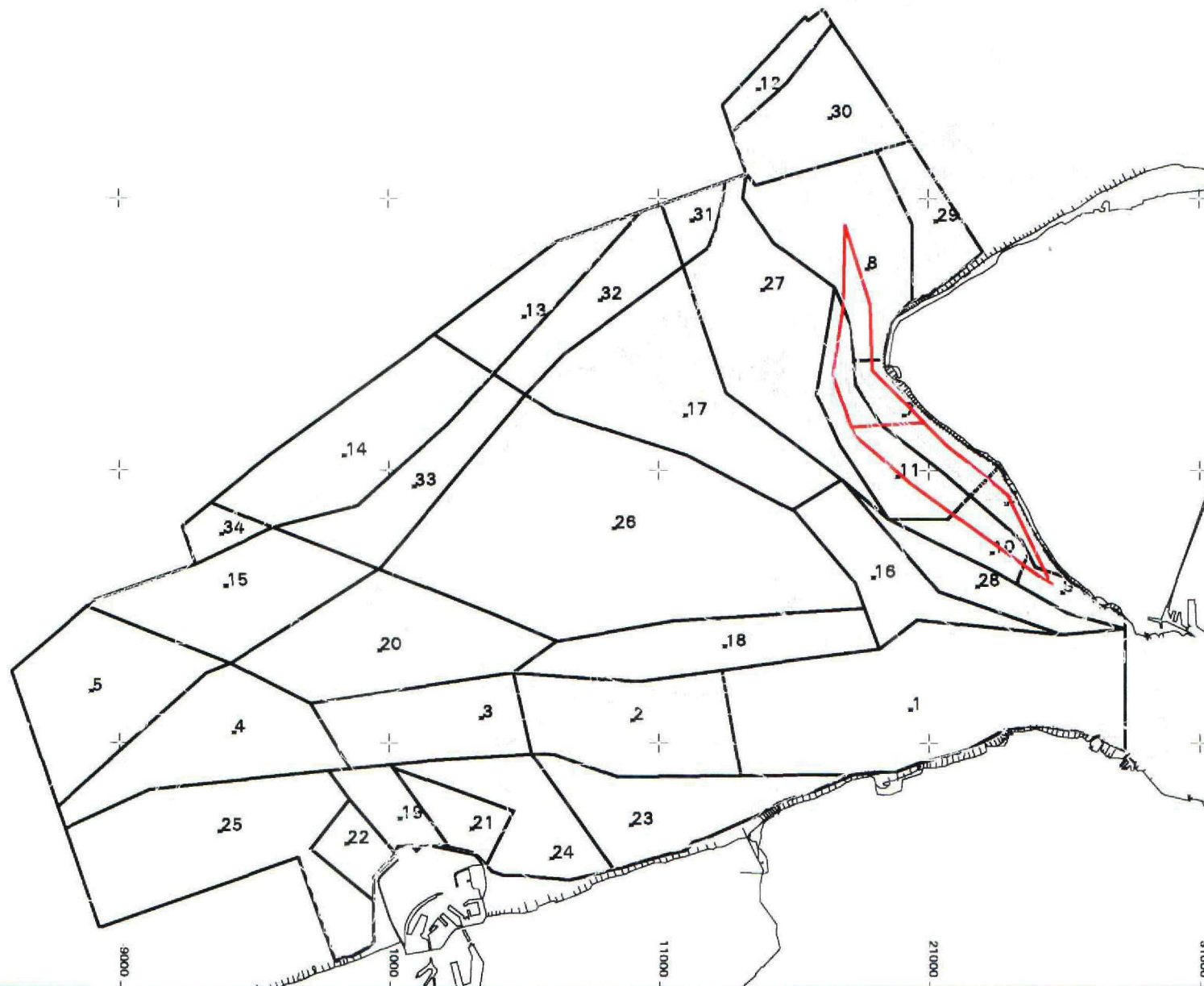
■ zijn gebruikt grids

411000

401000

391000

381000



VAKINDELING INTERNE BALANS

Westerscheldedemonding Lodingen 1997

Legenda

- Balansvakken
- Bankje van Zoutelande
Dieptelijnen

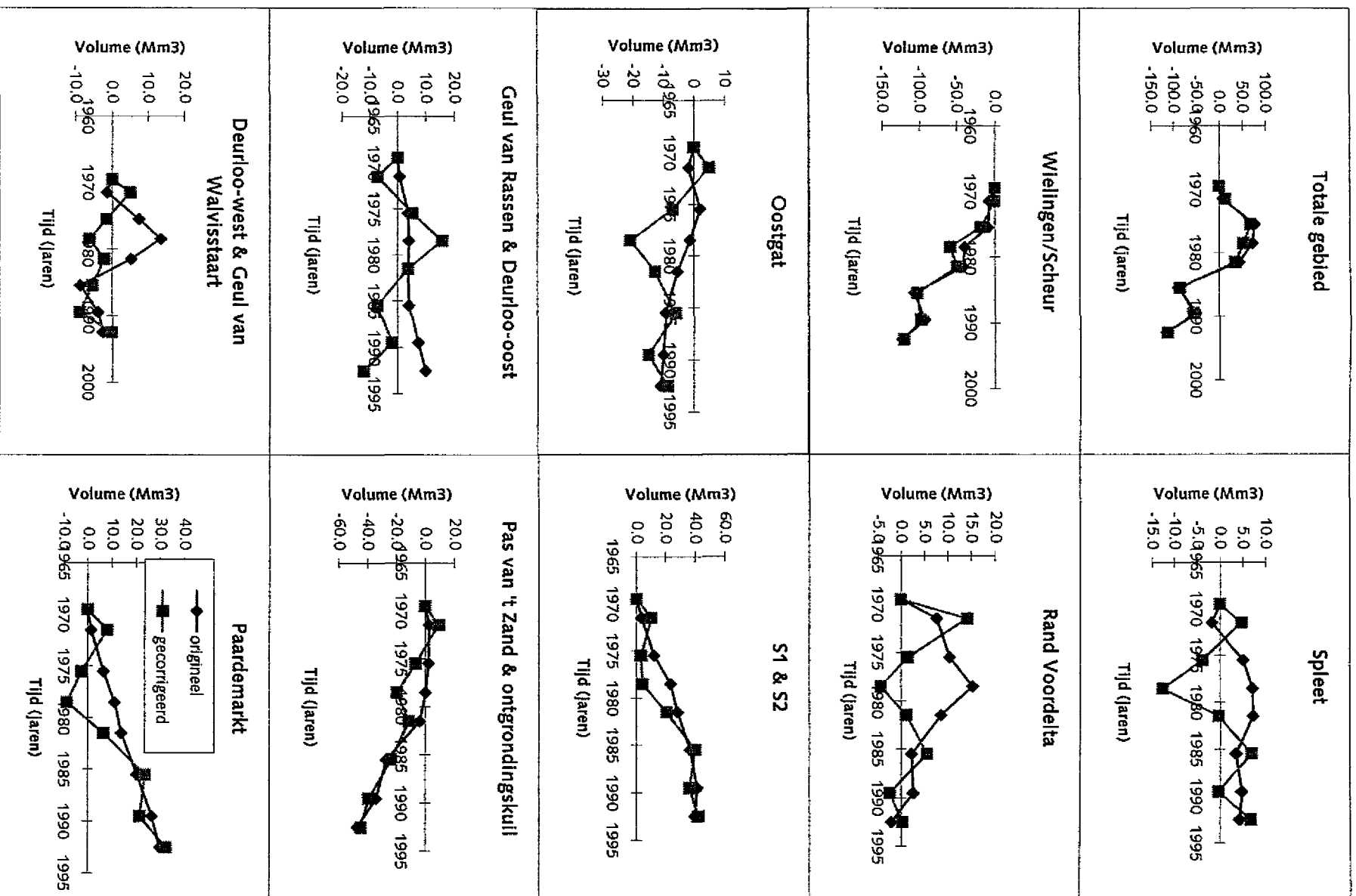
BIJLAGE A3

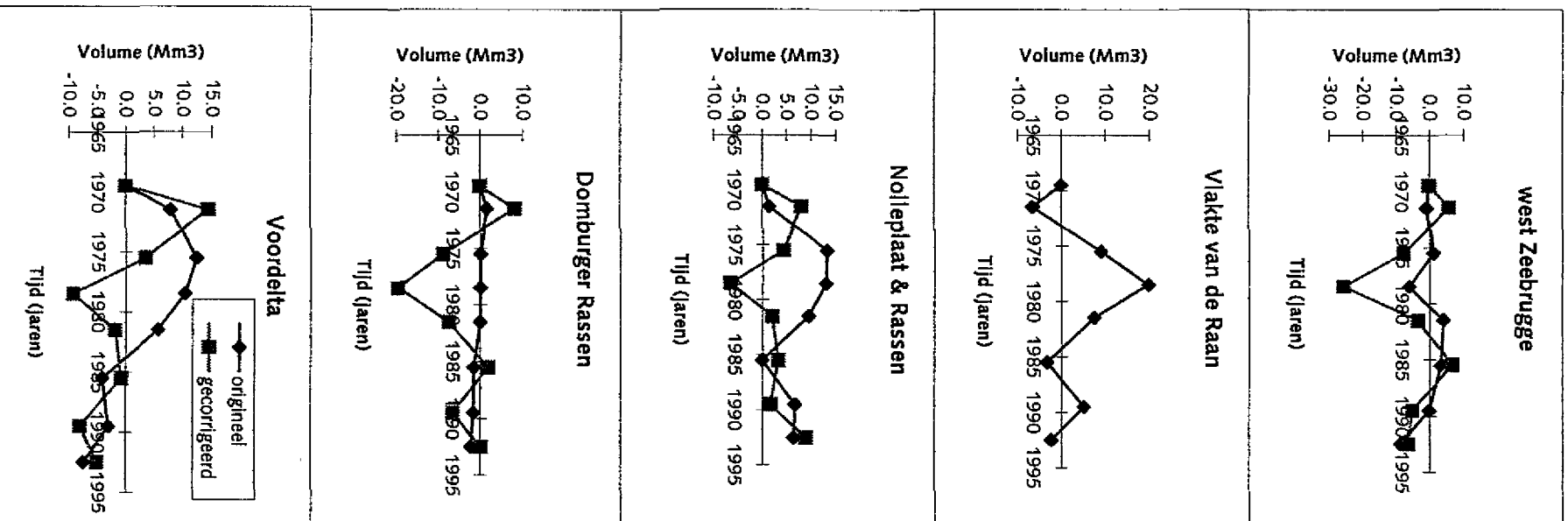
Bron: RWS vaklodingen.
Datum: 30-JUN-1998

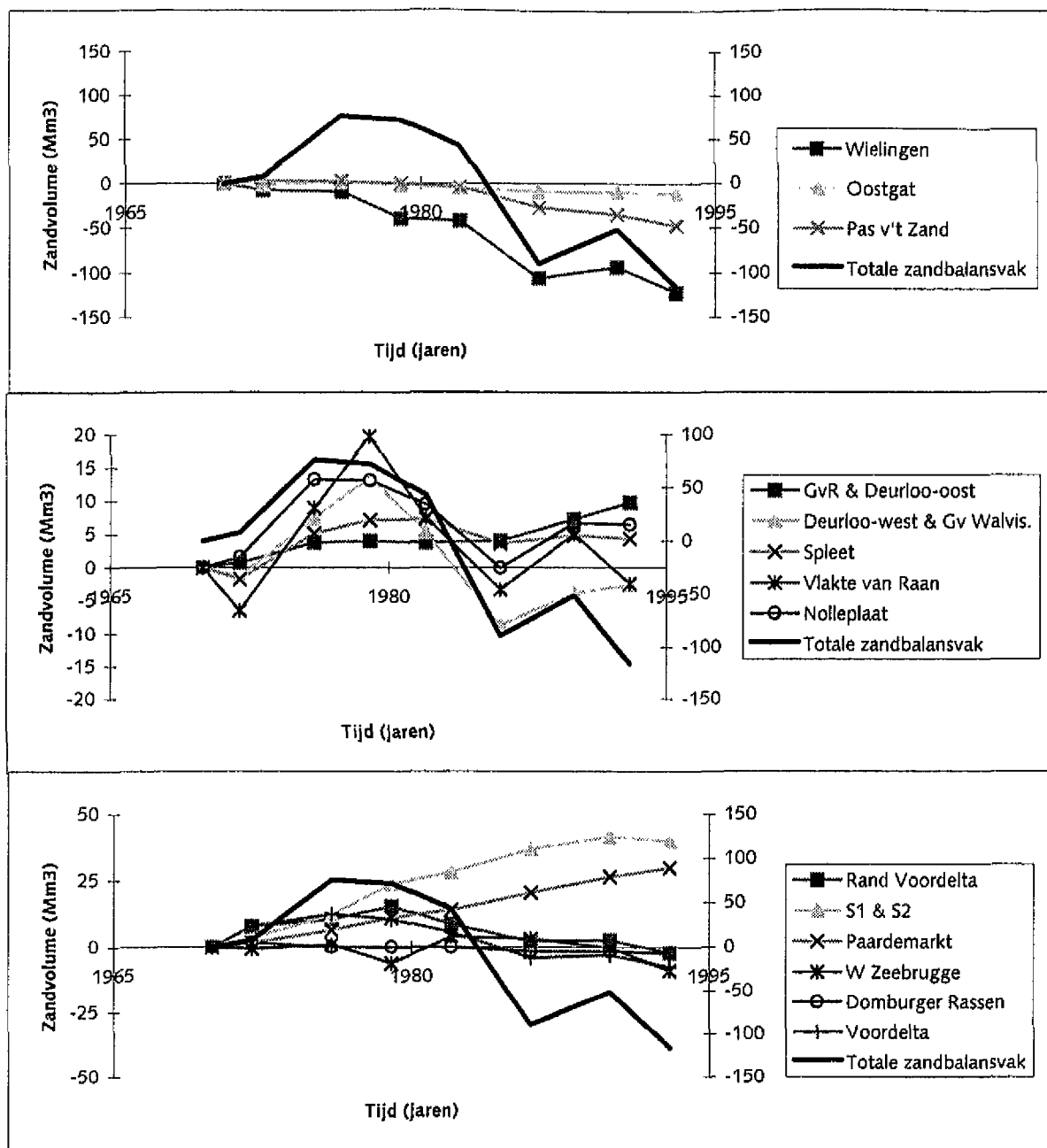
Schaal 1:225.000



Annemieke van der Slikke
Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Rijkswaterstaat voor Kust en Zee / RIKZ Middelburg

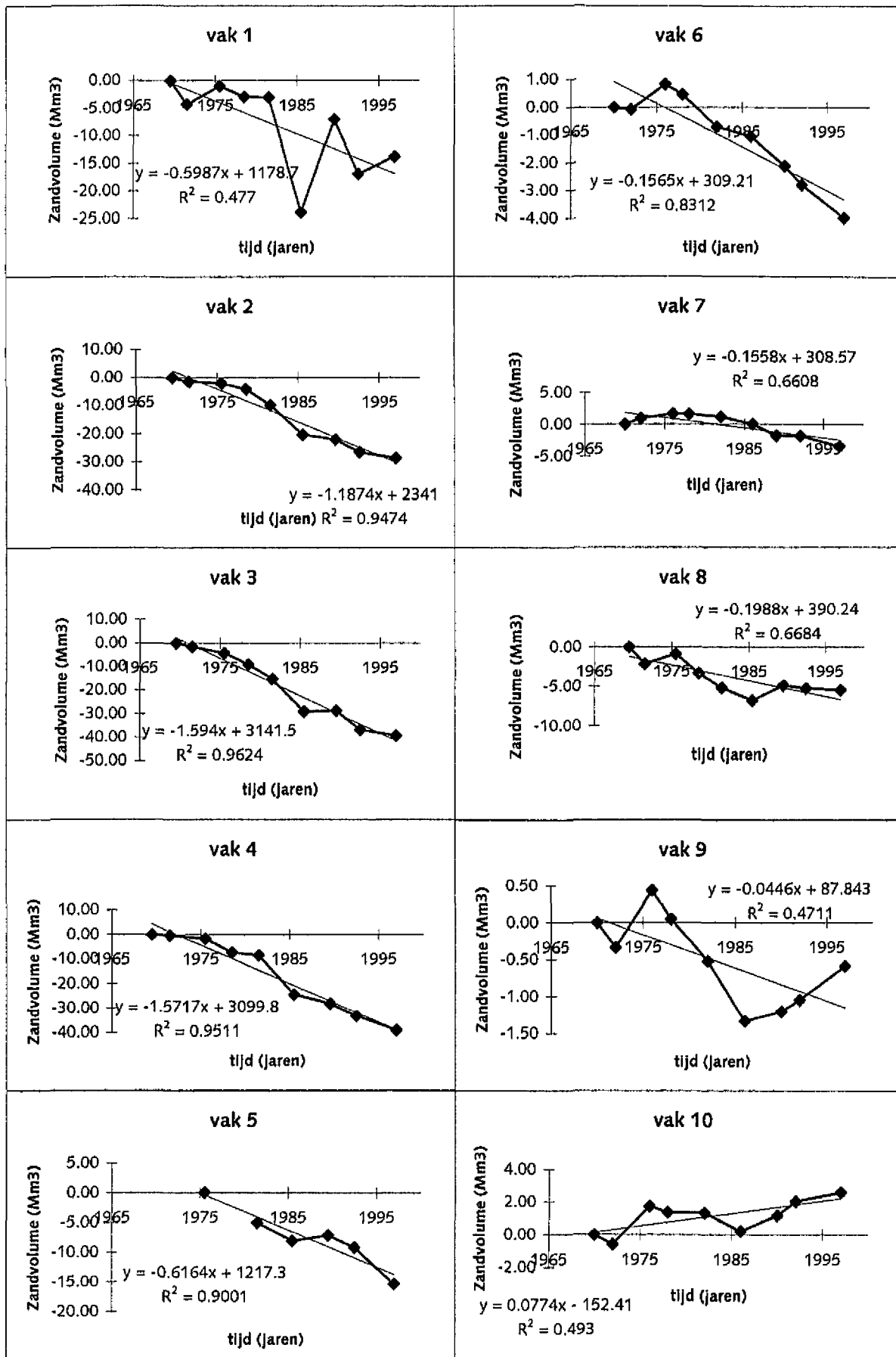




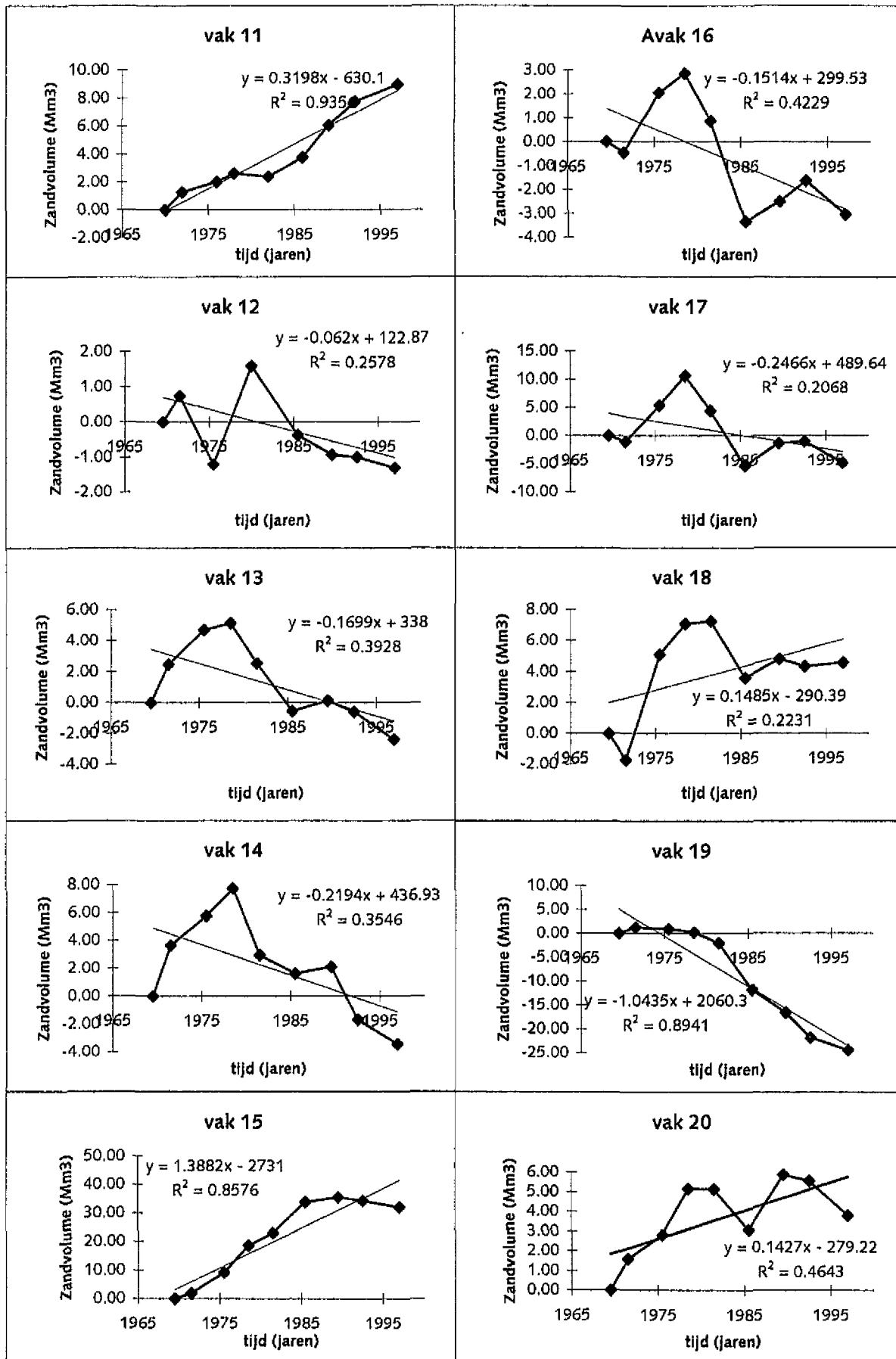


Cumulatieve zandvolumeveranderingen

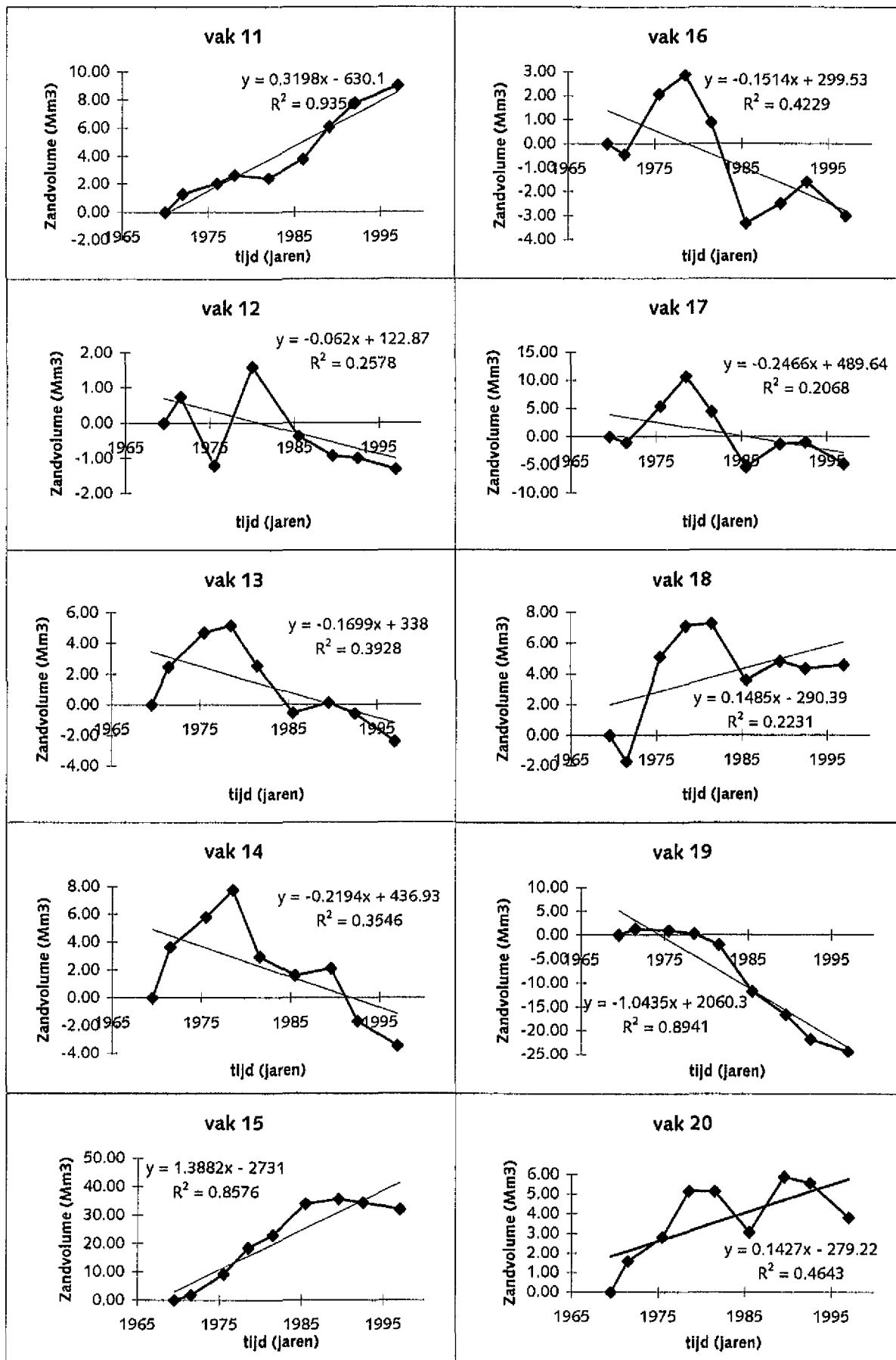
BIJLAGE B1



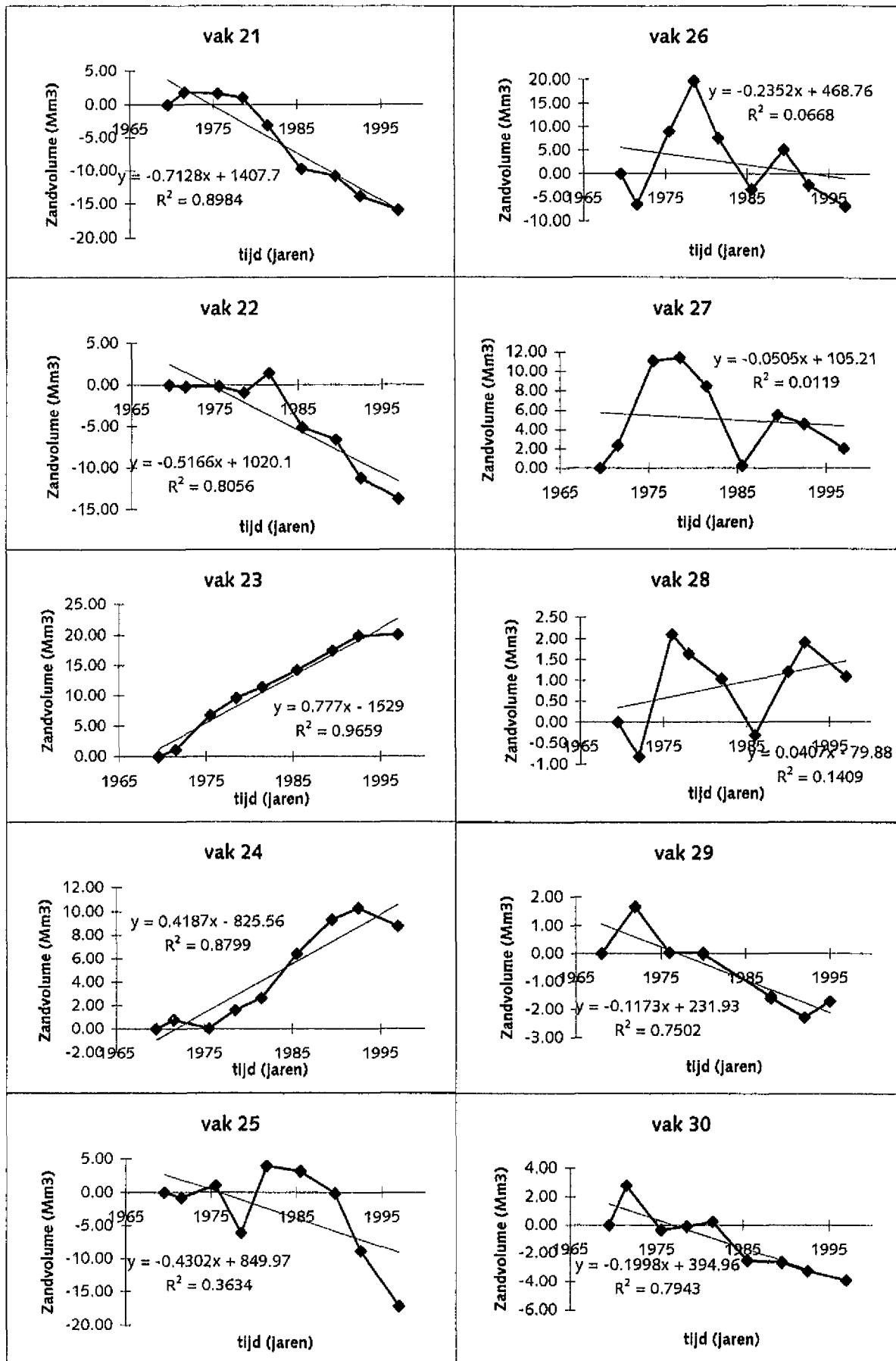
BIJLAGE B1



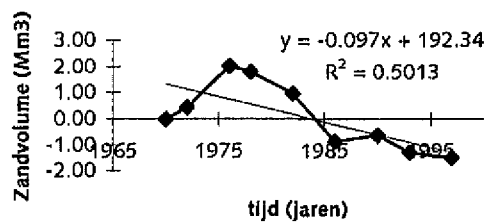
BIJLAGE B1



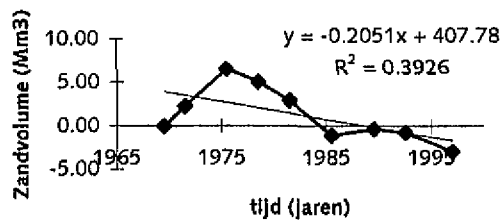
BIJLAGE B1



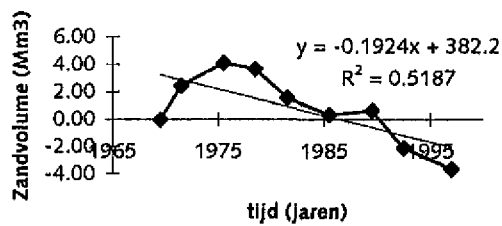
vak 31



vak 32



vak 33



vak 34

