

Aan: Projectgroep OOSTWEST en belanghebbenden
Van: Dirk van Maldegem en Kees Storm
Datum: 24 oktober 1990

Betreft: VERLOOP SLIBCONCENTRATIE SCHELDEESTUARIUM IN RELATIE TOT DE
BAGGERWERKEN

Inhoudsopgave.

- 1 Inleiding.
- 2 Beschrijving datasets.
 - 2.1 Datasets.
 - 2.2 Literatuurbespreking.
 - 2.3 Vergelijking SET A en SET B.
- 3 Parameters.
 - 3.1 Slib.
 - 3.1.1 Temporeel verloop slibconcentratie.
 - 3.1.2 Longitudinale slibgradiënt.
 - 3.2 Scheldeafvoer.
 - 3.3 Chloride.
 - 3.4 Baggeren en storten van slib.
- 4 Causale verbanden.
- 5 Conclusie en aanbevelingen.

Referenties

BIJLAGEN

- 1 Kwalitatieve trends slibconcentraties Scheldeestuarium per locatie.
- 2 Natuurlijke slibbronnen en sliblast t.g.v. bagger- en stortwerken in het Schelde estuarium (Noordzee-Rupel).

APPENDIX

Fysische benadering van de verschuiving van de gradienten.

1 Inleiding.

Deze notitie onderzoekt t.b.v. het projekt OOSTWEST de vraag of de toename van de bagger- en stortintensiteit heeft geresulteerd in een verhoging van de slibconcentratie in het Scheldeestuarium. Dit met het oog op de belangen van de troebelheid en de plaats van het troebelheidsmaximum voor de ecologische ontwikkeling van het estuarium. Daarom is een literatuur- en dataexercitie uitgevoerd met de volgende doelstellingen:

- * het bepalen van trendmatige ontwikkelingen in de slibconcentratie van het wateroppervlak (kwalitatief)
- * het relateren van variaties in de slibconcentratie aan veranderingen in chloridegehalten, de Scheldeafvoer en slibstortingen

Theoretisch wordt de slibconcentratie bepaald door erosie van de beschikbare hoeveelheid slib in de waterbodem en de sedimentatie van het slib in de waterfase; dit proces wordt beïnvloed door (1) fysische/chemische processen als turbulentie door stroming en golven, valsnelheden, flokkulatie, adsorptie, diffusie, gravitatiecirculatie en de eigenschappen van viscositeit, (2) de Scheldeafvoer en (3) mogelijk de bagger- en stortwerken.

De temporele- en ruimtelijke schalen waarop deze processen merkzaam zijn verschillen aanzienlijk. De sterk veranderende stromingen (eb/ vloed/ doodtij/ springtij) veroorzaken zowel variaties over een getijcyclus als wel gradienten over geulen, platen en slikken. Stormperiodes, hoge rivierafoeren en temperatuursschommelingen zijn belangrijk voor variaties op een seizoenale tijdschaal. Kombergingsveranderingen, geulverdiepingen en een veranderd stortingsregiem zijn debet voor vaak structurele veranderingen, op een termijn van meerdere jaren. Bijlage RELATIES geeft een schematisch overzicht van de veronderstelde onderlinge relaties bij kunstmatige veranderingen.

In hoofdstuk 2 zijn de conclusies uit de literatuur ten aanzien van de trendmatige ontwikkelingen van de concentraties onderling vergeleken. Voor de periode van 1970 tot en met 1989 zijn de datasets van RWS DGW op een voorname-lijk kwalitatieve wijze verwerkt, waarbij per bemonsteringslocaties trends zijn bepaald (hoofdstuk 3). Voor deze periode zijn eveneens het verloop van het chloridegehalte, de Scheldeafvoer en de hoeveelheid slibstortingen bepaald. Hoofdstuk 4 behandelt de causale verbanden tussen de slibconcentratie en hiervoor genoemde parameters. Uitgebreide statistische analyses, zoals bijvoorbeeld uitgevoerd door Bitter (1988), zijn niet toegepast.

2 Beschrijving Datasets.

2.1 Datasets.

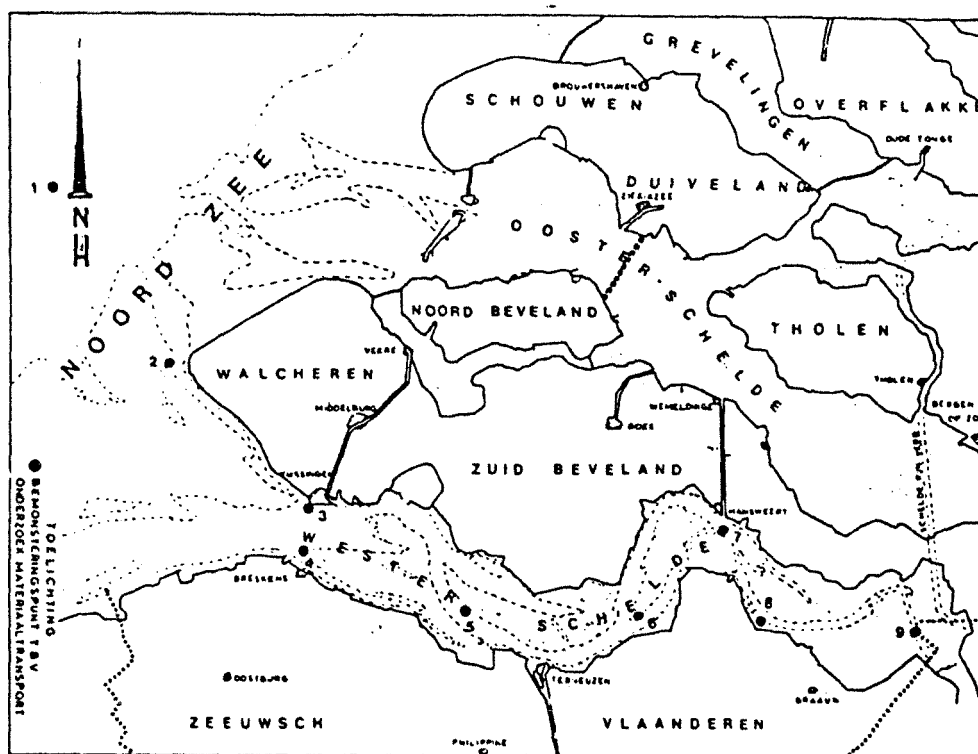
Sinds het begin van de zeventiger jaren worden in de Westerschelde onafhankelijk van elkaar twee periodieke oppervlakte bemonsteringscampagnes uitgevoerd:

1. Vanaf 1969 wordt door Rijkswaterstaat (nu DGW), in samenwerking met DGSM en de Dienstkring, op een 9-tal plaatsen (nabij boeien) het wateroppervlak bemonsterd [SET A] (Fig. 1). De bemonsteringsfrequentie varieert van enkele malen per week tot 1x per twee weken onder willekeurige getijomstandigheden (Swart, 1982). Van elk monster zijn de volgende parameters bepaald: slibgehalte, zandgehalte, chloridegehalte en de temperatuur.
2. Vanaf het begin van de zestiger jaren worden door het RIZA (nu DBW) routinematig waterkwaliteitsbepalingen uitgevoerd [SET B]. Het betreft ca. 15 locaties, waarvan voor de meeste ongeveer elke 2 weken wordt bemonsterd voor zwevende stofbepaling (Fig. 2). Naast zwevende stof worden een groot aantal andere waterkwaliteitsparameters bepaald. Bij de grens bedraagt dit aantal ruim 100. Het monster wordt genomen op een halve meter onder het wateroppervlak. De bemonstering vindt ten westen van Hansweert rond halftij plaats, ten oosten van Hansweert gebeurt dit rond de laagwaterkentering (Van der Kooij, 1982).

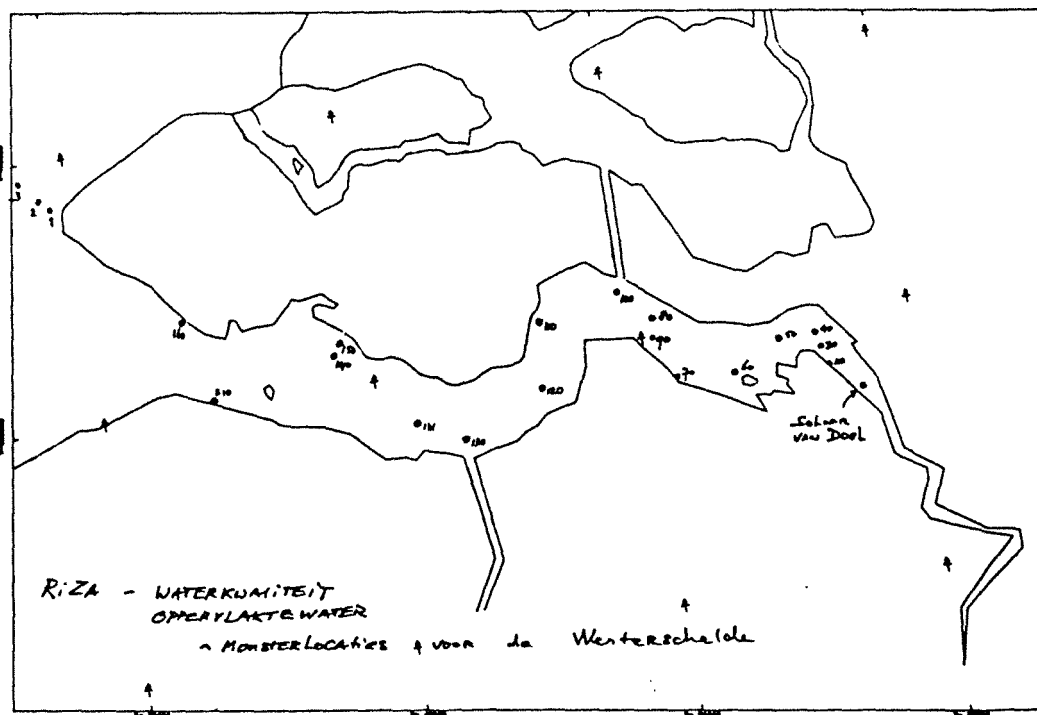
Het gehalte aan zwevende stof wordt in deze notitie gelijk verondersteld aan de slibconcentratie (fractie $< 53 \mu\text{m}$). De slibconcentratie wordt uitgedrukt in milligrammen per liter (mg/l).

2.2 Behandeling literatuur.

Swart (1982) [SET A] heeft voor de locaties in het oostelijk deel van de Westerschelde met uitzondering van het Vaarwater Boven Bath, voor de periode van 1969 tot en met 1980, een stijging van het slibgehalte geconstateerd van gemiddeld 5 à 10 mg/l (ca. 40%). In het Vaarwater Boven Bath is na een dalende lijn tot 1977 een lichte stijging geconstateerd. Ook zijn de slibconcentraties gecorreleerd met vervolgens de temperatuur, het chloridegehalte, de Scheldeafvoer, de golfhoogte en de windsnelheid. Temperatuur met de slibconcentratie geeft hoge correlatiecoëfficiënten (tussen -0,68 en -0,83). De hoogste correlatiecoëfficiënten (tussen 0,74 en 0,85) zijn bereikt bij de meervoudige correlatie van de slibconcentratie met de watertemperatuur, de Scheldeafvoer van de beschouwde maand en de afvoer van de voorafgaande 3 maanden.



Figuur 1. Bemonsteringslocaties SET A.



Figuur 2. Bemonsteringslocaties SET B.

In het Verdiepingsrapport 48'/43' (1984) wordt uitgegaan van dezelfde set gegevens [SET A]. Hierbij zijn de zwevende stof gehalten van de locaties tussen de grens en Terneuzen (5 punten) gemiddeld. Deze zijn van 1973 tot 1980 toegenomen van 56%: van 25 mg/l tot 39 mg/l. De jaarlijks gebaggerde en gestorte hoeveelheid baggerspecie zijn gerelateerd aan de jaargemiddelden van de zwevend-stofgehalten van alle in het gebied gesitueerde monsterpunten. Geconcludeerd is dat de toename van bagger- en stortingswerkzaamheden heeft geresulteerd in een verhoging van de troebelheid.

Van der Kooij (1982) heeft de RIZA gegevens [SET B] geanalyseerd voor de periode van 1972 tot en met 1981. Hij concludeert het volgende: "Het blijkt dat het jaargemiddelde zwevend stofgehalte in het westelijk deel van de Westerschelde onderhevig is aan een geringe stijging. Onduidelijk is nog of de uitbreiding van de baggerwerkzaamheden voor de Belgische kust, in het mondingsgebied of in de Westerschelde zelf hier (mede) de oorzaak van is. Door de overheersende invloed van de sterk variërende Schelde-afvoer is een trend in het oostelijk deel niet waarneembaar. Berekeningen hebben aangetoond dat voor het betrouwbaar vaststellen van een trend de huidige bemonsteringsfrequentie niet voldoende is". Van der Kooij besluit met een relativiserende opmerking: "Een toe- of afname van het jaargemiddelde is een betrekkelijk begrip gezien de grote verschillen in minima en maxima welke vele tientallen tot enkele honderden miligrammen per liter bedragen".

Door Bitter (1988) is een trendanalyse uitgevoerd voor 4 locaties in de Westerschelde over de periode 1975 tot en met 1985 [SET B]. In de Schaar van Ouden Doel (nabij grens) is een significante afname van de zwevend stof gehalten in de tijd aangetroffen. Op de locatie Hansweert was de trend ook negatief maar statistisch niet significant. Op de locatie Terneuzen namen de zwevende stof gehalten tot 1981 toe (niet significant) om daarna sterk af te nemen (significant).

In het Beleidsplan Westerschelde (1989) wordt tevens gesproken van een tijdelijke verhoging van slibgehalten ten gevolge van het baggeren en storten, maar dan uitsluitend in de directe omgeving hiervan. Van een trendmatige stijging van de slibgehalten in het oostelijk deel van de Westerschelde wordt geen melding gemaakt.

Uit mondelinge informatie is bekend dat bij het opstellen van beleidsplan onvoldoende basis aanwezig was voor het doen van een éénduidige uitspraak.

Door het Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek (DIHO) worden sinds 1982 op 11 locaties in de Westerschelde maandelijks bemonsteringen van het oppervlakte water uitgevoerd. Met een Secchi-schijf is het doorzicht van het oppervlaktewater gemeten. Deze vormt een globale maat voor het gehalte aan zwevende bestanddelen. Bij de monding van Westerschelde is het doorzicht toegenomen (periode 1982-1987). Dit zou betekenen dat het gehalte aan zwevende stoffen is afgenomen. De locaties in het oostelijk deel van de Westerschelde vertoonden geen trends gedurende de beschouwde periode (Herman, et al., in prep.).

Bijlsma (1990), veronderstelt een sterke toename van de troebelheid in de afgelopen decennia. Hij leidt dit af van het verdwijnen van oogjagers als schar, geep en forel welke allen een goed zicht nodig hebben. Ook de vroegere aanwezigheid van zandstranden zou hierop duiden. De toegenomen troebelheid wordt rechtstreeks in verband met de drastische vermindering van de sedimentatiegebieden, ten gevolge van normalisaties en inpolderingen.

2.3 Vergelijking SET A en SET B.

De concentraties van SET A en SET B zijn vergeleken voor enigszins overeenkomstige lokaties. De resultaten van de lineaire regressie tussen SET A en SET B zijn weergegeven in Tabel 1.

Tabel 1. Correlatie tussen maandelijks gemiddelde zwevende stof gehalten voor SET A en SET B, voor overeenkomstige bemonsteringslocaties.

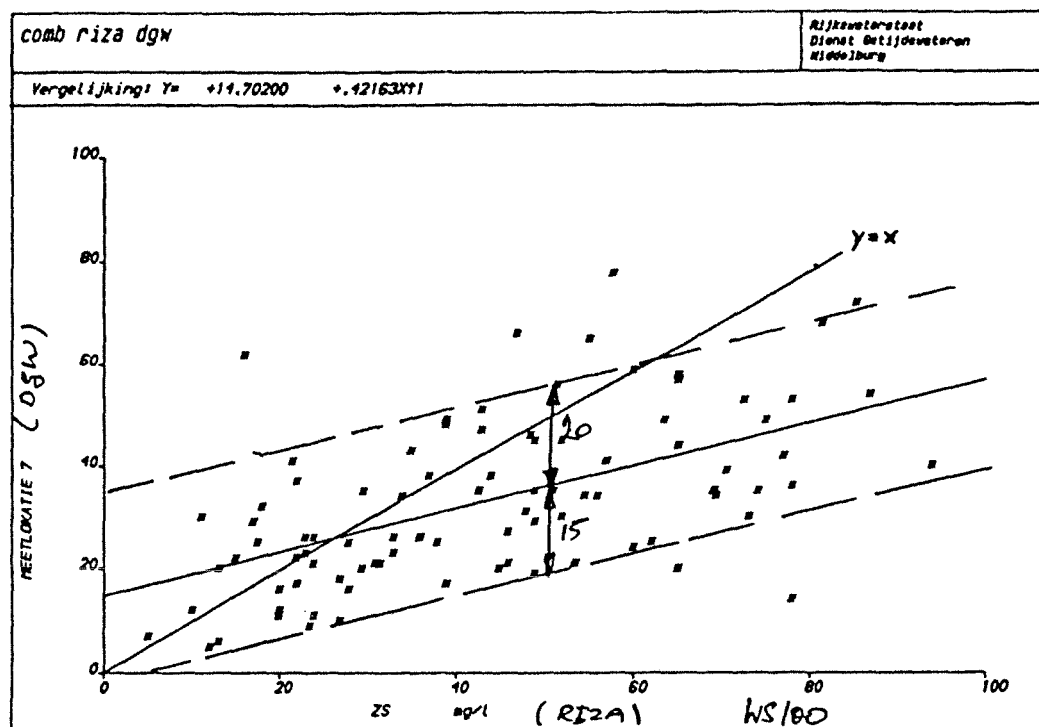
PARAMETER	BEMONSTERINGSLOKATIE / COEFFICIENTEN							
Locatie A	7	6	5	4	3	9	8	8 (Fig. 1)
Locatie B	100	110	130	140	160	50	70	90 (Fig. 2)
α	.4	.2	.5	.2	.3	.1	.2	.3
β	15	22	9	32	9	32	17	13
Waarbij: $SET A = \alpha * SET B + \beta$ [mg/l]								

De range α waarden (0.1 - 0.5) en de range β waarden (10 - 30) geven aan dat er geen recht-lineair verband ($y=x$) bestaat tussen SET A en SET B. Opvallend is dat de waarden van SET B systematisch hoger zijn, en wel met name voor de hogere slibconcentraties. Dit is waarschijnlijk het gevolg van de aanwezigheid van zand nabij het wateroppervlak tijdens de meer turbulente omstandigheden wanneer ook de hoogste slibconcentraties worden gemeten. Dit zand is wél meegenomen in de bepaling voor SET B maar niet in de bepaling van de slibconcentraties voor SET A.

Het verschil in beide datasets wordt eveneens door een aantal niet-systematische, en moeilijk specificeerbare, factoren beïnvloed:

- * verschil in bepaling (analyse): SET A is alleen het slibgehalte terwijl SET B tevens de zandfractie en organisch materiaal bevat (systematisch)
- * verschil in bemonsteringsdiepte: SET A wateroppervlak, SET B 0,5 m onder het wateroppervlak (systematisch)
- * de tijd van bemonsteren ten opzichte van het getij: SET A alle getijomstandigheden, SET B "vaste" tijden t.o.v. het getij (systematisch)
- * verschil in bemonsteringslocatie (systematisch/random)

Geconcludeerd wordt dat de absolute waarden van de beide sets niet direct met elkaar kunnen worden vergeleken. Naar aanleiding van de tendensen kunnen wel uitspraken worden gedaan.



Figuur 3. Vergelijking SET A met SET B voor een vergelijkbare locatie.

3 Parameters.

3.1 Slib.

3.1.1 Temporeel verloop slibconcentratie.

De gegevens van SET A zijn tot en met 1989 opgeslagen in een databestand. Onderstaande analyses betreffen derhalve de periode vanaf 1969 tot en met 1989. In de figuren 4 tot en met 12 is het zomer- (april/september) en wintergemiddelde (oktober/maart) slibconcentratie uitgezet voor alle locaties. De dikke lijn geeft de globale trends aan van het jaarlijks gemiddelde slibconcentratie.

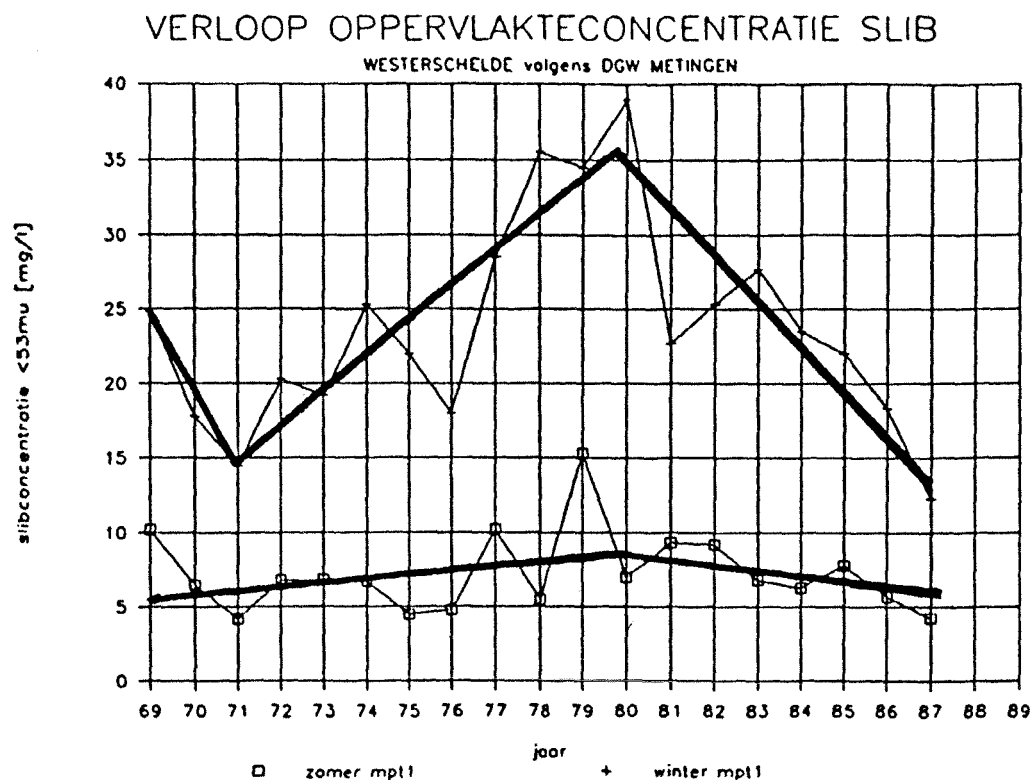
De grote seizoenale variatie is evident, zowel op de Voordelta als binnen het estuarium. De jaarlijkse variatie in het wintergemiddelde is groter dan de variatie van het zomergemiddelde. Voor de meetpunten 1 tot en met 8 liggen de gemiddelde winterwaarden rond de 40 tot 60 mg/l. In de zomer ligt het gemiddelde lager, namelijk rond de 15 tot 20 mg/l. Het meest oostelijke punt (mpt 9) heeft zowel hogere winter- als zomerwaarden, respectievelijk 70 tot 90 mg/l in de winter en 40 mg/l in de zomer.

De wintergemiddelden voor de locaties 1,2 en 3 (Fig. 1) vertonen achtereenvolgens een afname tot '71, een toename tot '78/'80, en daarna weer een afname. De zomergemiddelden zijn vrij constant, behalve voor locatie 3 waar alleen in '79 een sterke verhoging (300%) is opgetreden.

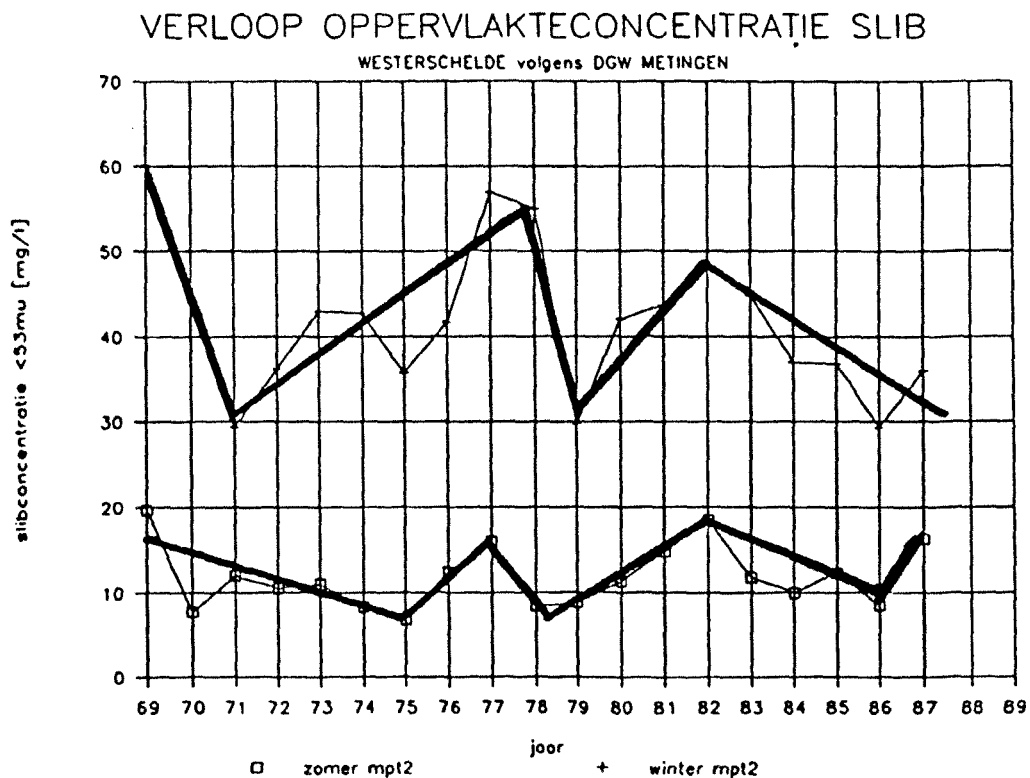
Op locatie 4 (Fig. 1) nemen de zomer- en wintergemiddelden af van '71 tot '83, waarna vervolgens de wintergemiddelden weer zijn toegenomen.

De zomergemiddelden op de locaties 5, 6, 7 en 8 (Fig.1) vertonen een duidelijke toename in de periode '71 tot '81/'82, waarna deze tot '86 weer afnemen. Opmerkelijk is de snelle toename na '86. Maxima (50 tot 75 mg/l) in het wintergemiddelde zijn op deze locaties opgetreden in '78, '81 en '83/'84, en relatief lage waarden in '79 en '82. Locatie 9 valt op door de sterke variaties in het jaarlijks wintergemiddelde. In de periode '72 tot '78 schommelde het jaargemiddelde van 70 tot 110 mg/l. Van '78 tot '83 is het gemiddelde scherp gedaald tot 35 mg/l. Het verschil tussen het zomer- en wintergemiddelden was in '82 en '83 opvallend klein, namelijk ca. 10 mg/l. De gemiddelde slibconcentratie lag in '84 beduidend hoger (80 mg/l), waarna deze tot '88 weer is afgenomen.

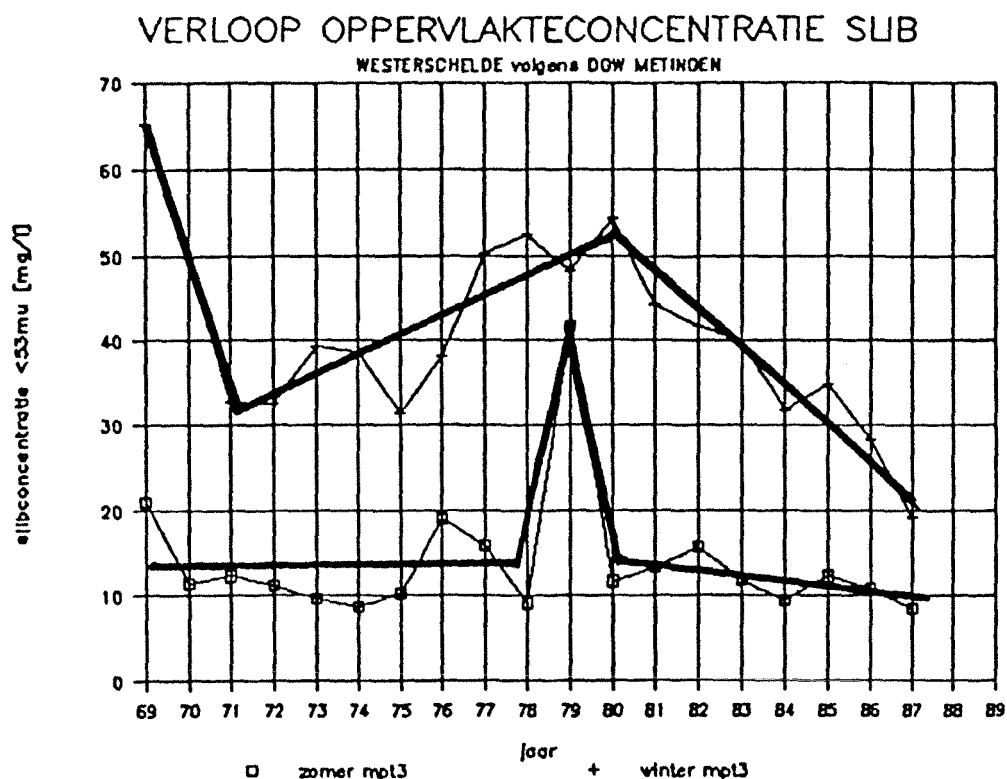
In Tabel 3 zijn, aan de hand van de trends op de verschillende locaties (Bijlage 1), per gebiedsdeel de ontwikkelingen aangegeven met een + voor een toename, een 0 voor onveranderd en een - voor een afname van de slibconcentratie.



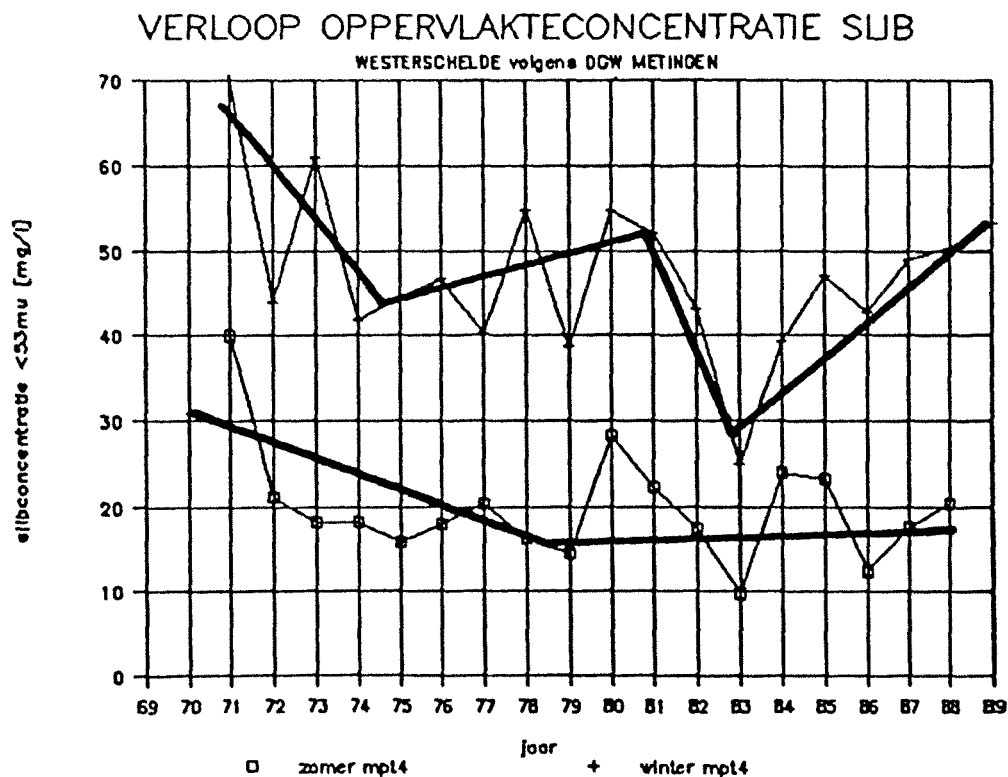
Figuur 4. Zomer/wintergemiddelde slibconcentratie locatie 1.



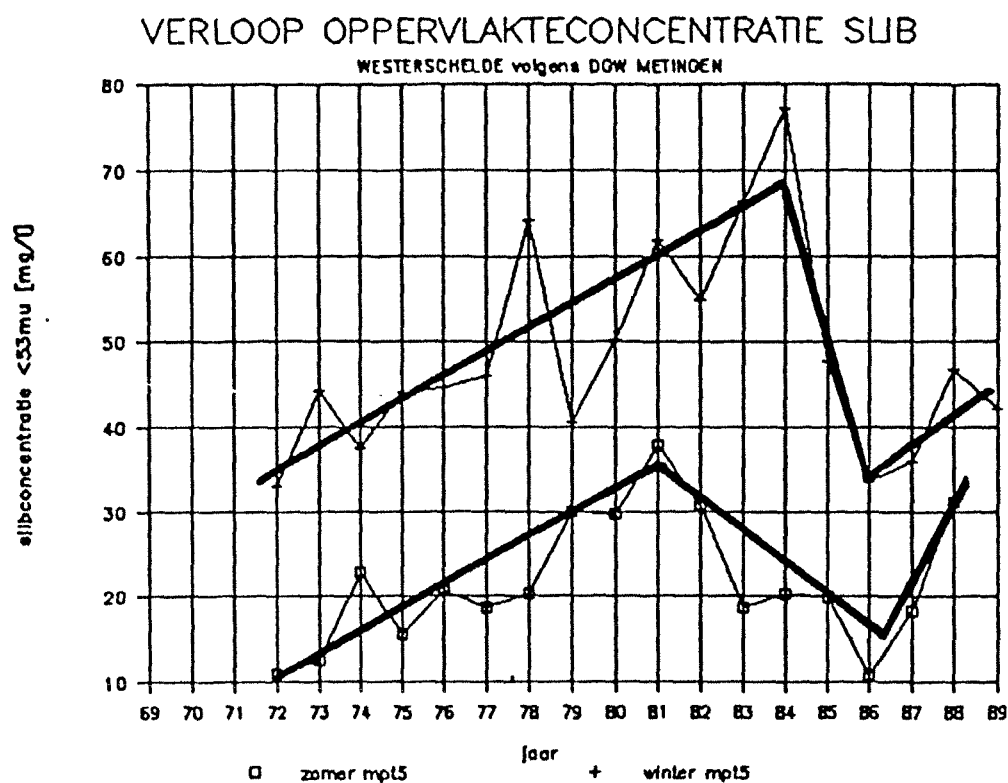
Figuur 5. Zomer/wintergemiddelde slibconcentratie locatie 2.



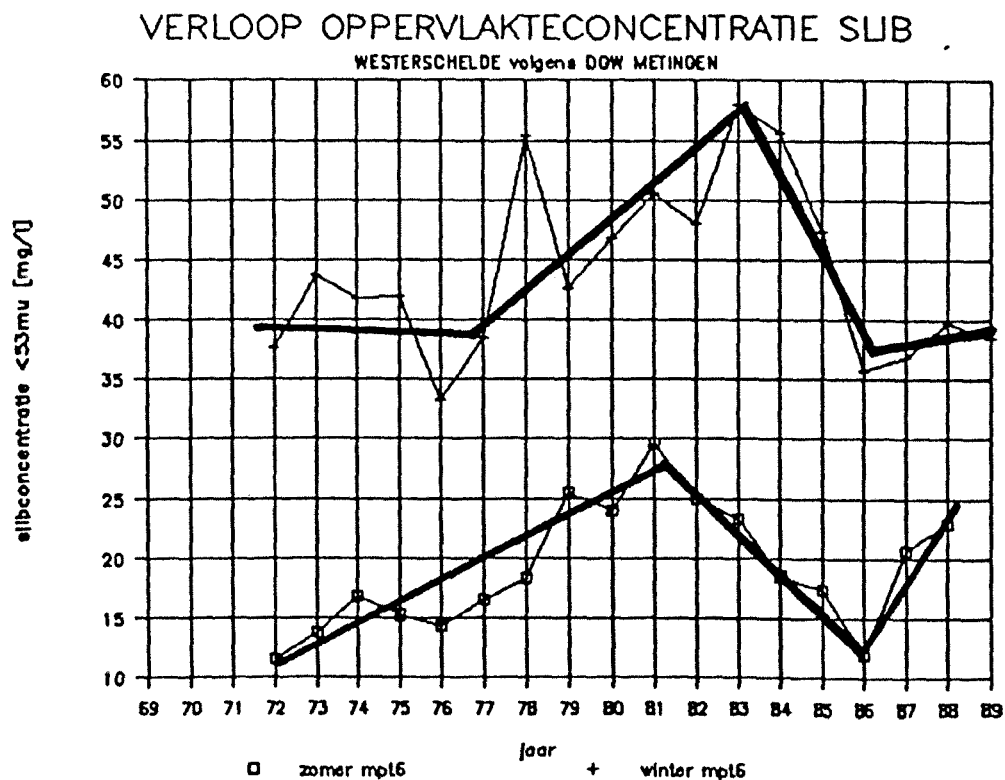
Figuur 6. Zomer/wintergemiddelde slibconcentratie locatie 3.



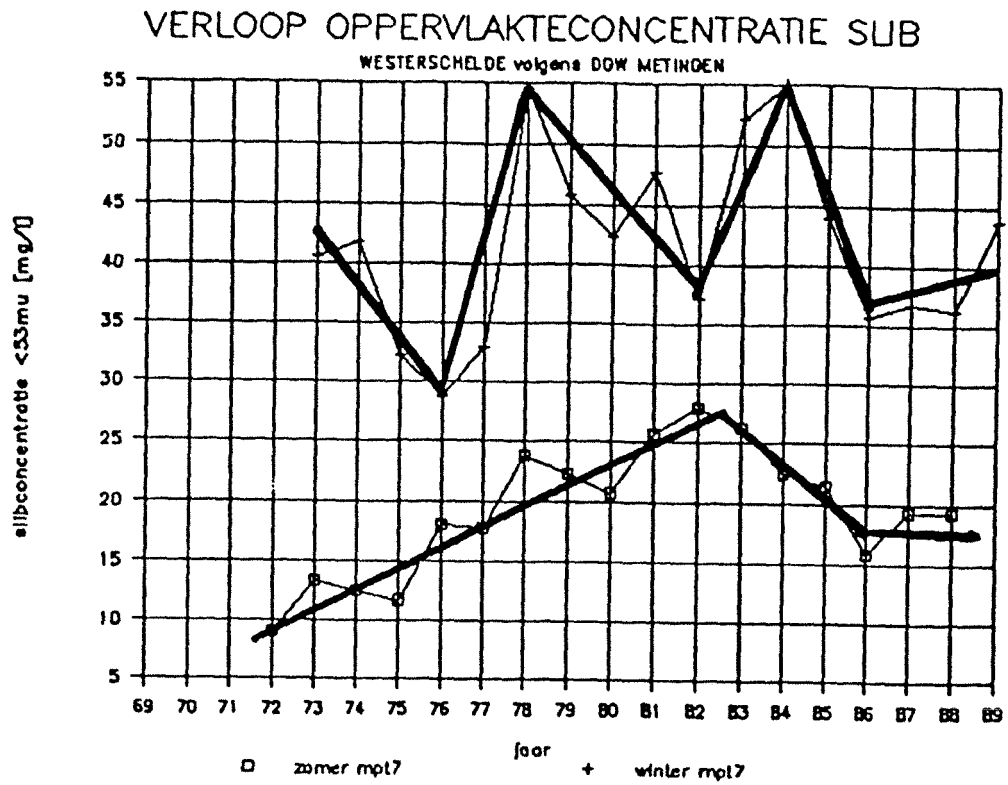
Figuur 7. Zomer/wintergemiddelde slibconcentratie locatie 4.



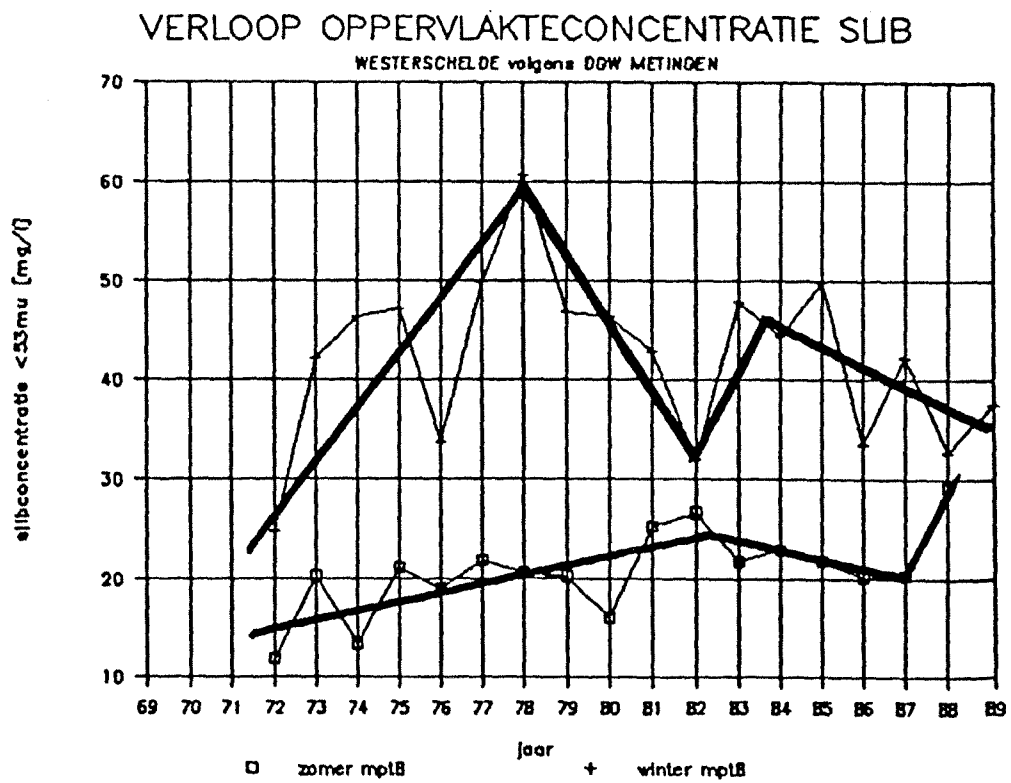
Figuur 8. Zomer/wintergemiddelde slibconcentratie locatie 5.



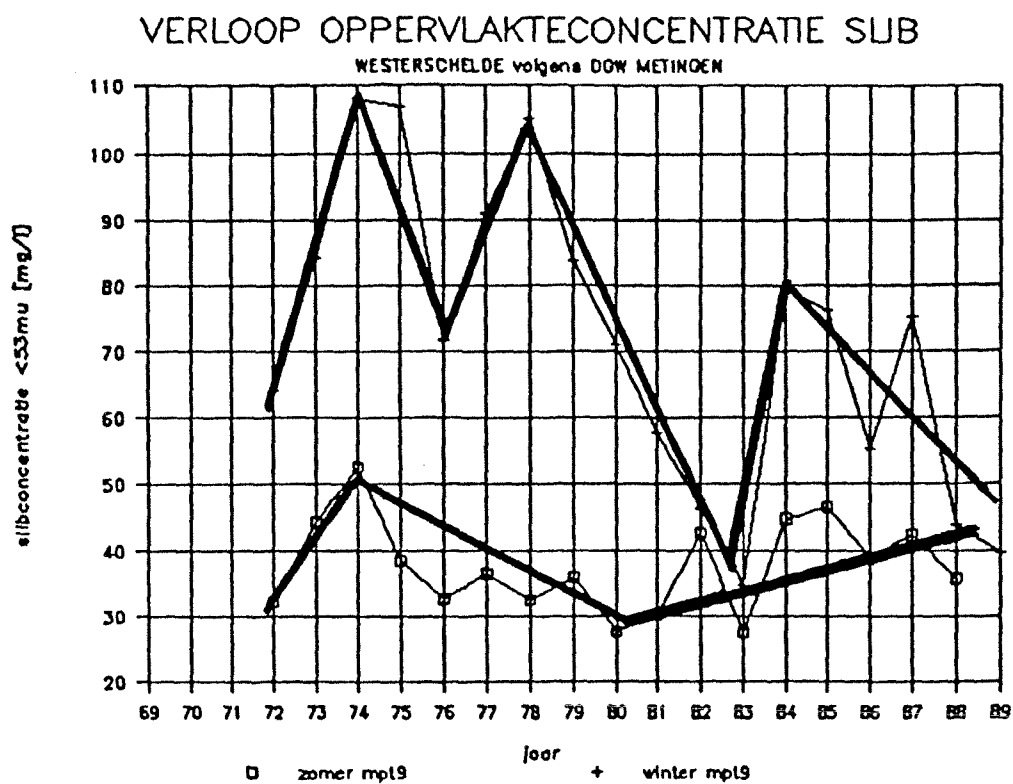
Figuur 9. Zomer/wintergemiddelde slibconcentratie locatie 6.



Figuur 10. Zomer/wintergemiddelde slibconcentratie locatie 7.



Figuur 11. Zomer/wintergemiddelde slibconcentratie locatie 8.



Figuur 12. Zomer/wintergemiddelde slibconcentratie locatie 9.

Tabel 2. Globale trends slibconcentratie Scheldeëstuarium (zomer/winter).

WINTER	JAAR	1970	1975	1980	1985	1990
GEBIEDSDEEL		. :	:	:	:	:
Westerscheldemonding	1,2	-			-	
Westerschelde west.	3,4				+ / -	
	5,6		+			?
Westerschelde oost.	7,8	?		-	+	-
Grens (locatie 9)	9					

ZOMER	JAAR	1970	1975	1980	1985	1990
GEBIEDSDEEL	LOCATIE	. :	:	:	:	:
Westerscheldemonding	1,2	-		+	-	
Westerschelde west.	3,4			0 / +		
	5,6				-	+
Westerschelde oost.	7,8	?	+			?
Grens	9			-	+	

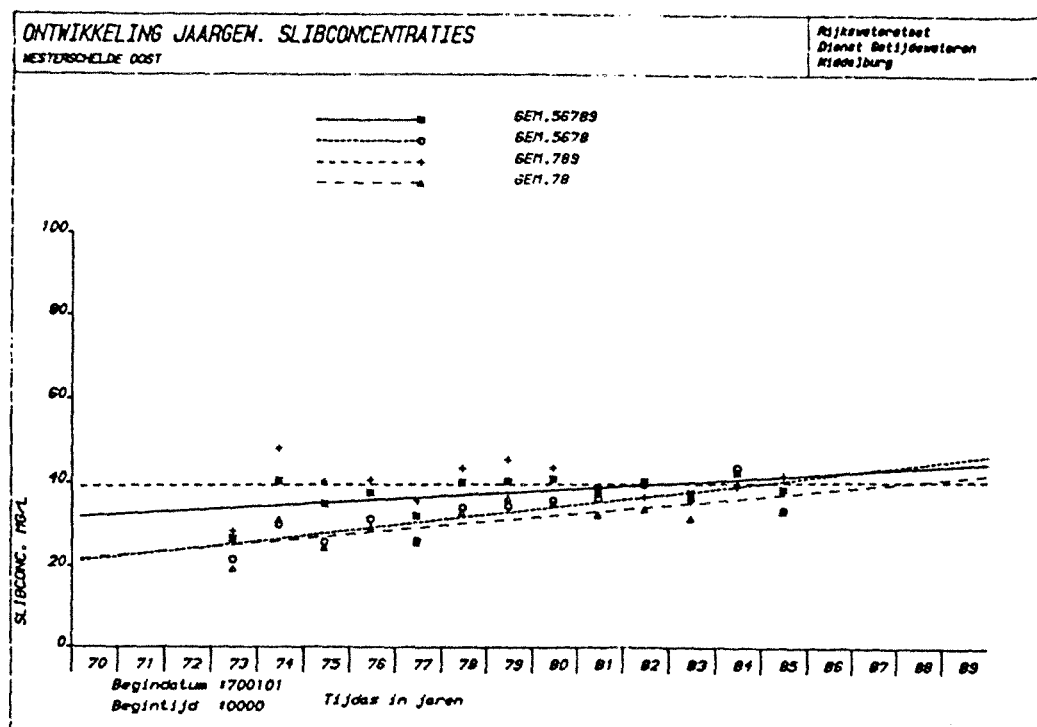
In Fig. 13 zijn de regressielijnen uitgezet voor vier verschillende situaties: gemiddelden van de locaties (5,6,7,8,9), (5,6,7,8), (7,8,9) en (7,8) (zie ook Fig 2). De jaargemiddelde concentraties (Y) [in mg/l] zijn uitgezet tegen de tijd (X) [in jaren]. De lineaire regressie vergelijkingen zijn aangegeven in Tabel 3.

Tabel 3. Lineaire regressielijnen van de slibconcentratie in de tijd bij verschillende combinaties van meetpunten.

LOCATIES A	REGRESSIELIJN
5,6,7,8,9	$Y = -17,6 + 0,7 X$
5,6,7,8	$Y = -77,9 + 1,4 X$
7,8,9	$Y = 32,0 + 0,1 X$
7,8	$Y = -56,9 + 1,1 X$

De intercept wordt niet van belang geacht. Voor de trend wordt gekeken naar de richtingscoëfficiënt, welke voor de vier lijnen varieert van 0,1 tot 1,4 [mg/l per jaar]. De statistische significantie van deze lijnen is niet bepaald.

Er is geen trend in de slibconcentratie als alleen de meetpunten in het oostelijk deel van de Westerschelde worden bekeken (7,8,9). Indien de locatie nabij de grens buiten beschouwing wordt gelaten (7,8) wordt wel een trendmatige verhoging van de slibgehalten berekend van 1,1 mg/l per jaar.



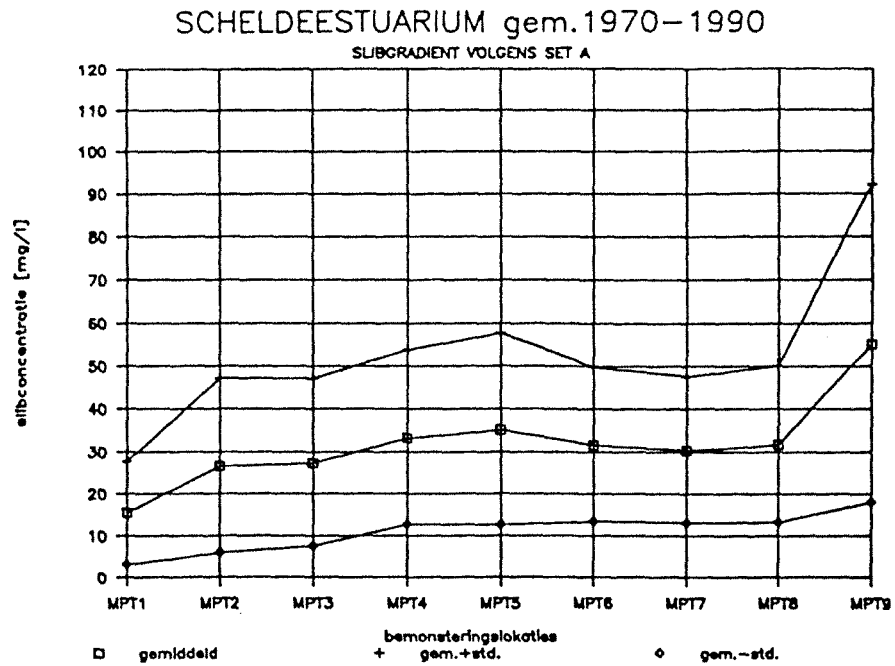
Figuur 13. Ontwikkeling jaargemiddelde slibconcentratie; regressielijnen voor vier gemiddelden (5,6,7,8,9), (5,6,7,8), (7,8,9) en (7,8) (SET A).

Met toevoeging van de locaties 5 en 6 wordt deze trend sterker (1,4 mg/l per jaar). Hieruit blijkt het belang van het kiezen van de punten voor een conclusie ten aanzien van trendmatige veranderingen van de slibconcentratie.

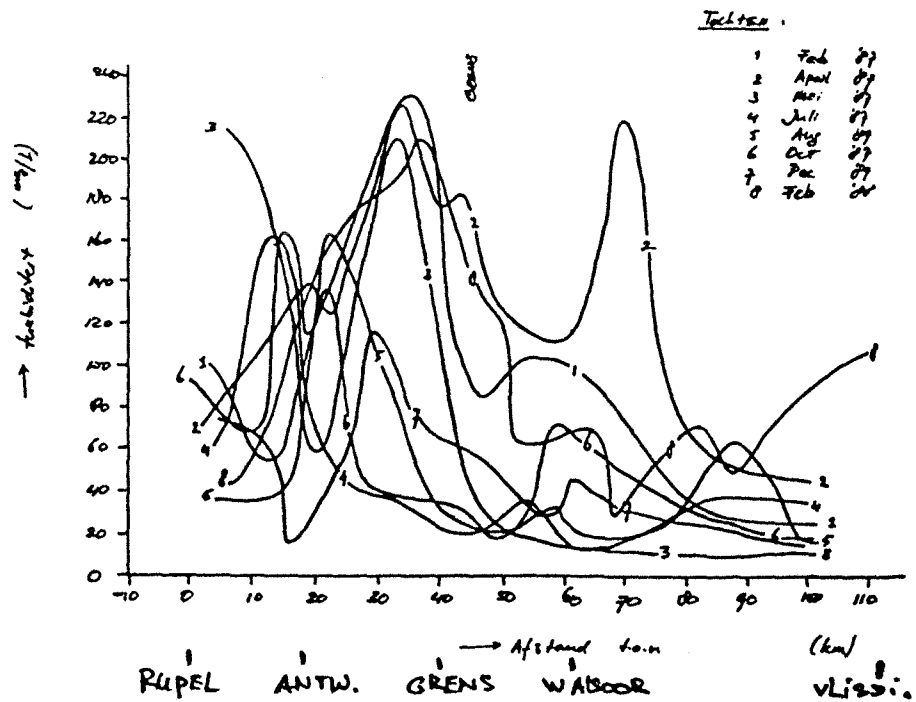
3.1.2 Longitudinale slibgradiënt.

Door middeling van alle gegevens van SET A per locatie is de gemiddelde longitudinale slibgradiënt bepaald (Figuur 14.a). Nabij de grens is een duidelijke gradiënt aangetroffen. Van Baalhoek tot opwaarts van Vlissingen blijven de slibconcentraties nagenoeg gelijk (ca. 30 mg/l). Van Vlissingen naar de Voordelta dalen de slibconcentraties tot ca. 15 mg/l. In Fig. 14.a wordt eveneens een maat voor de seizoenale spreiding gegeven aan de hand van de standaarddeviatie.

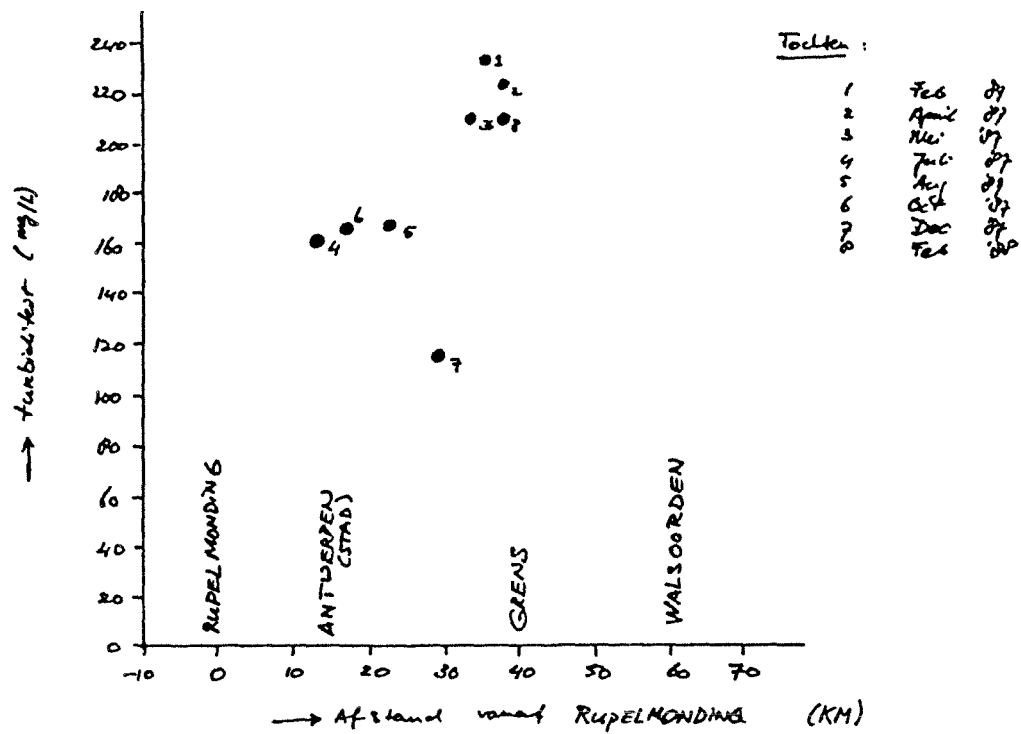
Ten behoeve van het Sawes project zijn vanaf de Westerscheldemonding tot aan Antwerpen/Rupel een achttal monstertochten uitgevoerd om de "momentane" langsgradiënt van het zwevende stof te bepalen. De tochten zijn gevaren van februari 1987 tot februari 1988. In Fig. 14.b zijn de resultaten van de 8 tochten weergegeven. De concentraties in het westelijk deel van de Westerschelde variëren tussen de 10 en 60 mg/l. Een zeer hoog slibgehalte (220 mg/l) is in april '87 waargenomen in de buurt van Hansweert. Gedacht wordt aan een incidenteel verschijnsel: slibstorting en/of opwerveling door scheepvaart. Het troebelheidsmaximum, welke gedeeltelijk is gerelateerd aan de zoet-zoutgradiënt, bevindt zich tussen Antwerpen en de grens.



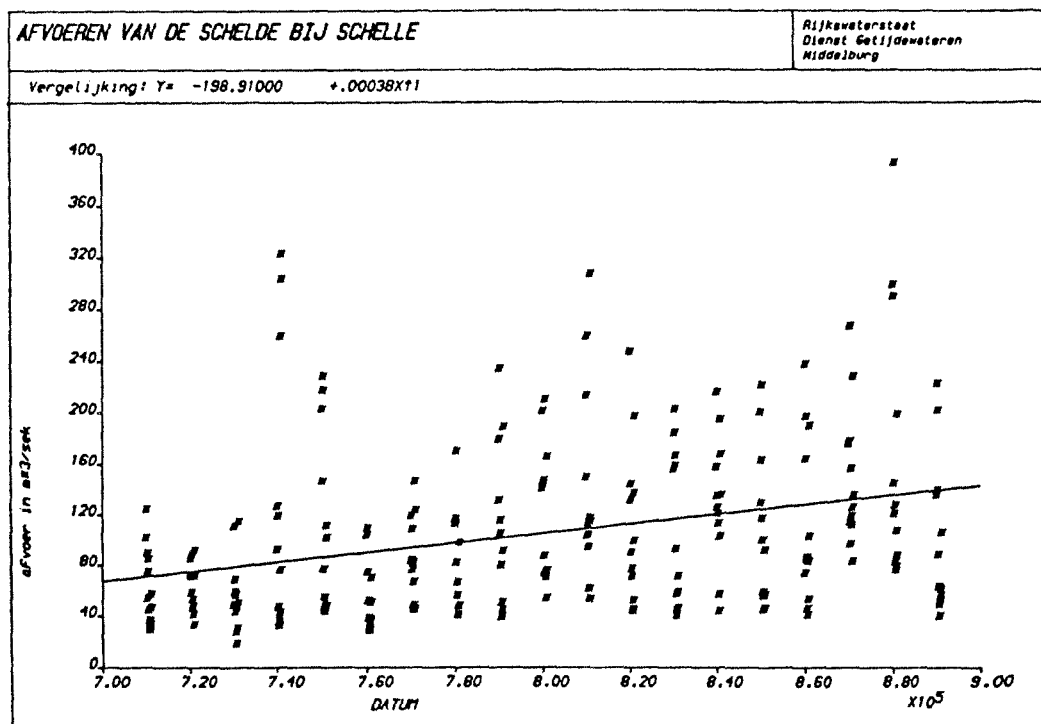
Figuur 14.a. Gemiddelde langsgrediënt siltconcentraties in de Westerschelde; gemiddelden SET A (voor locaties zie Fig. 1).



Figuur 14.b. Langsgrediënt siltconcentraties in de Westerschelde; Sawes-tochten '87-'88.



Figuur 15. Locatie en hoogte van het troebelheidsmaximum; SAWES-tochten '87-'88.



Figuur 16. De Scheldeafvoer te Schelle.

In Fig. 15 is de locatie van de piek aangegeven. In de winterperiode ligt deze net opwaarts van de grens, met slibgehaltenes van ca. 220 mg/l. In de periode met lage rivierafvoeren ligt het maximum in de buurt van Antwerpen (Stad). De maximale slibconcentratie is beduidend lager, tussen de 120 en 170 mg/l.

3.2 De Scheldeafvoer.

De jaarlijkse Scheldeafvoer te Schelle bedraagt sinds 1964 ca. 120 m³/s. 's Zomers zijn de debieten lager, gemiddeld ongeveer 80 m³/s. 's Winters is een afvoer van ongeveer 160 m³/s te verwachten, met uitschieters tot 500-600 m³/s (Van der Kooij, 1982). Gedurende de periode 1970 tot 1987 is de jaarlijks gemiddelde afvoer van de Schelde te Schelle toegenomen van globaal 60 m³/s tot ca. 120 m³/s (Fig 16). Deze toename wordt, naast veranderingen in het neerslagoverschot en de wateronttrekking, grotendeels veroorzaakt door een herverdeling van de debieten in België over de verschillende waterwegen.

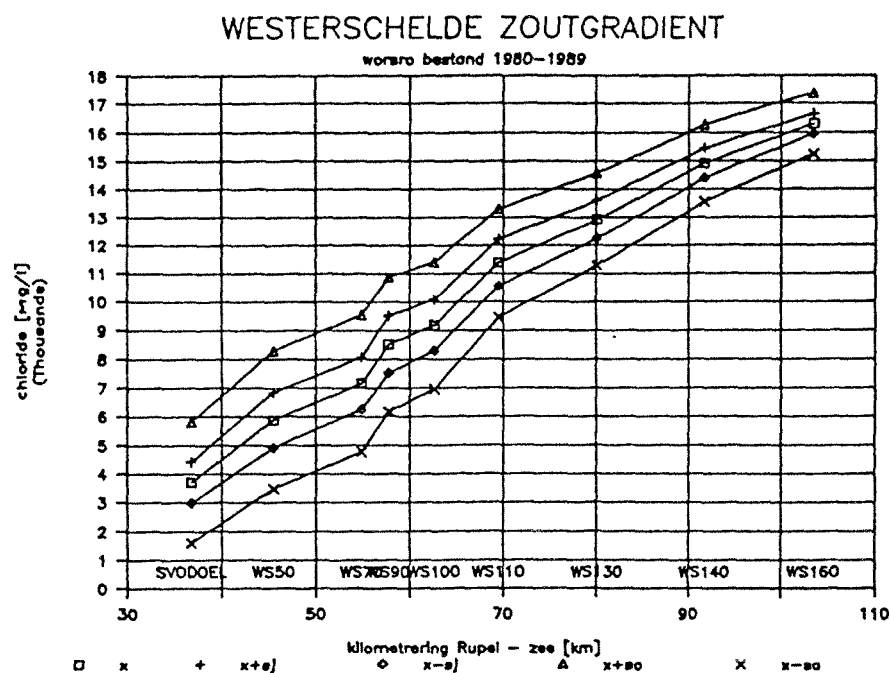
De totale afvoer van de Schelde bij de Schaar van Ouden Doel is gemiddeld 15% hoger dan te Schelle (Van der Kooij, 1982).

Jaren van relatief grote Scheldeafvoer in de beschouwde periode (vanaf 1970) zijn: 1974, 1981 en 1988. Relatief geringe afvoeren zijn opgetreden in de jaren 1971, 1972, 1973 en 1976 (Fig 16).

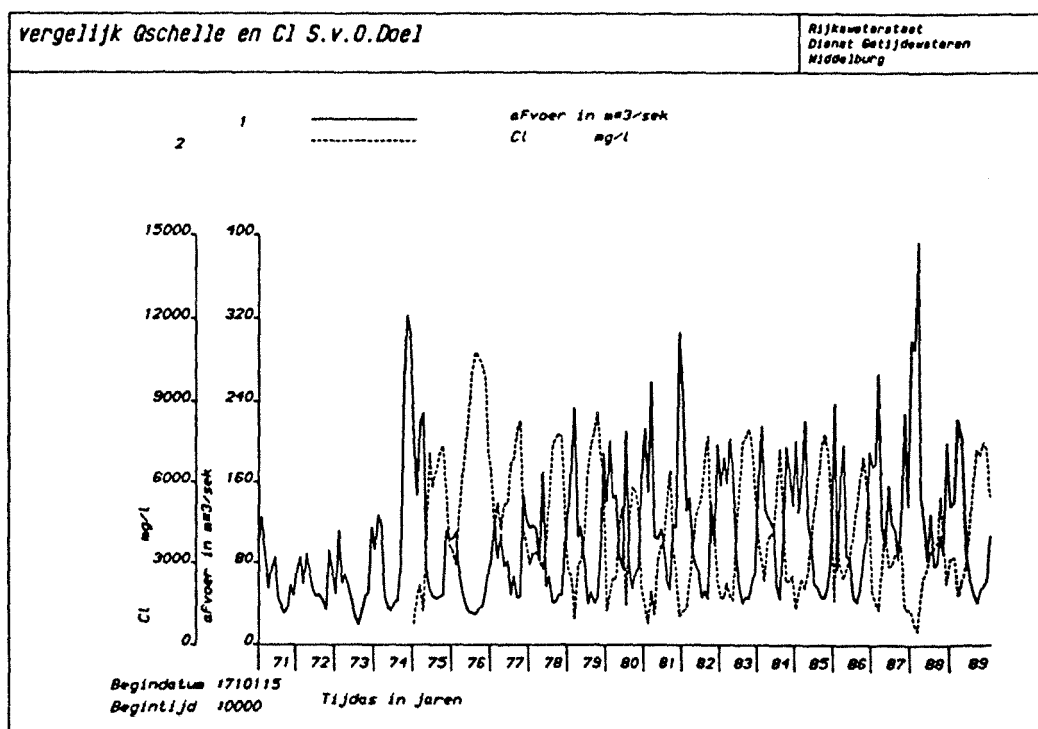
3.3 Chloride.

Het chloridegehalte vertoont een geknikte lineaire gradiënt over het traject Vlissingen tot de Schaar van Ouden Doel. De knik is gelegen ter hoogte van Baarland ofwel WS 110 (Fig. 2). Ten westen van de knik is de gradiënt het steilst (Fig 17). Bij Vlissingen bedraagt het chloridegehalte ca. 15 tot 18,5 g/l. Bij de Schaar van Ouden Doel varieert deze van 1,5 tot 10 g/l. De standaarddeviatie van de zoutgradiënt van jaar tot jaar ($x \pm s_j$) is kleiner dan de seizoenale standaarddeviatie ($x \pm s_a$).

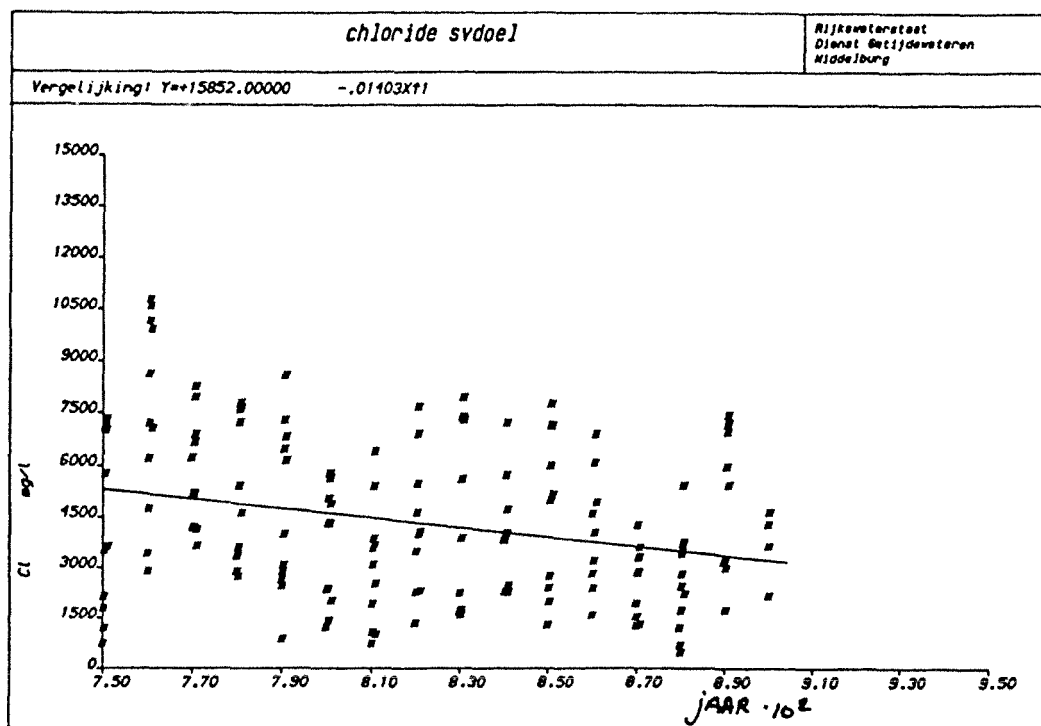
Het chloridegehalte is negatief gerelateerd aan de Scheldeafvoer, en vertoont een seizoenale variatie (Fig 18). Door de toename van het Scheldeafvoer is het chloridegehalte in de Schaar van Ouden Doel gestaag afgenomen. Sinds de zeventiger jaren bedraagt de afname op deze locatie ca. 1 g/l (20%) (Fig. 19).



Figuur 17. De zoutgradiënt in de Westerschelde; gemiddelden voor de periode 1980- 1989.



Figuur 18. De Scheldeafvoer te Schelle en het chloridegehalte in de Schaar van Doel.



Figuur 19. Het verloop van het chloridegehalte in de Schaar van Ouden Doel (nabij grens).

3.4 Baggeren en storten van slib.

Ten gevolge van het baggeren en storten wordt op een aantal manieren slib in de waterkolom gebracht:

1. opwerveling tijdens het baggeren (nabij de zuigkop) en een hoeveelheid slib via de overstort; de baggerhoeveelheid wordt beschouwd als de maat voor hoeveelheid slib die in de waterfase is gebracht.
2. het storten van de baggerspecie waarbij onderscheid wordt gemaakt in onderhoudsbaggerwerk aan vaargeulen en havens, en incidentele stortingen, meestal ten gevolge van grote werken (havenuitbreiding, kanaalverbreding).

Per gebiedsdeel is de sliblast in volumina als volgt berrekend:

- voor het onderhoudsbaggerwerk in de vaargeulen is uitgegaan van de slibgehalten in de bodem; 5% voor de monding en de Westerschelde en 10% voor de Zeeschelde [deze sliblast is verdubbeld: baggeren + storten]
- voor het onderhoudsbaggerwerk aan havens is uitgegaan van 75% slib in de havens langs de Westerschelde en van 50% slib voor de Belgische zeehavens
- aangenomen is dat de slibfractie van incidentele stortingen (meestal ten gevolge van initieel baggerwerk) 30% bedraagt

• opmerking v. T. Picters dat de Stortperiode / Baggerperiode
Beter moet worden meegenomen.

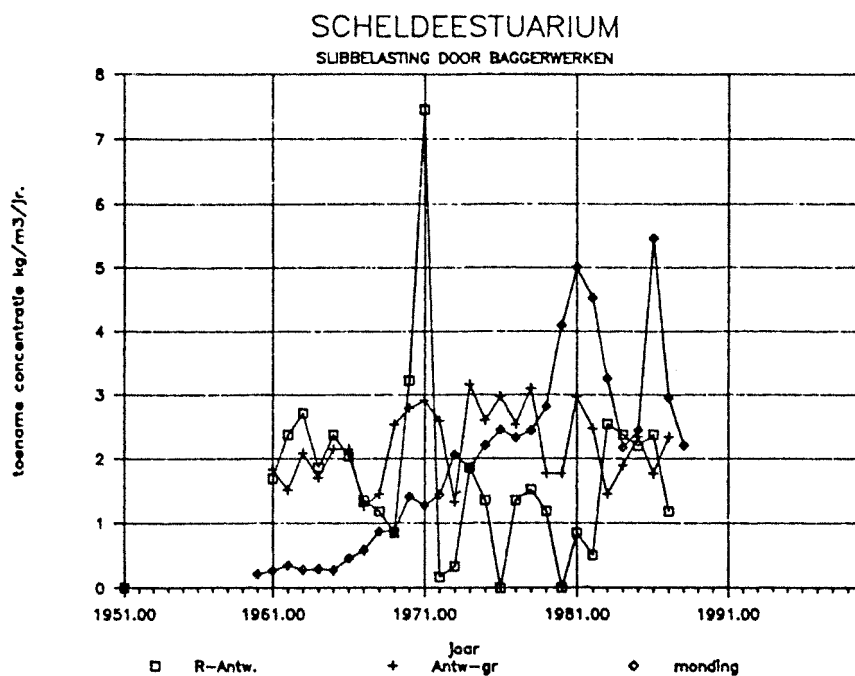
Vervolgens zijn de slibvolumina's genormaliseerd ten opzichte van de volumeïnhoud van de gebiedsdelen. In Fig. 20 en 21 is de relatieve sliblast uitgezet als de totale jaarlijkse stort van slib in een deelgebied gedeeld door de inhoud (t.o.v. NAP) van dat gebied. Dit is gedaan om de sliblast tussen de gebieden onderling vergelijkbaar te maken.

In Fig. 20 is voor de Westerscheldemonding en de Zeeschelde de relatieve sliblast weergegeven voor de periode 1961 tot en met 1988. In de Westerscheldemonding is sinds de zestiger jaren een sterke toename van de sliblast opgetreden, met name ten gevolge van (verhoogd) vaargeulonderhoud aan het Scheur, de Wielingen en de Pas van het Zand. De grote pieken in 1981 en 1986 houden verband met verdiepingsbaggerwerk aan deze geulen. In de Zeeschelde opwaarts van Antwerpen treedt een scherpe piek op in 1971 met name door verdiepingswerken. Gemiddeld is de relatieve sliblast in het opwaartse deel kleiner dan in het gedeelte tussen Antwerpen en de grens. In dat gedeelte is de sliblast sinds het begin van de zeventiger jaren op een hoog niveau. De sliblast in het oostelijk deel van de Westerschelde is sinds de zeventiger jaren niet substantieel veranderd (Fig. 21). Jaren met relatief weinig sliblast waren 1971, 1972, 1974, 1981 en 1983. In 1987 is een aanzienlijke hoeveelheid gestort, voor een groot gedeelte afkomstig van de werken aan het Kanaal door Zuid Beveland. In het westelijk deel varieert de slibstort sterker, met name gerelateerd aan grote werken als havenuitbreidingen (Sloehaven, Braakmanhaven). Jaren met relatief geringe sliblast zijn 1973 en 1987. Jaren met grote sliblast zijn 1970, 1976, 1983 en 1984 (Fig. 21).

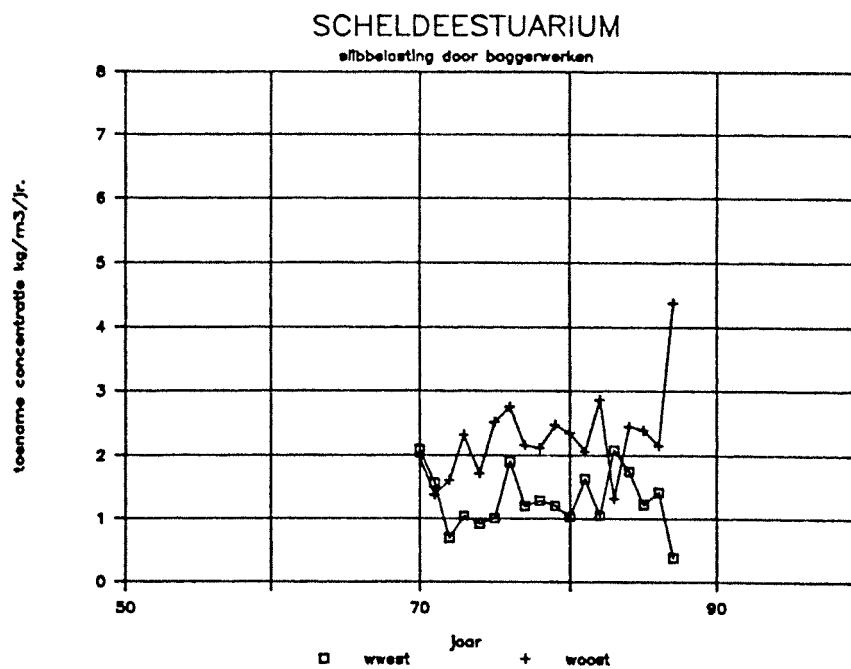
De concentratie welke volgt uit de sliblast ($\text{kg/m}^3/\text{jaar}$) is vele malen groter dan de gemiddelde slibconcentratie in het water. Dit komt doordat een groot gedeelte van de sliblast verspreid over het jaar wordt gestort en binnen enkele getijden uitzakt (sedimenteert).

Resumerend kan worden gesteld dat het aandeel van incidentele werken en van het onderhoudsbaggerwerk aan havens niet mag worden verwaarloosd ten opzichte van het onderhoud aan de vaargeulen.

Een sliblast die niet is beschouwd maar welke wel degelijk relevant is, is de jaarlijkse slibaanvoer vanuit het stroomgebied van de Schelde (ca. $300.000 \text{ m}^3/\text{jaar}$). Periodieke gegevens van deze aanvoer zijn niet aanwezig en deze factor is derhalve constant verondersteld. De verwachting is dat na 1980 de aanvoer van slib zal zijn afgenomen ten gevolge van saneringen op Belgisch gebied.



Figuur 20. Relatieve sliblast voor de Zeeschelde (opwaarts van Antwerpen; en Antwerpen tot grens) en de Westerscheldemonding.



Figuur 21. Relatieve sliblast voor de Westerschelde (westelijk- en oostelijk deel).

4 Causale verbanden.

De bepaling van de causale verbanden is gedaan aan de hand van een denkmodel, waarin zijn weergegeven de onderlinge relaties tussen de trendgevoelige parameters m.b.t. slib (ZOUTCO en SLIBCO) en de natuurlijke en kunstmatige factoren (INHOUD, SCHELD en SLIBBR). De invloed van andere factoren, zoals klimatologische veranderingen, afzetting en mariene slibaanvoer, zijn ter vereenvoudiging verwaarloosd. Dat ook deze factoren van belang kunnen zijn volgt onder meer uit bestaande literatuur (Terwindt, 1977; Peters, 1978; Mulder & Udink, 1989). Tabel 4 geeft een overzicht van de ontwikkelingen van factoren en parameters die van belang worden geacht voor de ontwikkeling van de slibhuishouding in het Scheldeestuarium (zie ook Bijlage 2).

Tabel 4. De ontwikkeling van de slibconcentraties per deelgebied in relatie tot veranderingen in "factoren en parameters" voor de periode '70-'90.

DEELGEBIED	FACTOREN en PARAMETERS					SLIBCO
	INHOUD	SCHELD	SLIBBR	ZOUTCO		
RUPEL - ANTWERPEN	0	++	-/+	-	#	- *
ANTWERPEN - GRENS	++	++	0	-		- *
WESTERSCHELDE OOST	0	+	0	-		--/++
WESTERSCHELDE WEST	0	0	0	0		-/+
WESTERSCHELDE MOND	0	0	+	0		0

aanname

* aanwijzing afgeleid van een vergelijking van Belgische jaargegevens ('73-'79) en DGW gegevens

Betekenis score en notatie:

+ toename - afname o indifferent

ZOUTCO = verandering zoutconcentratie

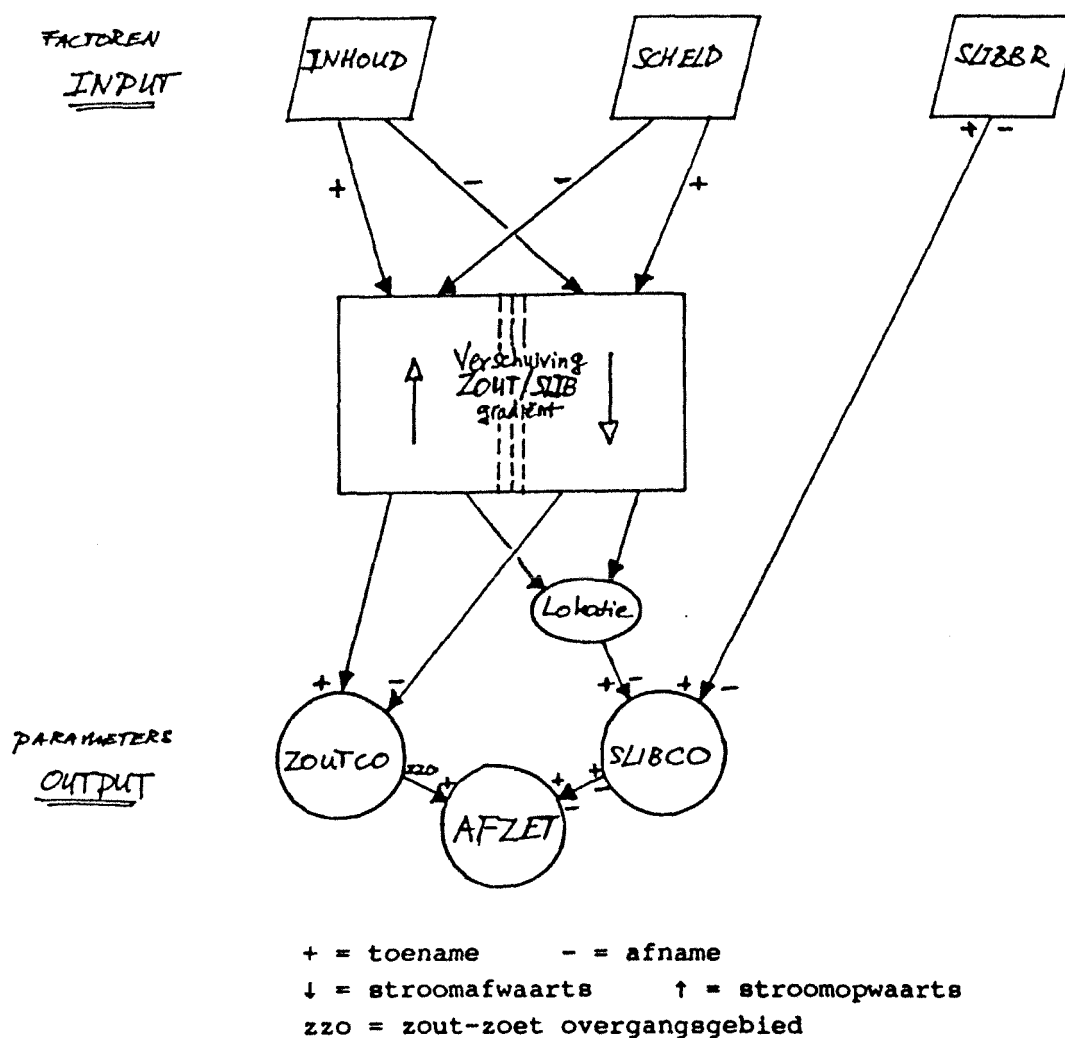
SLIBCO = verandering slibconcentratie

INHOUD = verandering door verdieping en kombergingstoename

SCHELD = verandering Scheldeafvoer (t.o.v getijvolumina)

SLIBBR = verandering sliblast van baggeren, storten en aanvoer

Het theorethisch denkmodel is opgezet om de verbanden tussen parameters en factoren te volgen als een "black box" -achtig instrument. Per deelgebied kunnen hypothesen worden opgesteld voor de oorzaken van de opgetreden veranderingen (Fig. 22). De INPUT van dit model zijn de bekende factoren en de OUTPUT de meetbare parameters. De "black box" is feitelijk de verschuiving van de zoutgradiënt en dus ook de daarvan sterk afhankelijke slibgradiënt. Door de veranderingen van de meetbare factoren en parameters in te vullen kan worden nagegaan hoe de factoren elkaar beïnvloeden. Bij de verspreiding van het slib in de lengterichting van het estuarium treden vertragingen op waardoor ontwikkelingen van de slibconcentratie ten gevolge van veranderingen (sliblast, Scheldeafvoer) kunnen worden versluierd.



Figuur 22. Denkmodel ter bepaling van de causale verbanden.

Ter controle geldt dat de OUTPUT's van de aangrenzende deelgebieden onderling verklaarbaar moeten zijn.

Per deelgebied zijn met behulp van het denkmodel de volgende hypothesen opgesteld voor de causale verbanden tussen de ontwikkeling van slibconcentraties en veranderingen in factoren en parameters.

DEELGEBIED Zeeschelde Antwerpen - Rupel:

De veronderstelde afname van de slibconcentratie is wellicht een gevolg van een afgenomen slibaanvoer door saneringen in België (vanaf ca. 1980) en stroomafwaartse verplaatsing van het troebelheidsmaximum door de toegenomen Scheldeafvoer (Fig.19). De invloed van de ontwikkeling van de sliblast op de trend van de slibconcentratie is onduidelijk. In dit gebied hebben geen inhoudsveranderingen plaatsgevonden.

DEELGEBIED Zeeschelde Antwerpen tot en met grens:

De slibconcentratie is sterk afhankelijk van de positie en de grootte van het troebelheidsmaximum, welke gerelateerd zijn aan de Scheldeafvoer. De Scheldeafvoer is sinds de jaren zeventig zowel gedurende de zomer- als winterperiode gemiddeld toegenomen waardoor het troebelheidsmaximum (gekoppeld aan de zout-zoetgradiënt) gemiddeld stroomafwaarts is verplaatst (Fig. 19). Door een vergroting van de inhoud, bevestigd door een toename van de debieten in de raai bij Bath in de periode 1972 - 1982, zou het troebelheidsmaximum in principe stroomopwaarts kunnen verschuiven (zie Appendix). Hieruit kan worden geconcludeerd dat het effect van de Scheldeafvoer groter is dan het effect van verruiming van de Zeeschelde. De ontwikkelingen van slibconcentraties in de winter nabij de grens zouden erop duiden dat deze meer worden beïnvloed door de slibaanvoer vanuit het stroomgebied dan veranderingen van de Scheldeafvoer of de sliblast (Fig. 20). De ontwikkelingen gedurende de zomerperiode zijn minder geprononceerd omdat het troebelheidsmaximum zich dan verder stroomopwaarts bevindt. De slibconcentraties worden (theoretisch) ook beïnvloed door de afstand van het troebelheidsmaximum tot sedimentatiegebieden als Saeftinge, het Groot Buitenschorde en de Ballastplaat, in verband met afzettingsmogelijkheden. Met de huidige dataset kan dit niet worden aangetoond.

DEELGEBIED Westerschelde Oostelijk deel:

De toename van het gemiddelde slibconcentratie (winter) in de periode '71-'78 lijkt gerelateerd met de in die periode doorgevoerde verdieping van de vaargeul en dus toename van het baggerwerk (sliblast) (Fig 21). De wisselingen na '78 (afname - toename - afname) kunnen niet eenvoudig aan de hand van het model (variatië sliblast; variatië Scheldeafvoer) worden verklaard.

DEELGEBIED Westerschelde Westelijk deel:

Evenals in het oostelijk deel lijkt de verdieping van de vaargeul een invloed te hebben gehad op de gemiddelde slibconcentraties in de periode '71-'78. Dit verband blijkt echter niet uit de ontwikkeling van de sliblast (Fig. 21). Inhoudsveranderingen en veranderingen van de zout-zoetgradiënt zijn voor dit gebied nauwelijks van toepassing.

DEELGEBIED Westerscheldemonding:

De slibconcentraties (winter) op locaties 1 en 2 zijn niet afhankelijk van de sliblast in het mondingsgebied (Fig. 20). Dit is niet verwonderlijk gezien de ligging van de bemonsteringslocaties, respectievelijk op de Noordzee en in het noordelijk deel van het mondingsgebied (Fig. 1). Ze zijn derhalve niet relevant voor het mondingsgebied. Van het zuidelijk gedeelte van de Westerscheldemonding is bekend dat daar hoge slibconcentraties voorkomen. In een belgisches rapport (1990) wordt gesproken van een marien troebelheidsmaximum. Belangrijke oorzaken zijn de erosie van de Vlaamse Banken, samenkost van residuele transporten en de omvangrijke baggerwerken aan de toegangsgeulen en zeehavens.

X een mogelijkheid is toename conc. bij toename afvoer
(zie 3^e hof. WtHt 62.26)

stroomafwaartse verplaatsing van de zout-zoetgradiënt. De slibconcentraties op de Zeeschelde, opwaarts van het troebelheidsmaximum, zijn wellicht ook hierdoor enigszins afgenomen. Dit zou betekenen dat de slibconcentraties op locatie 9, afwaarts van het troebelheidsmaximum, moeten zijn toegenomen, terwijl sinds 1978 een afname is geconstateerd.

Deze tegenstelling zou op aantal manieren kunnen worden verklaard:

- een afname van de sliblast ten gevolge van baggerwerken op de Zeeschelde
- saneringen in het stroomgebied van de Schelde met als gevolg een verlaging van het troebelheidsmaximum
- een opwaartse verschuiving van het troebelheidsmaximum ten gevolge van de vaargeulverdieping en de hieraan gekoppelde versterkte getijïnvloed. {Dit klopt alleen indien het gebied waarover het troebelheidsmaximum zich uitstrekt is versmald: aan de opwaartse zijde ten gevolge van een verhoogde Scheldeafvoer en afwaarts door een toenemende invloed van de getijgolf}

- * Oorzaak voor de uiteenlopende conclusies in de literatuur zijn de beschouwde periode, het bemonsteringstijdstip, de beschouwde locaties en de wijze van analyseren van de betreffende dataset. In deze notitie is het gehele Scheldeestuarium beschouwd, onderverdeeld per gebiedsdeel en per bemonsteringslocatie, voor de periode tot 1990.
- * Een toename van de gemiddelde slibconcentratie met bijvoorbeeld 10 mg/l zal niet direct een invloed hebben op het voorkomen van organismen, gezien de grote variatie van de slibconcentratie. Wel zullen hogere slibconcentraties een versnelde sedimentatie van schorren en slikken teweeg brengen, waardoor de flora en fauna indirect zullen worden beïnvloed. Hierbij is van cruciaal belang de positie en de grootte van het troebelheidsmaximum.

Aanbevelingen.

- * Voor het verkrijgen van een goede dataset is het van belang dat de bemonstering per locatie op een vast tijdstip ten opzichte van het getij wordt genomen.
- * De slibconcentratie zou in een Schelde-brede monitoring moeten worden opgenomen op representatieve locaties.
- * Het bepalen van de statistische significantie van de aangetroffen trends aan de hand van een uitgebreide tijdreeksanalyse.

Literatuur.

- Bijlsma, L., 1990. De Schelde, wereldrivier, wereldvoorbeeld. In: Saeijs, H.L.F. (ed.). Symposium Schelde zonder grenzen, Neeltje Jans 26 april 1990, pp. 8-13.
- Bitter, G., 1988. Trendanalyse waterkwaliteit Westerschelde over de periode 1975 t/m 1985. RWS Nota GWWS-88.405.
- Herman, P.M.J., Hummel, H., Bokhorst, M., and Merks, A.G.A., 1990. The Westerschelde: interaction between eutrophication and chemical pollution? In prep.
- Kerngroep Westerschelde, 1989. Beleidsplan Westerschelde. RWS DGW Middelburg en Directie Zeeland.
- Ministerie van Volksgezondheid en Leefmilieu, BMM en bestuur de Waterwegen, 1990. Ecologische impact van baggerspecieoplossingen voor de Belgische kust, conceptrapport. Brussel, april 1990.
- Mulder, H.P.J., en Udink, C., 1989. A cohesive sediment transport model for the Western Scheldt Estuary. RWS Notitie GWAO-89.349.
- Peters, J.J., and Wollast, R., 1978. Role of the self-purification of the Scheldt estuary. Hydraulic research Laboratory Borgerhout, pp. 3_77 -3_86.
- Swart, J.P., 1982. Onderzoek oppervlaktebemonstering slib in de Westerscheldeperiode '69 - '80. RWS Nota WWKZ-82.V003.
- Technische Sceldecommissie Subcommissie Westerschelde, 1984. Verdieping Westerschelde, studierapport programma 48'/43'(2 delen). Middelburg-Antwerpen.
- Terwindt, J.H.J., 1977. Mud in the Dutch delta area. Geologie en Mijnbouw, 56(3), pp. 203-210.
- Van der Kooij, L.A., 1982. De waterkwaliteit van de Westerschelde in de periode 1964-1981. RIZA Nota 82.063.

BIJLAGE 1. Kwalitatieve trends slibconcentraties Scheldeestuarium per locatie.

WINTER	JAAR	1970	1975	1980	1985	1990
MEETLOCATIE						
Noordzee	1	-	+	+	+	-
Voordelta	2	-	+	+	-	-
Westelijk	3	-	+	+	-	-
	4	-	-	+	+	+
	5	+	+	+	+	+
	6	0	0	+	-	0
Oostelijk	7	-	-	-	+	0
	8	+	+	-	+	-
	9	+	-	-	+	-
ZOMER	JAAR	1970	1975	1980	1985	1990
MEETLOCATIE						
Noordzee	1	0	0	0	0	0
Voordelta	2	-	-	+	-	+
Westelijk	3	0	0	+	0	0
	4	-	-	0	0	0
	5	+	+	+	-	+
	6	+	+	+	-	+
Oostelijk	7	+	+	+	-	0
	8	+	+	+	-	+
	9	+	-	-	+	+

* scores zijn kwalitatief (geen statistische grondslag)

* meetset Rijkswaterstaat (DGW)

BIJLAGE 2. Natuurlijke slibbronnen en slibinput t.g.v. baggerwerken voor het Schelde estuarium (noordzee-rupeel).

FACTOR DEELGEBIED	STRAAT VAN DOVER	RIJN	SCHELDE	VLAAMSE BANKEN	ONDERHOUDSBAG. JAARLIJKS [m3 SLIB/J] havens drempels	VERDIEPING	INCIDENTELE STORTINGEN SLIB jaar m3/j
NOORDZEE	++ 	++ 		 +++ 	?	0	?
WESTERSCHELDE MONDING					1,5	+	0
WESTERSCHELDE WESTELIJK					2,0	0	70-79 0,6
							84 0,5
WESTERSCHELDE OOSTELIJK					0,3	+	84-85 0,2
							87 1,2
GRENS- ANTWERPEN					0	++	0
ANTWERPEN- RUPEL			+++ 		0	0	0

+++

bron veel invloed weinig invloed

APPENDIX FYSISCH BENADERING VAN DE VERSCHUIVING VAN DE GRADIËNTEN.

Uit de trendanalyse is de hypothese afgeleid dat door verruimingswerken op het Belgisch gebiedsdeel tussen Antwerpen en de grens de zout- en slibgradiënt stroomopwaarts zouden moeten verplaatsen. De toename van de debieten nabij de grens wijzen in dezelfde richting.

De dwarsdoorsnede is in de periode 1970-1980 met ca. 26% toegenomen en de gemiddelde waterdiepte is toegenomen van 9.80m. naar 11.0m.

De volgende berekeningen zijn uitgevoerd:

1. De verandering van de "static salt wedge" [Lit.TH college]
Bepaald is een toename van 41 naar 52 km.
2. De verandering van de snelheid van de dichtheidsstroom [Lit.idem]
Bepaald is een toename van de dichtheidsstroom van 0.34 naar 0.37 m/s.

Uit de combinatie van lengte salt wedge en dichtheidsstroomsnelheid volgt dat dat 3 getijden nodig zijn voordat een evenwicht is ingesteld. Een toename van de dichtheidsstroomsnelheid met 0.03 m/s gedurende deze periode betekent een stroomopwaartse verplaatsing van ca. 4 km. Dit geeft plaatselijk een afname van de slibconcentratie met 0.02 kg/m³. Orde van grootte komt dit overeen met de gekonstateerde afname van de slibconcentratie in de periode 1970-1990 met 0.02 kg/m³.

