

**DE MENGING VAN MARIEN EN FLUVIATIEL SLIB IN HET
ESTUARIUM VAN DE SCHELDE**

Wilfried B.M. ten Brinke

ESTUCON

1994

INHOUD:	Blz.
1. Inleiding	2
2. Methodiek	3
3. Resultaten	6
4. Discussie en conclusies	11
5. Aanbevelingen monitoring mengcurve	12
Referenties	14

1. Inleiding

De grootte van de slibfluxen in de slibbalans van het Schelde-estuarium wordt voor een groot deel bepaald door de mengverhouding van marien en fluviatiel slib (Van Maldegem, 1991; Ten Brinke, 1992). Deze mengverhouding kan worden berekend aan de hand van verschillen in het gehalte aan een bepaalde stof in het slib van mariene resp. fluviatische herkomst. Veelal wordt de mengverhouding berekend op basis van de gradient van slechts één bepaalde stof (/tracer) (Van Maldegem, 1991), waarvan is aangetoond dat deze zich in het estuarium conservatief gedraagt. Toepassing van slechts één tracer suggereert een grotere zekerheid in de uitkomsten van de slibbalans dan feitelijk mag worden aangenomen. Ten Brinke (1992) heeft aangetoond dat de keuze van een andere conservatieve tracer leidt tot andere uitkomsten van de slibbalans. De verschillende uitkomsten zijn te wijten aan onzekerheden in de geschiktheid van de verschillende tracers, de keuze van zwevend of bodemslib, deeltjesgrootte effecten en ruimtelijke en temporele variaties.

Volgens Ten Brinke kan niet bij voorbaat worden aangegeven dat de ene tracer beter geschikt is voor de bepaling van de menging van marien en fluviatiel slib dan de ander. Bij de toepassing van slechts één tracer in de slibbalans is dus sprake van een schijnzekerheid in de mengverhouding van marien en fluviatiel slib. Op dit moment kunnen de bron- en puttermen van slib in het estuarium van de Schelde worden uitgedrukt in een gemiddelde waarde met een onzekerheidsmarge (veelal de standaard deviatie) (Ten Brinke, 1992). Voor een verantwoorde interpretatie van de slibproblematiek van de Westerschelde is het van groot belang om in de slibbalans ook de spreiding in de mengverhouding mee te nemen. Deze spreiding volgt uit de berekening van de mengverhouding op basis van meerdere tracers.

In dit rapport worden de resultaten besproken van een studie naar de mengverhouding van marien en fluviatiel slib. Voor deze studie zijn alle beschikbare en bruikbare datasets voor het estuarium toegepast. In totaal bleken 11 tracers geschikt voor de bepaling van de menging van marien en fluviatiel slib.

De resultaten in dit rapport zijn mede verkregen dankzij de vele inspanningen van Ing. D.C. van Maldegem.

2. Methodiek:

Het percentage fluviaal slib volgt uit de vergelijking

$$\text{perc. fluv. slib} = ((T_m - T(x)) / (T_m - T_f)) * 100\%$$

waarin T_m = waarde van de tracer voor marien slib
 T_f = waarde van de tracer voor fluviaal slib
 $T(x)$ = waarde van de tracer voor estuarien slib op lokatie x

De waarde voor $T(x)$ zal variëren van T_f tot T_m , afhankelijk van de lokatie x tussen de rivier en de zee. Voor T zijn in totaal 11 verschillende datasets toegepast. Deze zijn samengevat in tabel 1. De verhouding $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ is de tot dusver gehanteerde tracer voor de slibbalans van het Schelde-estuarium (Van Maldegem, 1991). De andere isotopen en CaCO_3 zijn ontleend aan de literatuur. Voor lood en chroom zijn 3 verschillende datasets beschikbaar. Voor elk van deze 3 datasets worden zowel lood als chroom beschouwd als geschikte tracers. Voor alle toegepaste tracers geldt dat in wetenschappelijke rapportages is aangetoond dat de tracers zich conservatief in het estuarium gedragen, zowel tijdens transport als na depositie. Dit betekent dat de tracers niet vanuit de particulaire fase in oplossing gaan, vanuit de opgeloste fase neerslaan, of anderszins in concentratie veranderen ten opzichte van de sedimentconcentratie. CaCO_3 is in dit verband niet onomstreden omdat verwacht mag worden dat CaCO_3 wordt geproduceerd in het water van de Westerschelde. Echter in deze studie wordt uitgegaan van de bevindingen van Bernard (1989) die aangeven dat CaCO_3 een bruikbare tracer is.

Tabel 1. De gebruikte tracers met een beschrijving van de wijze van bemonstering, het jaartal en de bronvermelding.

Tracer	Type data	Jaartal	Bron
CaCO_3	zwevend < 53 μm	1985	Bernard (1989)
$^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$	zwevend slib	1974-1982	Mariotti <i>et al</i> (1984)
$^{239} + ^{240}\text{Pu}$	bodemsediment/Al	1979-1984	Duursma <i>et al</i> (1984)
$^{238}\text{Pu}/^{239} + ^{240}\text{Pu}$	bodemsediment/Al	1979-1984	Duursma <i>et al</i> (1984)
$^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$	bodem < 50 μm	1987-1988	Van Maldegem (1989)
Pb 1987-1988	zwevend slib/Al	1987-1988	Zwolsman
Cr 1987-1988	zwevend slib/Al	1987-1988	Zwolsman
Pb 1970-1990	bodemsediment	1970-1990	RIKZ
Cr 1970-1990	bodemsediment	1970-1990	RIKZ
Pb 1990-1993	bodem < 63 μm	1990-1993	Kerdijk (1992,1993)
Cr 1990-1993	bodem < 63 μm	1990-1993	Kerdijk (1992,1993)

Zoals in tabel 1 is aangegeven, hebben de tracers deels betrekking op bodemslib en deels op zwevend slib. In alle gevallen hebben de tracers alleen betrekking op de fijnste

fractie. Dit is van groot belang omdat de grove fractie nauwelijks metalen e.d. aan zich bindt. Als niet voor deze grove fractie zou kunnen worden gecorrigeerd, dan zouden ruimtelijke verschillen in tracergehalte niet zonder meer aan estuarine gradiënten kunnen worden geweten maar net zo goed het effect kunnen zijn van verschillende percentages slib in het sediment. De correctie voor het aanwezig zijn van een grove fractie in de monsters is voor een aantal tracers bereikt door de grove fractie vóór de analyses uit de sedimentmonsters te filteren, en deels door de tracergehalten te delen door het gehalte aan aluminium. Aluminium komt voor in kleimineralen en heeft daardoor dezelfde specifieke affiniteit voor de fijnste sedimentfracties als de tracers terwijl het metaal niet door de mens op het Schelde-estuarium wordt geloosd. Door te delen door het aluminiumgehalte worden de tracergehalten onafhankelijk van de deeltjesgrootteverdeling van het sediment. Normering op basis van aluminium wordt aanbevolen voor metalen in sedimenten (Laane *et al.*, 1992). De definitie van de bovengrens van de textuur van de fractie slib is niet gelijk voor de verschillende datasets (/tracers). Welke onnauwkeurigheid hierdoor wordt veroorzaakt in de resultaten van dit onderzoek is niet bekend.

Alle data hebben betrekking op het gebied tussen Vlissingen en Rupel. Dit gebied wordt voor modelexercities veelal onderverdeeld in 14 vakken (figuur 1). In deze studie is voor iedere tracer een gemiddeld fluviatiel slibgehalte voor elk van de 14 vakken berekend. Daar waar voor een bepaald vak van een tracer geen data beschikbaar waren, is interpolatie toegepast. Voor de achtergronden met betrekking tot de datasets voor CaCO_3 , $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$, $^{239+240}\text{Pu}$, $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ en $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ wordt verwezen naar respectievelijk Bernard (1989), Mariotti *et al.* (1984), Duursma *et al.* (1984) en Van Maldegem (1989). De lood en chroom data van 1987 en 1988 hebben betrekking op SAWES tochten waarbij het hele estuarium in totaal 8 keer is bemonsterd tijdens verschillende seizoenen (zie ook Zwolsman, submitted)

De lood en chroom data uit de periode 1970-1990 hebben betrekking op ad hoc kwaliteitsopnames van het bodemsediment in verband met het verlenen van vergunningen door de Nederlandse overheid. Dit bestand, in beheer bij het RIKZ in Middelburg, bevat gegevens vanaf ± 1959 . Het RIKZ heeft het bestand o.a. ingedeeld naar laboratoria en gebieden. Dit bestand bevat o.a. de uitgebreide tocht van Gaspard in 1978 van Vlissingen naar Rupel met veel monsters onder de detectielimiet. De aluminium gegevens zijn in het bestand niet meegenomen wegens een verwaarloosbaar aandeel. De gegevens van Gisberts in het westelijk deel van de Westerschelde zijn weggelaten wegens onvergelykbaarheid. Voor dit onderzoek zijn alleen de gegevens van de periode 1980 -1990 gebruikt omdat in deze periode de belasting met lood en chroom vrij constant was. De data uit dit RIKZ-bestand hebben betrekking op bodemmonsters waaruit de grove fractie niet is weggefilterd. Wegens gebrek aan een geschikt metaal als aluminium konden de lood- en chroomdata uit dit bestand niet op een conventionele manier voor de grove fractie worden gecorrigeerd. Daarom is een afwijkende methode gehanteerd. Het effect van de verhouding zand-slib in de bodemmonsters op het lood- en chroomgehalte is bestudeerd voor het gebied van het troebelheidsmaximum (vakken 4 en 5 in figuur 1). Gesteld is dat marien en fluviatiel slib in dit gebied, door de gravitatiecirculatie in combinatie met de lange verblijftijd van het slib, goed gemengd zijn en ruimtelijke variaties puur het effect zijn van variaties in het bodemslibgehalte. In

dit gebied is het effect van een variabele zand-slib verhouding op de lood- en chroomgehalten gekwantificeerd en vervolgens gebruikt om de lood- en chroomdata elders in het estuarium te corrigeren voor deeltjesgrootte-effecten.

De lood en chroom data uit de periode 1990-1993 hebben betrekking op jaarlijkse kwaliteitsopnames van het sediment van de drempels in het estuarium (Kerdijk, 1992, 1993). Deze data hebben betrekking op de fractie $< 63 \mu\text{m}$. Omdat aluminium slechts voor een deel van de dataset beschikbaar was, is geen normering op basis van het aluminium gehalte uitgevoerd. Voor deze dataset zijn de lood- en chroomgehalten voor puur marien slib ontleend aan bodemon monsters in het mondingsgebied van de Westerschelde uit 1991 (Kerdijk, 1992).

Voor alle 11 tracers is per vak een gemiddelde waarde \pm standaard deviatie berekend. De 11 gemiddelde waarden zijn gecombineerd tot één gemiddelde \pm standaard deviatie. Er is dus niet doorgerekend met de standaard deviaties van de afzonderlijke 11 tracers. Het is namelijk niet mogelijk om de 11 standaard deviaties per vak op een verantwoorde manier te combineren tot één standaard deviatie. Een dergelijke rekenstap vereist de berekening van covarianties tussen de tracers onderling. De wijze waarop de data ter beschikking staan, deels in de vorm van gemiddelden \pm standaard deviaties en steeds wisselende bemonsteringslokaties, maakt een dergelijke statistische aanpak onbruikbaar.

Uit de resultaten van de 11 tracers is gebleken dat deze tracers onderling sterk verschillende mengcurves voor marien en fluviatiel slib opleveren. Deze verschillen zijn bestudeerd door het percentage fluviatiel slib volgens elk van de 11 tracers te vergelijken met het percentage fluviatiel slib volgens het gemiddelde van alle 11 tracers. Middels een statistische toets kan worden gekeken of volgens een bepaalde tracer een systematisch hoger of lager percentage fluviatiel slib wordt berekend dan volgens het gemiddelde van de 11 tracers. Bij een systematisch verschil kan de keuze worden gemaakt om de bewuste tracer uit de dataset te verwijderen en deze tracer niet mee te tellen bij het berekenen van een gemiddelde \pm standaard deviatie op basis van alle bruikbare tracers. Een eventueel systematisch verschil is getoetst met de Wilcoxon Signed Ranks Test (rejection level $\alpha = 0.05$). Gebleken is dat 5 van de 11 tracers systematisch afwijkende percentages fluviatiel slib opleverden in vergelijking met het overall gemiddelde. Daarom is in deze rapportage de menging van marien en fluviatiel slib ook berekend op basis van 6 geselecteerde tracers.

3. Resultaten:

De percentages fluviatiel slib volgens de 11 tracers zijn weergegeven in figuur 2. Deze percentages zijn berekend uitgaande van de gehalten van de tracers in 100% fluviatiel en 100% marien slib (tabel 2). Zowel het verloop van de gradiënt als de grootte van de standaard deviatie verschilt voor de tracers onderling. Van de isotopenverhoudingen $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ en $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ zijn geen standaard deviaties bekend. De gemiddelden en standaard deviaties in figuur 2 zijn vermeld in tabel 3.

Tabel 2. Aangenomen mariene en fluviatiele waarden van de toegepaste tracers.

Tracer	100% fluviatiel	100% marien
CaCO_3 (%)	0 ¹⁾	12.33 - 20
$^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ (‰)	1.5	8
$^{239} + ^{240}\text{Pu}$ (pCi/kg Al)	82.3	1150
$^{238}\text{Pu}/^{239} + ^{240}\text{Pu}$	0.76 ²⁾	0.15 ± 0.04
$^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ (‰)	-27.3 ³⁾	-22.3 ³⁾
Pb 1987-1988 (mg/kg)	47.1 ± 6.3	12.5 ± 2.6
Cr 1987-1988 (mg/kg)	65.3 ± 4.5	$20.5 \pm 2,1$
Pb 1980-1990 (mg/kg)	116.0 ⁴⁾	76.4
Cr 1980-1990 (mg/kg)	127.4 ⁴⁾	76.9
Pb 1990-1993 (mg/kg)	235 ± 56 ⁵⁾	60.6 ± 15.3
Cr 1990-1993 (mg/kg)	291 ± 40 ⁵⁾	83 ± 8

¹⁾ Aangenomen op basis van bevindingen Bernard (1989).

²⁾ Gesteld is dat de piekwaarde bij Rupel overeenkomt met 77.6 % fluviatiel slib (volgens $^{239} + ^{240}\text{Pu}$). De waarde voor 100% is puur theoretisch en slechts gebruikt om de verhouding marien-fluviatiel slib zeewaarts van Rupel te berekenen.

³⁾ Van Maldegem (1989).

⁴⁾ Gesteld is dat het % fluviatiel slib bij Vlissingen = 16.1 % (= gemiddelde van CaCO_3 , $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ en $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$).

⁵⁾ Berekend op basis van % fluviatiel slib op 71 km volgens de andere tracers (75.41 ± 3.45) en de hierbij horende waarden voor Cr (218 ± 20.12) en Pb (175.33 ± 34.10).

De waarschijnlijkheid dat een tracer dezelfde estuariene gradiënt in het percentage fluviatiel slib vertoont als de gemiddelde gradiënt volgens alle 11 tracers, is vermeld in tabel 4. Gekozen is voor een 'rejection level' van 0.05. Dit betekent dat als de waarschijnlijkheid (/probability) minder is dan 0.05, gesteld mag worden dat de bewuste tracer een significant afwijkend verloop in het percentage fluviatiel vertoont dan het gemiddelde van alle tracers.

Tabel 3. Het percentage fluviaal slib in de 14 onderscheiden vakken in het Schelde-estuarium volgens 11 tracers, alsmede het gemiddelde percentage fluviaal slib volgens alle 11 tracers gecombineerd en volgens een geselecteerde set van 11 tracers (na toetsing met Wilcoxon Signed Ranks Test, $\alpha = 0.05$).

afstand tovvlis	vakno	CAC03 gemm	CAC03 stdev	N15/N14 gemm	Pu239240 gemm	Pu239240 stdev	Pu238/ Pu239240 gemm	Pu238/ Pu239240 stdev	C13/C12 gemm
5.1	14	20.60711	17.88422	10.58414	18.24521	2.207145	3.40944	0.467553	20
16.4	13	24.93868	26.43755	16.24544	32.70356	0.544288	7.47744	1.060506	33
23.6	12	28.57108	10.88605	21.71744	40.71716	2.355979	10.60224	0.233776	40
31.4	11	33.27253	9.330900	29.28344	48.34556	2.355979	14.45544	0.233776	43
36.8	10	36.99427	23.32725	35.51936	52.98524	4.167670	17.40816	3.799841	43
40.9	9	40.07515	12.44120	40.79934	56.15741	5.508009	19.80584	8.259481	55
46	8	44.2148	12.44120	48.024	59.681	5.508009	22.976	8.259481	70
49.9	7	47.61031	10.88605	54.04014	62.05961	5.508009	25.54064	8.259481	73
52.8	6	50.26435	10.10847	58.78976	63.65084	6.848348	27.52656	8.259481	80
59.4	5	56.71525	9.330900	70.47704	66.70796	3.229719	32.29704	2.346610	80
65.1	4	62.74571	6.220600	81.55214	68.71721	4.036677	36.69744	4.909973	80
71	3	69.43605	5.443025	93.974	70.181	4.843635	41.526	7.473335	80
76.4	2	75.95908	3.732360	100	70.97156	8.707092	46.18944	9.561261	87
83.9	1	85.65257	0.466545	100	71.19881	12.57054	53.05344	11.64918	92

afstand tovvlis	vakno	Cr90-93 gemm	Cr90-93 stdev	Pb90-93 gemm	Pb90-93 stdev	percfluv tracers gemm	percfluv tracers stdev	percfluv tracers gemmcorr	percfluv tracers stdevcor
5.1	14	14.23481	8.702535	0	6.261288	12.58449	6.387947	16.03977	3.133507
16.4	13	16.95946	9.281377	0.977633	10.87548	21.22758	9.826045	22.52445	5.871693
23.6	12	20.16202	10.06710	4.364932	14.29832	27.02964	12.16052	27.27985	7.811484
31.4	11	31.10147	15.32592	3.951148	14.29381	32.80715	14.32491	33.23411	7.975310
36.8	10	41.18747	17.16489	1.429242	11.70042	37.00781	16.07742	38.61966	7.660834
40.9	9	37.65201	12.21290	2.011311	9.280336	41.26210	17.21983	42.34126	6.263038
46	8	32.63566	11.80731	2.593380	10.43352	46.35526	19.71225	46.73376	8.087606
49.9	7	69.40282	26.80503	29.93504	23.16330	55.34893	15.59222	56.45660	7.439750
52.8	6	44.27282	29.88486	23.39065	26.28551	55.59487	17.60318	55.60986	7.497926
59.4	5	60.04591	22.53802	48.48890	29.28127	63.34480	13.92367	63.00978	5.338691
65.1	4	60.89223	22.60420	62.44146	31.73304	68.52532	13.07470	68.08824	6.658324
71	3	69.62431	24.06511	82.01174	48.75600	75.48529	13.20029	75.58867	8.601103
76.4	2					81.68564	5.654610	84.66231	10.23584
83.9	1					87.36142	8.391699	91.37027	11.51517

afstand tovvlis	vakno	Pb87-88 gemm	Pb87-88 stdev	Cr87-88 gemm	Cr87-88 stdev	Pb80-90 gemm	Pb80-90 stdev	Cr80-90 gemm	Cr80-90 stdev
5.1	14	9.824047	2.709970	8.957289	2.850669	16.43835	7.693150	16.12903	4.225806
16.4	13	29.68457	7.660891	27.21703	8.066304	18.49315	5.843835	25.80645	6.296774
23.6	12	40.96877	10.05858	37.71103	10.59930	19.17808	13.30958	33.33333	13.56666
31.4	11	51.98968	11.99177	48.07771	12.65040	21.91780	15.05753	35.48387	11.46129
36.8	10	58.88625	12.92577	54.64432	13.64901	27.39726	16.68493	37.63440	12.26881
40.9	9	63.72184	13.41420	59.29656	14.17749	39.04109	30.06164	40.32258	15.48387
46	8	69.25415	13.75623	64.68175	14.55891	50.68493	24.98767	45.16129	12.6
49.9	7	73.12364	13.81946	68.49928	14.64485	56.16438	40.10136	49.46236	11.42580
52.8	6	75.79809	13.75527	71.16912	14.59365	65.06849	26.61301	51.61290	9.290322
59.4	5	81.23974	13.25679	76.70841	14.11368	67.12328	13.82739	56.98924	9.688172
65.1	4	85.21809	12.43453	80.89203	13.29772	68.49315	4.246575	66.12903	11.50645
71	3	88.63196	11.20571	84.63643	12.07125	73.97260	12.05753	76.34408	7.634408
76.4	2	91.12877	9.752266	87.54103	10.62470	87.67123	1.227397	88.70967	1.330645
83.9	1	93.60125	7.248483	90.74676	8.171967	100	1.1	100	2.9

tracer	dataset	bron
CAC03 =	CaCO ₃	Bernard (1989)
N15/N14 =	¹⁵ N/ ¹⁴ N	Mariotti <i>et al</i> (1984)
Pu239240 =	²³⁹ + ²⁴⁰ Pu	Duursma <i>et al</i> (1984)
Pu238/Pu239240	²³⁸ Pu/ ²³⁹ + ²⁴⁰ Pu	Duursma <i>et al</i> (1984)
C13/C12 =	¹³ C/ ¹² C	Directie Zeeland
Pb87-88 =	lood 1987-1988	1987-1988 Zwolsman
Cr87-88 =	chrom 1987-1988	1987-1988 Zwolsman
Pb80-90 =	lood 1980-1990	1980-1990 RIKZ
Cr80-90 =	chrom 1980-1990	1980-1990 RIKZ
Pb90-93 =	lood 1990-1993	1990-1993 Kerdijk (1992,1993)
Cr90-93 =	chrom 1990-1993	1990-1993 Kerdijk (1992,1993)

Percfluv = percentage fluviaal slib

gemm = gemiddelde

stdev = standaard deviatie

gemmcorr = gemiddelde van 6 geselecteerde tracers (na toetsing)

stdevcor = standaard deviatie bij gemiddelde van 6 geselecteerde tracers (na toetsing)

Tabel 4 laat zien dat 5 van de 11 tracers significant afwijkende resultaten opleveren. Aangenomen mag worden dat de gemiddelde mengcurve van marien en fluviatiel slib waarschijnlijk meer in de buurt ligt van de 6 overgebleven tracers dan de 5 uitbijters. Derhalve kan de keuze worden gemaakt om deze 5 uitbijters bij verdere berekeningen buiten beschouwing te laten. De afwijkingen van de 11 tracers ten opzichte van het overall gemiddelde zijn weergegeven in figuur 3.

Tabel 4. De waarschijnlijkheid dat een tracer dezelfde gradient in het percentage fluviatiel slib over het estuarium vertoont als de gemiddelde gradient volgens 11 tracers. Bij een probability kleiner dan 0.05 wordt het verschil in gradient significant geacht (Wilcoxon Signed Ranks Test).

	Probability	Bruikbare data
CaCo ₃	0.109	*
¹⁵ N/ ¹⁴ N	0.272	*
²³⁹ + ²⁴⁰ Pu	0.074	*
²³⁸ Pu/ ²³⁹ + ²⁴⁰ Pu	0.001	
¹³ C/ ¹² C	0.001	
Pb 1987-1988	0.001	
Cr 1987-1988	0.002	
Pb 1980-1990	0.778	*
Cr 1980-1990	0.510	*
Pb 1990-1993	0.004	*
Cr 1990-1993	0.099	

Het weglaten van 5 van de 11 tracers heeft nauwelijks invloed op de gemiddelde waarde voor het percentage fluviatiel slib (Figuur 4). De spreidingsband, daarentegen, is aanmerkelijk kleiner geworden. De laterale gradiënt in het percentage fluviatiel slib is vrijwel een rechte lijn.

De slibbalans voor het Schelde-estuarium is in het verleden opgesteld voor 4 deelgebieden (figuur 5: vak 1 t/m 5, vak 6 t/m 10, vak 11 + 12 en vak 13 + 14). Op basis van de gemiddelde percentages fluviatiel slib volgens de 6 geselecteerde tracers, per deelgebied gemiddeld in tabel 5, is de slibbalans van Ten Brinke (1992) nog eens doorgerekend. Ten Brinke hanteerde 16 scenario's op basis van 4 termen in de slibbalans die, afhankelijk van gedane aannames, steeds 2 verschillende waarden konden aannemen ($2^4 = 16$). Dit aantal is hier teruggebracht tot 4 (2^2) omdat:

- de sedimentatiesnelheid op de schorren constant is gehouden, en wel op het gemiddelde van de 4 methodes besproken door Ten Brinke.
- er nu slechts één waarde wordt gehanteerd voor de menging van marien en fluviatiel slib.

De resultaten van de 4 scenario's van de slibbalans staan in figuur 6 en tabel 6.

De scenario's 1 en 2 in figuur 6 geven een irreal beeld weer, namelijk een import van

fluviaal slib vanuit de Noordzee. Deze onlogische uitkomst wordt veroorzaakt door de onzekerheid in de netto slibonttrekking uit de Beneden Zeeschelde (Ten Brinke, 1992). Indien inmiddels nadere informatie over deze slibonttrekking beschikbaar is, verdient het aanbeveling om de slibbalans met recentere cijfers door te rekenen.

Tabel 5. Het percentage fluviaal slib in de 4 onderscheiden deelgebieden in het Schelde-estuarium volgens 6 geselecteerde tracers, berekend op basis van de gemiddelde percentages fluviaal slib in de 14 onderscheiden vakken.

vakno	caco3 gemm	N15/N14 gemm	pu239240 gemm	Pb80-90 gemm	Cr80-90 gemm	Cr90-93 gemm	tracers gemm	tracers stdev	vakken gemm	vakken stdev
14	20.60711	10.58414	18.24521	16.43835	16.12903	14.23481	16.03977	3.133507		
13	24.93868	16.24544	32.70356	18.49315	25.80645	16.95946	22.52445	5.871693	vak13-14	19.28211 4.396702
12	28.57108	21.71744	40.71716	19.17808	33.33333	20.16202	27.27985	7.811484		
11	33.27253	29.28344	48.34556	21.91780	35.48387	31.10147	33.23411	7.975310	vak11-12	30.25698 7.962426
10	36.99427	35.51936	52.98524	27.39726	37.63440	41.18747	38.61966	7.660834		
9	40.07515	40.79934	56.15741	39.04109	40.32258	37.65201	42.34126	6.263038		
8	44.2148	48.024	59.681	50.68493	45.16129	32.63656	46.73376	8.087606		
7	47.61031	54.04014	62.05961	56.16438	49.46236	69.40282	56.45660	7.439750		
6	50.26435	58.78976	63.65084	65.06849	51.61290	44.27282	55.60986	7.497926	vak6-10	47.95223 7.537614
5	56.71525	70.47704	66.70796	67.12328	56.98924	60.04591	63.00978	5.338691		
4	62.74571	81.55214	68.71721	68.49315	66.12903	60.89223	68.08824	6.658324		
3	69.43605	93.974	70.181	73.97260	76.34408	69.62431	75.58867	8.601103		
2	75.95908	100	70.97156	87.67123	88.70967		84.66231	10.23584		
1	85.65257	100	71.19881	100	100		91.37027	11.51517	vak1-5	76.54385 8.316267

	tracer	dataset	bron
CAC03 =	CaCo ₃		Bernard (1989)
N15/N14 =	¹⁵ N/ ¹⁴ N	1974-1982	Mariotti <i>et al</i> (1984)
Pu239240 =	²³⁹ + ²⁴⁰ Pu	1979-1984	Duursma <i>et al</i> (1984)
Pb80-90 =	lood 1980-1990	1980-1990	RIKZ
Cr80-90 =	chroom 1980-1990	1980-1990	RIKZ
Cr90-93 =	chroom 1990-1993	1990-1993	Kerdijk (1992,1993)
tracers = gemiddelde percentage fluviaal slib van de 6 tracers			
vakken = deelgebied gemiddelde percentage fluviaal slib			
gemm = gemiddelde			
stdev = standaard deviatie			

Tabel 6. 4 scenario's van de slibbalans van het Schelde-estuarium.

scenario2 gemiddelde				scenario4 gemiddelde				scenario6 gemiddelde				scenario8 gemiddelde			
				vak1	vak2	vak3	vak4					vak1	vak2	vak3	vak4
schorren	E4t/jr	sedim==		1.1	15.3	0.5	1.4	schorren	E4t/jr	sedim==		1.1	15.3	0.5	1.4
platen	E4t/jr	sedim==		0	19	-1.8	10.5	platen	E4t/jr	sedim==		0	20.8	6	-5
geulen	E4t/jr	sedim==		44.7	-14.8	19.9	-29.6	geulen	E4t/jr	sedim==		44.7	-13.3	-0.3	-19
totaal	E4t/jr	sedim==		45.8	19.5	18.6	-17.7	totaal	E4t/jr	sedim==		45.8	22.8	6.2	-22.6
kanpol	E4t/jr	sedim==		0	2	0	4	kanpol	E4t/jr	sedim==		0	2	0	4
totcor	E4t/jr	sedim==		45.8	17.5	18.6	-21.7	totcor	E4t/jr	sedim==		45.8	20.8	6.2	-26.6
perfluv	%			76.5	48	30.3	19.3	perfluv	%			76.5	48	30.3	19.3
hoevfluv	E4t/jr	sedim==		35.037	8.4	5.6358	-4.1881	hoevfluv	E4t/jr	sedim==		35.037	9.984	1.8786	-5.1338
fluvin	E4t/jr	zeew==		35	-0.037	-8.437	-14.0728	fluvin	E4t/jr	zeew==		35	-0.037	-10.021	-11.8996
fluvuit	E4t/jr	zeew==		-0.037	-8.437	-14.0728	-9.8847	fluvuit	E4t/jr	zeew==		-0.037	-10.021	-11.8996	-6.7658
marin	E4t/jr	landw==		10.763	19.863	32.8272	15.3153	marin	E4t/jr	landw==		10.763	21.579	25.9004	4.4347
spreiding				vak1	vak2	vak3	vak4	spreiding				vak1	vak2	vak3	vak4
schorren	E4t/jr	sedim==		0.2	3.3	0.1	0.3	schorren	E4t/jr	sedim==		0.2	3.3	0.1	0.3
platen	E4t/jr	sedim==		0	0	0	0	platen	E4t/jr	sedim==		0	16	4.2	3.8
geulen	E4t/jr	sedim==		28.9	3.4	3.7	0	geulen	E4t/jr	sedim==		28.9	31.6	7.8	21.8
totaal	E4t/jr	sedim==		28.90069	4.738143	3.701351	0.3	totaal	E4t/jr	sedim==		28.90069	35.57316	8.859458	22.13074
kanpol	E4t/jr	sedim==		0	0	0	0	kanpol	E4t/jr	sedim==		0	0	0	0
totcor	E4t/jr	sedim==		28.90069	4.738143	3.701351	0.3	totcor	E4t/jr	sedim==		28.90069	35.57316	8.859458	22.13074
perfluv	%			8.32	7.54	8	4.4	perfluv	%			8.32	7.54	8	4.4
hoevfluv	E4t/jr	sedim==		22.43500	2.629364	1.863310	-0.95655	hoevfluv	E4t/jr	sedim==		22.43500	17.14699	2.729854	-4.42868
fluvin	E4t/jr	zeew==		25	33.59061	33.69336	33.74485	fluvin	E4t/jr	zeew==		25	33.59061	37.71404	37.81270
fluvuit	E4t/jr	zeew==		33.59061	33.69336	33.74485	33.75840	fluvuit	E4t/jr	zeew==		33.59061	37.71404	37.81270	38.07117
marin	E4t/jr	landw==		36.58660	36.98571	37.21713	37.23063	marin	E4t/jr	landw==		36.58660	53.83352	54.62591	59.10477
spreiding				vak1	vak2	vak3	vak4	spreiding				vak1	vak2	vak3	vak4
schorren	E4t/jr	sedim==		0.2	3.3	0.1	0.3	schorren	E4t/jr	sedim==		0.2	3.3	0.1	0.3
platen	E4t/jr	sedim==		0	0	0	0	platen	E4t/jr	sedim==		0	16	4.2	3.8
geulen	E4t/jr	sedim==		23.5	3.4	3.7	0	geulen	E4t/jr	sedim==		23.5	31.6	7.8	21.8
totaal	E4t/jr	sedim==		23.50085	4.738143	3.701351	0.3	totaal	E4t/jr	sedim==		23.50085	35.57316	8.859458	22.13074
kanpol	E4t/jr	sedim==		0	0	0	0	kanpol	E4t/jr	sedim==		0	0	0	0
totcor	E4t/jr	sedim==		23.50085	4.738143	3.701351	0.3	totcor	E4t/jr	sedim==		23.50085	35.57316	8.859458	22.13074
perfluv	%			8.32	7.54	8	4.4	perfluv	%			8.32	7.54	8	4.4
hoevfluv	E4t/jr	sedim==		18.14604	2.629364	1.863310	-0.95655	hoevfluv	E4t/jr	sedim==		18.14604	17.14699	2.729854	-4.42868
fluvin	E4t/jr	zeew==		25	30.89140	31.00310	31.05904	fluvin	E4t/jr	zeew==		25	30.89140	35.33126	35.43656
fluvuit	E4t/jr	zeew==		30.89140	31.00310	31.05904	31.07377	fluvuit	E4t/jr	zeew==		30.89140	35.33126	35.43656	35.71223
marin	E4t/jr	landw==		30.70476	31.32692	31.58462	31.64917	marin	E4t/jr	landw==		30.70476	52.34061	53.21245	57.98032

Schorren, platen, geulen: bronnen (-) cq putten (+) van slib
kanpol = bron van slib door lozingen van kanalen en polders
totcor = netto sedimentatie (+) of erosie (-) na correctie voor lozingen polders en kanalen
perfluv = percentage fluviaal slib
hoevfluv = hoeveelheid gesedimenteerd (+) of geërodeerd (-) fluviaal slib
fluvin = aanvoer fluviaal slib naar deelgebied
fluvuit = uitvoer fluviaal slib uit deelgebied
marin = aanvoer marien slib naar deelgebied

4. Discussie en conclusies:

De verschillen tussen de mengcurves voor marien en fluviatiel slib van de 11 toegepaste tracers zijn groot. Op het hoe en waarom van deze verschillen wordt in deze studie niet ingegaan. Door Ten Brinke (1992) is aangegeven dat allerlei tracers voor de berekening van mengcurves hun eigen onnauwkeurigheid hebben. Als deze nauwkeurigheid niet zit in de eigenschappen van de tracer zelf, dan zit er altijd wel onzekerheid in de ruimtelijke en temporele variabiliteit. De grote onderlinge verschillen hebben tot gevolg dat een vrij grote spreiding wordt berekend bij het gemiddelde percentage fluviatiel slib per vak. Dit lijkt een teleurstelling gezien het feit dat deze studie tot doel had de onzekerheid in het verloop van het percentage fluviatiel slib van land naar zee te reduceren. Echter, de studie heeft duidelijk aangetoond dat, indien de mengcurve wordt berekend aan de hand van slechts één tracer, de uitkomsten van de slibbalans in zekere mate worden bepaald door de gedane keuze inclusief de aannames voor 100% marien en fluviatiel slib. En deze subjectiviteit dient juist ten allen tijde te worden vermeden. De kwantificering van de spreiding op basis van 11 tracers leidt, ondanks de vrij grote spreidingsband, tot een betere onderbouwing van de slibbalans. De subjectieve schijnzekerheid van de menging van marien en fluviatiel slib op basis van slechts één tracer dient te worden vervangen door de objectieve realiteit van een relatief grote spreiding.

In deze studie is gekeken of de spreiding in het percentage fluviatiel slib kan worden gereduceerd door sterk afwijkende tracers uit de dataset van 11 tracers weg te laten. Deze exercitie levert interessante gezichtspunten op, die niet zo eenvoudig interpreteerbaar zijn. Zo blijkt één van de uitbijters de isotopenverhouding $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ te zijn. Tot nu toe is de slibbalans gebaseerd op deze isotopenverhouding. Opvallend is verder dat ook de lood- en chroomdata van 1987-1988 significant afwijkende resultaten opleveren. Dit is vreemd omdat juist deze dataset bestaat uit 8 bemonsteringen verspreid over het jaar. Juist deze dataset zou logischerwijs als relatief betrouwbaar uit de bus moeten komen. Het is dan ook te voorbarig om op basis van een statistische toets bepaalde tracers te selecteren. Hierbij speelt ook een rol dat de tracergehalten van 100% marien en 100% fluviatiel slib voor enkele tracers niet bekend was waardoor voor deze tracers waarden moesten worden afgeschat op basis van bekende tracergehalten in het slib bij Vlissingen cq landwaarts van de grens en de percentages fluviatiel slib op deze lokaties volgens de andere tracers.

Geconcludeerd mag worden dat deze studie heeft geleid tot een zo goed mogelijke afschatting van de menging van marien en fluviatiel slib in het estuarium van de Schelde als op basis van beschikbare data mogelijk is. Aan een relatief grote spreiding in het percentage fluviatiel slib valt niet te ontkomen. De exercitie met de statistische toets laat zien dat het riskant, en vermoedelijk onjuist is om bij de slibbalans uit te gaan van alleen de verhouding $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$. Figuur 4 laat zien dat de afname van het percentage fluviatiel slib met de afstand vanaf Rupelmonde vrijwel lineair verloopt.

5. Aanbevelingen monitoring mengcurve:

Het estuarium van de Schelde staat aan de vooravond van enkele ingrepen die de huishouding van het fijne sediment zouden kunnen beïnvloeden. De verdieping van de vaargeul in de Westerschelde zal een effect hebben op de waterbeweging en daarmee mogelijk op het transport van slib dat vanuit de rivier en de Noordzee het systeem binnenkomt. De grootte van de slibfluxen, de verblijftijd van het slib in het estuarium en de lokatie en intensiteit van het troebelheidsmaximum kunnen veranderen. Daarnaast is inmiddels begonnen met de sanering van de Zeeschelde door uit het systeem jaarlijks grote hoeveelheden slib te onttrekken en te bergen op het land. Uit de scenario's in figuur 6 blijkt duidelijk dat de hoeveelheid slib in de Zeeschelde een zeer belangrijk aandeel vormt van de slibbalans van het estuarium.

De ingrepen in het estuarium kunnen hun stempel drukken op de slibhuishouding. Veranderingen in de slibhuishouding kunnen zich onder meer gaan manifesteren in een andere gradiënt van de verhouding tussen marien en fluviatiel slib in de langsrichting van het estuarium. Om eventuele veranderingen goed in kaart te kunnen brengen, verdient het aanbeveling om een monitoringsprogramma op te stellen met als doel het periodiek vastleggen van de gradiënt van de verhouding marien-fluviatiel slib. Bij het opstellen van een monitoringsprogramma moet aandacht worden besteed aan (1) het type tracer, (2) het type sediment monster (zwevend of bodemslib), (3) de fluviatiele en mariene randvoorwaarde, (4) de ruimtelijke variatie, met name eb- en vloedcharen, (5) de temporele variatie, (6) de voorbehandeling van het sediment monster, en (7) het tijdsinterval tussen opeenvolgende monstercampagnes.

Voor wat betreft het type tracer is het verstandig niet te vertrouwen op één bepaalde tracer maar de te nemen sediment monsters standaard te analyseren op drie tracers. Een interessante combinatie is $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, lood of chroom, en een isotoop als plutonium of cesium (zie ook Ten Brinke, 1992).

Bij de keuze tussen zwevend en bodemslib verdient bodemslib de voorkeur. Het gaat immers om monitoring van een eventueel veranderende mengcurve. Deze monitoring zal hooguit eens per jaar worden uitgevoerd. Bij zwevend slib zou de interpretatie van de resultaten in een later stadium mogelijk bemoeilijkt kunnen worden doordat korte termijn processen (variatie zoetwater input, biologische processen) vrij sterk hun stempel drukken op de samenstelling van het zwevende materiaal. In deze variatie ben je bij de monitoring van een geleidelijke verandering niet geïnteresseerd. Deze korte termijn variatie zal in het bodemslib nauwelijks meer te zien zijn.

Bij de bemonstering van het estuarium moet voldoende ver zee- en landwaarts worden bemonsterd om een goede kwantificering van de mariene en fluviatiele randvoorwaarde te verkrijgen. De meest zeewaartse monsterlokatie moet zeewaarts van de Westerschelde monding liggen omdat anders niet puur marien slib wordt bemonsterd.

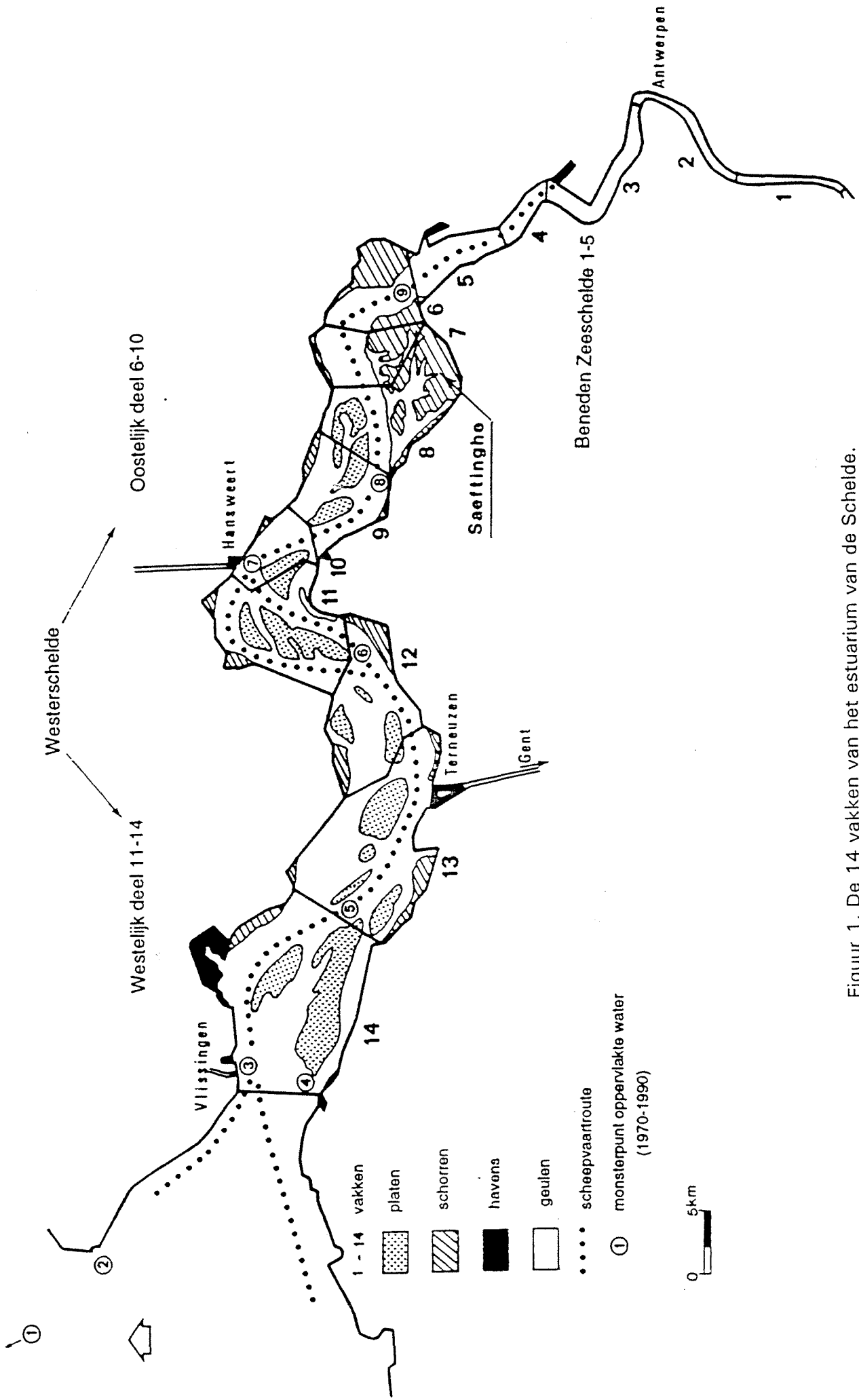
Met het oog op de ruimtelijke variatie moeten zowel eb- als vloedcharen in een dwarsdoorsnede worden bemonsterd. Deze monsters kunnen na monsternamen in gelijke drooggewicht verhoudingen worden gemengd om vervolgens te worden geanalyseerd. Met het oog op de temporele variatie in zoetwater afvoer en biologische processen verdient het de voorkeur de monsternamen voor monitoring in verschillende jaren standaard in hetzelfde seizoen uit te voeren. Met de doortij-springtij cyclus hoeft geen rekening te worden gehouden omdat deze invloed misschien op het zwevend sediment

van invloed is, maar zeker niet meer in het bodemsediment zal zijn terug te vinden. Bij de voorbehandeling moet eerst goed worden gedefinieerd wat onder slib wordt verstaan: totaal zwevend sediment, deeltjes kleiner dan een bepaalde diameter (gedeflokkuleerd), alleen de anorganische fractie. Gezien de grote bijdrage van organische materiaal in het fluviatiele slib is de meest logische en praktische definitie van slib: al het organische en anorganische materiaal dat na deflokkulatie een diameter kleiner dan 50 micrometer heeft. Deze kleine fractie zal vrijwel uitsluitend bestaan uit deeltjes met cohesieve eigenschappen. Toch zal een variatie kunnen optreden in het procentuele aandeel van kleimineralen (< 2 micrometer) en organische stof tussen monsters onderling. Deze variatie zal leiden tot een verschil in de hoeveelheid tracer tussen monsters onderling die niet het gevolg is van een andere verhouding tussen de hoeveelheden marien en fluviatiel slib. Dit effect kan worden vermeden door naast de analyses van de tracers ook standaard een metaal te analyseren (b.v. Al, Sr) die een sterke affiniteit met de fijne en organische fractie vertoont maar niet door de mens in het systeem wordt gebracht. De verhouding tussen tracergehalte en het gehalte aan dit metaal levert een normalisatie op voor specifieke affiniteit voor een bepaald deel van de fractie kleiner dan 50 micrometer.

Een eventuele verandering van de mengcurve marien-fluviatiel slib als reactie op ingrepen in het estuarium zal vermoedelijk geleidelijk optreden. Daardoor is het niet nodig om de monitoring frequent in de tijd uit te voeren. Eens per twee jaar zal volstaan.

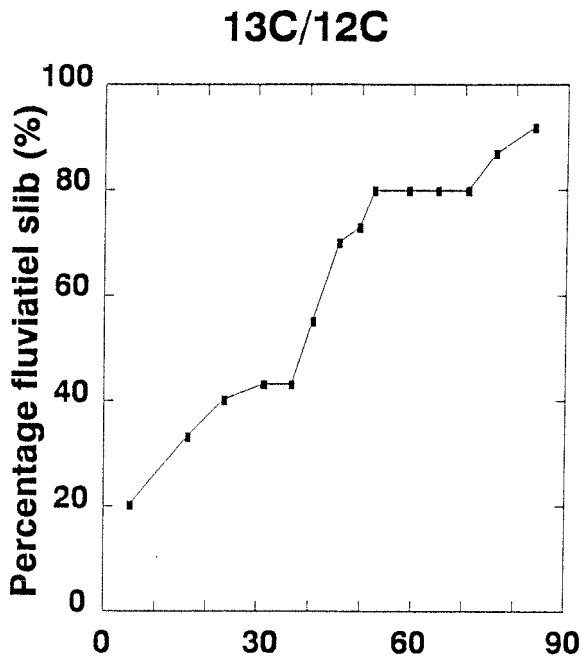
Referenties:

- Algan, O., Clayton, T., Tranter, M. en M.B. Collins, 1994. Estuarine mixing of clay minerals in the Solent region, southern England. *Sedimentary Geology* 92: 241-255.
- Bernard, P., 1989. Automated electron probe X-ray microanalysis combined with multivariate analysis for application in marine research. Proefschrift Universiteit Antwerpen: 209 pp.
- Duursma, E.K., Frissel, M.J., Guary, J.C., Martin, J.M., Nieuwenhuize, J., Pennders, R.M.J. en A.J. Thomas, 1984. Plutonium in sediments and mussels of the Rhine-Meuse-Scheldt estuary. Delta Institute for Hydrobiological Research, Publication 296.
- Brinke, W.B.M. ten, 1992. Slib in het estuarium van de Schelde, paden en lotgevallen deel 1. RUU-IMAU R92-9.
- Brinke, W.B.M. ten, Augustinus, P.G.E.F. en G.W. Berger, 1995. Sedimentation on musselbeds in the Oosterschelde, determined from echosoundings, radioisotopes and biodeposition field experiments. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 40 (in press).
- Kerdijk, N., 1992. Microverontreinigingen in sedimenten van de Noordzee. Verslag van de analysesresultaten van de bodemonsters. Campagne in 1991. WL Delft, T853.
- Kerdijk, N., 1992. Belasting waterbodem Westerschelde met microverontreinigingen in 1990 en 1991. WL Delft, rapport T877.
- Kerdijk, N., 1993. Kwaliteit van de waterbodem in de Zeeschelde en de Westerschelde. WL Delft, rapport T1112.
- Maldegem, D.C. van, 1989. Verhouding marien/fluviaal slib Schelde estuarium medio 1987-1988. Rijkswaterstaat nota GWAO-89.1287: 10 pp.
- Maldegem, D.C. van, 1991. De slibhuishouding van het Schelde estuarium. Rijkswaterstaat nota GWAO-91.081.
- Mariotti, A., Lancelot, C. en G. Billen, 1984. Natural isotopic composition of nitrogen as a tracer of origin for suspended organic matter in the Scheldt estuary. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 48: 549-555.
- Zwolsman, J.J.G. Geochemistry of suspended matter in the Scheldt estuary. Submitted to *Geochimica et Cosmochimica Acta*.

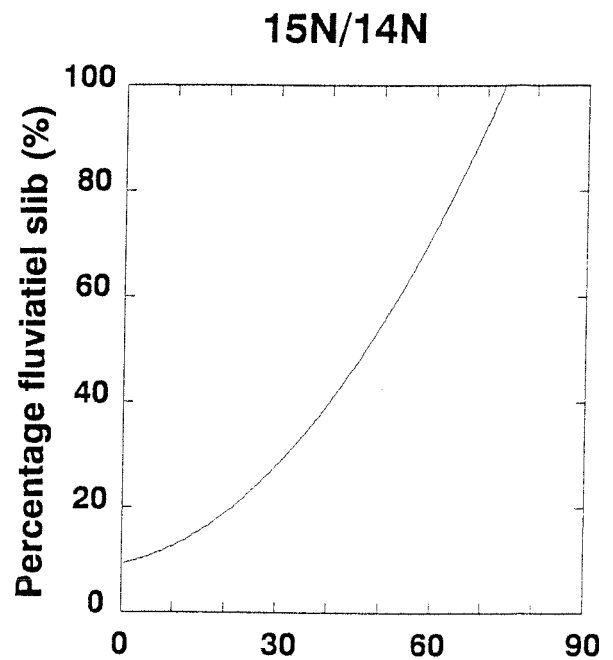


Figuur 1. De 14 vakken van het estuarium van de Schelde.

Figuur 2A



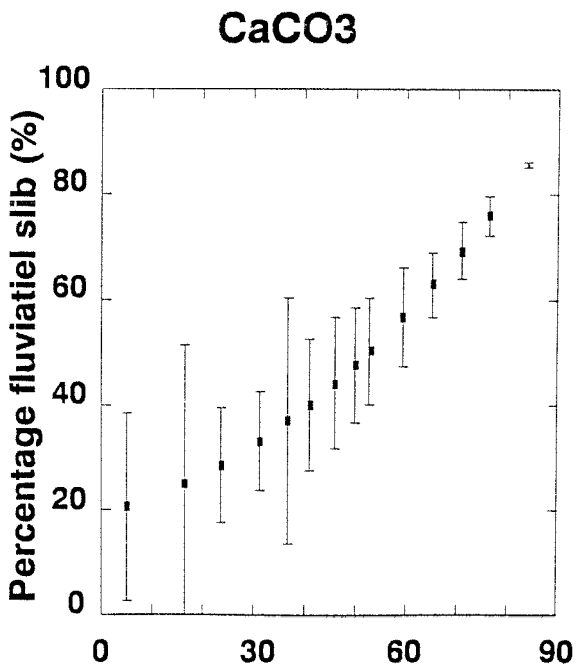
Figuur 2B



Afstand landwaarts van Vlissingen (km)

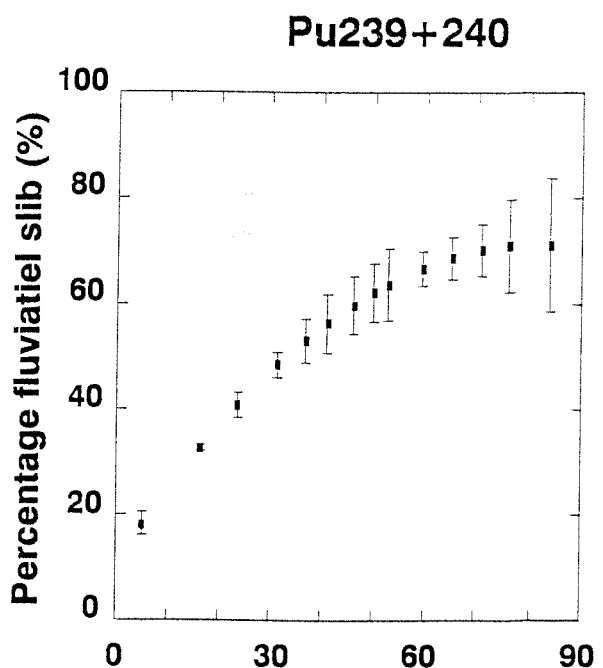
Afstand landwaarts van Vlissingen (km)

Figuur 2C



Afstand landwaarts van Vlissingen (km)

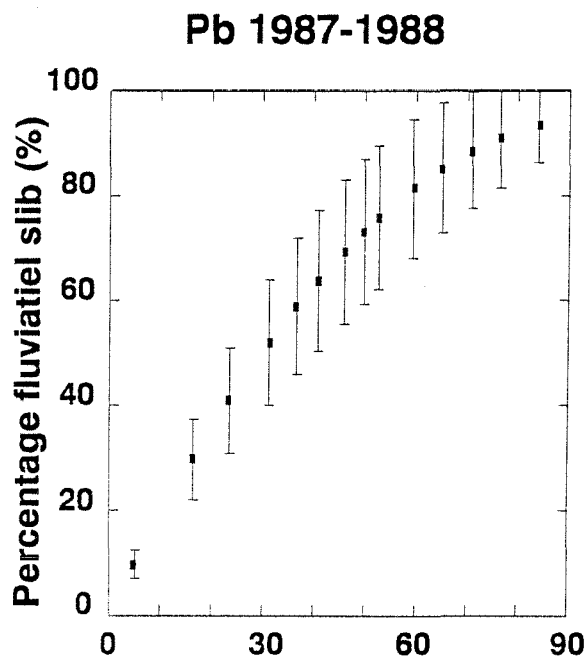
Figuur 2D



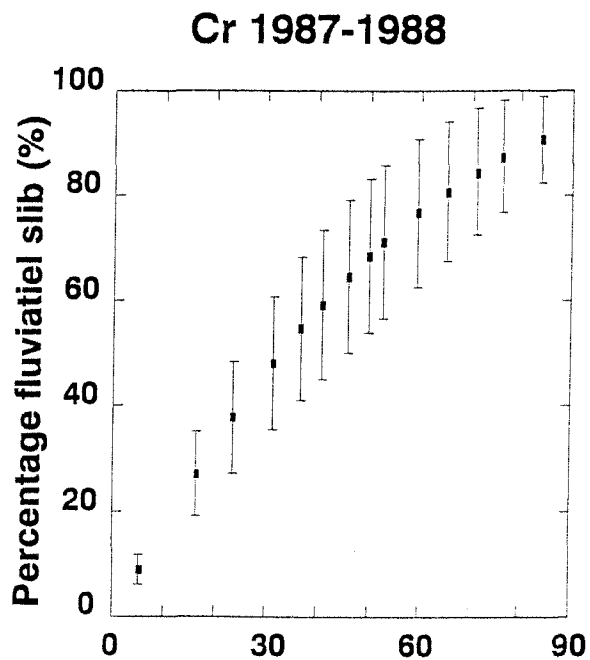
Afstand landwaarts van Vlissingen (km)

Figuur 2. De percentages fluviaal slib volgens de 11 tracers afzonderlijk (2A-K) en gemiddeld (2L).

Figuur 2E



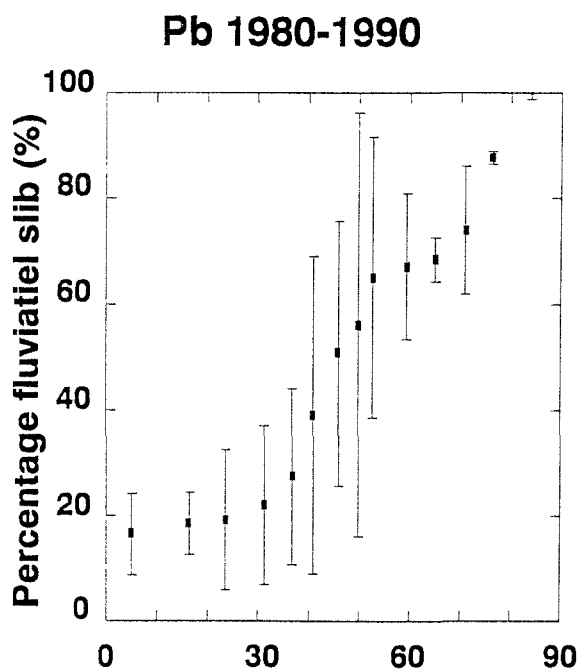
Figuur 2F



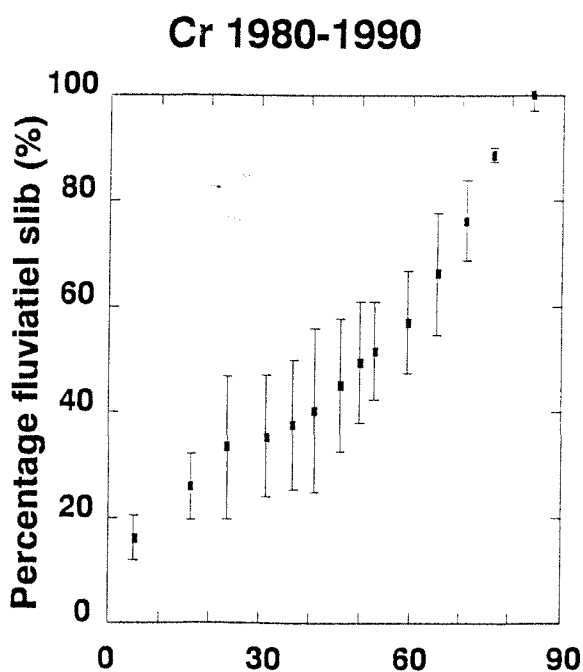
Afstand landwaarts van Vlissingen (km)

Afstand landwaarts van Vlissingen (km)

Figuur 2G



Figuur 2H

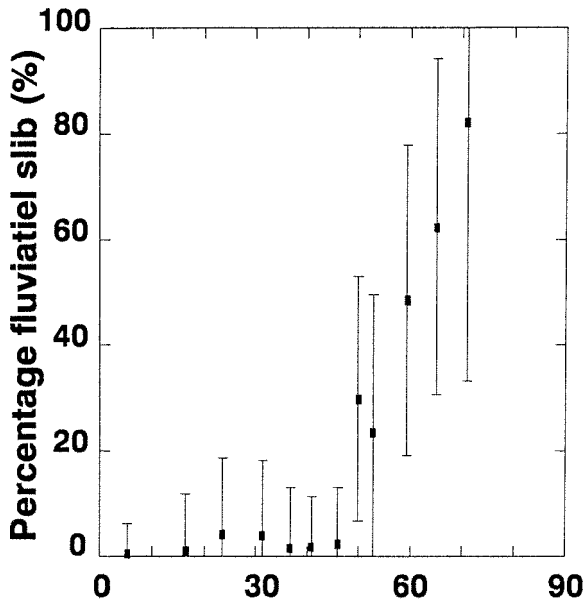


Afstand landwaarts van Vlissingen (km)

Afstand landwaarts van Vlissingen (km)

Figuur 2I

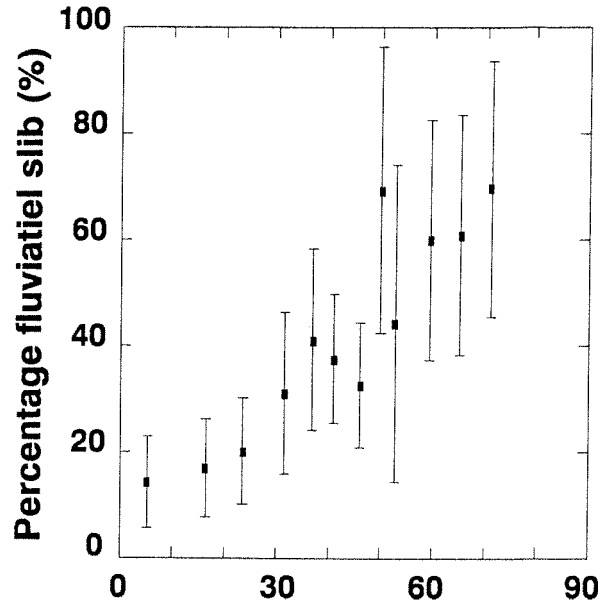
Pb 1990-1993



Afstand landwaarts van Vlissingen (km)

Figuur 2J

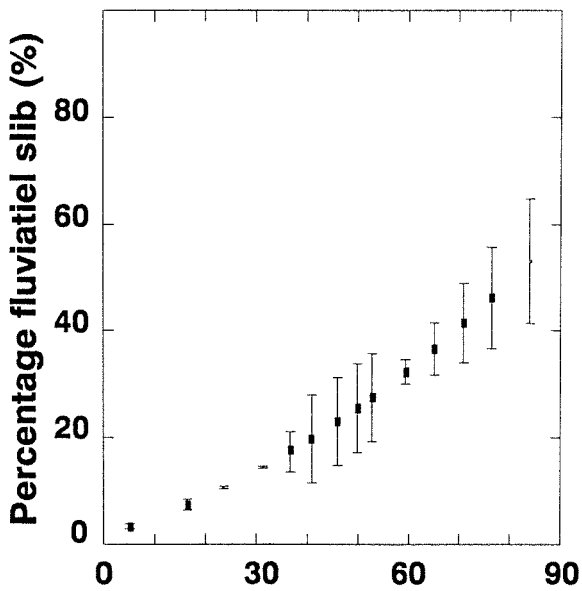
Cr 1990-1993



Afstand landwaarts van Vlissingen (km)

Figuur 2K

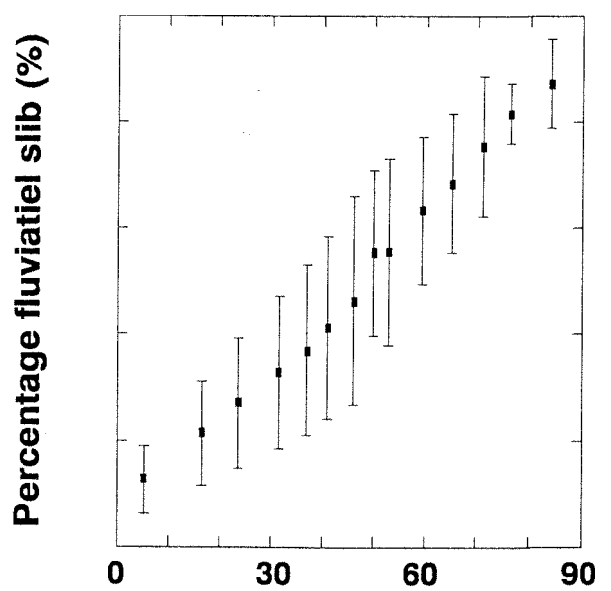
Pu238/Pu239+240



Afstand landwaarts van Vlissingen (km)

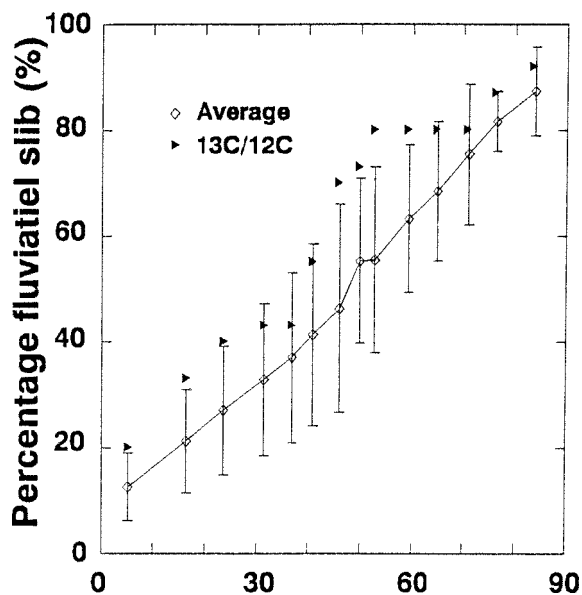
Figuur 2L

Gemiddelde van 11 tracers

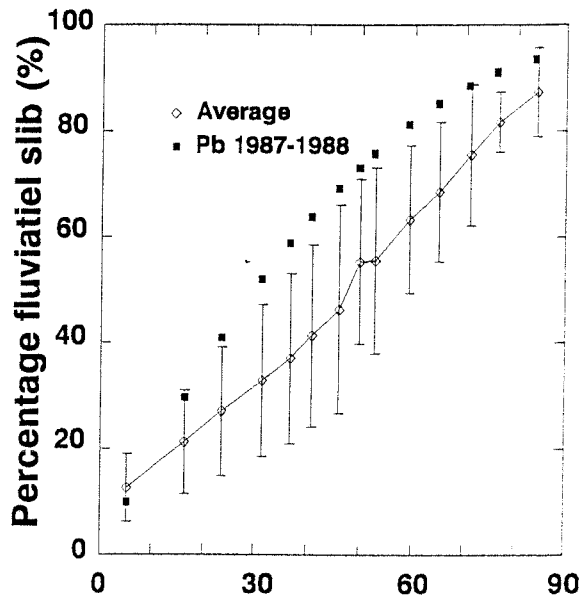


Afstand landwaarts van Vlissingen (km)

Figuur 3A

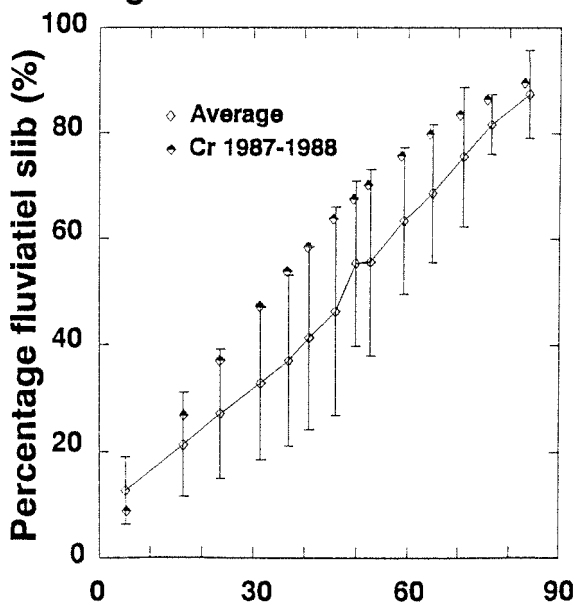


Figuur 3B

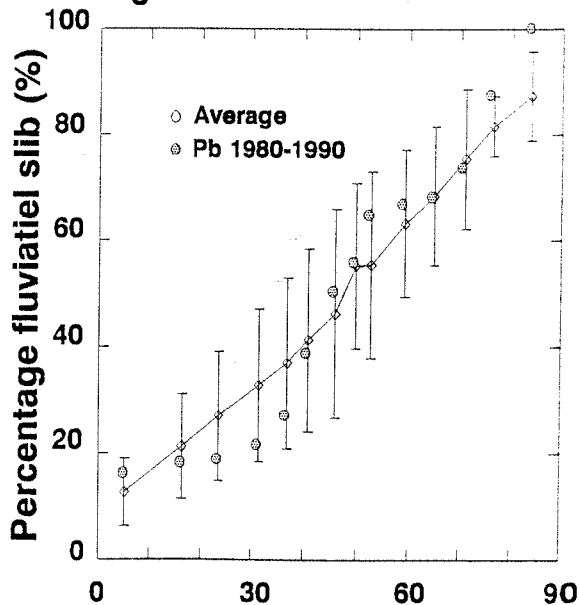


Afstand landwaarts van Vlissingen (km) Afstand landwaarts van Vlissingen (km)

Figuur 3C



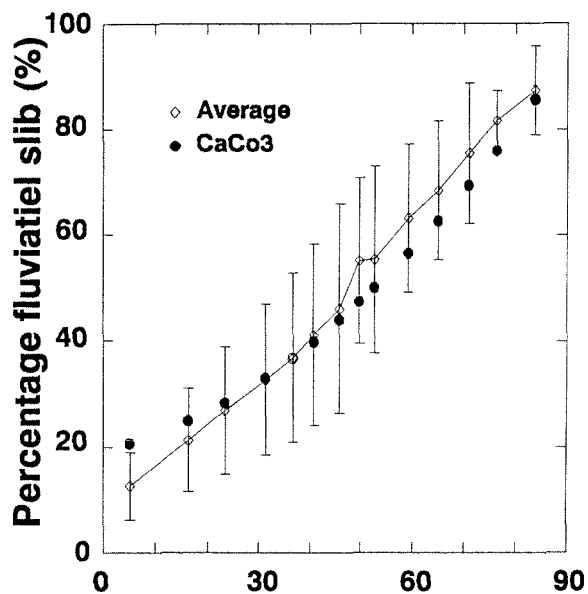
Figuur 3D



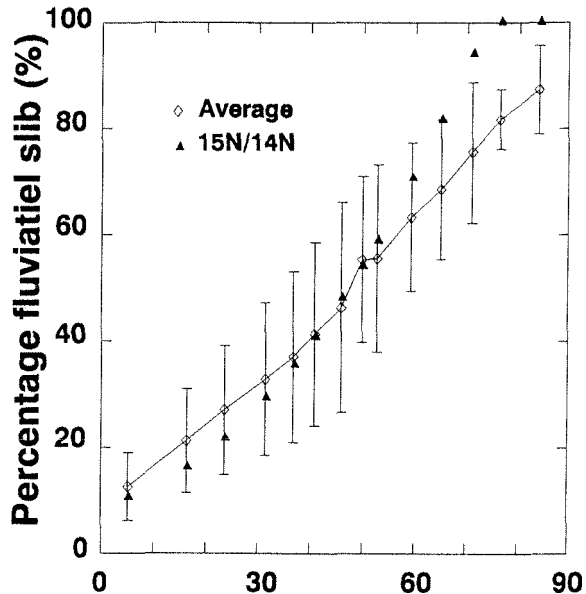
Afstand landwaarts van Vlissingen (km) Afstand landwaarts van Vlissingen (km)

Figuur 3. De afwijkingen van de 11 afzonderlijke tracers ten opzichte van het gemiddelde van de 11 tracers.

Figuur 3E



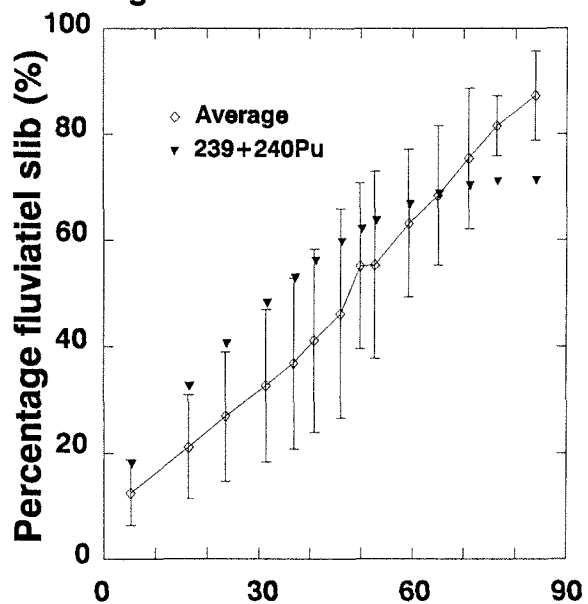
Figuur 3F



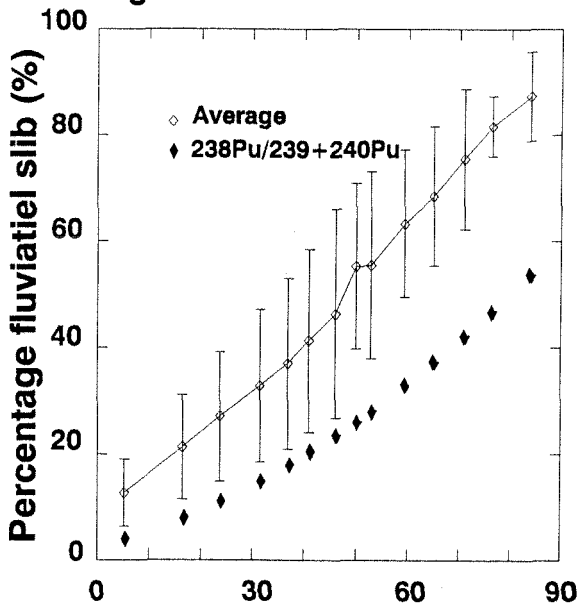
Afstand landwaarts van Vlissingen (km)

Afstand landwaarts van Vlissingen (km)

Figuur 3G



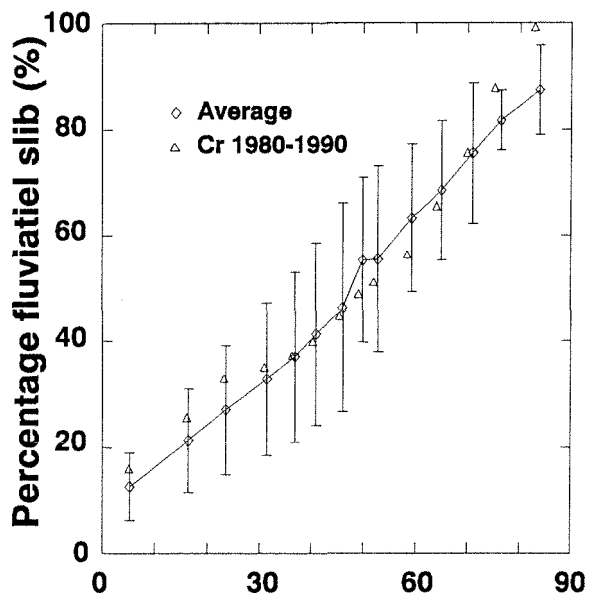
Figuur 3H



Afstand landwaarts van Vlissingen (km)

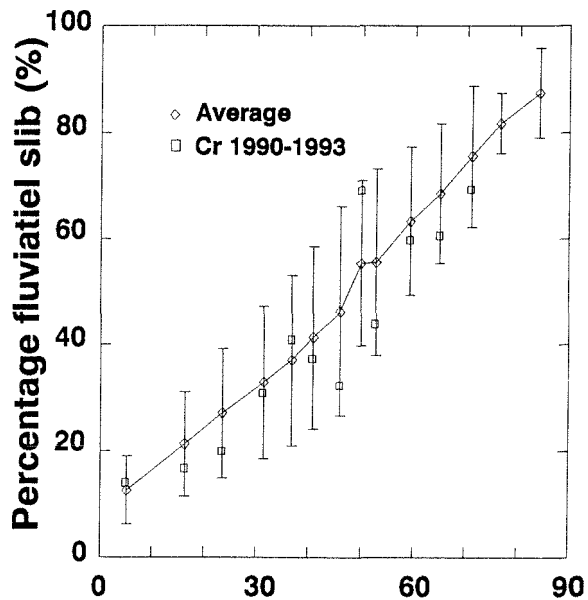
Afstand landwaarts van Vlissingen (km)

Figuur 3I



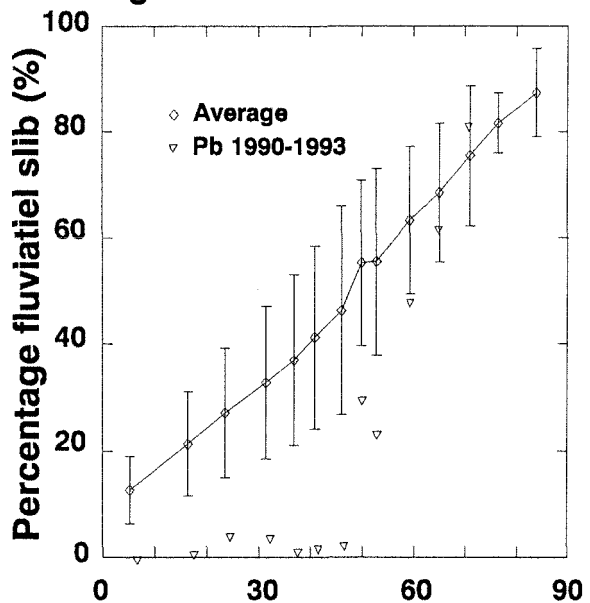
Afstand landwaarts van Vlissingen (km)

Figuur 3J



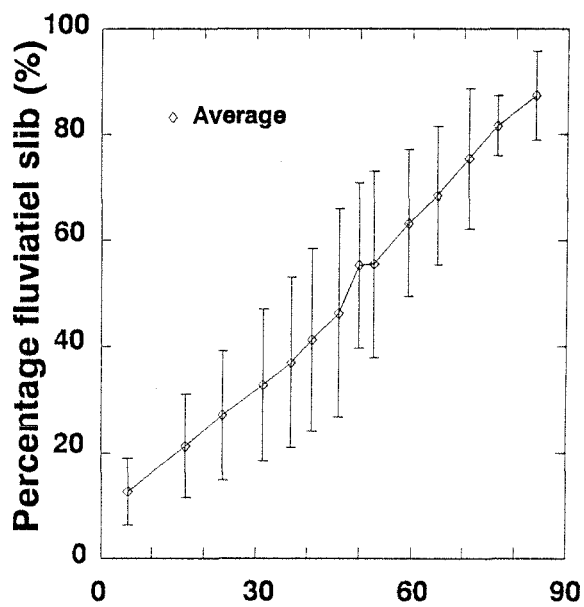
Afstand landwaarts van Vlissingen (km)

Figuur 3K

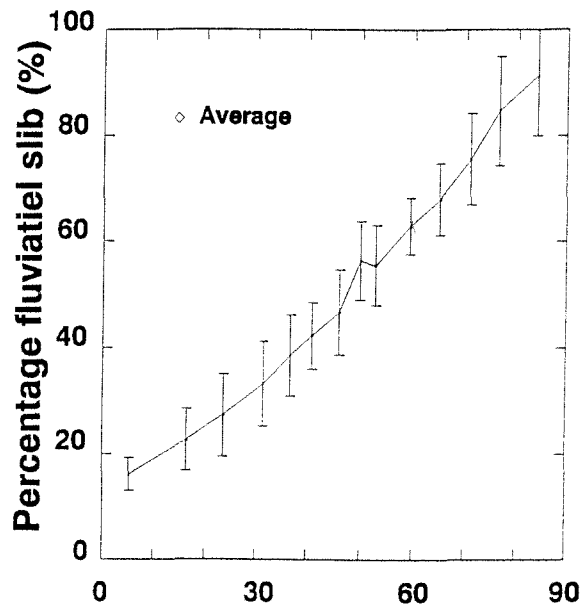


Afstand landwaarts van Vlissingen (km)

Figuur 4A

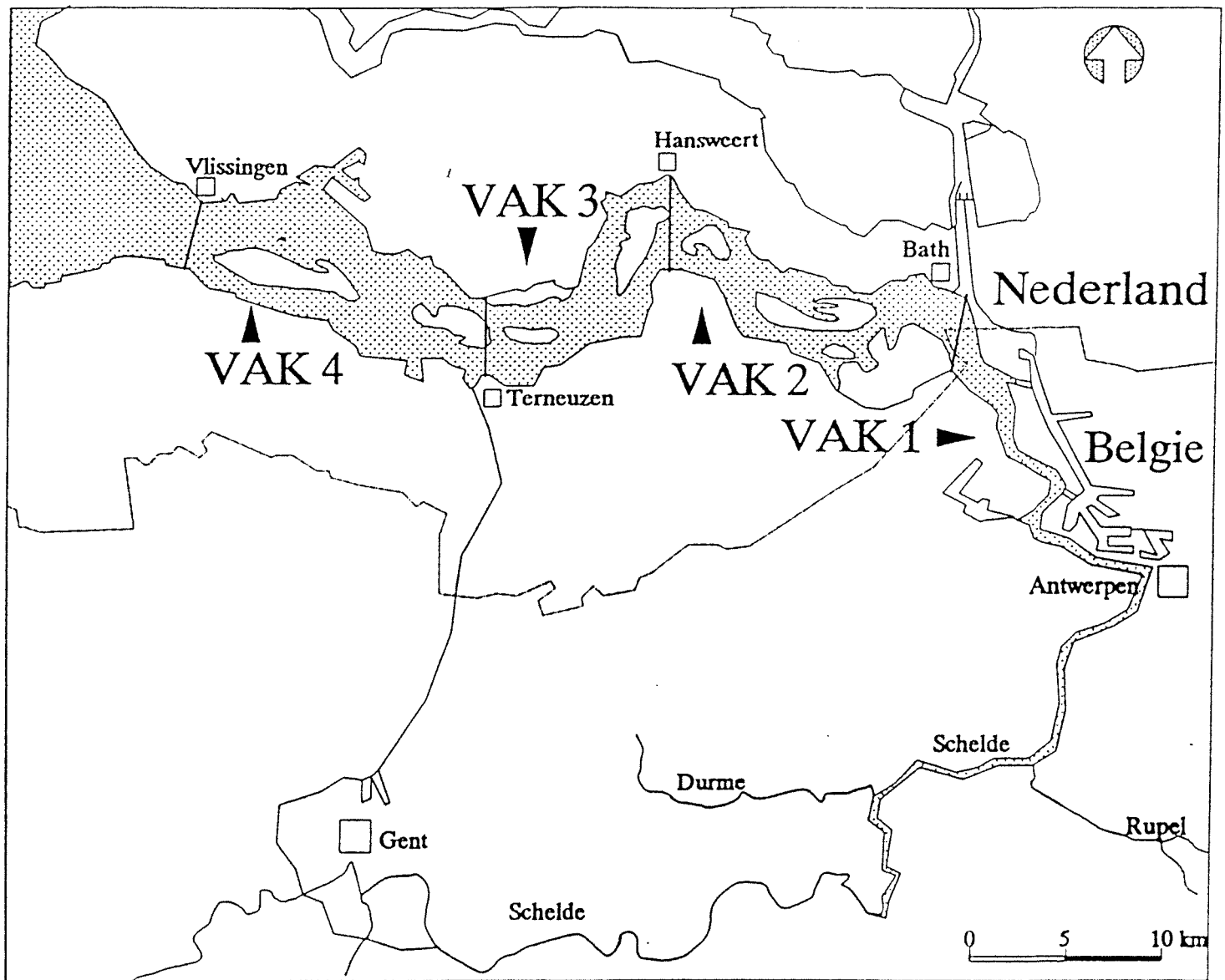


Figuur 4B

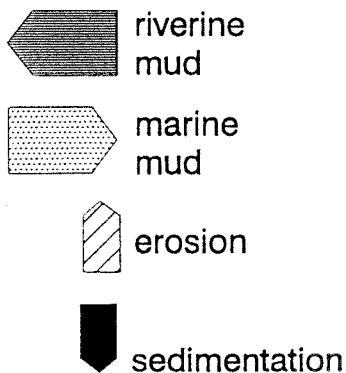
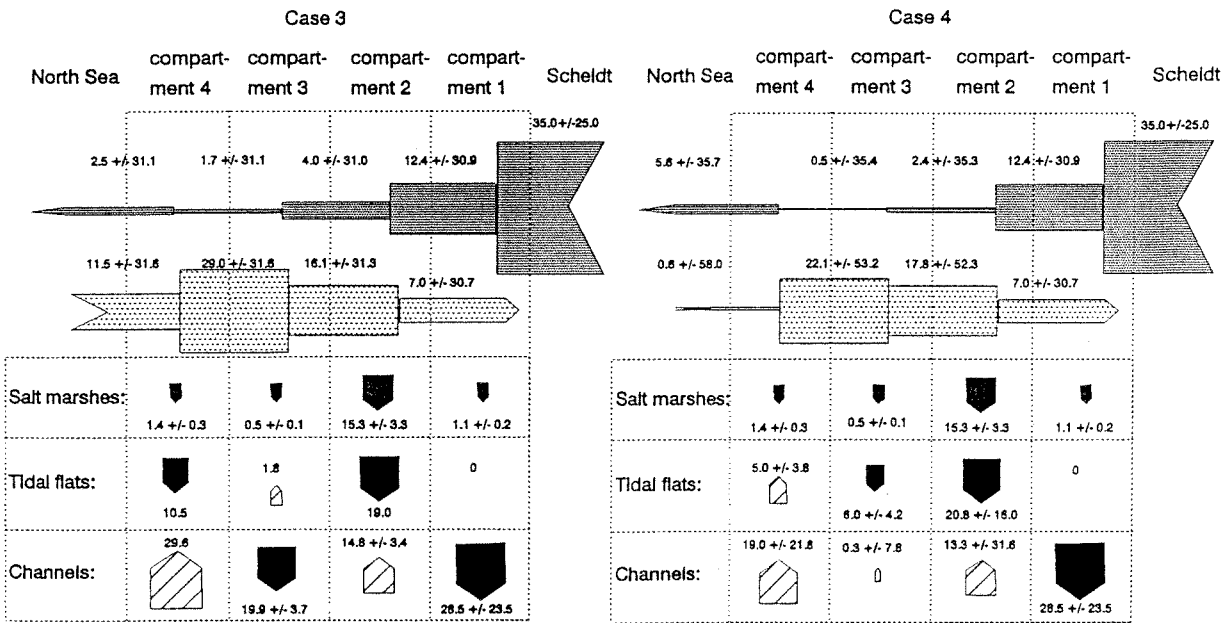
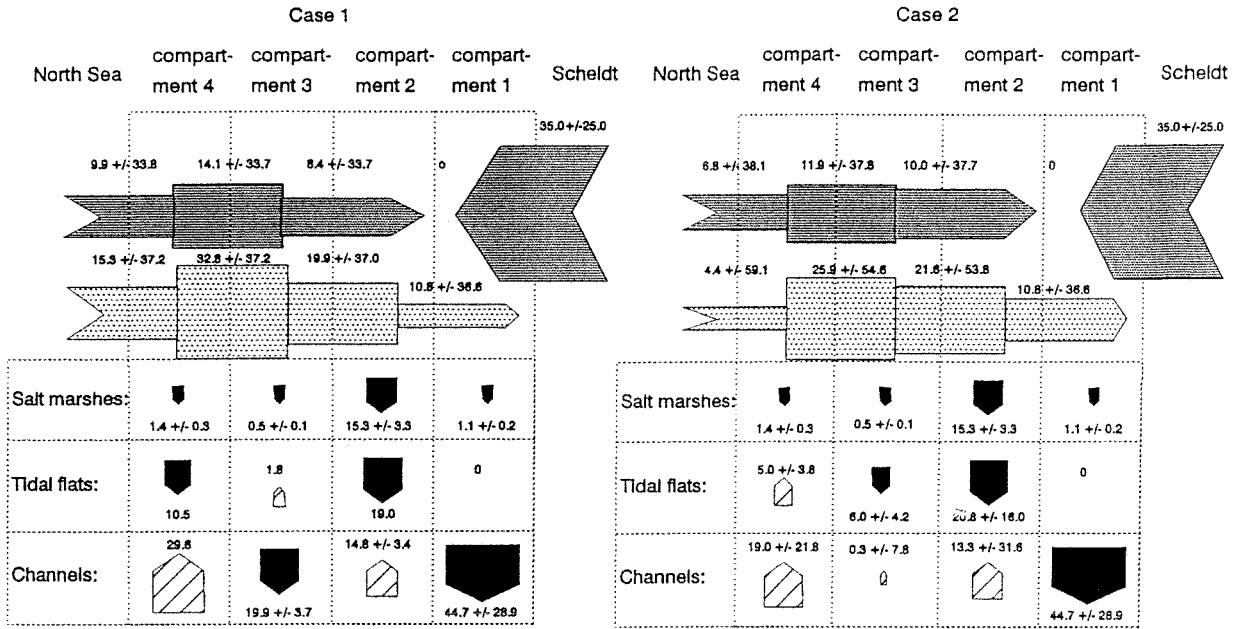


Afstand landwaarts van Vlissingen (km)

Figuur 4. Het gemiddelde percentage fluviaal slib \pm standaard deviatie voor de set van 11 tracers (4A) en de selectie van 6 tracers (4B).



Figuur 5. De vakindeling van het estuarium van de Schelde voor de slibbalans.



** 10⁴ tons/year*

Figuur 6. Vier scenario's van de slibbalans.