



Vrije Universiteit Brussel

MINISTERIE VAN DE VLAAMSE GEMEENSCHAP
DEPARTEMENT LEEFMILIEU EN INFRASTRUCTUUR
BESTUUR WATERWEGEN EN ZEEWEZEN
AFDELING MARITIEME TOEGANG

**BEPALING VAN DE VERHOUDING MARIEN -
FLUVIATIEL SLIB IN DE BENEDEN ZEESCHELDE
IN HET VOORJAAR VAN 2004**

Stanislas Wartel, Hydrologie en Waterbouwkunde

Margaret S. Chen, Hydrologie en Waterbouwkunde

Willy Baeyens, Analytische Chemie

Frank Dehairs, Analytische Chemie

OKTOBER 2004

MINISTERIE VAN DE VLAAMSE GEMEENSCHAP

DEPARTEMENT LEEFMILIEU EN INFRASTRUCTUUR

BESTUUR WATERWEGEN EN ZEEWEZEN

AFDELING MARITIEME TOEGANG

**BEPALING VAN DE VERHOUDING MARIEN -
FLUVIATIEL SLIB IN DE BENEDEN ZEESCHELDE IN
HET VOORJAAR VAN 2004.**

Werkten mee aan deze studie:

Stanislas Wartel, *Hydrologie en Waterbouwkunde*

Margaret S. Chen, *Hydrologie en Waterbouwkunde*

Willy Baeyens, *Analytische Scheikunde*

Frank Dehairs, *Analytische Scheikunde*

Steven Bouillon, *Analytische Scheikunde*

Martine Leermaekers, *Analytische Scheikunde*

Pierre Van Den Winkel, *Medische Beeldvorming en Fysische Analyse*

VRIJE UNIVERSITEIT BRUSSEL

Pleinlaan 2, 1050 Brussel

Oktober 2004

Dankwoord

De auteurs houden er aan om voor alles ir. Eric Taverniers (Bestuur Waterwegen en Zeewezen, Afdeling Maritieme Toegang) van harte te bedanken voor zijn bijdrage aan dit onderzoek. Tijdens de talrijke gesprekken met de heer Taverniers hebben zij kunnen beroep doen op zijn ervaring en grondige kennis van het Scheldeestuarium. Dit heeft onmiskenbaar bijgedragen tot de kwaliteit van dit onderzoek.

De auteurs zijn er zich eveneens terdege van bewust dat de niet aflatende inzet van hoofdtechnicus Marc Wouters (Bestuur Waterwegen en Zeewezen, afdeling Maritieme Toegang) het vlotte verloop van dit onderzoeksproject heeft mogelijk gemaakt. Zij willen hem daarvoor dan ook speciaal te bedanken.

Voor de staalname van de zwevende stof en het bodemsediment kon gerekend worden op de zeer gewaardeerde medewerking van de bemanningen van de onderzoeksschepen “Veremans”, “Scheldewacht II”, “Scaldis I” (Bestuur Waterwegen en Zeewezen, afdeling vloot) en “Belgica” (Beheerseenheid Mathematisch Model Noordzee en Scheldeestuarium). Zij worden hiervoor dan ook ten zeerste bedankt.

Tenslotte bedanken de auteurs ook de heer Ward De Cooman (Vlaamse Milieumaatschappij) voor zijn bereidwillige medewerking en voor de staalname met behulp van de speciaal daarvoor uitgeruste laboratorium-container.

BENEDEN ZEESCHELDE

Bepaling van de verhouding marien-fluviatiel slib

1. Inleiding

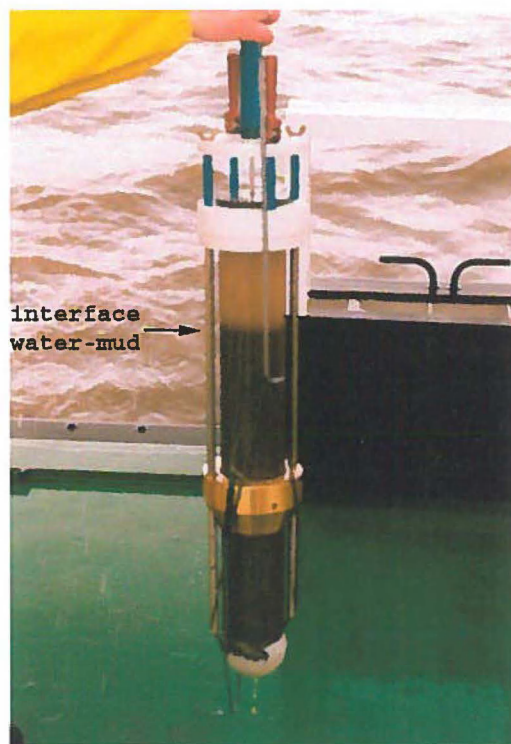
Onderhavige studie heeft als doel het fluvio-marien evenwicht in de Schelde na te gaan, en meer in het bijzonder het fluviatiel aandeel in de slib-aanwezigheid in de tijrivier te bepalen. Dergelijke studies werden reeds uitgevoerd in 1993 en 1999 (Wartel and Chen, 1998; Wartel et al., 1993) en de resultaten daarvan worden vergeleken met de gegevens bekomen in deze studie teneinde eventuele wijzigingen op te sporen in het fluvio-marien evenwicht van het in het tijbekken aanwezige slib, voornamelijk in het gebied nabij de Belgisch-Nederlandse grens. Gelet op de noodzaak om tot een representatief en nauwkeurig inzicht te komen in deze grens-overschrijdende materie werd voor de huidige actualisering het aantal bemonsteringsplaatsen uitgebreid.

2. Methoden

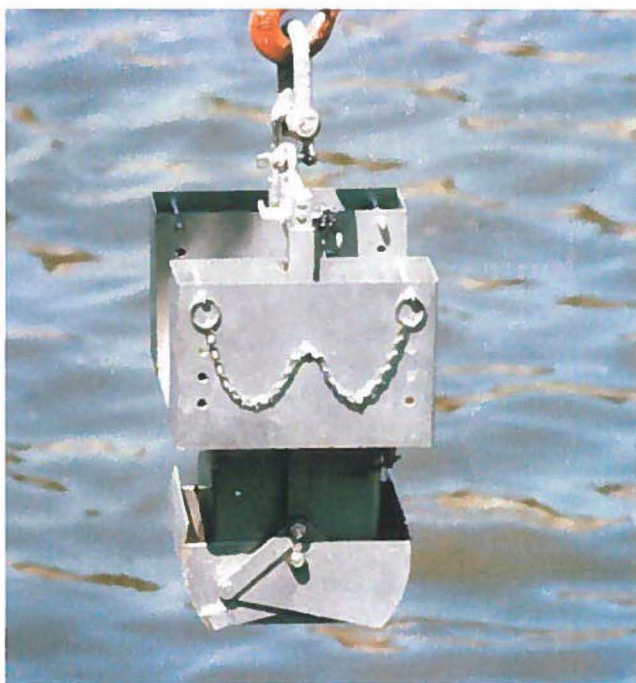
2.1. Staalname

Aangezien onderhavige studie als doel heeft het aandeel fluviatiel slib te bepalen in het Scheldeestuarium werd het bodemsediment bemonsterd op plaatsen waar het meest recente slib afgezet wordt namelijk in de toegangsgeulen tot de zeesluizen van Zandvliet, Kruisschans, Kallo, Royers, en Wintam, in de toegangsgeul tot de sluis van Dendermonde, in de veerboothavens Terneuzen, Perkpolder en Kruiningen, in de havens van Breskens en Vlissingen (Sloehaven), en tenslotte ook in de Schelde zelf in de Appelzak en nabij Heusden (tabel 1). In de Rupel werden bodemstalen genomen in de toegangsgeul tot de sluis van Willebroek en in de oude sluis van Wintam. In de Durme werd een bodemstaal genomen nabij de brug van Waasmunster. Deze bodemstalen werden bemonsterd met behulp van ofwel een 'Van Veen' grijper, een Uwitech corer (figuur 1) of een Wildco box corer (figuur 2).

Verhouding marien/fluviatiel slib in het estuarium van de Schelde



Figuur 1: de UWITECH-corer. De scheiding tussen water en de toplaag van het slib is duidelijk zichtbaar.



Figuur 2: de WILDCO box corer in geopende stand

Zwevende stof werd bemonsterd in de hoofdgeul van de rivier zoveel mogelijk in de nabijheid van de staalnamepunten voor het bodemsediment (tabel 1). De zwevende stof werd bemonsterd met een centrifuge. Op de Noordzee werd hiervoor een Alfa-Laval centrifuge gebruikt aan boord van de RV 'Belgica'. Op de Schelde werd eveneens een Alfa-Laval centrifuge (Alfie) gebruikt aan boord van de RV 'Scheldewacht'.

Voor de bepaling van het fluviatiel aandeel in het Scheldesediment is het belangrijk om ook de eindtermen, dit wil zeggen de fysico-chemische parameters van zowel het fluviatiel als het mariene sediment, te kennen. In vorige studies werd hiervoor grotendeels beroep gedaan op gegevens die bekomen werden uit de literatuur. In onderhavige studie werden daarvoor stalen genomen van het zwevend materiaal in het Scheldebekken, namelijk in de Dijle (Haacht), de Dender (Overboelare), en op de Noordzee nabij de Goote Bank. De staalname op de Dijle, de Dender, de Durme, evenals op de Schelde te Dendermonde en te Heusden, werd uitgevoerd door Ward De Cooman (Vlaamse Milieumaatschappij) met een grote Alfa-Laval centrifuge opgesteld in een daarvoor speciaal uitgeruste labocontainer. Alle staalnamegegevens zijn samengevat in tabellen 1 en 2.

2.2. Korrelgrootte-onderzoek

Het korrelgrootte-onderzoek gebeurde volgens een internationaal erkende en gepubliceerde methode en die gebaseerd is op laboratorium testen en een jarenlange ervaring (Jones et al., 1988; Komar and Cui, 1984; Singer et al., 1988; Wartel et al., 1995).

Voorafgaand aan de analyse wordt het vochtige sedimentstaal zo goed mogelijk gemengd. Van dit gemengde staal werd een substaal genomen dat gedroogd werd door lyophilisatie.

Van het gedroogde staal werd ongeveer 15 gram voor een slibrijk sediment en 20 gram voor een zandstaal tot op 0.01 g nauwkeurig afgewogen (W_2) in een vooraf gewogen brede beker van 1 liter (W_1).

Het organisch materiaal werd verwijderd door herhaaldelijk toevoegen van 30 ml verdund waterstofperoxide (1/3 verdund technische (27%) oplossing van waterstofperoxide). Na verwijdering van het organisch materiaal werd chloorwaterstofoplossing (1N) toegevoegd om alle aanwezige kalkfragmenten te verwijderen waarna het staal herhaaldelijk gespoeld werd met gedemineraliseerd water om alle resterende zouten te verwijderen en een stabiele suspensie te bekomen. De beker met de suspensie werd in een oven geplaatst bij 105°C, volledig ingedampt en na afkoeling tot kamertemperatuur gewogen (W_4). Aan de hand van de weegresultaten (W_1 tot W_4) werd het uitgangsgewicht en het gewichtsverlies bij de voorbehandeling berekend.

Het droge staal werd opnieuw in suspensie gebracht in 50 ml gedemineraliseerd water. Deze suspensie werd stabiel gemaakt door toevoegen van 5 ml van een disperserende oplossing. Het hier gebruikte dispersiemiddel bestaat uit een oplossing van 1.33 g natriumcarbonaat en 8.93 g natriumoxalaat per liter water.

De stabiele suspensie werd vervolgens nat gezeefd op een zeef met een maasopening van 75 μm . De fractie grover dan 75 μm werd opgevangen in een voorafgewogen kleine beker van 150 ml (W_5), ingedampt bij 105 °C, gewogen (W_6) en gezeefd doorheen een zeefserie met een zeefinterval van 0.5 phi (phi = $-\log_2 d_{\text{mm}}$). De keuze van de zeef met grootste maasopening is afhankelijk van het te analyseren staal. Voor grof zand zal men beginnen zeven bij 2 mm en voor fijn zand kan 0.5 mm of zelfs 0.25 mm volstaan. De zeef met de kleinste zeefopening is dezelfde als deze gebruikt voor de natte zeping (75 μm in deze studie).

De fractie fijner dan 75 μm werd na indamping in een 50% glycerine oplossing gebracht en verder geanalyseerd met behulp van de Sedigraaf.

De sedigraaf werkt volgens hetzelfde basisprincipe als de bekende pipette- of dekantatiemethode. Het sedimentstaal wordt in suspensie gebracht en gehomogeniseerd, waarna de sedimentconcentratie in functie van de tijd gemeten wordt op een vooraf bepaalde diepte onder het wateroppervlak en bij een stabiele temperatuur (32°C). De afname in sedimentconcentratie met de tijd is functie van het korrelgroottespectrum van

het sediment. De sedigraafmethode verschilt wezenlijk van de pipetmethode in de wijze waarop de sedimentconcentratie gemeten wordt. Bij de pipetmethode gebeurt dit gravimetrisch door staalname van een kleine hoeveelheid suspensie (meestal 50 ml) die uitgedampt en gewogen wordt. De sedigraaf meet de sedimentconcentratie aan de hand van de absorptie van röntgenstralen in een stabiele X-stralenbundel. Hierbij wordt uitgegaan van de vooropstelling dat de massa-absorptiecoëfficiënt, en dus de chemische samenstelling, constant blijft voor de verschillende korrelgroottefracties.

Door koppeling met de Mastertech 51 worden 18 stalen in serie geanalyseerd. Een bijkomend voordeel is dat het te analyseren staal juist voor de analyse gedurende 10 minuten wordt geroerd en tijdens de laatste minuut tevens met ultrasonen wordt gehomogeniseerd zodat een homogene suspensie van geïndividualiseerde partikels bekomen wordt.

Alle gegevens worden samengebracht en verwerkt met behulp van speciaal daarvoor ontworpen informatica software SEDAN2001 (Francken en Wartel, niet gepubliceerd). Deze software controleert het ganse analyseproces vanaf het ruwe staal tot de volledige berekening van alle gebruikelijke statistische korrelgrootteparameters en het uittekenen van het korrelgroottespectrum.

2.3. Radioactieve isotopen

De hier gevolgde methode steunt op een internationaal erkende en gepubliceerde methodologie en werd voorafgaand uitvoerig getest op het laboratorium (Allen et al., 1993; Appleby and Oldfield, 1983; Nittrouer et al., 1979; Tagle, 1996).

De activiteiten van ^{210}Pb en ^{226}Ra werden gamma-spectrometrisch afhankelijk van de beschikbare hoeveelheid bepaald op 10 tot 30 g, gelyophyliseerd sediment. De activiteiten werden rechtstreeks gemeten met een gecalibreerde hoge resolutie germanium-detector gekoppeld aan een CANBERRA-series35 multichannel analyser. De gemeten activiteiten werden genormeerd voor het gehalte aan slib ($<63\mu\text{m}$), kalk, en organisch materiaal in het sediment. Dit is noodzakelijk om onderling vergelijkbare gegevens te bekomen (Church et

al., 1981). Het slib-gehalte beïnvloedt de activiteit in positieve zin, kalk en organisch materiaal daarentegen beïnvloeden de activiteit in negatieve zin. De reproduceerbaarheid van de metingen bedraagt ongeveer 10 % van de gemeten waarde.

2.4. Stabiele isotopen in bulk organisch materiaal en in de microbiële membraanlipiden

Het laboratorium voor Analytische Chemie van de Vrije Universiteit Brussel heeft een jarenlange ervaring met de analyse van stabiele isotopen onder meer in het estuarium van de Schelde (De Brabandere et al., 2002). De hier gevolgde methode is gebaseerd op internationaal gepubliceerde werken (onder meer: (Middelburg and Nieuwenhuize, 1998) en eigen ervaring (Bouillon and Dehairs, 2000; Bouillon and Dehairs, 2002; Hellings et al., 1999).

Gelyophiliseerde stalen werden gehomogeniseerd met een mortier. Een substaal hiervan werd gebruikt voor elementenanalyse (TOC/TN, atom) en bulk $\delta^{13}\text{C}$ analyse, een tweede substaal voor $\delta^{15}\text{N}$ analyse. Voor TOC/TN en $\delta^{13}\text{C}$ -TOC analyses werd het materiaal afgewogen in zilveren cups en in situ aangezuurd met verdund (5%) HCl, substalen voor $\delta^{15}\text{N}$ werden niet met zuur behandeld. Concentraties van organisch koolstof en totaal N (uitgedruk als %, drooggewicht) en TOC/TN werden bepaald met een ThermoFinnigan Flash 1112 elemental analyser, waarbij acetanilide werd gebruikt voor calibratiedoeleinden. De $\delta^{13}\text{C}$ van TOC werd op dezelfde monsters gemeten, waarbij de verbrandingsgassen naar een ThermoFinnigan Delta +XL werden geleid via een ConFlo III interface, met een typische reproduceerbaarheid van 0.15 per mil. De $\delta^{15}\text{N}$ analyse op bulk materiaal werd eveneens via EA-IRMS bepaald, met een typische reproduceerbaarheid van 0.2 per mil.

Extractie en derivatisatie van PLFA werd uitgevoerd met een aangepaste Bligh & Dyer extractie, partitie op silica gel, en transmethylatie onder milde alkaliene condities. De $\delta^{13}\text{C}$ waarden van de resulterende FAMES (Fatty Acid Methyl Esters) werden gemeten met een HP6890 GC gekoppeld aan een ThermoFinnigan delta+XL via een GC/C III interface. Alle monsters werden in splitless mode gemeten, met een HP-5 kolom (30 m,

0.32 mm ID) en een helium flow van 2 ml/min. De $\delta^{13}\text{C}$ waarden van de originele PLFA's werden gecorrigeerd voor de additie van een methylgroep via eenvoudige massabalans. Reproduceerbaarheid van $\delta^{13}\text{C}$ -PLFA analyse op goed gescheiden referentiematerialen is typisch ± 0.3 per mil, maar doorgaans minder goed (± 0.6 per mil) voor de belangrijkste PLFA's in natuurlijke monsters.

Alle stabiele isotopenverhoudingen worden uitgedrukt relatief tot de conventionele standaard (VPDB), gedefinieerd als:

$$\delta^{13}\text{C} = 1000 \frac{\left[\frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}} \right]_{\text{staal}} - \left[\frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}} \right]_{\text{standaard}}}{\left[\frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}} \right]_{\text{standaard}}}$$

De vetzuurnotatie bevat het aantal C-atomen, gevolgd door een dubbele punt en het aantal dubbele bindingen. De positie van de eerste dubbele binding (gerekend vanaf het alifatische einde van het vetzuur) is aangegeven door de 'w'. Prefixen 'i' (iso) en 'a' (anteiso) verwijzen naar de locatie van een methylgroep 1 of 2 C-atomen van het alifatische einde, respectievelijk.

2.5. Zware metalen

Het Laboratorium voor Analytische Chemie van de vrije Universiteit Brussel heeft een jarenlange ervaring met de analyse van zware metalen onder meer in het estuarium van de Schelde (Baeyens et al., 1998b; Baeyens et al., 1982). Hierop is de hier beschreven methode gebaseerd.

Sedimenten en zwevende stof werden voorafgaandelijk gelyophiliseerd en gehomogeniseerd. Een tiende gram sediment werd opgelost in koningswater (4ml HCl and 1ml HNO₃) in een microgolfoven (CEM Mars 5) onder gecontroleerde omstandigheden van temperatuur en druk: temperatuurstijging tot 160°C gedurende 15 minuten (bij een maximum druk van 200 psi) en vervolgens op constante temperatuur van 160°C gedurende 15 minuten bij een maximum druk van 200 psi. Na digestie werd het staal verdund tot 50 ml met gedeïoniseerd water. De analyse van de voornaamste

elementen werd uitgevoerd door “inductively coupled” plasma atomaire emissie spectrometrie (ICP- AES - Thermo Optek, Iris). Spoorelementen werden analyseerd met hoge resolutie “inductively coupled” plasma mass spectrometrie (HR-ICPMS - Thermo Finnigan Element II).

Verhouding marien/fluviaal silt in het estuarium van de Schelde

plaats	km	schip	datum 2004	nummer	staalname	nummer	staalname	HW	LW	van hh:m	tot hh:m
A. Noordzee											
Goote Bank	-40.0	Belgica	01 April			04A01S	centrifuge / Niskin bottle	12:04	18:10	15:25	21:35
Wielingen, boei W4-W8	-9.3	Belgica	02 April	04A02	Van Veen grap	04A02S	centrifuge / Niskin bottle	13:28	7:16	09:00	10:28
Pas van 't Zand, Boei WZ	-29.6	Belgica	31 Maart	04A03	Van Veen grap	04A03S	centrifuge / Niskin bottle	23:34	17:15	19:10	20:40
B. Westerschelde											
Vlissingen-Sloehaven	2.3	Scheldewacht	09 April	04B01	Uwitec Corer					12:00	
Breskens haven	-0.5	Scheldewacht	09 April	04B02	Uwitec Corer					11:30	
Rede Vlissingen-Boei S01	2.0	Belgica	01 April			04B01S	centrifuge / Niskin bottle	10:36	16:45	11:05	12:40
Terneuzen, toegangseul tot sluis	22.6	Scheldewacht	09 April	04B03	Uwitec Corer					10:45	
Pas van Terneuzen, boei 20	23.5	Scheldewacht	28 April			04B03S	centrifuge / Niskin bottle	9:21	15:15	11:07	13:11
Kruiningen - veerhaven	45.4	Scheldewacht	08 April	04B04	Uwitec Corer						
Perkpolder - veerhaven	47.6	Scheldewacht	08 April	04B05	Uwitec Corer						
Zuidergat, boei 46	48.5	Scheldewacht	28 April			04B05S	centrifuge / Niskin bottle	9:55	15:40	14:45	17:15
Appelzak - vloedschaar	66.1	Scheldewacht	27 April	04B06	Wildco box corer						
Pas van Rilland, boei 70	63.5	Scheldewacht	27 April			04B06S	centrifuge / Niskin bottle	9:07	15:21	09:35	12:20
C. Schelde - Zandvliet tot Rupel											
Zandvlietluis, toegangseul	69.9	Scheldewacht	08 April	04B07	Uwitec Corer						
Drempel van Zandvliet, boei 89	70.4	Scheldewacht	27 April			04B07S	centrifuge / Niskin bottle	9:07	15:21	12:55	15:45
Boudewijnsdijk, toegangseul	78.7	Scheldewacht	08 April	04B08	Uwitec Corer						
Drempel van de Parel, boei 98	81.5	Scheldewacht	12 May			04B08S	centrifuge / Niskin bottle	10:13	16:23	10:15	13:00
Kallosluis, toegangseul	81.1	Scheldewacht	08 April	04B09	Uwitec Corer						
Drempel van Kruisschans, boei 101	78.7	Scheldewacht	12 May			04B09S	centrifuge / Niskin bottle	10:16	16:22	13:25	15:15
Royerssluis, toegangseul	90.3	Scheldewacht	08 April	04B10	Uwitec Corer						
Bocht van Sint Anna, boei 107	89.4	Scheldewacht	26 April			04B10S	centrifuge / Niskin bottle	8:49	15:18	13:30	15:10
D. Schelde - Rupel tot Gent											
Zeesluis van Wintam, toegangseul	104.8	Scaldis I	30 April	04B11	Uwitec Corer						
Wintam, boei 123	104.8	Scheldewacht	11 May			04B11S	centrifuge / Niskin bottle	10:15	17:00	09:45	12:00
Dendermondesluis, toegangseul	135.4	Scaldis I	30 April	04B12	Uwitec Corer						
Dendermonde ponton	133.9	Labo-Container	28 April			04B12S	centrifuge / Niskin bottle				
Heusden	165.5	Labo-Container	29 April	04B13	Wildco box corer	04B13S	centrifuge / Niskin bottle				
E. Rupel											
Wintam, toegangseul oude sluis	107.0	Scheldewacht	13 April	04B14	Uwitec Corer						
Rupel, Wintam	107.0	Scheldewacht	11 May			04B14S	centrifuge / Niskin bottle	10:26	17:05	12:40	14:45
Willebroeksluis, toegangseul	107.8	Scaldis I	30 April	04B15	Wildco box corer						
Rupel, Boom	107.8	Scheldewacht	11 May			04B15S	centrifuge / Niskin bottle	10:40	17:25	15:25	17:00
F. Durme											
Waasmunster - brug	123.5	Auto	30 April	04B16	Wildco box corer						
Waasmunster - brug	123.5	Labo-Container	27 April			04B16S	centrifuge / Niskin bottle				
G. Rivier bekken											
Haacht (Dijle)		Labo-Container	21 April			04B17S	centrifuge / Niskin bottle				
Overboelare (Dender)		Labo-Container	05 May			04B18S	centrifuge / Niskin bottle				

Tabel 1: overzichtstabel met staalnamegegevens. De bemonstering met een speciaal uitgeruste labocontainer werd uitgevoerd door Ward De Cooman, Vlaamse Milieumaatschappij.

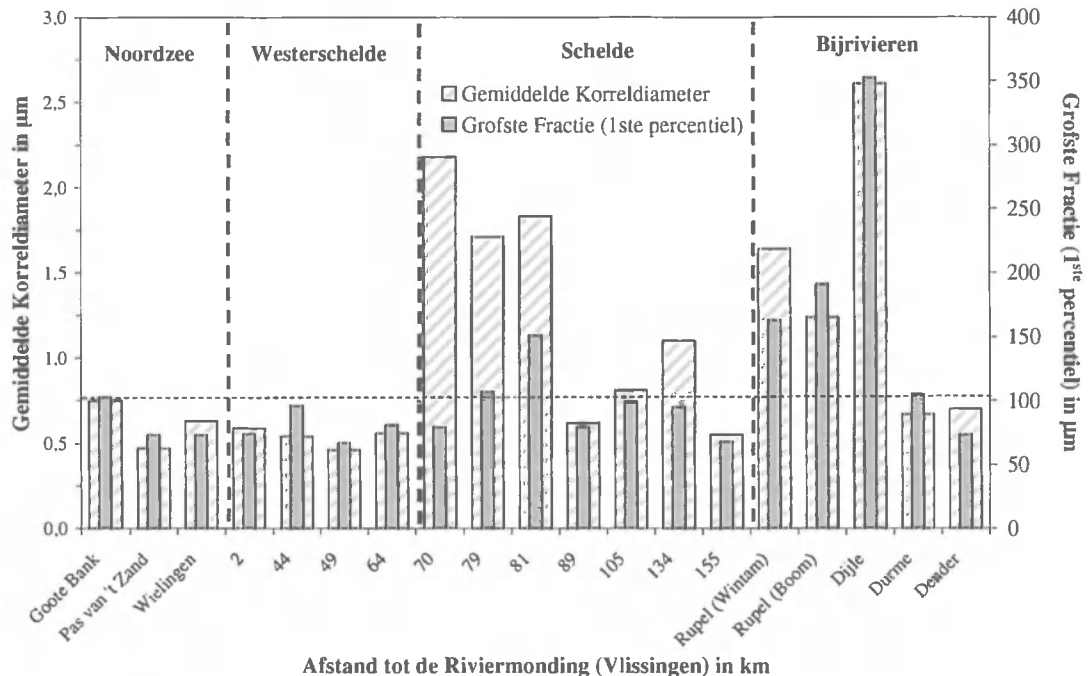
Verhouding marien/fluviatiel slib in het estuarium van de Schelde

plaats	km	bodemsediment		zwevende stof		positie		positie	
		datum	staal	datum	staal	N	E/W	northing	easting
A. Noordzee									
<i>Gaote Bank</i>	-40.0			01/04/	04A01S	51°26.86	2°48.27		
<i>Wielingen, boei W4-W8</i>	-9.3	02/04/	04A02	02/04/	04A02S	51°23.31	3°15.21		
<i>Pas van 't Zand, Boei WZ</i>	-29.6	31/03/	04A03	31/03/	04A03S	51°22.49	3°09.78		
B. Westerschelde									
<i>Vlissingen-Sloehaven</i>	2.3	09/04/	04B01			51°26.57	3°36.07		
<i>Breskens haven</i>	-0.5	09/04/	04B02			51°99.36	5°41.23		
<i>Rede Vlissingen-Boei S01</i>	2.0			01/04/	04B01S	51°24.97	3°32.63		
<i>Terneuzen, toegangseul tot sluis</i>	22.6	09/04/	04B03			51°20.45	3°48.70		
<i>Pas van Terneuzen, boei 20</i>	23.5			28/04/	04B03S	51°21.02	3°49.46		
<i>Kruiningen - veerhaven</i>	45.4	08/04/	04B04			51°26.00	4°01.90		
<i>Perkpolder - veerhaven</i>	47.6	08/04/	04B05			51°23.95	4°01.17		
<i>Zuidergat, boei 46</i>	48.5			28/04/	04B05S	51°24.46	4°02.36		
<i>Appelzak - vloedchaar</i>	66.1	27/04/	04B06			51°22.20	4°14.30		
<i>Pas van Rilland, boei 70</i>	63.5			27/04/	04B06S	51°23.53	4°13.01		
C. Schelde - Zandvliet tot Rupel									
<i>Zandvlietluis, toegangseul</i>	69.9	08/04/	04B07			51°20.80	4°16.65		
<i>Drempel van Zandvliet, boei 89</i>	70.4			27/04/	04B07S	51°20.77	4°15.66		
<i>Boudewijnsdijk, toegangseul</i>	78.7	08/04/	04B08			51°16.85	4°19.70		
<i>Drempel van de Parel, boei 98</i>	81.5			12/05/	04B08S	51°15.84	4°18.21		
<i>Kallosluis, toegangseul</i>	81.1	08/04/	04B09			51°15.80	4°17.50		
<i>Drempel van Kruisschans, boei 101</i>	78.7			12/05/	04B09S	51°17.07	4°19.21		
<i>Royerssluis, toegangseul</i>	90.3	08/04/	04B10			51°14.40	4°24.00		
<i>Bocht van Sint Anna, boei 107</i>	89.4			26/04/	04B10S	51°14.27	4°23.77		
D. Schelde - Rupel tot Gent	103.7								
<i>Zeesluis van Wintam, toegangseul</i>	104.8	30/04/	04B11			51°07.28	4°18.32		
<i>Wintam, boei 123</i>	104.8			11/05/	04B11S	51°07.45	4°18.20		
<i>Dendermondesluis, toegangseul</i>	135.4	30/04/	04B12					56555.50	5763.75
<i>Dendermonde ponton</i>	133.9			28/04/	04B12S			56544.50	5774.25
<i>Heusden</i>	165.5	29/04/	04B13	29/04/	04B13S			56534.50	5553.00
E. Rupel									
<i>Wintam, toegangseul oude sluis</i>	107.0	13/04/	04B14			51°06.18	4°18.86		
<i>Rupel, Wintam</i>	107.0			11/05/	04B14S	51°06.28	4°18.90		
<i>Willebroeksluis, toegangseul</i>	107.8	30/04/	04B15					56602.0	5958.4
<i>Rupel, Boom</i>	107.8			11/05/	04B15S			56602.80	5956.20
F. Durme									
<i>Waasmunster - brug</i>	123.5	30/04/	04B16					56519.25	5762.25
<i>Waasmunster - brug</i>	123.5			27/04/	04B16S			56620.00	5763.75

Tabel 2: geografische coördinaten van de staalnameplaatsen.

3. Resultaten

3.1. Korrelgrootteverdeling van de zwevende stof

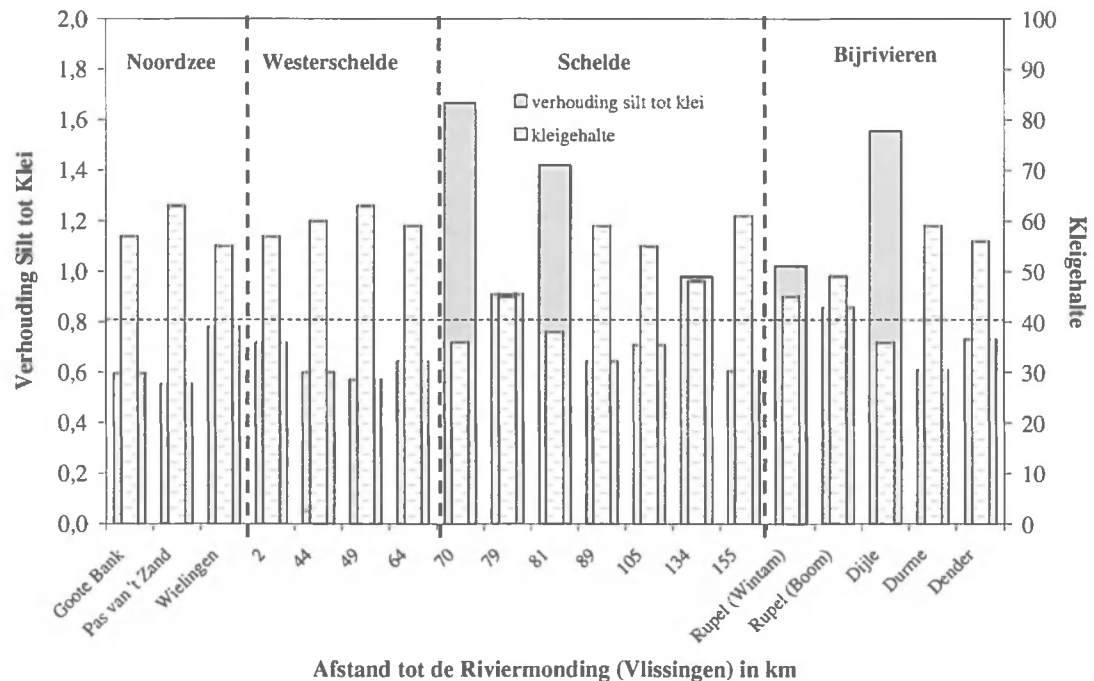


Figuur 3: overzicht van de korrelgrootte van de zwevende stof. De gemiddelde korrelgrootte is weergegeven op de linker ordinaat, de grootste fractie (eerste percentiel) op de rechter ordinaat. De stippellijn geeft de gemiddelde korrelgrootte weer van $0.75 \mu\text{m}$ en de eerste percentiel waarde van $100 \mu\text{m}$.

De korrelgrootteverdeling van de zwevende stof (figuur 3, alle korrelgrootteparameters zijn samengevat in bijlage 1) vertoont uitgesproken verschillen langsheen het estuarium. In de Westerschelde is de gemiddelde korrelgrootte fijner dan $0.75 \mu\text{m}$. Deze waarde is vergelijkbaar met de gemiddelde korrelgrootte van de zwevende stof in de Wielingen en op het Belgisch Kontinentaal Plat. Vanaf de Belgisch-Nederlandse grens echter is er stroomopwaarts een duidelijke toename (tot $2.25 \mu\text{m}$) in de gemiddelde korrelgrootte. Tussen Antwerpen (89 km) en Gent is de gemiddelde korrelgrootte opnieuw fijner maar toch iets grover dan in de Westerschelde. In de Rupel en van de Dijle vertoont de zwevende stof een grovere gemiddelde korrelgrootte terwijl in de Durme en de Dender een merkkelijk fijner sediment in suspensie aangetroffen wordt.

De grootste korrelgroottefractie (eerste percentiel waarde of de grootste korrelgroottefractie die voor 1% aanwezig is) van de zwevende stof vertoont hetzelfde patroon als de gemiddelde korrelgrootte. In de Westerschelde is het grootste sediment steeds fijner dan

100 μm , tussen de Belgisch-Nederlandse grens en Antwerpen stijgt dit tot boven 250 μm en in de Rupel en de Dijle zelfs tot 350 μm .

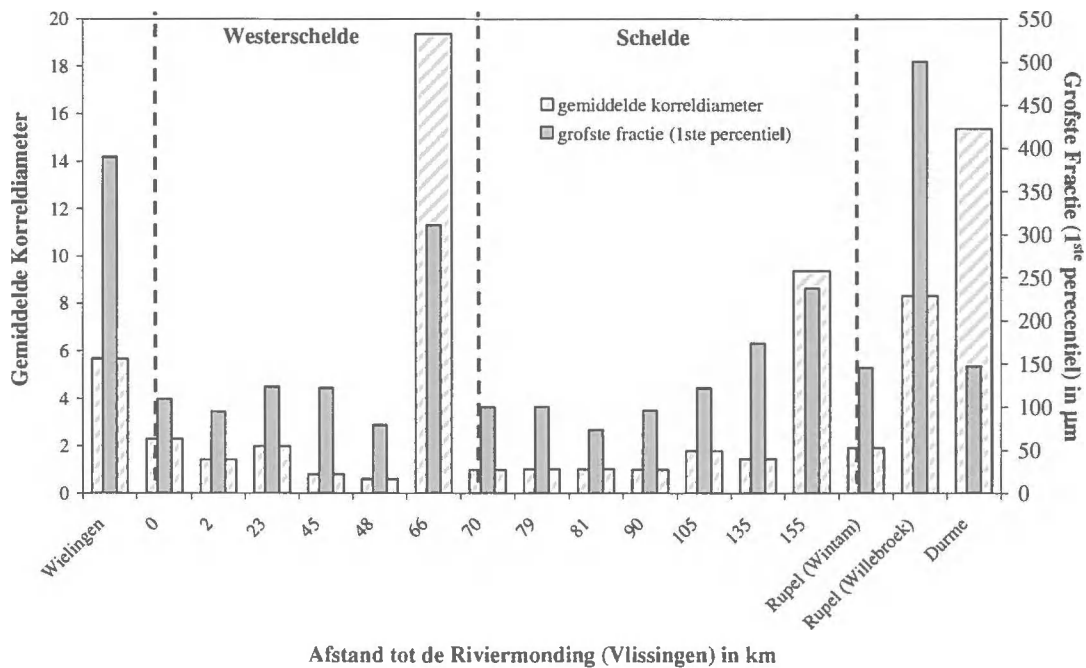


Figuur 4: kleigehalte (fractie $< 2\mu\text{m}$) en de verhouding silt (fractie tussen 63 en $2\mu\text{m}$) tot klei in de zwevende stof van het Schelde estuarium.

Het kleigehalte (fractie $< 2\mu\text{m}$, figuur 4) vertoont een trend die vergelijkbaar is met de gemiddelde korrelgrootte. Een hoog kleigehalte in de Westerschelde ($> 60\%$) en een iets lager kleigehalte in de Schelde tussen km 70 en km 89 evenals in de Rupel en de Dijle. Opvallend is echter wel de verhouding silt (fractie tussen 2 en $63\mu\text{m}$) tot klei. De zwevende stof in de Schelde, de Rupel en vooral in de Dijle wordt gekenmerkt door een hoger silt- dan kleigehalte (silt/klei > 0.8). Ook opwaarts van de Belgisch-Nederlandse grens (70 km tot 81 km) is meer silt dan klei waargenomen (silt/klei 1.4 à 1.6). Een verklaring voor deze relatief hogere silt gehalten moet gezocht worden in het brongebied voor het zwevend materiaal. Op basis van het hier uitgevoerde onderzoek is het sediment aangevoerd uit het Dijlebekken (56% silt en silt/klei > 1.5) een voor de hand liggende bron. Opvallend is wel de zeer hoge silt tot klei verhouding nabij de Belgisch-Nederlandse grens (60% silt en silt/klei = 1.67) en de Kruisschans (54% silt en silt/klei = 1.42). Mogelijks is er aanvoer van een siltrijk sediment vanuit een lokale bron. Hoge silt

concentraties in de zwevende stof werden in deze omgeving reeds eerder waargenomen (Wartel et al., 1998).

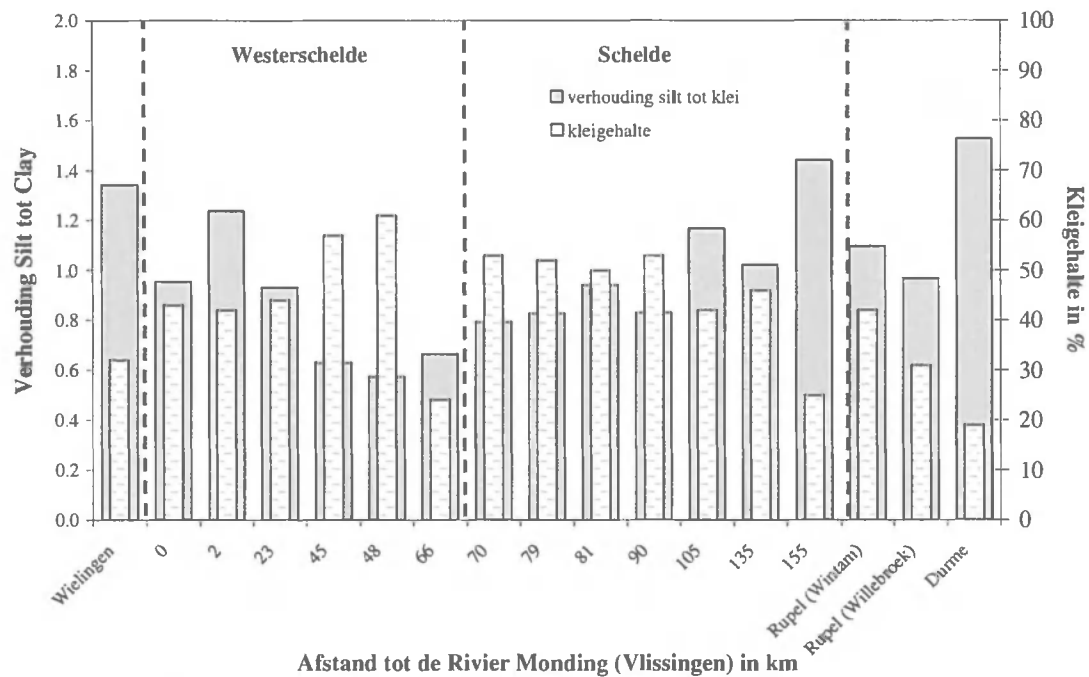
3.2. Korrelgrootteverdeling van het bodemsediment



Figuur 5: gemiddelde korrelgrootte en grofste fractie (eerste percentiel) van het bodemsediment op de bemonsterde lokaties.

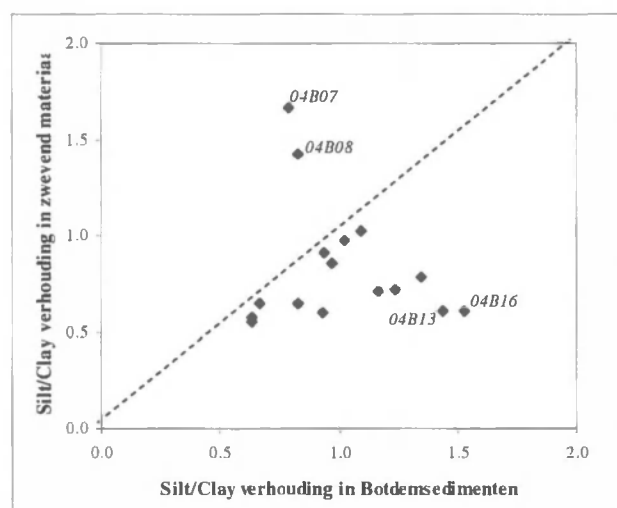
Alhoewel het opzet van onderhavige studie een bemonstering van recente slibafzettingen noodzakelijk maakt was dit niet overal mogelijk. Op sommige lokaties werd een zandig sediment bemonsterd. Op de meeste lokaties werden wel zeer fijne bodemsedimenten aangetroffen (figuur 5) en was de gemiddelde korrelgrootte fijner dan 10 µm. Uitzonderingen hierop zijn de Appelzak (66 km) en de Durme waar de gemiddelde korrelgrootte boven 15 µm uitstak. De grofste fractie die op de bemonsterde lokaties waargenomen werd is hoog in de Wielingen, de Appelzak en de Rupel te Willebroek (300 tot 350 µm). De grofste fractie is laag in de Westerschelde (<150 µm) en neemt vanaf de grens in opwaartse richting toe tot 250 µm te Heusden.

Verhouding marien/fluviatiel silt in het estuarium van de Schelde



Figuur 6: kleigehalte en silt-klei verhouding van het bodemsediment op de bemonsterde lokaties.

Het kleigehalte van het bemonsterde bodemsediment (figuur 6) vertoont gelijkaardige verschillen (30 tot 80%) als waargenomen in de zwevende stof. De hoogste waarden werden gevonden bij benadering tussen 45 km en 90 km. Buiten deze zone daalt het kleigehalte zowel naar het mondingsgebied toe als in stroomopwaartse richting. Een uitzondering hierop is het kleiarne zandstaal uit de Appelzak (66 km).



Figuur 7: vergelijking van de silt/klei verhouding in het bodemsediment en in de zwevende stof voor iedere bemonsteringsplaats. De stippellijn geeft de 1:1 verhouding weer. Sterk afwijkende punten hebben betrekking op sedimenten bemonsterd nabij Zandvliet (04B07) en de Boudewijnsluijs (04B08) en nabij Waasmunster (04B16) en Heusden (04B13).

De silt/klei verhouding is algemeen genomen hoger in het bodemsediment dan in de zwevende stof: met andere woorden er is relatief meer silt dan klei in het bodemsediment dan in de zwevende stof (figuur 7). Uitzonderingen hierop zijn de sedimenten uit de omgeving van de Zandvliet- en Boudewijnsdijk waar de zwevende stof opvallend meer silt dan klei bevat. De siltrijkste bodemsedimenten komen voor in de Boven-Schelde (Heusden) en in de Durme (Waasmunster).

3.3. Radioactieve isotopen

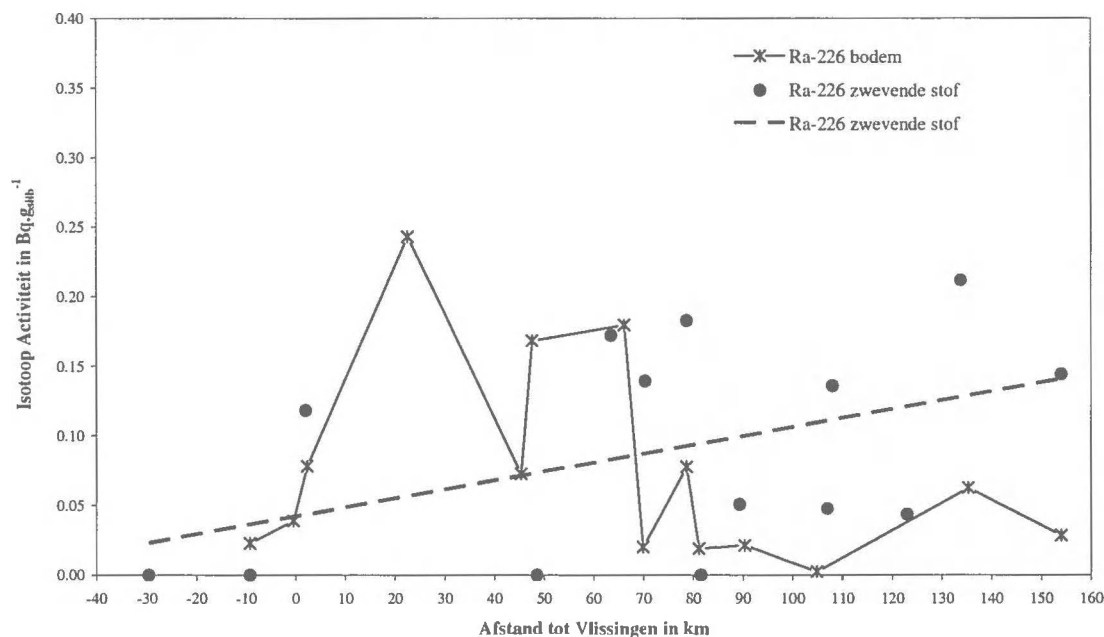
De bepaling van het fluvio-mariene evenwicht op basis van het lood-210 is gebaseerd op het feit dat de activiteit van dit isotoop een overmaat vertoont ten opzichte van de activiteit van het radium-226 waaruit het ontstaat. Deze overmaat of excess-activiteit is een gevolg van de atmosferische neerslag van ^{210}Pb die zich voegt bij het ^{210}Pb dat in evenwicht is met het ^{226}Ra . Aangezien het zeeoppervlak aanzienlijk groter is dan het oppervlak van het Scheldebekken is er een proportioneel grotere aanvoer van $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ van uit zee te verwachten en kan dus dit isotoop gebruikt worden voor een evaluatie van het fluvio-mariene evenwicht.

3.3.1. Radium

Ten einde de excess-activiteit van het ^{210}Pb ($^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$) te bepalen dient de activiteit van het ^{226}Ra gekend te zijn. De resultaten zijn weergegeven in tabellen 4 en 5. De ^{226}Ra activiteit is in 2004 niet wezenlijk verschillend van de activiteiten gemeten in 1998.

In de zwevende stof daalt de ^{226}Ra activiteit in zeewaartse richting (figuur 8). Dit is in overeenstemming met de voornaamste gekende bron namelijk de industriële lozing van ^{226}Ra in het Nete-bekken (Tessenderlo). De hoge waarde die in de Dijle waargenomen werd namelijk $0.26 (\pm 0.12) \text{ Bq} \cdot \text{g}_{\text{sed}}^{-1}$ zou door een natuurlijke aanvoer vanuit het Dijle bekken kunnen verklaard worden. Hierover zijn echter geen gegevens beschikbaar. De zeewaartse daling in de ^{226}Ra activiteit kan verklaard worden door het feit dat radium in oplossing gaat bij toenemend zoutgehalte (Miller et al., 1990).

Verhouding marien/fluviatiel slib in het estuarium van de Schelde



Figuur 8: Activiteit van het ^{226}Ra in het bodemsediment en in de zwevende stof.

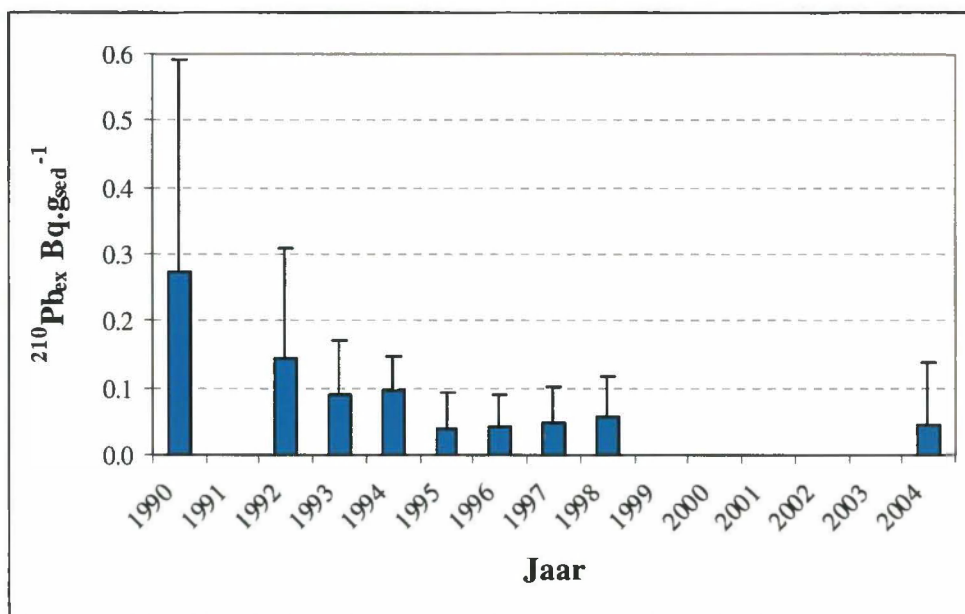
Het bodemsediment vertoont een verschillend patroon. De hoogste waarden worden hier opgetekend tussen 20 km en 70 km stroomopwaarts van Vlissingen (figuur 8). Het valt niet uit te sluiten dat de radium-concentratie in de bodem toeneemt ingevolge neerslag van radium onder anaerobe omstandigheden. Bij resuspensie kan dit neergeslagen radium in de zwevende stof terechtkomen wat eventueel de hogere ^{226}Ra activiteiten zoals bijvoorbeeld in de buurt van de Kallosluis (staal 04B09S, nabij boei 101) kan verklaren.

3.3.2. Lood

Wat het ^{210}Pb betreft werden er geen significante verschillen waargenomen tussen de metingen van 1998 en van 2004. Alleen de gemiddelde activiteit van ^{210}Pb in het bodemsediment is iets toegenomen in 2004 ten opzichte van 1998. De excess activiteit van ^{210}Pb echter is onveranderd gebleven.

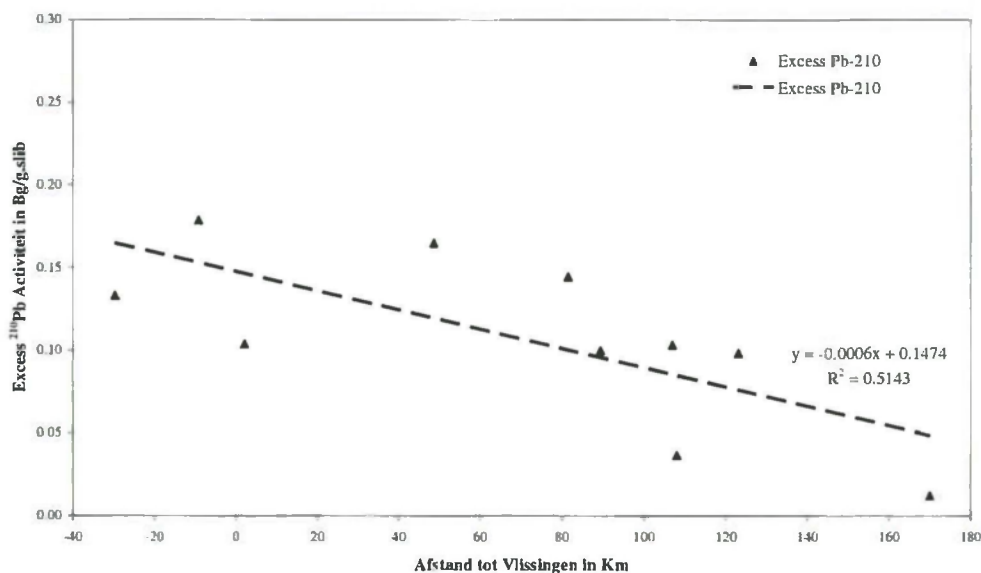
	^{226}Ra		^{210}Pb		$^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$	
	1998	2004	1998	2004	1998	2004
bodemsediment	<0.01	0.06 (± 0.07)	0.05 (± 0.03)	0.11 (± 0.04)	0.04	0.05
zwevende stof	0.11 (± 0.08)	0.09 (± 0.09)	0.15 (± 0.04)	0.14 (± 0.05)	0.04	0.05

Tabel 3: vergelijkende tabel van de gemiddelde activiteiten van ^{226}Ra , ^{210}Pb en $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ in het bodemsediment en in de zwevende stof voor 1998 en voor 2004.



Figuur 9: jaargemiddelde activiteit en spreiding voor het $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$.

Daar waar voor 1993 ^{210}Pb activiteiten van 0.6 tot 1.8 Bq.gsed⁻¹ regelmatig waargenomen werden stelt men vast dat sedert 1993 de ^{210}Pb activiteit sterk afgenomen is tot beneden 0.3 Bq.gsed⁻¹. Dit is eveneens het geval voor de gemiddelde excess activiteit van het ^{210}Pb zoals te zien is in figuur 9.



Figuur 10: excess ^{210}Pb langsheen het estuarium van de Schelde. Er is een duidelijke landwaartse daling in $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ waarneembaar

Deze daling in $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ kan niet op natuurlijke wijze verklaard worden omdat er geen argumenten voor een afname in de atmosferische neerslag (de voornaamste bron van het

$^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$) bestaan. Een mogelijke verklaring kan gevonden worden in een vermenging van de zwevende stof met geresuspendeerd $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ -arm bodemsediment. Een gemiddeld excess van $0.05 \text{ Bq} \cdot \text{g}_{\text{sed}}^{-1}$ komt overeen met een daling van bijna 80% ten opzichte van de hoogste gemeten excess waarde in 1990 ($0.27 \text{ Bq} \cdot \text{g}_{\text{sed}}^{-1}$). Men kan dus veronderstellen dat ongeveer 80% van de zwevende stof uit lokaal geresuspendeerd bodemsediment bestaat. Dit is tevens in overeenstemming met de gemeten ^{226}Ra waarden nabij plaatsen met hoge slibconcentratie zoals de toegangsgeulen tot de sluizen.

Verhouding marien/fluviatiel slib in het estuarium van de Schelde

localiteit	Staal	datum	sediment %	silt+klei %	Pb-210 Bq.g-sed-1	Ra-226 Bq.g-sed-1	Am-241 Bq.g-sed-1
Wielingen	04A02-S	02-04-04	57	99	0.18	0.00	0.06
Pas van 't Zand	04A03-S	31-03-04	55	98	0.13	0.00	0.12
Vlissingen	04B01-S	01-04-04	61	98	0.22	0.12	0.04
Boei 46	04B05-S	28-04-04	61	99	0.16	0.00	0.16
Boei 70	04B06-S	27-04-04	69	97	0.17	0.17	0.07
Boei 89	04B07-S	27-04-04	71	96	0.12	0.14	0.06
Boei 98	04B08-S	12-05-04	70	92	0.14	0.00	0.02
Boei 101	04B09-S	12-05-04	76	83	0.12	0.18	0.22
Boei 107	04B10-S	26-04-04	73	97	0.15	0.05	0.01
Dendermonde	04B12-S	28-04-04	74	95	0.15	0.21	0.05
Destelbergen	04B13-S	30-04-04	69	98	0.09	0.14	0.04
Wintam	04B14-S	11-05-04	74	89	0.15	0.05	0.02
Boom	04B15-S	11-05-04	65	90	0.17	0.14	0.07
Hamme	04B16-S	26-04-04	67	90	0.14	0.04	0.03
Haacht	04B17-S	21-04-04	82	91	0.12	0.27	0.06
Overboelare	04B18-S	05-05-04	69	87	0.01	0.00	0.04

Tabel 4: isotopen samenstelling van de zwevende stof. Sediment % geeft de hoeveelheid materiaal aan die overblijft na behandeling van het ruwe staal met verdund waterstofperoxide en met verdund chloorzuur. Silt + klei % geeft de hoeveelheid materiaal aan kleiner dan 63 µm.

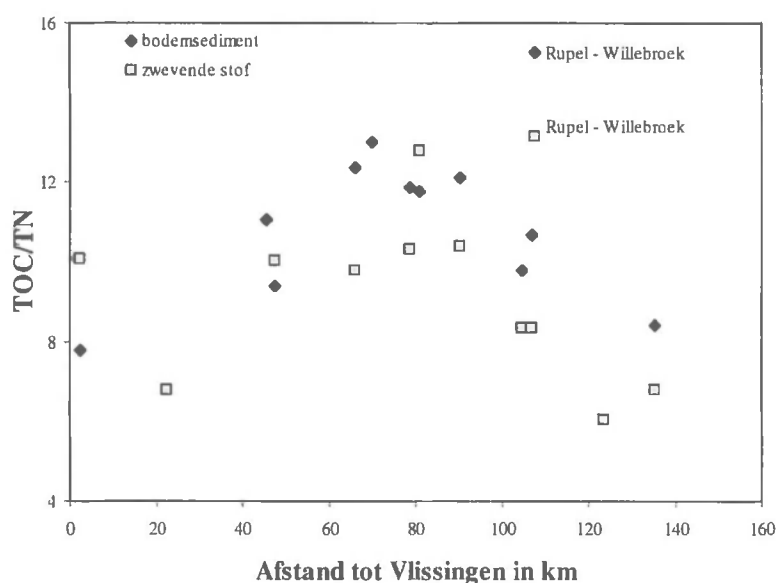
localiteit	Staal	datum	sediment %	silt+klei %	Pb-210 Bq.g-sed-1	Ra-226 Bq.g-sed-1	Am-241 Bq.g-sed-1
Wielingen	04A02	29-03-04	74	73	0.08	0.02	0.13
Pas van 't Zand	04A03	29-03-04	82	16	0.19	0.00	0.35
Vlissingen	04B01	09-04-04	61	94	0.15	0.08	0.15
Breskens	04B02	09-04-04	68	86	0.04	0.04	0.13
Terneuzen	04B03	09-04-04	69	84	0.12	0.24	0.23
Kruiningen	04B04	08-04-04	68	92	0.09	0.07	0.14
Perkpolder	04B05	08-04-04	67	96	0.10	0.17	0.18
Appelzak	04B06	27-04-04	86	40	0.18	0.18	0.28
Zandvliet sluis	04B07	08-04-04	73	95	0.04	0.02	0.10
Boudewijn sluis	04B08	08-04-04	70	95	0.13	0.08	0.14
Kallo sluis	04B09	08-04-04	76	97	0.13	0.02	0.10
Royers sluis	04B10	08-04-04	74	97	0.12	0.02	0.14
Wintam new sluis	04B11	30-04-04	79	88	0.10	0.00	0.13
Dendermonde sluis	04B12	30-04-04	81	92	0.10	0.06	0.12
Destelbergen	04B13	29-04-04	87	61	0.12	0.03	0.14
Wintam old sluis	04B14	13-04-04	87	87	0.09	0.05	0.11
Willebroek sluis	04B15	30-04-04	87	58	0.05	0.00	0.17
Hamme tijmeter	04B16	30-04-04	85	49	0.13	0.07	0.19

Tabel 5: isotopen samenstelling van het bodemsediment. Sediment % geeft de hoeveelheid materiaal aan die overblijft na behandeling van het ruwe staal met verdund waterstofperoxide en met verdund chloorzuur. Silt + klei % geeft de hoeveelheid materiaal aan kleiner dan 63 µm.

3.4. Stabiele isotopen

3.4.1. Het organisch materiaal – oorsprong en voorkomen

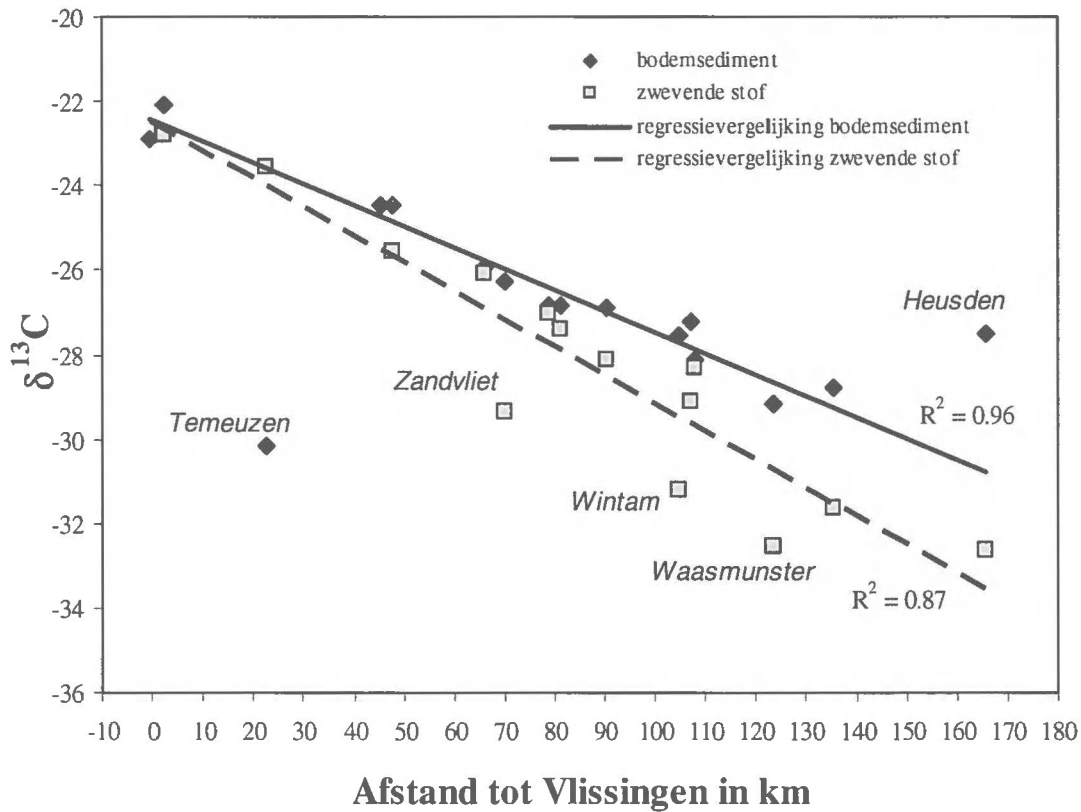
De bepaling van het fluvio-marien evenwicht aan de hand van de stabiele koolstof isotopen gaat uit van de vaststelling dat terrestrische, fluviatische en mariene koolstoffen een verschillende isotopen signatuur vertonen. Daarom is kennis van de oorsprong van het organisch materiaal belangrijk bij de interpretatie van de meetresultaten. Informatie omtrent de oorsprong van organisch materiaal in een estuariene omgeving kan achterhaald worden door de analyse van de chemische samenstelling van dit materiaal. Twee belangrijke aspecten komen hiervoor in aanmerking namelijk (1) de verhouding tussen het totale gehalte aan organisch koolstof (TOC) en het totale gehalte aan stikstof (TN) en (2) de $\delta^{13}\text{C}$ waarde van het TOC of de verhouding tussen twee stabiele isotopen van koolstof namelijk ^{12}C en ^{13}C (alle analyse resultaten zijn samengevat in tabel 6).



Figuur 11: verhouding totaal organisch koolstof (TOC) tot totaal stikstof (TN) in het estuarium van de Schelde. Het sediment uit de omgeving van Willebroek vertoont afwijkende kenmerken

De verhouding TOC/TN verandert langsheen het estuarium omwille van de differentiële afbraak van organisch materiaal onder invloed van bacteriële werking en van de beschikbaarheid van zuurstof, en omwille van de aanwezigheid van een gradiënt in het relatieve belang van phytoplankton materiaal (met lage TOC/TN verhoudingen) en materiaal van terrestrische origine (met doorgaans hogere TOC/TN verhoudingen). Er is

een duidelijk maximum in deze verhouding waarneembaar tussen 70 km en 90 km (figuur 11).



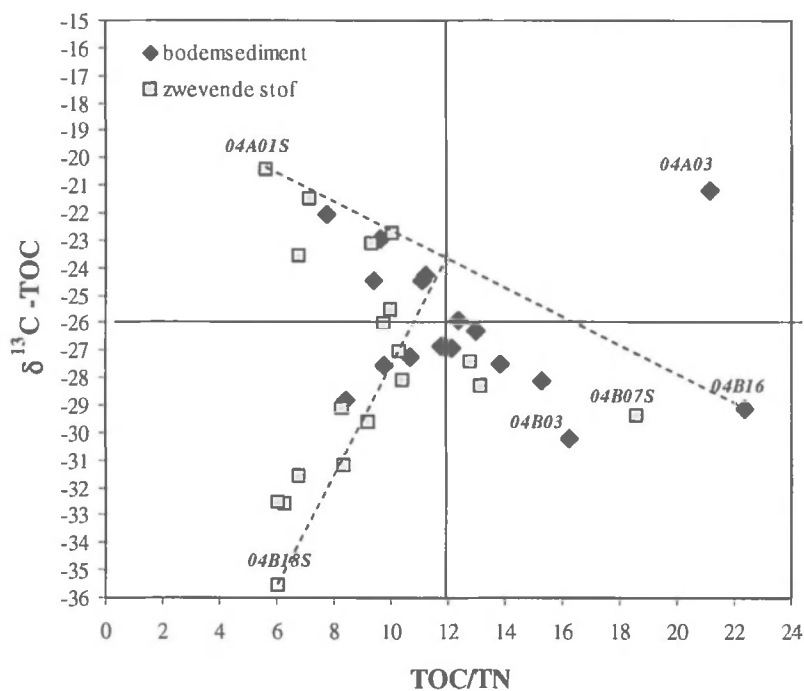
Figuur 12: stabiele koolstof-isotopen verhouding ($\delta^{13}C$) langsheen het estuarium van de Schelde. Afstanden zeewaarts van Vlissingen zijn negatief voorgesteld. Lokaties waar afwijkende resultaten gevonden werden zijn vermeld.

De $\delta^{13}C$ verhouding daalt vanaf de monding landinwaarts (figuur 12). Deze daling is steiler voor de zwevende stof dan voor het bodemsediment. Enkele stalen gaven vrij sterk afwijkende resultaten. Het sediment uit de werkhaven te Terneuzen vertoont een bijzonder lage waarde die kan verklaard worden door de lozing van rivierwater via het zeekanaal Gent – Terneuzen. De lage waarden te Zandvliet en te Wintam zijn op analoge wijze te verklaren, namelijk invloed van lozingen vanuit de haven (Zandvliet) of het Zeekanaal Brussel – Schelde (Wintam). De hoge waarde te Heusden daarentegen kan een gevolg zijn van de aanvoer en bezinking van zwevende stof vanuit het stroomafwaartse deel van de rivier zonder dat daar een aanvoer vanuit de bovenloop tegenover staat.

Uit een vergelijking tussen de TOC/TN verhouding enerzijds en de $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ ($\delta^{13}\text{C}$) anderzijds kunnen verschillende brongebieden afgeleid worden.

In figuur 13 zijn deze verbanden weergegeven voor zowel het bodemsediment als de zwevende stof. Uit de figuur blijkt dat aan de verwachtingen voldaan werd en dat drie duidelijk te onderscheiden bronnen aanwezig zijn:

- Een *terrestrische* bron met een TOC/TN waarde groter dan 15 en een lage $\delta^{13}\text{C}$ waarde die ongeveer -28‰ bedraagt; de zwevende stof bemonsterd in de Durme (staal 04B16) voldoet aan deze voorwaarden.
- *Zoetwater-plankton* met een lage TOC/TN waarde en een zeer lage $\delta^{13}\text{C}$ waarde die ongeveer -35‰ bedraagt; de zwevende stof bemonsterd in de Dender nabij Overboelare (staal 04B18S) voldoet aan deze voorwaarden.
- Een *mariene* bron met eveneens een lage TOC/TN waarde maar met een hoge $\delta^{13}\text{C}$ waarde die ongeveer -20‰ bedraagt; de zwevende stof bemonsterd in de nabijheid van de Goote Bank (staal 04A01S) voldoet aan deze voorwaarden.

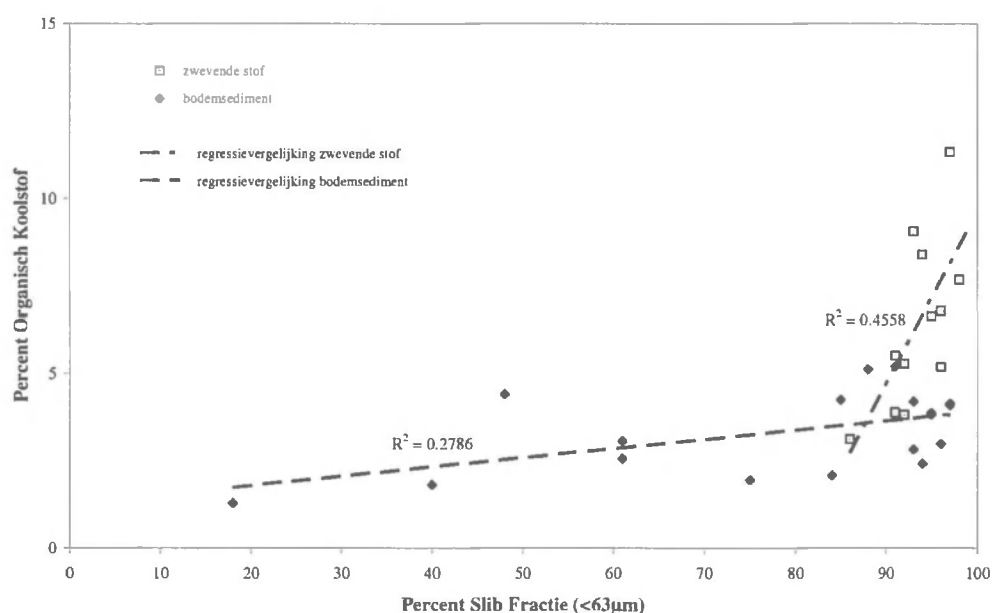


Figuur 13: verband tussen de verhouding organisch koolstof (TOC) en stikstof (TN) en de stabiele koolstof isotopen verhouding voor zowel het bodemsedimenten als voor de zwevende stof. Het sediment uit de Pas van 't Zand (04A03) heeft de mariene kenmerken met sterk terrestrische invloed.

De meeste stalen vertonen een mengvorm van deze 3 bronnen. Het bodemsediment uit de "pas van 't Zand" (04A03) echter vertoont afwijkende kenmerken. Zoals verwacht vertoont de $\delta^{13}\text{C}$ een duidelijke mariene signatuur, de hoge TOC/TN verhouding

daarentegen wijst op een terrestrische bron. Dit laatste kan een gevolg zijn van de nabijheid van de haven van Zeebrugge.

Het verschillend gedrag dat in de Schelde waargenomen werd tussen de zwevende stof met een sterker dalende $\delta^{13}\text{C}$ waarde en het bodemsediment met een minder sterk dalende $\delta^{13}\text{C}$ waarde is te verklaren door de lokale aanwezigheid van zoetwater-plankton met een zeer lage $\delta^{13}\text{C}$ waarde in de zwevende stof en de lagere abundantie daarvan in het bodemsediment. Dit laatste kan er op wijzen dat de sedimentatie van zoetwater plankton een minder belangrijk aandeel heeft in de totale hoeveelheid organisch materiaal in het bodemsediment.

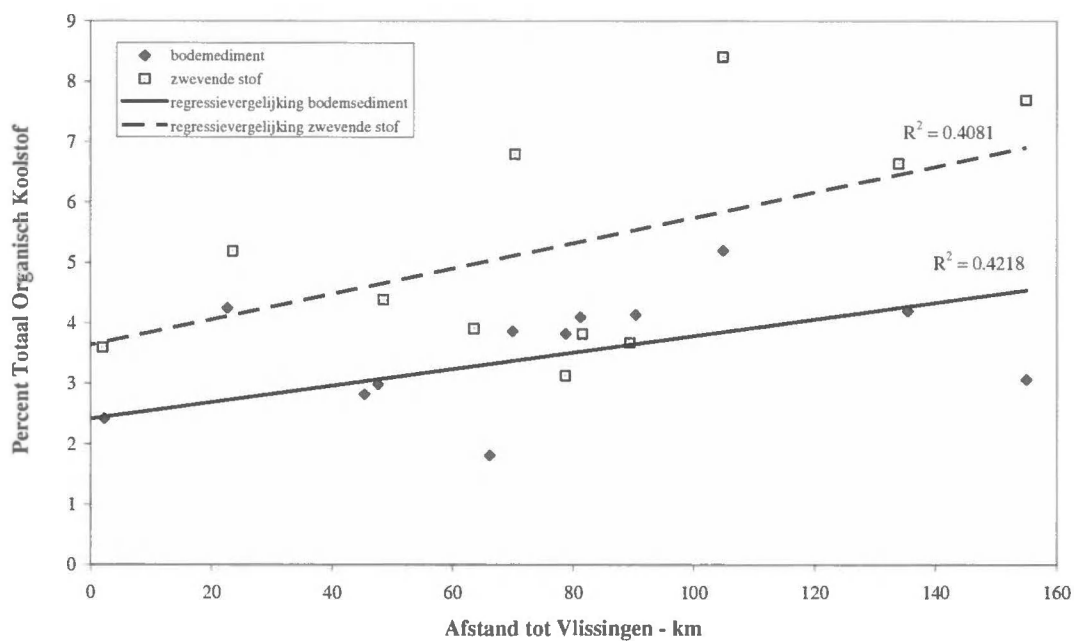


Figuur 14: verband tussen organisch materiaal en slibgehalte voor zowel de zwevende stof als voor het bodemsediment.

Door de lipidenfractie af te zonderen en in deze fractie de stabiele isotopenverhoudingen te bepalen, krijgen we informatie over de brontermen van gesuspendeerd en eventueel gesedimenteerd recent organisch materiaal. Voor sommige elementen kan het isotopenverhoudingssignaal in de lipidenfractie van de diverse brontermen sterker verschillen dan in de globale organische materiaalhoeveelheid. Zodoende kunnen sommige brontermen nauwkeuriger worden herkend, en kan ook nagegaan worden waar het recentere materiaal werd waargenomen.

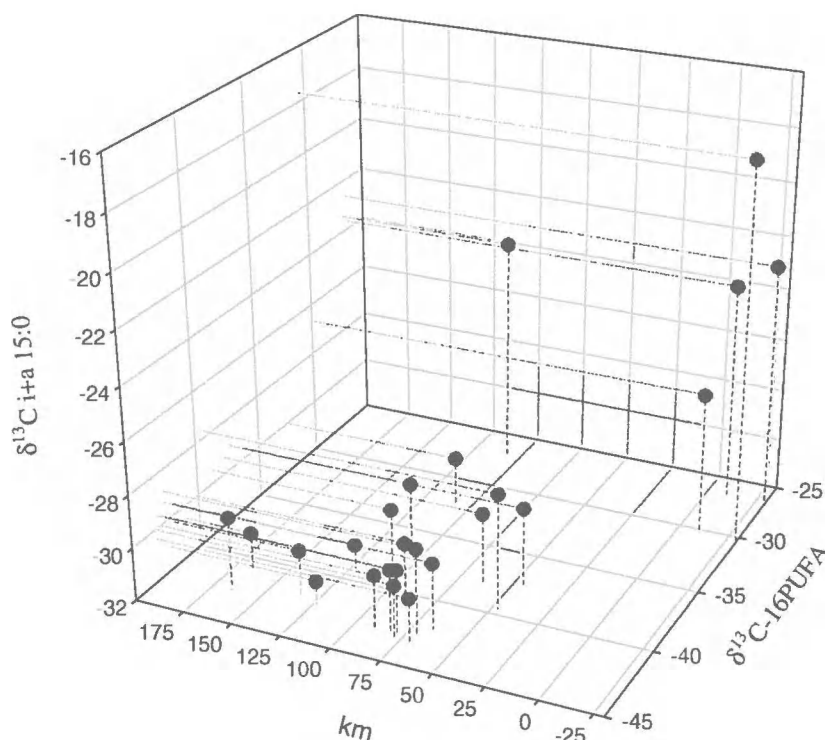
De interpretatie van het marien-fluviatiele evenwicht op basis van stabiele isotopen van koolstof en stikstof steunt op de veronderstelling dat het organisch materiaal nauw verbonden is met de slibfractie en zich op dezelfde wijze verplaatst. Organisch materiaal doet dienst als bindmiddel bij het aaneenkitten van fijne sedimentpartikels en zal als dusdanig ook samen met deze partikels vervoerd worden. In figuur 14 is te zien dat er wel degelijk een verband bestaat tussen het organisch koolstof en de slibfractie (fractie <63 µm).

In werkelijk zijn deze verbanden echter veel complexer omdat blijkt dat, onafhankelijk van het gehalte aan slib of klei, het gehalte aan organisch koolstof in zeewaartse richting daalt (figuur 15). Deze daling is meer uitgesproken in de zwevende stof dan in het bodemsediment.



Figuur 15: totaal gehalte aan organisch koolstof voor zowel het bodemsediment als voor de zwevende stof in functie van de afstand tot Vlissingen.

Het onderzoek van de lipidenfractie levert een meer precies beeld op van de verdeling en de oorsprong van het organisch koolstof. De iso-en anteiso vertakte verzadigde vetzuren (i+a 15:0) zijn zeer specifieke biomarkers voor de aanwezigheid van bacteriën. De lage isotopen signatuur $\delta^{13}\text{C}$ -i+a 15:0 wijst er op dat de belangrijkste bron van het organisch koolstof een doorgedreven bacterieel metabolisme is.



Figuur 16: verband tussen $\delta^{13}\text{C}_{i+a\ 15:0}$, $\delta^{13}\text{C}$ -16PUFA en de afstand tot Vlissingen. De $\delta^{13}\text{C}_{i+a\ 15:0}$ wordt voornamelijk, bepaald door bacteriële activiteit terwijl $\delta^{13}\text{C}$ -16PUFA bepaald wordt door de aanwezigheid van microalgen.

De poly-onverzadigde vetzuren (16PUFA), uitgezet op de ordinaat-as in figuur 16, vertonen een lage $\delta^{13}\text{C}$ waarde wat er op wijst dat het organisch koolstof voornamelijk afkomstig is van phytoplankton (microalgen). Worden deze parameters uitgezet tegenover de lengteas van het estuarium (figuur 16) dan blijkt dat vanaf Heusden (155 km) tot aan de Belgisch-Nederlandse grens (66km, Appenzak) de voornaamste bron voor het organisch koolstof voor bacteriële mineralisatie van terrestrische herkomst is. Voorbij de

Verhouding marien/fluviatiel slib in het estuarium van de Schelde

Belgisch-Nederlandse grens is een vrij sterke en plotse toename van marien organisch materiaal aantoonbaar.

Sample	TOC $\delta^{13}\text{C}$	PN $\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$ i14:0	$\delta^{13}\text{C}$ i+a15:0	$\delta^{13}\text{C}$ 16:PUFA	$\delta^{13}\text{C}$ 16:0	C %	N %	C/N
BODEM SEDIMENTEN									
04A02	-24.3	8.3	-27.2	-26.7	-29.9	-25.7	1.953	0.174	11.21
04A03	-21.2	5.6		-17.6	-30.5	-28.3	1.284	0.061	21.15
04B01	-22.1	8.6					2.416	0.311	7.77
04B02	-22.9	7.7					2.087	0.216	9.64
04B03	-30.2	8.3					4.251	0.262	16.23
04B04	-24.4	8.6	-24.6	-29.0	-37.4	-30.4	2.822	0.255	11.06
04B05	-24.4	8.6	-28.4	-27.6	-39.5	-32.0	2.987	0.317	9.41
04B06	-25.9	7.3	-34.1	-29.5	-42.0	-32.7	1.809	0.146	12.35
04B07	-26.3	7.7	-30.7	-30.3	-43.4	-33.2	3.868	0.298	12.98
04B08	-26.9	7.3	-29.9	-30.0	-43.2	-33.0	3.822	0.322	11.87
04B09	-26.9	7.0	-31.1	-30.8	-45.7	-34.1	4.099	0.349	11.75
04B10	-26.9	7.2	-31.2	-30.0	-42.9	-32.2	4.141	0.342	12.12
04B11	-27.6	5.0					5.199	0.532	9.78
04B12	-28.8	6.3					4.197	0.499	8.42
04B13	-27.5	4.2	-32.7	-29.2	-42.6	-32.2	3.068	0.222	13.85
04B14	-27.2	3.9					5.126	0.480	10.69
04B15	-28.1	3.2	-22.7	-23.4	-26.9	-25.4	2.564	0.168	15.27
04B16	-29.2	4.9	-31.3	-31.1	-42.3	-33.6	4.404	0.197	22.38
ZWEVENDE STOF									
04A01S	-20.4	6.0					14.660	2.614	5.61
04A02S	-23.2	11.4	-23.3	-23.7	-26.5	-20.9	3.619	0.387	9.34
04A03S	-21.5	12.6		-22.6	-26.7	-25.2	3.527	0.494	7.14
04B01S	-22.8	10.8					3.596	0.358	10.05
04B03S	-23.6	12.7					5.188	0.765	6.78
04B05S	-25.5	13.8					4.386	0.438	10.02
04B06S	-26.1	13.9	-30.0	-29.3	-37.9	-35.3	3.910	0.400	9.77
04B07S	-29.4	10.0	-28.7	-28.7	-42.7	-34.8	6.795	0.365	18.60
04B08S	-27.0	10.0	-30.7	-29.6	-43.0	-37.6	3.822	0.370	10.32
04B09S	-27.4	9.2	-29.5	-29.6	-42.9	-36.9	3.128	0.245	12.79
04B10S	-28.1	5.9	-28.8	-29.8	-40.4	-34.5	3.676	0.354	10.40
04B11S	-31.2	3.5	-29.6	-29.4	-38.8	-39.4	8.404	1.008	8.34
04B12S	-31.6	12.7	-31.4	-30.2	-41.9	-40.5	6.637	0.977	6.80
04B13S	-32.6	-1.8	-31.5	-30.5	-41.0	-39.7	7.689	1.221	6.30
04B14S	-29.1	3.2	-29.0	-29.3	-36.7	-33.9	5.509	0.661	8.33
04B15S	-28.3	1.3	-29.7	-30.1	-32.3	-29.4	3.882	0.295	13.14
04B16S	-32.5	5.7	-30.7	-31.1	-39.0	-37.0	9.070	1.500	6.05
04B17S	-29.6	2.8					5.275	0.574	9.18
04B18S	-35.5						11.335	1.876	6.04

Tabel 6: dataset organisch materiaal en stabiele isotopen onderzoek. De gebruikte symbolen zijn uitgelegd in de tekst.

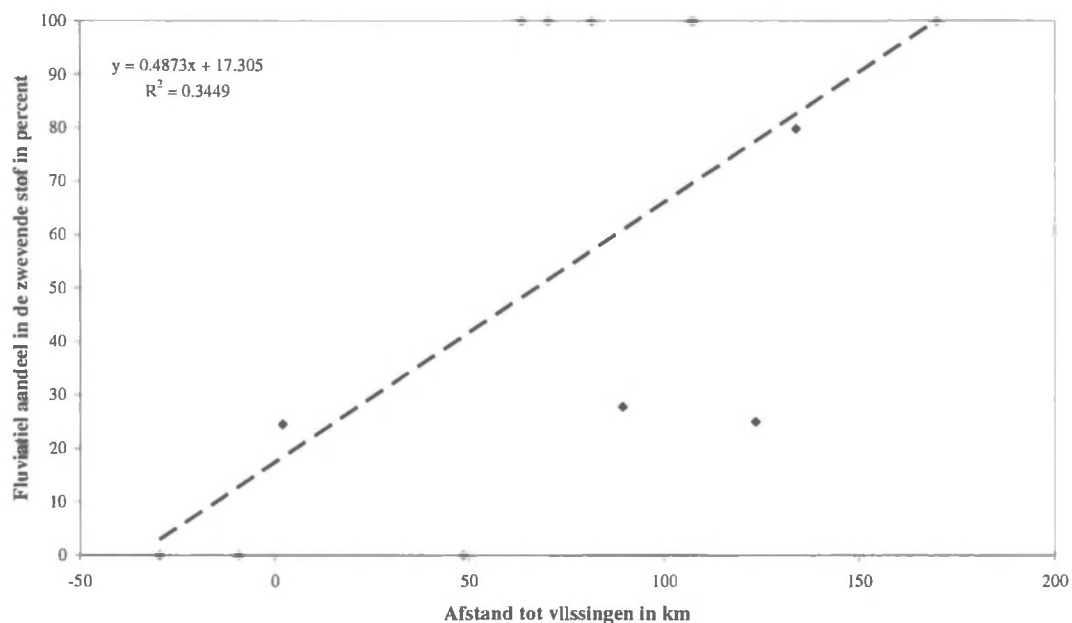
4. Het fluvio-mariene evenwicht

4.1. Fluviatiele fractie berekend op basis van het $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$

Bij de bespreking van het radioactieve ^{210}Pb is aangetoond dat in de zwevende stof een excess aan dit isotoop aanwezig is. Dit excess ^{210}Pb daalt in landwaartse zin (figuur 10).

Het aandeel fluviaal materiaal in het sediment werd berekend aan de hand van een eenvoudig lineair model steunend op de twee gekozen eindtermen (C_r voor de fluviatiele component en C_m voor de mariene component) en de concentratie van het isotoop op iedere bemonsteringsplaats (C_i)

$$P_F = 100 \frac{C_i - C_r}{C_r - C_m}$$



Figuur 17: fluviaal aandeel in de zwevende stof voor ieder bemonsteringspunt met als eindtermen de $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ activiteit te Boelare (fluviatiele eindterm) en te Wielingen (mariene eindterm).

De fluviatiele fracties werden voor iedere bemonsteringsplaats berekend en een trendlijn werd bepaald in functie van de afstand tot Vlissingen (Figuur 17). Als eindtermen werden de gemeten activiteiten respectievelijk te Boelare (fluviatiele eindterm) en in de Wielingen (mariene eindterm) genomen (zie tabel 4). De resultaten vertonen een zeer grote spreiding.

Op basis van deze berekening werd vervolgens voor enkele punten het fluviaal aandeel berekend (tabel 7):

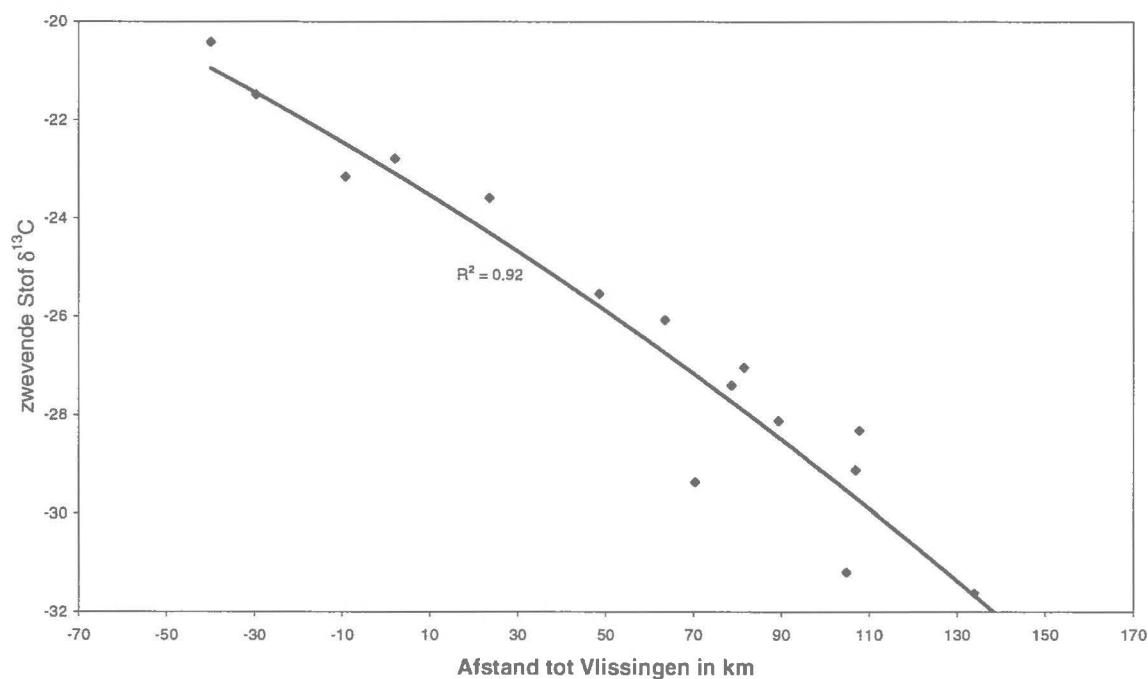
Lokaleiteit	Fluviaal aandeel
Belgisch-Nederlandse grens	50
Toegangsgeul Zandvlietluis	51
Toegangsgeul Boudewijnsluis	56
Toegangsgeul Kallosluis	57
Toegangsgeul Royerssluis	61

Tabel 7: fluviaal aandeel in het bodemsediment nabij de Belgisch-Nederlandse grens en in de toegangsgeulen tot de grote zeesluizen.

De aldus gevonden waarden liggen zeer dicht bij het fluviaal aandeel berekend op basis van de stabiele isotopen (zie volgende paragraaf).

4.2. Fluviaal fractie in de zwevende stof

Het aandeel fluviaal materiaal in het sediment werd berekend aan de hand van een hetzelfde lineair model als voor de radioisotopen. Met als eindtermen de gevonden waarde op de Goote Bank (marien) en te Heusden (fluviaal).

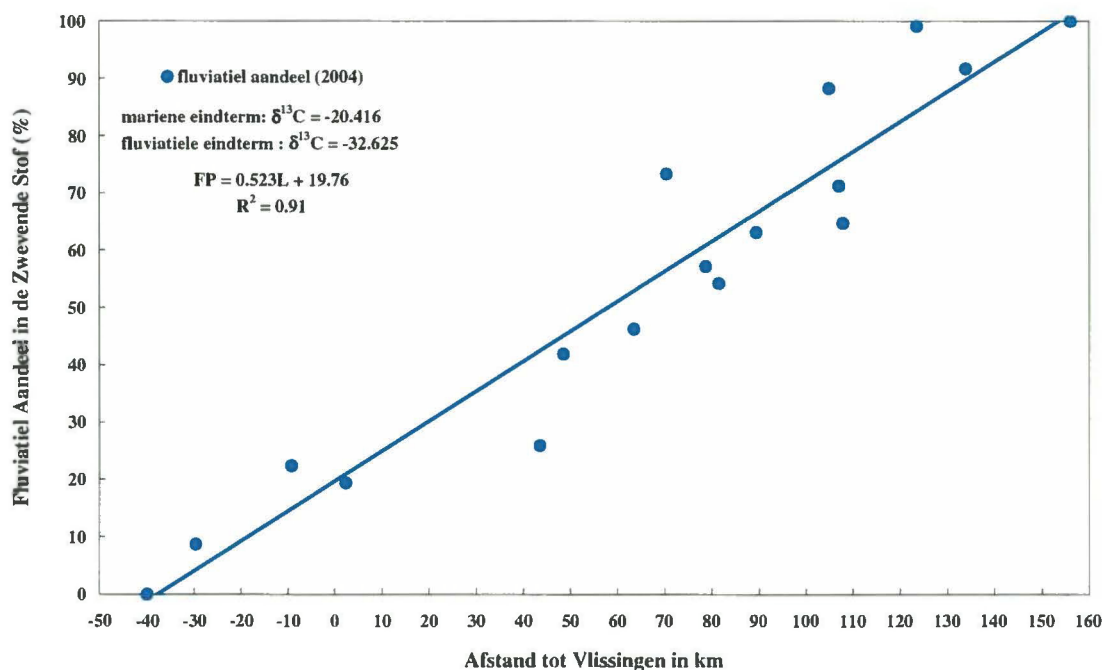


Figuur 18: stabiele isotopenverhouding ($\delta^{13}\text{C}$) voor zwevende stof langsheen het estuarium.

De stabiele isotopen verhouding langsheen het estuarium is weergegeven in figuur 18.

Verhouding marien/fluviatiel slib in het estuarium van de Schelde

Op basis van deze verdeling werden de fluviatiele fracties voor iedere bemonsteringsplaats berekend en zijn weergegeven in figuur 19. De regressielijn door deze punten diende als basis voor de berekening van de fluviatiele component in tabel 8.



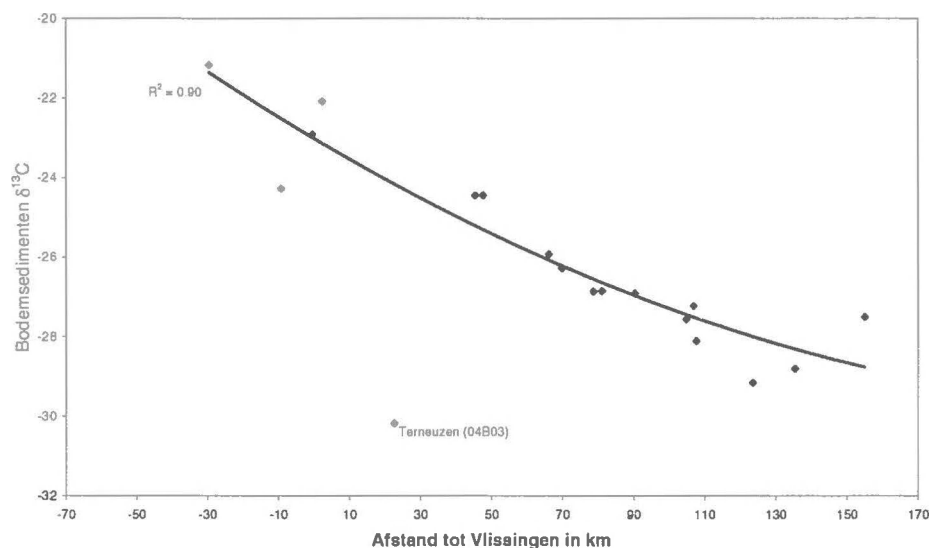
Figuur 19: procent fluviatiel materiaal (FP) in de zwevende stof in functie van de afstand (L) tot Vlissingen. De regressielijn houdt geen rekening met enkele afwijkende meetresultaten.

localiteit		km	% fluviatiel materiaal
Pas van't Zand	Boei WZ	-30	4
Wielingen	Boei W4-W8	-9	15
Rede Vlissingen	Bouy S01	2	21
Hansweert	Boei 42	44	43
Zuidergat	Boei 46	49	45
Pas van Rilland	Boei 70	64	53
Drempel van Zandvliet	Boei 89	70	57
Drempel van De Parel	Boei 98	81	62
Drempel van Kruisschans	Boei 101	79	61
Bocht van Sint Anna	Boei 107	89	66
Zeesluis van Wintam	Boei 123	105	75
Dendermonde	Pontoon	134	90
Heusden	Opwaarts baanbrug	155	100
Oude sluis van Wintam	Vaargeul	107	76
Boom	Vaargeul	108	76
Waasmunster	Baanbrug	123	84

Tabel 8: procent fluviatiel materiaal in zwevende stof op de verschillende staalnamepunten langs het estuarium van de Schelde. De berekening gebeurde aan de hand van de regressielijn in figuur 19.

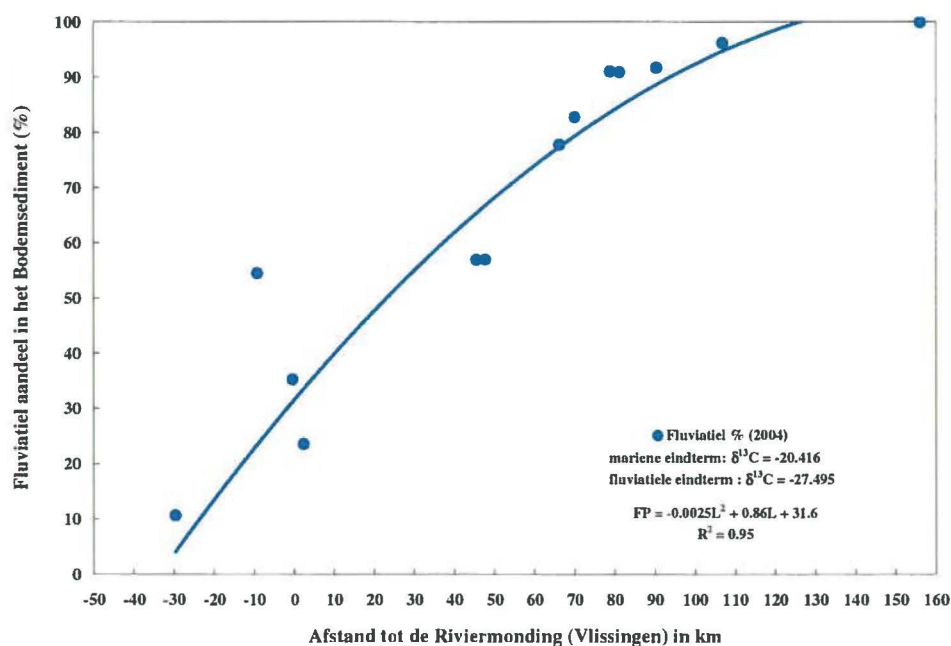
4.3. Fluviatiel aandeel in het bodemsediment

Het aandeel fluviatiel materiaal in het bodemsediment werd berekend aan de hand van hetzelfde lineair model dat eveneens gebruikt werd voor de berekening van het fluviatiele aandeel in de zwevende stof. De verdeling van het $\delta^{13}\text{C}$ langsheen het estuarium is weergegeven in figuur 20. Met uitzondering van het meetpunt te Terneuzen (04B03) wordt een zeer goede correlatie gevonden tussen de $\delta^{13}\text{C}$ waarde en de afstand langsheen het estuarium. Het meetpunt te Terneuzen vertoont een zeer lage $\delta^{13}\text{C}$ waarde wat er op wijst dat de aanvoer van fluviatiel sediment uit het kanaal Gent-Terneuzen op deze plaats de overhand heeft. Om die rede werd dit meetpunt buiten beschouwing gelaten bij de berekening van de regressievergelijking in figuur 20.



Figuur 20: stabiele isotopenverhouding ($\delta^{13}\text{C}$) voor het bodemsediment langsheen het estuarium. Het sediment uit de toegangsgeul tot de zeesluis te Terneuzen vertoont een $\delta^{13}\text{C}$ waarde die veel lager is dan verwacht. Dit meetpunt werd dan ook buiten beschouwing gelaten bij de berekening van de regressievergelijking.

Verhouding marien/fluviatiel slib in het estuarium van de Schelde



Figuur 21: procent fluviatiel materiaal (FP) in het bodemsediment in functie van de afstand (L) tot Vlissingen. De regressielijn houdt geen rekening met enkele sterk afwijkende resultaten.

Het berekende fluvio-marien aandeel in ieder staalname punt is weergegeven in figuur 21. Op basis van de regressievergelijking doorheen deze verdeling werd dan voor iedere lokatie het fluviatische aandeel herberekend (tabel 9).

localiteit		km	% fluviatiel materiaal
Pas van't Zand	Boei WZ	-30	4
Wielingen	Boei W4-W8	-9	23
Vlissingen	Sloehaven	2	34
Breskens	Haven	0	31
Terneuzen	Toegangseul	23	50
Kruiningen	Veerhaven	45	65
Perkpolder	Veerhaven	48	67
Appelzak	Vloedgeul	66	77
Zandvliet	Toegangseul	70	79
Boudewijn	Toegangseul	79	83
Kallo	Toegangseul	81	85
Royers	Toegangseul	90	88
Wintam	Toegangseul zeeluis	105	94
Dendermonde	Toegangseul	135	100
Heusden	Opwaarts baanbrug	155	100
Wintam	Toegangseul oude sluis	107	95
Willebroek	Toegangseul sluis	108	95
Waasmunster	Baanbrug	123	99

Tabel 9: procent fluviatiel materiaal in het bodemsediment op de verschillende staalnamepunten langsheen het estuarium van de Schelde. De resultaten zijn berekend aan de hand van de regressielijn in figuur 21.

4.4. Fluviaal aandeel op basis van zware metalen.

De concentraties aan cadmium (Cd), lood (Pb), koper (Cu) en zink (Zn) in de zwevende stof en in het bodemsediment zijn weergegeven in tabellen 10 en 11. Het aluminium en het kleigehalte zijn eveneens vermeld. Om een onderlinge vergelijking tussen de stalen mogelijk te maken werden de meetresultaten genormeerd aan de hand van de concentratie aan aluminium. Deze genormeerde waarden (Cd/Al, Pb/Al, Cu/Al en Zn/Al) zijn in afzonderlijk kolommen weergegeven.

Met het oog op de bepaling van het fluviaal aandeel in het sediment, zowel zwevend als bodemsediment, aan de hand van de concentraties aan zware metalen werden twee eindtermen, een zeewaartse en een landwaartse, vastgelegd. Voor de zeewaartse term werd in principe de concentratie aan zwaar metaal in het sediment van de "Goote Bank" genomen. Alleen koper maakt hierop een uitzondering. Hiervoor werd de concentratie gemeten in de Wielingen genomen omdat meer zeewaarts de gemeten concentraties meer dan 5 keer hoger waren dan verwacht. Als landwaartse eindterm werd voor alle onderzochte metalen de concentratie die gemeten werd in sedimenten uit de omgeving van Heusden (155 km) genomen.

Verhouding marien/fluviatiel slib in het estuarium van de Schelde

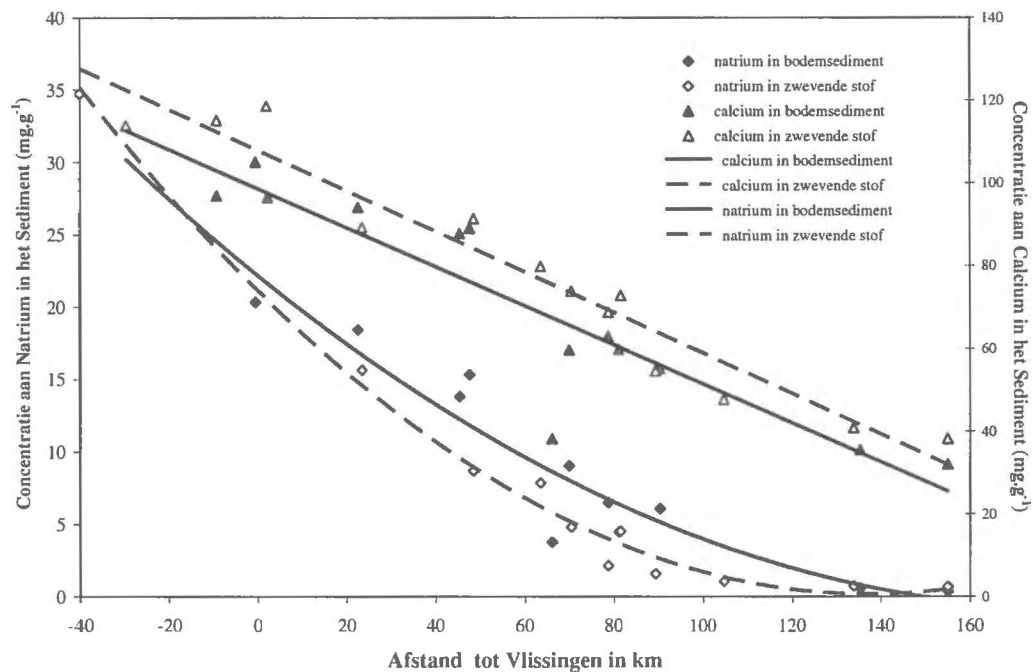
<i>Staal</i>	<i>Al mg/g</i>	<i>Clay %</i>	<i>Al/clay</i>	<i>Cd μg/g</i>	<i>Cd/Al</i>	<i>Pb μg/g</i>	<i>Pb/Al</i>	<i>Cu μg/g</i>	<i>Cu/Al</i>	<i>Zn μg/g</i>	<i>Zn/Al</i>
04A01S	14.40	57	0.25	0.43	0.03	39.6	2.75	72.6	5.04	336	23.33
04A03S	33.03	63	0.52	0.54	0.02	52.8	1.60	136.5	4.13	290	8.78
04A02S	32.12	55	0.58	0.57	0.02	46.7	1.45	30.5	0.95	141	4.39
04B01S	32.43	57	0.57	0.61	0.02	67.6	2.08	466.6		526	16.22
04B03S	31.41	60	0.52	0.94	0.03	48.1	1.53	23.5	0.75	220	7.00
04B05S	40.23	63	0.64	1.85	0.05	72.7	1.81	35.5	0.88	290	7.21
04B06S	46.98	59	0.80	3.08	0.07	95.6	2.03	49.9	1.06	371	7.90
04B07S	36.64	36	1.02	4.05	0.11	92.2	2.52	50.9	1.39	416	11.35
04B08S	36.42	38	0.96	4.72	0.13	102.5	2.81	63.4	1.74	476	13.07
04B09S	19.25	45	0.43	2.64	0.14	57.8	3.00	31.1	1.61	267	13.87
04B10S	41.16	59	0.70	7.12	0.17	132.4	3.22	97.3	2.36	749	18.20
04B11S	29.80	55	0.54	4.99	0.17	97.6	3.27	69.3	2.32	520	17.45
04B12S	41.52	48	0.87	7.33	0.18	157.7	3.80	100.8	2.43	828	19.94
04B13S	41.78	61	0.68	9.63	0.23	158.8	3.80	124.8	2.99	1005	24.05
04B14S	37.07	45	0.82	7.77	0.21	137.2	3.70	115.9	3.13	889	23.98
04B15S	22.67	49	0.46	4.05	0.18	94.7	4.18	75.6	3.33	666	29.38
04B16S	25.61	59	0.43	5.28	0.21	93.2	3.64	69.4	2.71	602	23.51
04B17S	39.12	36	1.09	0.58	0.01	55.8	1.43	163.7	4.19	366	9.36
04B18S	28.97	56	0.52	5.73	0.20	107.4	3.71	78.0	2.69	616	21.26

Tabel 10: zware metalen in de zwevende stof

<i>Staal</i>	<i>Al mg/g</i>	<i>Clay %</i>	<i>Al/clay</i>	<i>Cd μg/g</i>	<i>Cd/Al</i>	<i>Pb μg/g</i>	<i>Pb/Al</i>	<i>Cu μg/g</i>	<i>Cu/Al</i>	<i>Zn μg/g</i>	<i>Zn/Al</i>
04A03	5.42	11	0.49	0.06	0.011	30.15	5.56	10.84	2.00	110.01	20.29
04A02	21.09	32	0.66	0.54	0.026	5.61	0.27	1.43	0.07	37.58	1.78
04B02	28.51	43	0.66	0.57	0.020	37.73	1.32	15.94	0.56	128.85	4.52
04B01	19.61	42	0.47	0.60	0.031	61.88	3.16	904.08	46.10	819.56	41.79
04B03	33.98	44	0.77	0.95	0.028	43.95	1.29	20.75	0.61	162.29	4.78
04B04	40.52	57	0.71	1.70	0.042	62.90	1.55	32.39	0.80	253.99	6.27
04B05	47.06	61	0.77	1.90	0.040	72.61	1.54	36.37	0.77	268.69	5.71
04B06	18.18	24	0.76	1.68	0.093	41.45	2.28	25.07	1.38	192.00	10.56
04B07	33.57	53	0.63	4.81	0.143	94.75	2.82	59.69	1.78	442.92	13.19
04B08	40.96	52	0.79	6.85	0.167	119.19	2.91	77.61	1.89	600.47	14.66
04B09	44.54	50	0.89	7.11	0.160	130.10	2.92	85.83	1.93	607.99	13.65
04B10	34.12	53	0.64	5.88	0.172	105.73	3.10	70.73	2.07	520.94	15.27
04B11	33.67	42	0.80	0.43	0.013	41.75	1.24	15.94	0.47	136.35	4.05
04B12	34.11	46	0.74	7.21	0.211	119.75	3.51	82.88	2.43	855.90	25.10
04B13	21.65	25	0.87	3.72	0.172	94.58	4.37	69.83	3.23	587.96	27.15
04B14	26.83	42	0.64	7.14	0.266	117.63	4.38	88.09	3.28	753.24	28.07
04B15	18.82	31	0.61	0.83	0.044	14.28	0.76	16.66	0.89	137.52	7.31
04B16	13.52	19	0.71	2.92	0.216	53.83	3.98	34.40	2.54	420.65	31.11

Tabel 11: zware metalen in het bodemsediment

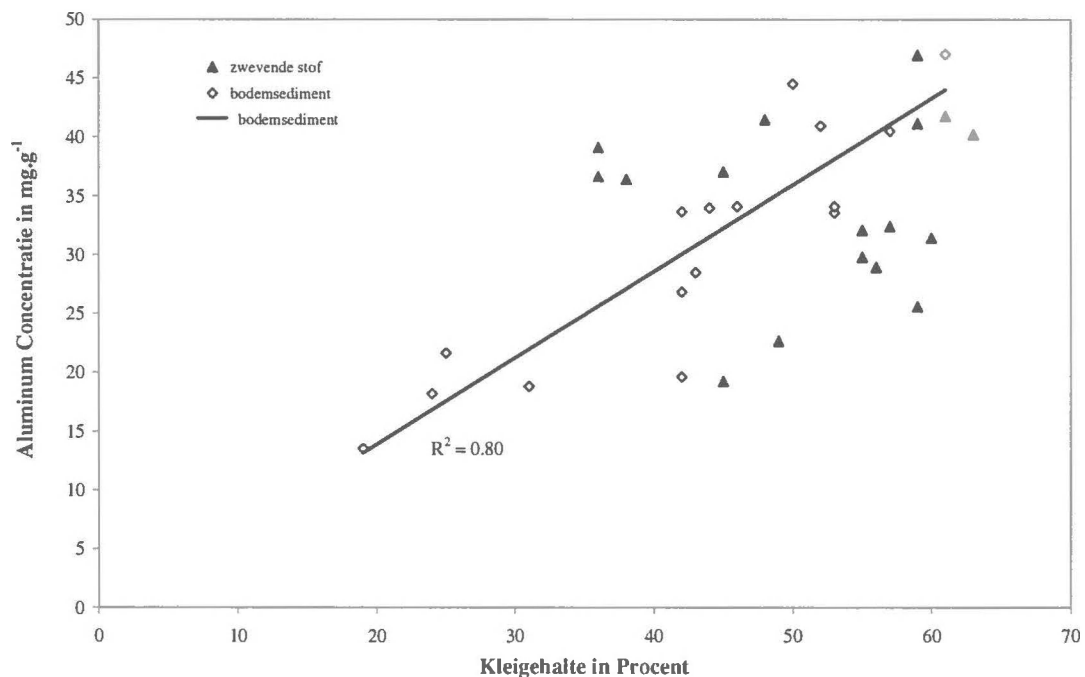
De keuze van de eindtermen wordt gerechtvaardigd door de concentraties van natrium en calcium die hun hoogste, respectievelijk laagste waarde bereiken nabij de Goote Bank en nabij Heusden (figuur 22).



Figuur 22: natrium en calcium concentraties in Schelde sedimenten.

Omdat het kleigehalte van de verschillende sedimentstalen grote verschillen vertoont is een normering noodzakelijk. Voor de stabiele isotopen werd het slib-gehalte, zijnde de som van de silt en klei fracties, als normerende factor genomen omdat het organisch materiaal een vrijwel lineair verband met het slib-gehalte vertoont. Voor de zware metalen in de Schelde ligt dit echter anders. Voor de zware metalen is de kationuitwisselbaarheid met het sediment van groot belang. Normaal staat de kationuitwisselbaarheid in rechtstreeks verband tot het kleigehalte omdat kleimineralen (smectiet, illiet) de belangrijkste ionenwisselaars zijn. Algemeen wordt aangenomen dat de concentratie aan aluminium een maat is voor het kleigehalte (Verlaan, 2000). Voor de bodemsedimenten van de Schelde is er inderdaad een goede correlatie tussen de concentratie aan aluminium en het kleigehalte (figuur 23, $r^2=0.8$). Dit is echter niet het geval voor de zwevende stof ($r^2=0.006$). Het ontbreken van enige correlatie tussen het

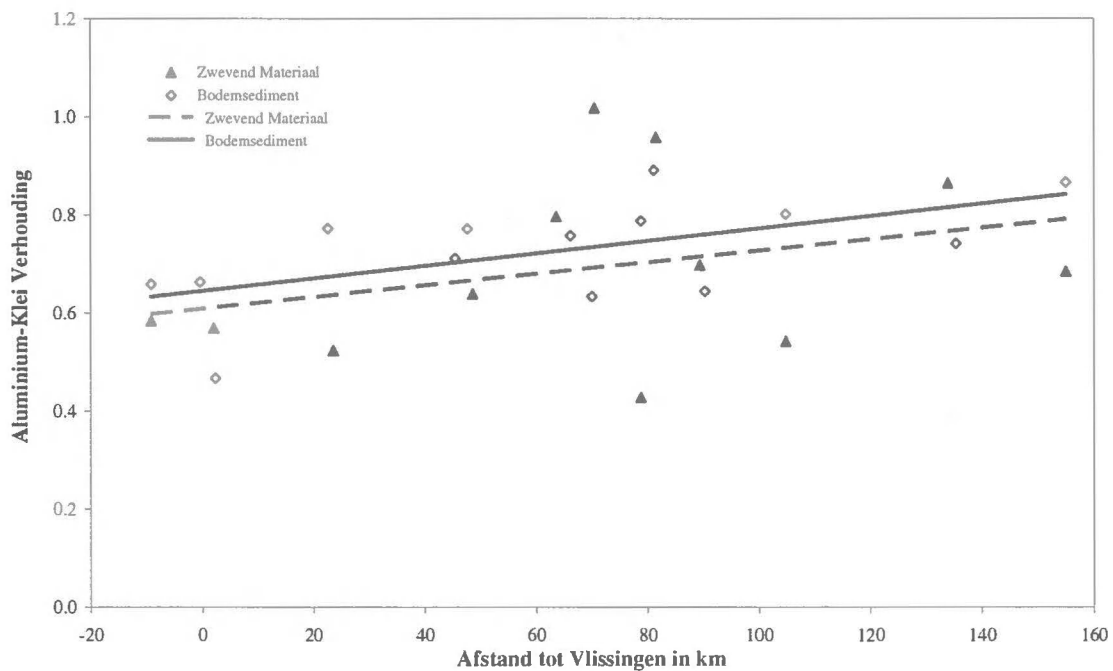
kleigehalte en de aluminium concentratie in de zwevende stof is een rechtstreeks gevolg van het ontbreken van zwevende stof met een kleigehalte kleiner dan 35%.



Figuur 23: verband tussen het aluminium gehalte (in mg.g⁻¹) en het kleigehalte voor het bodemsediment en voor de zwevende stof.

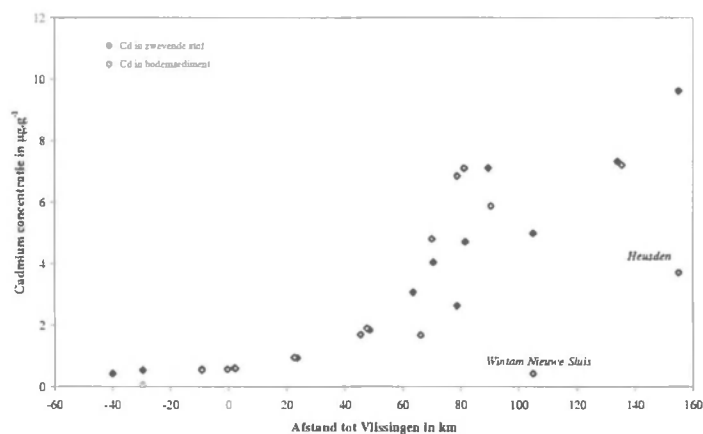
Bovendien neemt de verhouding tussen de hoeveelheid aluminium (mg.g⁻¹) en het percentage aan klei in het bodemsediment af in zeewaartse richting (figuur 24). Deze daling kan het gevolg zijn van een belangrijke concentratie aan glauconiet in de zandfractie (Wartel and van Eck, 2000). Glauconiet is een aluminium-rijk kleimineraal dat hoofdzakelijk in de zandfractie aangetroffen wordt maar wel, net als illiet, smectiet of andere kleimineralen een grote uitwisselingscapaciteit heeft voor kationen. Om die reden is het aangewezen om voor de normering van de gemeten concentraties aan zware metalen uit te gaan van de aluminium concentratie in plaats van het slib- of kleigehalte.

Verhouding marien/fluviatiel slib in het estuarium van de Schelde



Figuur 24: verhouding tussen de gemeten concentratie aan aluminium (mg.g^{-1}) en het percentage klei in de sedimenten in functie van de afstand tot Vlissingen.

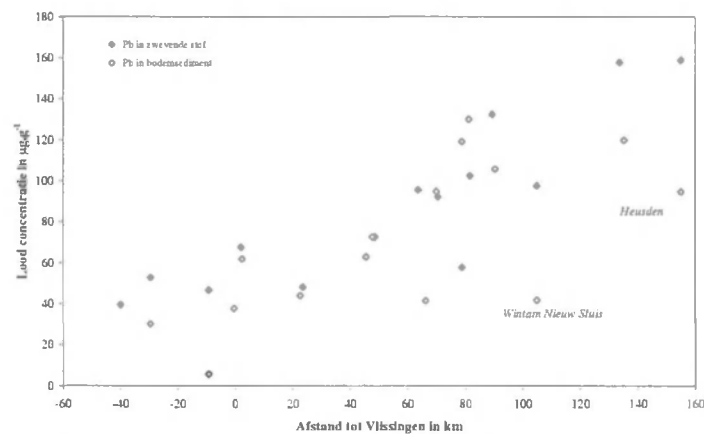
De concentratie aan cadmium, lood, koper en zink, zowel in het bodemsediment als in de zwevende stof is weergegeven in figuren 25 tot 28.



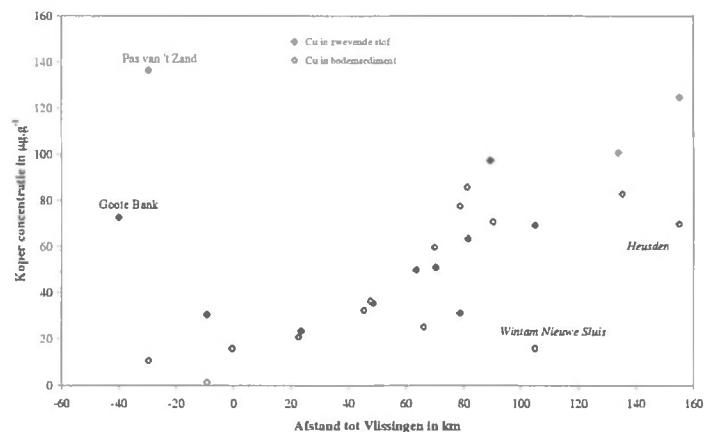
Figuur 25: concentratie van cadmium ($\mu\text{g.g}^{-1}$) in het bodemsediment en in de zwevende stof.

Op twee uitzonderingen na (bodemstalen genomen te Heusden en in de nieuwe zeesluis te Wintam) dalen de concentraties vrij snel vanaf Heusden tot voorbij de Belgisch-Nederlandse grens op ongeveer 50 km van Vlissingen. In de Westerschelde is slechts een lichte daling in de concentraties waar te nemen. Er werden geen systematische verschillen waargenomen tussen de zwevende stof en de bodemsedimenten.

Her en der komen om uiteenlopende redenen abnormaal hoge of -lage waarden voor. Voor alle besproken metalen geldt dat de concentratie in het bodemsediment nabij Heusden en in de toegangsgeul tot de nieuwe zeesluis van Wintam abnormaal laag is. De concentratie aan koper is abnormaal hoog in de zwevende stof in het Pas van 't Zand en nabij de Goote Bank. De concentratie aan zink is abnormaal hoog in de zwevende stof nabij Vlissingen en in het bodemsediment van Vlissingen-Sloehaven. Ze is hoger dan verwacht in de zwevende stof nabij de Pas van 't Zand en nabij de Goote Bank. Deze “outliers” werden buiten beschouwing gelaten bij de berekening van de fluviatiele fracties.

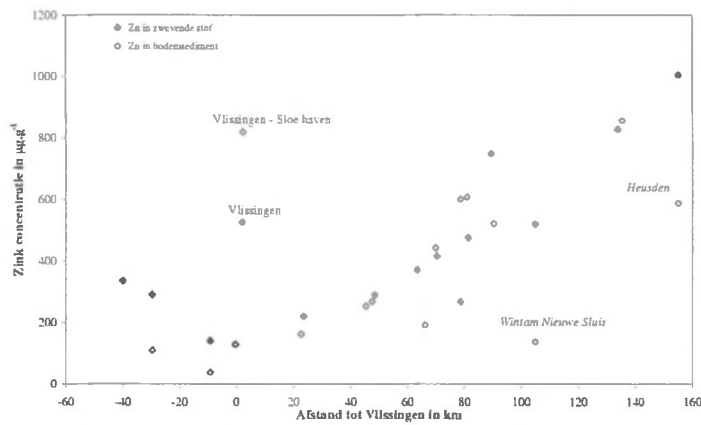


Figuur 26: concentratie aan lood ($\mu\text{g.g}^{-1}$) in functie van de afstand tot Vlissingen.



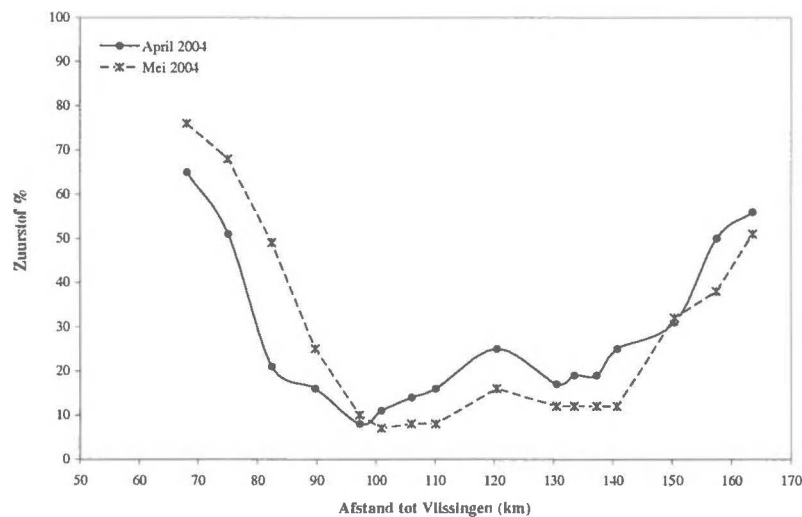
Figuur 27 : concentratie aan koper ($\mu\text{g.g}^{-1}$) in functie van de afstand tot Vlissingen.

De vrij sterke daling aan zware metaal concentraties tussen de Rupel monding (op 100 km van Vlissingen) en de Belgisch-Nederlandse grens werd eerder toegeschreven aan de sterke anoxische voorwaarden die heersen in het boven-estuarium (Baeyens et al., 1998a).



Figuur 28: concentratie aan zink ($\mu\text{g.g}^{-1}$) in functie van de afstand tot Vlissingen.

De metalen slaan daar als vrijwel onoplosbare sulfiden neer en worden geadsorbeerd aan sedimentpartikels. Tijdens hun zeewaarts transport komen deze sulfiden in zouter en meer zuurstofrijk water waarbij desorptie, oxidatie en gedeeltelijke oplossing van de metalen optreedt. Volgens Verlaan (Verlaan, 2000) is dit desorptieproces maximaal rond 35 km opwaarts van Vlissingen



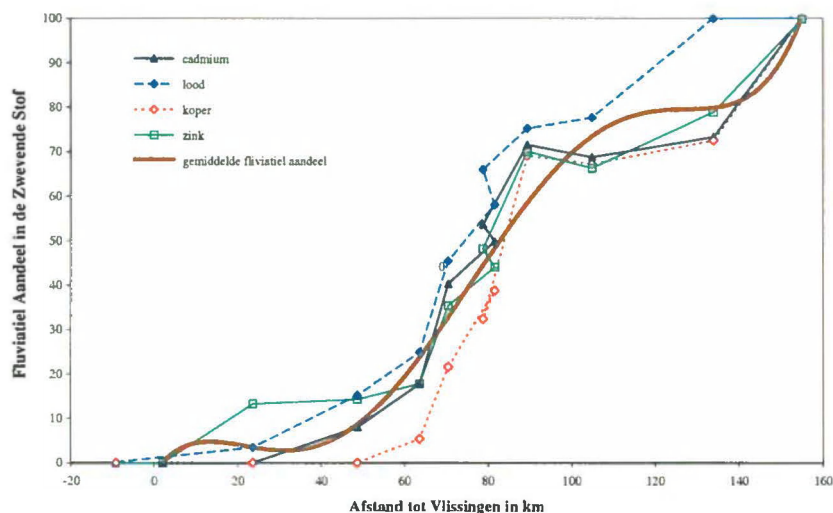
Figuur 29: zuurstofconcentratie van het oppervlaktewater van het Schelde estuarium tussen Gent en de Belgisch-Nederlandse grens (gegevens: ECOBE, departement Biologie, Universiteit Antwerpen).

De zuurstofconcentratie in het oppervlakte water van het estuarium tussen Gent en Antwerpen in de periode van staalname (april-mei 2004) is weergegeven in figuur 29. Het zuurstofgehalte is bijzonder laag tussen 100 km (rupelmonding) en 150 km

stroomopwaarts van Vlissingen en neemt zeewaarts sterk toe om nabij de Belgisch-Neerlandse grens 70 à 80% te bedragen. Dit stemt overeen met de waargenomen daling in de concentratie aan zware metalen en bevestigt dus de stelling van Baeyens et al. (1998a).

Zoals te verwachten van het verloop van de concentraties aan cadmium, lood, koper en zink langsheen het estuarium daalt de fluviale fractie vrij steil vanaf de monding van de Rupel (fluviale fractie is 70%) naar de Belgisch-Nederlandse grens toe (<20%) en dit zowel voor het bodemsediment als voor de zwevende stof. Een gelijkaardige evolutie werd reeds eerder (in 1997) vastgesteld (Verlaan, 2000).

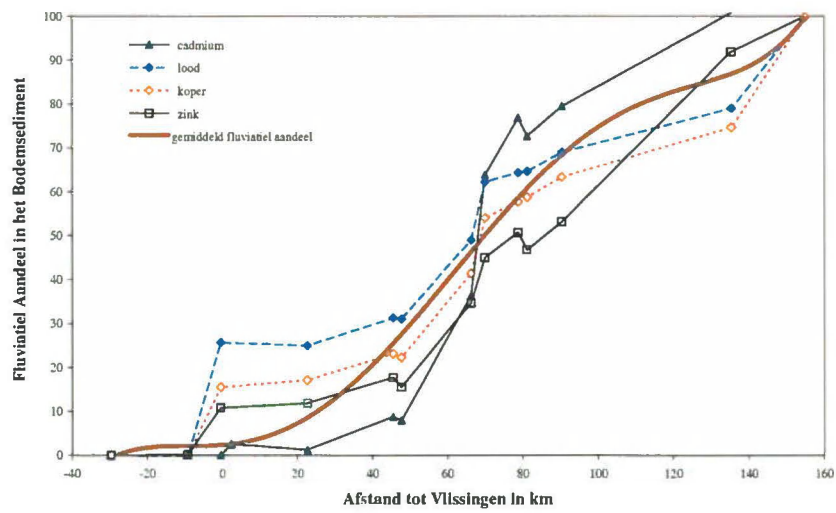
De desorptie of dissolutie van zware metalen als gevolg van een toename aan opgeloste zuurstof is een proces dat onafhankelijk is van de vermenging van fluviaal en marien materiaal. De metalen kunnen vrijkomen zowel door desorptie (verhoging zoutgehalte) als het oplossen van sulfides (verhoging opgelost zuurstof).



Figuur 30: fluviaal aandeel in de zwevende stof in functie van de afstand tot Vlissingen. Het gemiddeld fluviaal aandeel is weergegeven door een volle dikke lijn.

Onder deze omstandigheid wordt dus de zware-metaal concentratie niet alleen bepaald door de estuariene hydrodynamiek maar spelen ook andere, chemische, factoren een rol en kan de vraag naar de representativiteit van de berekening van de fluviale component aan de hand van zware metalen in vraag gesteld worden.

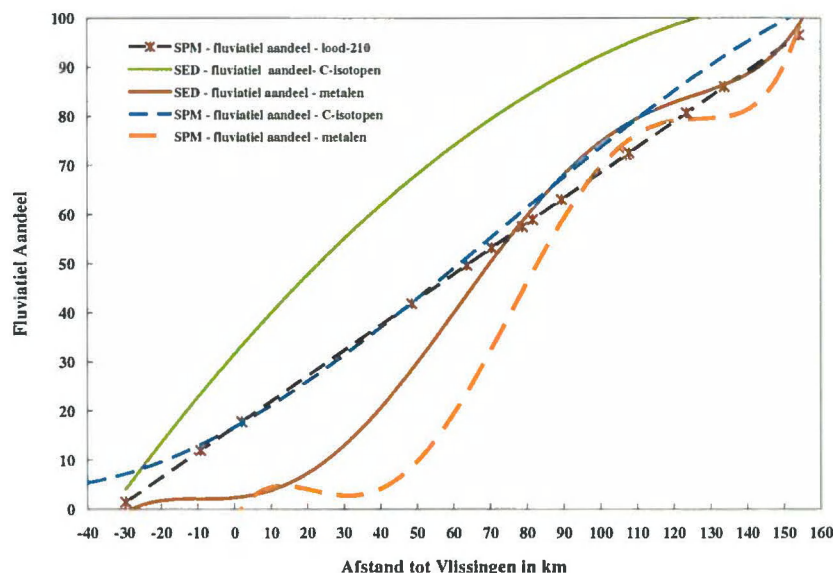
Verhouding marien/fluviatiel slib in het estuarium van de Schelde



Figuur 31: fluviatiel aandeel in het bodemsediment in functie van de afstand tot Vlissingen. Het gemiddeld fluviatiel aandeel is weergegeven door een volle dikke lijn.

5. Het fluvio-mariene evenwicht berekend volgens diverse methodes

Voor deze studie werd het fluvio-mariene evenwicht bepaald op basis van stabiele isotopen van koolstof en stikstof ter vergelijking met voorgaande studies in 1995 en 1998. Daarbij werd nu eveneens aandacht besteed aan de verdeling van enkele zware metalen en de bepaling van het fluvio-mariene evenwicht op basis daarvan. Tenslotte werd ook het fluvio-mariene evenwicht bepaald op basis van de berekende activiteit van het excess lood-210.



Figuur 32: procent fluviaal materiaal in het bodemsediment (SED) en in de zwevende stof (SPM) langs het estuarium van de Schelde.

Zoals blijkt uit figuur 32 geven de verschillende methodes uiteenlopende resultaten.

1. Het bodemsediment geeft voor iedere lokatie een hoger gehalte aan fluviaal materiaal dan de zwevende stof dat bemonsterd werd in dezelfde omgeving. Dit geldt voor zowel de berekening op basis van koolstof-isotopen als op basis van zware metalen en van het excess ^{210}Pb .
2. Het fluviaal aandeel berekend op basis van zware metalen (Cd, Pb, Cu en Zn) is in het boven estuarium (opwaarts van de Rupel monding) vrijwel gelijklopend met de fluviaale fractie berekend op basis van de koolstof-isotopen. Stroomafwaarts van de Rupel monding neemt de fluviaale fractie berekend op basis van de zware metalen sterker af dan de fluviaale fractie berekend met koolstof-isotopen. Deze steilere afname kan verklaard worden door de desorptie van zware metalen in een zouter en zuurstofrijker midden.
3. Het fluviaal aandeel in de zwevende stof, berekend op basis van het excess ^{210}Pb , geeft in de Westerschelde een resultaat dat nauw aansluit bij de berekening op basis van de koolstof-isotopen maar geeft in de Boven-Schelde een kleinere hoeveelheid fluviaal materiaal.

6. Evolutie van het fluvio-mariene evenwicht sinds 1993

Het fluvio-mariene, berekend volgens de methode van de stabiele isotopen welke tot dusver de meest betrouwbare is gebleken, is weergegeven in tabellen 12 en 13.

Zwevende Stof				
km	lokatie	1993	1998	2004
2	<i>Monding Vlissingen</i>	28	24	21
30		46	37	35
44		54	44	43
49		57	47	45
64		67	54	53
68	<i>B-NL grens</i>	69	56	55
69		70	56	56
70		71	57	57
79		76	61	61
81	<i>Plaat vd Parel</i>	78	63	62
89	<i>Antwerpen</i>	83	67	66
105	<i>Rupel monding</i>	93	74	75
156	<i>Heusden</i>	100	99	100

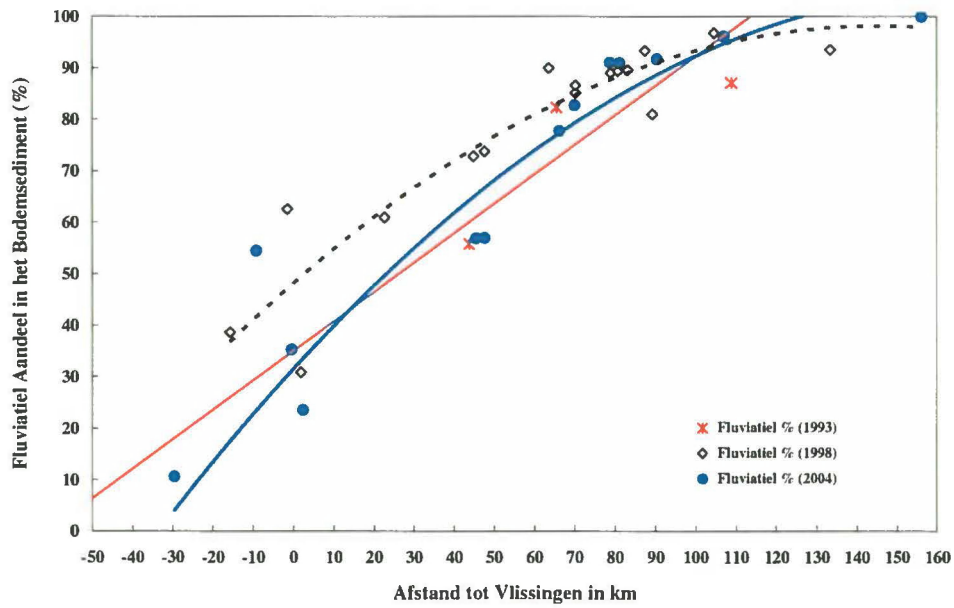
Tabel 12: vergelijkende tabel van het fluviaal aandeel in de zwevende stof

Bodemsediment				
km	lokatie	1993	1998	2004
0	<i>Vlissingen</i>	34	47	30
2		36	49	33
23		48	63	50
44		60	74	64
48		62	76	67
64	<i>B-NL grens</i>	71	82	76
70		75	85	80
79		80	88	84
83	<i>Kallosluis</i>	83	89	86
89	<i>Antwerpen</i>	86	91	88
105	<i>Rupel monding</i>	95	94	94
156		100	97	100

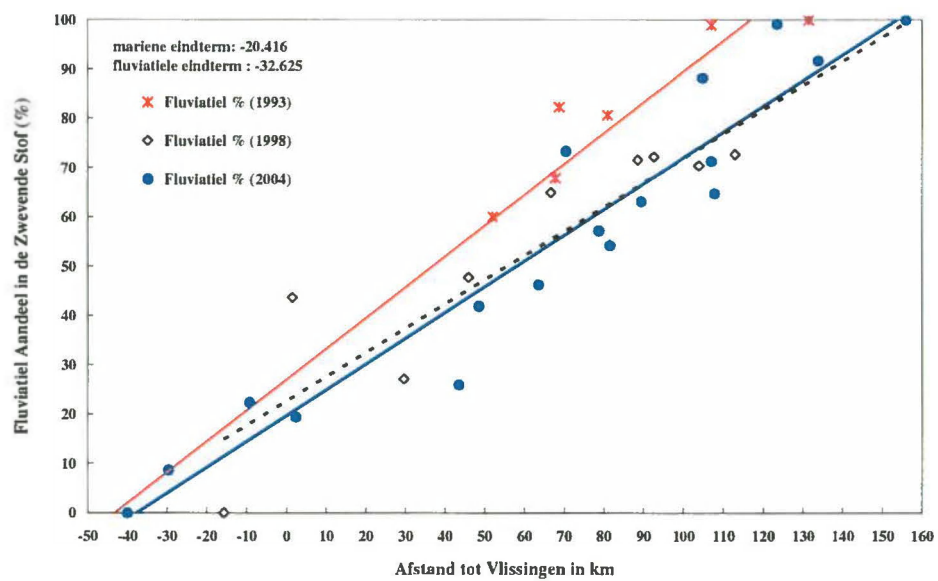
Tabel 13: vergelijkende tabel van het fluviaal aandeel in het bodemsediment.

Het besluit dat hieruit kan getrokken worden is dat de verschillen nauwelijks groter zijn dan de statistische spreiding op de meetresultaten ($R^2 \approx 0.8$ à 0.9). Afgezien daarvan kan men vaststellen dat de zowel voor het bodemsediment de toestand in 2004 meer neigt naar de toestand in 1993 dit wil zeggen dat de fluviale component eerder is toegenomen vergeleken met 1998 (figuur 33). Voor de zwevende stof daarentegen blijft de toestand van 1998 gehandhaafd (figuur 34).

Verhouding marien/fluviaal silt in het estuarium van de Schelde



Figuur 33: fluviaal aandeel in het bodemsediment in 1993, 1998 en 2004



Figuur 34: fluviaal aandeel in de zwevende stof in 1993, 1998 en 2004

7. Besluiten

De voornaamste besluiten uit onderhavige studie kunnen als volgt samengevat worden:

1. De zwevende stof vertoont de grofste samenstelling in de Beneden Zeeschelde, in de Rupel en in de Dijle. Dit komt eveneens tot uiting in het kleigehalte dat in dezelfde gebieden lager is.
2. De zwevende stof die aangevoerd worden via de Rupel is rijker aan silt ($63\ \mu\text{m}$ tot $2\ \mu\text{m}$) dan de zwevende stof aangevoerd uit de Boven Zeeschelde. Het bodemsediment is over het algemeen rijker aan silt dan de zwevende stof.
3. Radium-226 wordt voornamelijk aangevoerd vanuit het Nete-bekken. In de zwevende stof dalen de ^{226}Ra activiteiten in zeewaartse richting. In het bodemsediment echter treedt aanrijking op in een gebied gelegen tussen 20 km en 70 km opwaarts van Vlissingen.
4. Het excess ^{210}Pb ($^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$) in het zwevend materiaal daalt in zeewaartse richting. De voornaamste bron van $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ voor het Schelde-estuarium is gelegen in de Noordzee. Het $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ in het zwevend materiaal is sedert 1990 gedaald. Deze daling is toe te schrijven aan een toename van geresuspendeerd sediment. Een sluitende verklaring hiervoor kon niet gegeven worden. Baggerwerkzaamheden zouden hierin een rol kunnen spelen door het wegbaggeren van voornamelijk recent sediment en met als gevolg het blootstellen van oudere sedimenten aan erosie. Een toename van erosie van de schorranden in het boven-estuarium kan eveneens een belangrijke rol spelen. Deze schorresedimenten zijn immers arm aan $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$.
5. Voor de herkomst van het organisch materiaal kunnen drie brongebieden onderscheiden worden op basis van hun $\delta^{13}\text{C}$ -TOC/TN signatuur: een terrestrische bron, zoetwaterplankton en een mariene bron. Tijdens de staalname kwam in de Zeeschelde voornamelijk terrestrisch materiaal voor en speelde het zoetwaterplanton een ondergeschikte rol als fluviatiele bron.
6. Het verloop van het fluvio-mariene evenwicht langsheen het schelde estuarium vertoont in het algemeen hetzelfde patroon als in 1998. Voor iedere gegeven lokatie heeft het zwevend materiaal een grotere mariene fractie dan het bodemsediment.
7. Voor de zwevende stof vallen de resultaten bekomen uit het $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ onderzoek vrijwel samen met deze uit het onderzoek met stabiele isotopen. In de Boven Zeeschelde vallen ook de resultaten uit het onderzoek van de zware metalen hiermee samen.
8. De zware metalen zijn minder geschikt voor het bepalen van het fluvio-mariene evenwicht in het Schelde estuarium omdat, voornamelijk in de Westerschelde dissolutie van het metaal optreedt waardoor een ogenschijnlijk meer marien karakter gevonden wordt.

8. Referenties

- Allen, J.R.L., Rae, J.E., Longworth, G., Halser, S.E. and Ivanovich, M. 1993. A comparison of the ^{210}Pb dating technique with three other independent dating methods in an oxic estuarine salt-marsh sequence. *Estuaries*, **16**: 670-677.
- Appleby, P.G. and Oldfield, F. 1983. The assessment of ^{210}Pb data from sites with varying sediment accumulation rates. *Hydrobiologia*, **103**: 29-35.
- Baeyens, W., Elskens, M., Gillain, G. and Goeyens, L. 1998a. Biogeochemical behaviour of Cd, Cu, Pb and Zn in the Scheldt estuary during the period 1981-1983. In: *Trace metals in the Westerschelde estuary: a case study of a polluted partially anoxic estuary* (Ed.: W. Baeyens, F. J.), *Developments in Hydrobiology*, **128**, pp. 15-44. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht / Boston / London.
- Baeyens, W., Parmentier, K., Goeyens, L., Ducastel, G., De Gieter, M. and Leermakers, M. 1998b. The biogeochemical behaviour of Cd, Cu, Pb and Zn in the Scheldt estuary: results of the 1995 surveys. In: *Trace metals in the Westerschelde estuary: a case study of a polluted partially anoxic estuary* (Ed.: W. Baeyens, F. J.), *Developments in Hydrobiology*, **128**, pp. 45-62. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht / Boston / London.
- Baeyens, W., Wartel, S., Dehairs, F., Decadt, G., Bogaert, M., Gillain, G. and Dedeurwaerder, H. 1982. The river Scheldt as a transport route for heavy metals in the sea. In: *Distribution, transport and fate of Bi, Cd, Cu, Hg, Pb, Sb and Zn in the Belgian coastal marine environment* (Eds.: A. Distèche and I. Elskens), **2 - 4**, pp. 87-108. Actions de Recherche Concertées, Programme Politique Scientifique, Bruxelles, Belgique.
- Bouillon, S. and Dehairs, F. 2000. Estimating spatial and seasonal phytoplankton delta-13C variations in an estuarine mangrove ecosystem. *Isotopes in Environmental and Health Studies*, **36**: 273-284.
- Bouillon, S. and Dehairs, F. 2002. Carbon and Nitrogen Stable Isotope Ratios of Subtidal Benthic Invertebrates in an Estuarine Mangrove Ecosystem (Andhra Pradesh, India). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **54**: 901-913.
- Church, T.M., Lord III, C.J. and Somayajulu, B.L.K. 1981. Uranium, thorium and lead nuclides in a Delaware salt marsh sediment. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **13**: 267-275.
- De Brabandere, L., Dehairs, F., Van Damme, S., Brion, N., Meire, P. and Daro, N. 2002. $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ dynamics of suspended organic matter in freshwater and brackish waters of the Scheldt estuary. *Journal of Sea Research*, **48**: 1-15.
- Hellings, L., Dehairs, F., Tackx, M., Keppens, E. and Baeyens, W. 1999. Origin and fate of organic carbon in the freshwater part of the Scheldt Estuary as traced by stable carbon isotope composition. *Biogeochemistry*, **47**: 167-186.
- Jones, K.P.N., McCave, I.N. and Patel, P.D. 1988. A computer-interfaced sedigraph for modal size analysis of fine-grained sediment. *Sedimentology*, **35**: 163-172.
- Komar, P.D. and Cui, B. 1984. The analysis of grain-size measurements by sieving and settling-tube techniques. *Journal of Sedimentary Petrology*, **54**: 603-614.
- Middelburg, J.J. and Nieuwenhuize, J. 1998. Carbon and nitrogen stable isotopes in suspended matter and sediments from the Scheldt estuary. *Marine Chemistry*, **60**: 217-225.
- Miller, R.L., Kraemer, T.F. and McPerson, B.F. 1990. Radium and radon in Charlotte Harbor Estuary, Florida. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **31**: 439-457.
- Nittrouer, C.A., Sternberg, R.W., Carpenter, R. and Bennett, J.T. 1979. The use of Pb-210 geochronology as a sedimentological tool: application to the Washington continental shelf. *Marine Geology*, **31**: 297-316.
- Singer, J.K., Anderson, J.B., Ledbetter, M.T., McCave, I.N., Jones, K.P.N. and Wright, R. 1988. An assessment of analytical techniques for the size analysis of fine-grained sediments. *Journal of Sedimentary Petrology*, **58**: 534-543.
- Tagle, P.I. 1996. *The accumulation dynamics of the Rio Guayas estuary introducing a novel technique for samples- and standards preparation for the accumulation rates measurements by means of excess Pb-210*. Master Degree in Sciences, Vrije Universiteit Brussel, Brussels, 133 pp.
- Verlaan, P.A.J. 2000. Marine vs fluvial bottom mud in the Scheldt estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **50**: 627-638.
- Wartel, S., Barusseau J-P and Cornand, L. 1995. Improvement of grain-size analyses using the automated Sedigraph 5100. *Documents de Travail de l'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique*, **80**: 1-28.

- Wartel, S. and Chen, M.S.** 1998. Bepaling van de verhouding marien-fluviatiel slib in de beneden Zeeschelde in het voorjaar van 1998, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Bestuur Waterwegen en Zeewezen, Afdeling Maritieme Schelde, Brussel. Rapport, 51pp.
- Wartel, S., Francken, F., Schotte, P. and Salinas, C.** 1998. Characterizing of suspended and bottom sediments in the Schelde estuary between Zandvliet and Gent using multivariate extension of the entropy concept. In: *1^o Interdisciplinary Symposium on Estuarine Processes* (Ed.: T. Boski, Assis Lina, Moura Delminda, Duarte N.R. Duarte, Pires Cristina V.), 1, pp. 87-90, University of Al Garve, Faro, Portugal.
- Wartel, S., Keppens, E., Nielsen, P., Dehairs, F., Van Den Winkel, P. and Cornand, L.** 1993. Bepaling van de verhouding marien en fluviatiel slib in de Beneden Zeeschelde, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Administratie Waterinfrastructuur en Zeewezen, Antwerpse Zeehavendiensten, Brussel. Rapport, 48pp.
- Wartel, S. and van Eck, G.T.M.** 2000. Slibhuishouding van het Schelde estuarium, Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen en Rijksinstituut de Kust en Zee, Brussel (België) en Middelburg (Nederland). Rapport, 66pp.

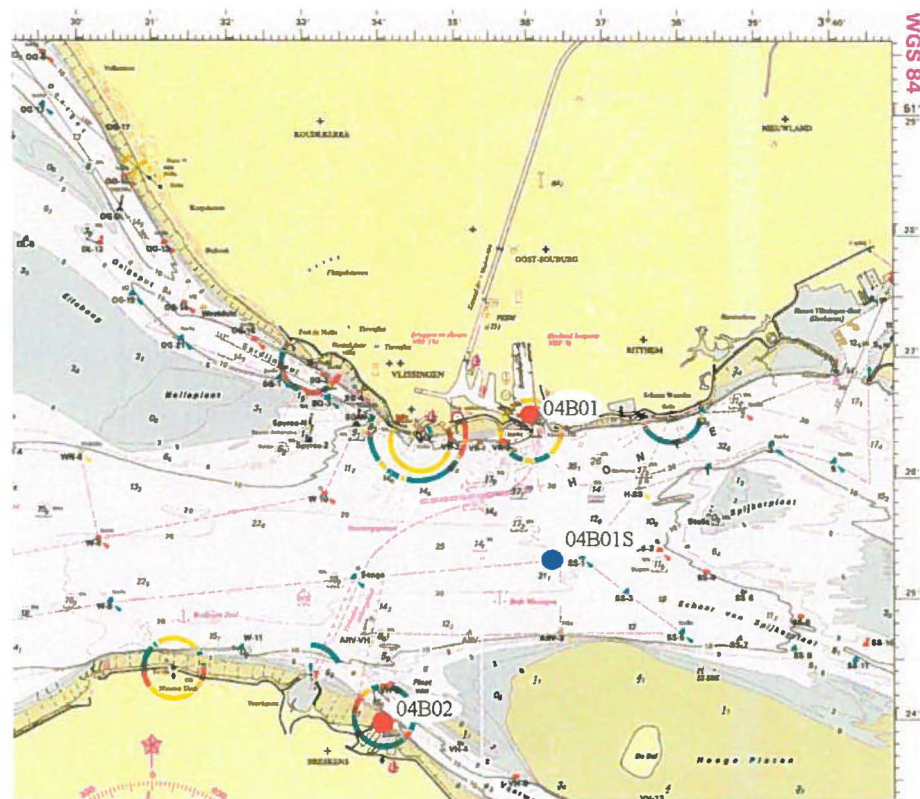
Bijlage 1: Korrelgrootteparameters**Korrelgrootte parameters voor bodemsedimenten**

<i>Sample</i>	<i>mean</i>	<i>sorting</i>	<i>skewness</i>	<i>kurtosis</i>	<i>1st Perc</i>	<i>Sand</i>	<i>Silt</i>	<i>Clay</i>	<i>silt/clay</i>
04A02	5.68	4.70	0.70	2.29	390	25	43	32	1.34
04A03	63.06	3.69	2.38	7.52	454	82	7	11	0.64
04B01	1.43	3.99	0.42	2.45	95	6	52	42	1.24
04B02	2.30	4.66	0.39	1.94	110	16	41	43	0.95
04B03	1.99	4.52	0.37	1.96	124	15	41	44	0.93
04B04	0.80	4.33	0.08	1.82	122	7	36	57	0.63
04B05	0.60	4.21	-0.09	2.14	79	4	35	61	0.57
04B06	19.36	4.85	1.16	2.95	311	60	16	24	0.67
04B07	1.00	4.35	0.22	1.75	100	5	42	53	0.79
04B08	1.03	4.26	0.27	1.83	101	5	43	52	0.83
04B09	1.02	4.03	0.35	2.11	74	3	47	50	0.94
04B10	1.00	4.24	0.24	1.89	96	3	44	53	0.83
04B11	1.80	4.18	0.50	2.15	122	9	49	42	1.17
04B12	1.46	4.34	0.36	1.94	174	7	47	46	1.02
04B13	9.39	4.39	1.13	3.01	238	39	36	25	1.44
04B14	1.93	4.35	0.47	2.02	146	12	46	42	1.10
04B15	8.33	5.01	0.69	2.20	501	39	30	31	0.97
04B16	15.38	3.99	1.55	4.20	147	52	29	19	1.53

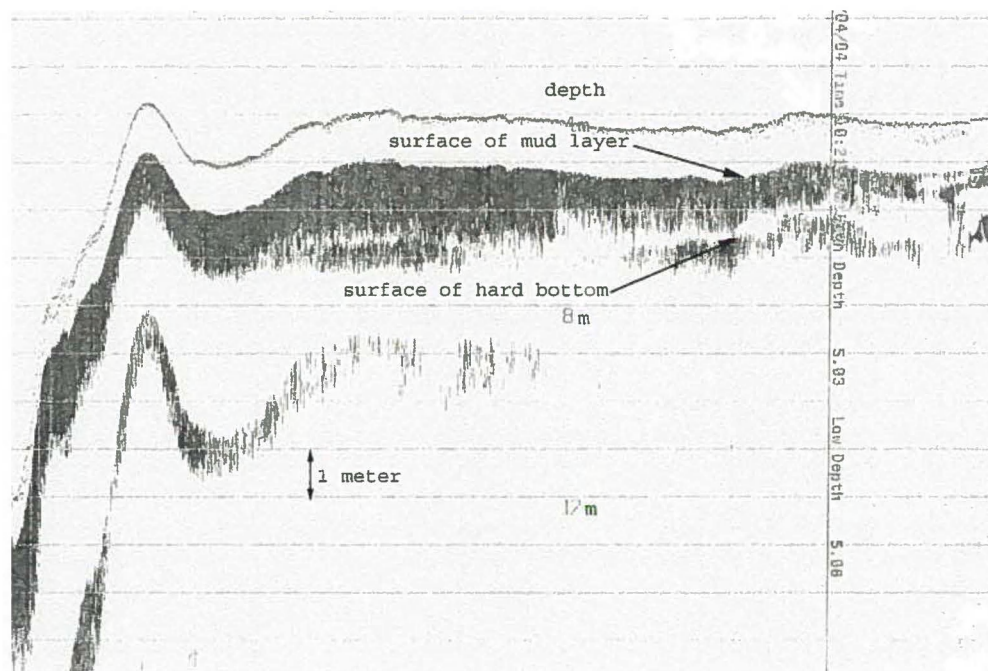
Korrelgrootte parameters voor zwevende stof

<i>Sample</i>	<i>mean</i>	<i>sorting</i>	<i>skewness</i>	<i>kurtosis</i>	<i>1st Perc</i>	<i>Sand</i>	<i>Silt</i>	<i>Clay</i>	<i>silt/clay</i>
04A01S	0.75	4.39	-0.02	1.91	103	9	34	57	0.60
04A02S	0.63	3.85	0.20	2.19	73	2	43	55	0.78
04A03S	0.47	3.72	0.08	2.32	73	2	35	63	0.56
04B01S	0.59	3.81	0.17	2.25	74	2	41	57	0.72
04B03S	0.54	4.02	0.02	1.97	96	4	36	60	0.60
04B05S	0.46	3.81	0.06	2.04	67	1	36	63	0.57
04B06S	0.56	3.85	0.03	2.49	81	3	38	59	0.64
04B07S	2.18	3.91	0.67	2.72	79	4	60	36	1.67
04B08S	1.83	3.90	0.61	2.51	151	8	54	38	1.42
04B09S	1.71	4.34	0.38	1.90	107	14	41	45	0.91
04B10S	0.62	4.17	-0.04	2.09	79	3	38	59	0.64
04B11S	0.81	4.19	0.15	1.93	99	6	39	55	0.71
04B12S	1.10	4.11	0.36	2.02	95	5	47	48	0.98
04B13S	0.55	4.00	0.09	1.86	68	2	37	61	0.61
04B14S	1.64	4.35	0.41	1.96	163	9	46	45	1.02
04B15S	1.24	4.36	0.24	1.93	191	9	42	49	0.86
04B16S	0.67	4.09	0.07	1.99	105	7	36	59	0.61
04B17S	2.61	4.16	0.61	2.49	353	8	56	36	1.56
04B18S	0.70	4.01	0.16	2.04	73	3	41	56	0.73

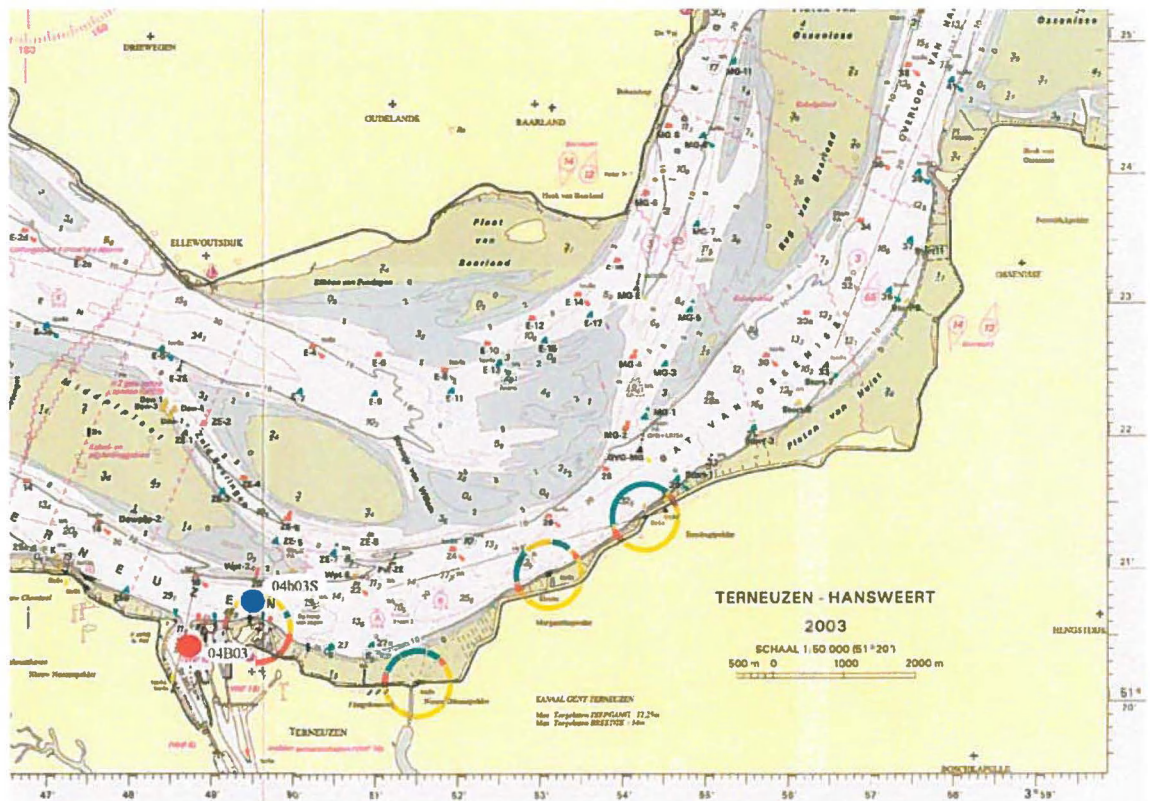
Bijlage 2: Kaarten en echolodingen van staalnameplaatsen



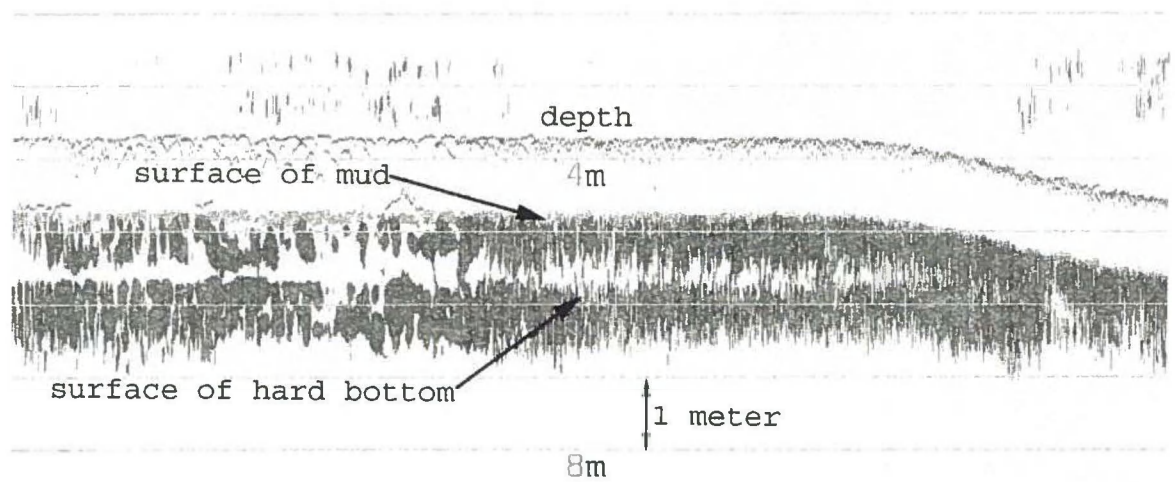
Figuur 35: lokalisatie van de bodemstalen genomen te Vlissingen (04B01), Breskens (04B02) en het suspensiestaal in de Scheldtmond (04B01S).



Figuur 36: echoloding in de haven van Breskens. Op de plaats van staalname is de sliblaag meer dan 1 m dik.

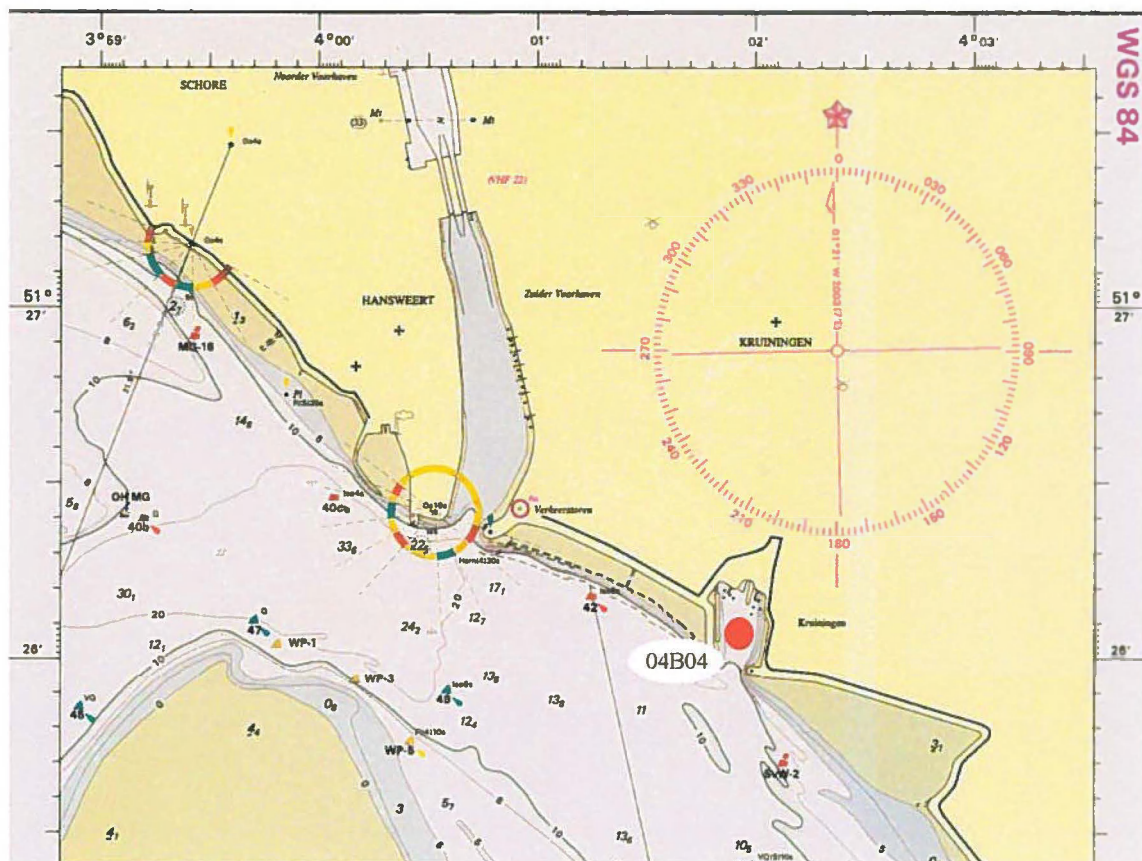


Figuur 37: lokalisatie van het bodemstaal genomen in de toegangsgeul tot de zeesluis van Terneuzen (04B03) en het suspensietaal in de Pas van Terneuzen (04B03S).

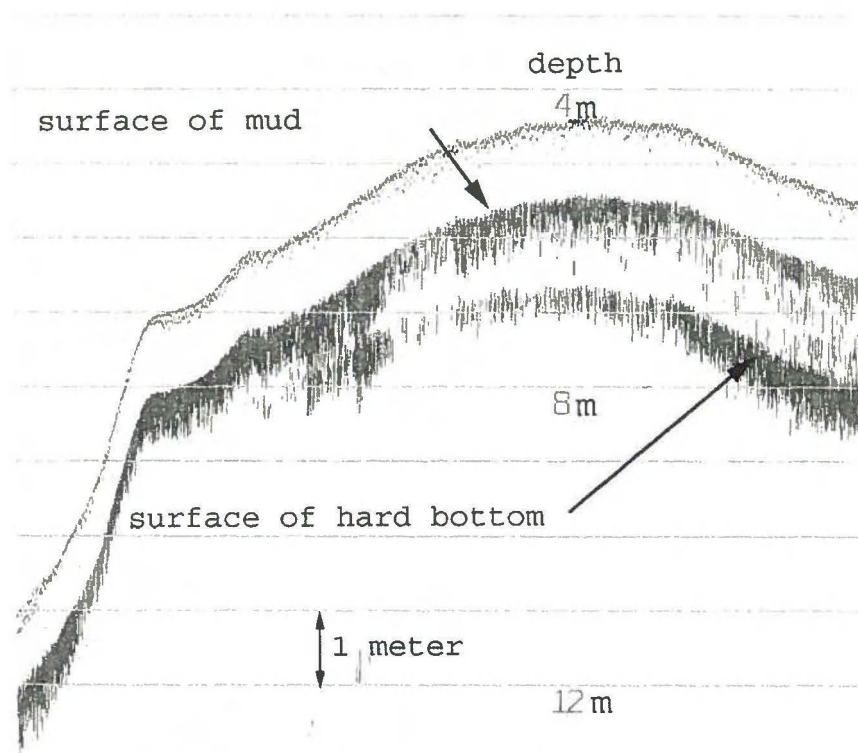


Figuur 38: echoloding in de toegangsgeul tot de sluis van Terneuzen. Op de plaats van staalname is de sliblaag ongeveer 1 m dik.

Verhouding marien/fluviatiel slib in het estuarium van de Schelde

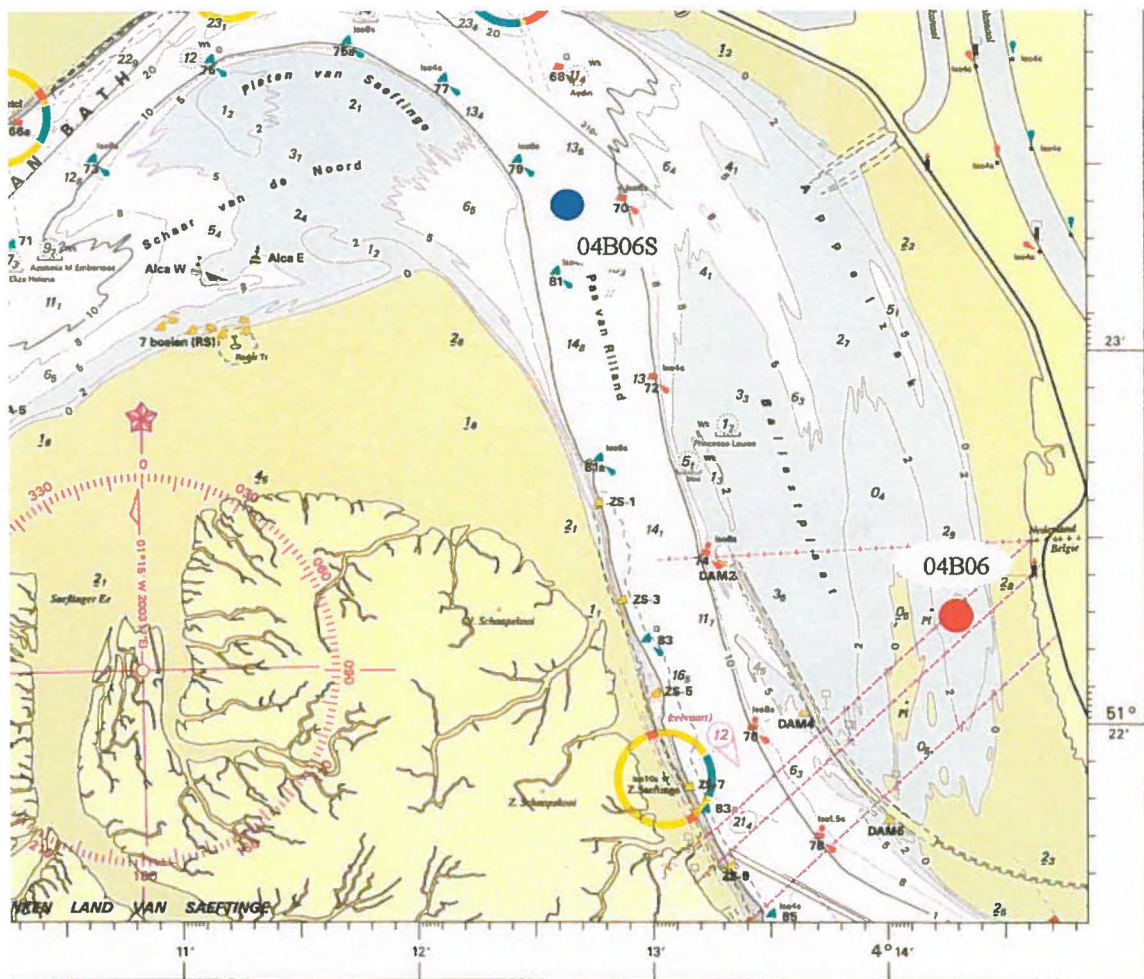


Figuur 39: lokalisatie van het bodemstaal genomen in de veerhaven van Kruiningen (04B04).



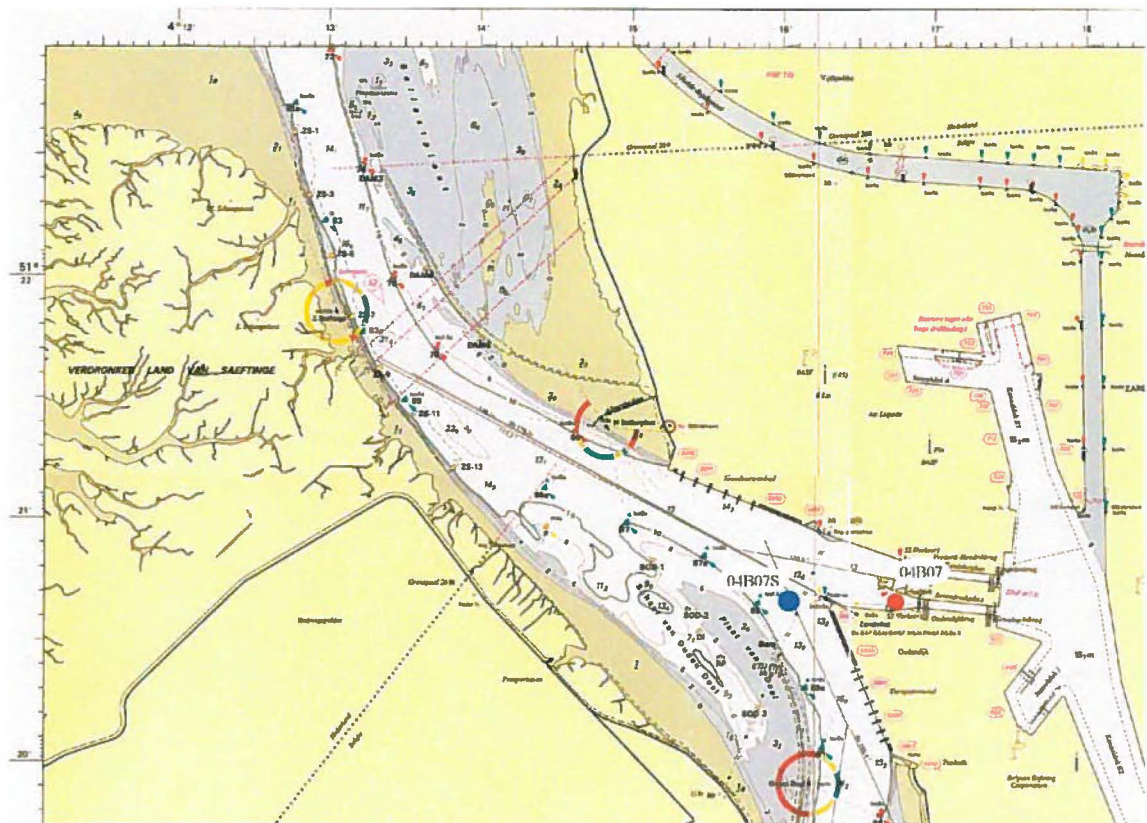
Figuur 40: echolodging in veerhaven van Kruiningen. Op de plaats van staalname is de sliblaag ongeveer 1 m dik.

53

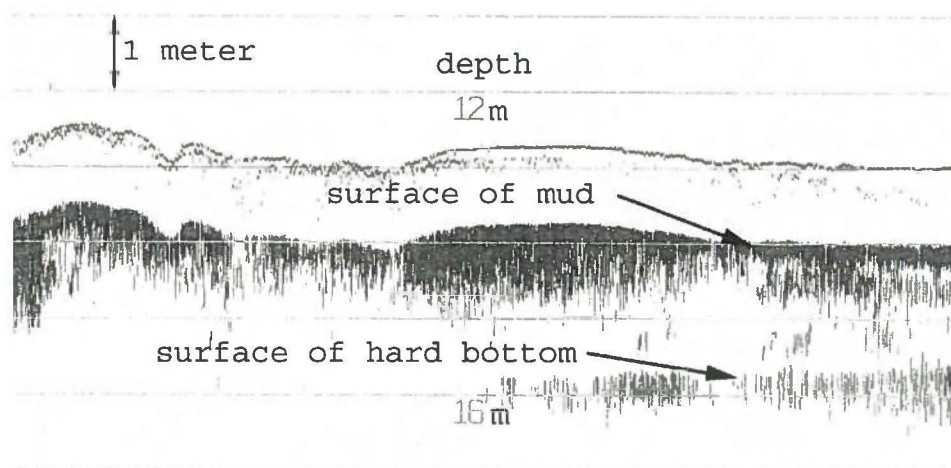


Figuur 43: lokalisatie van het suspensietaal genomen in de Pas van Rilland (04B06S) en het bodemstaal genomen in de Appelzak (04B06).

Verhouding marien/fluviatiel slib in het estuarium van de Schelde

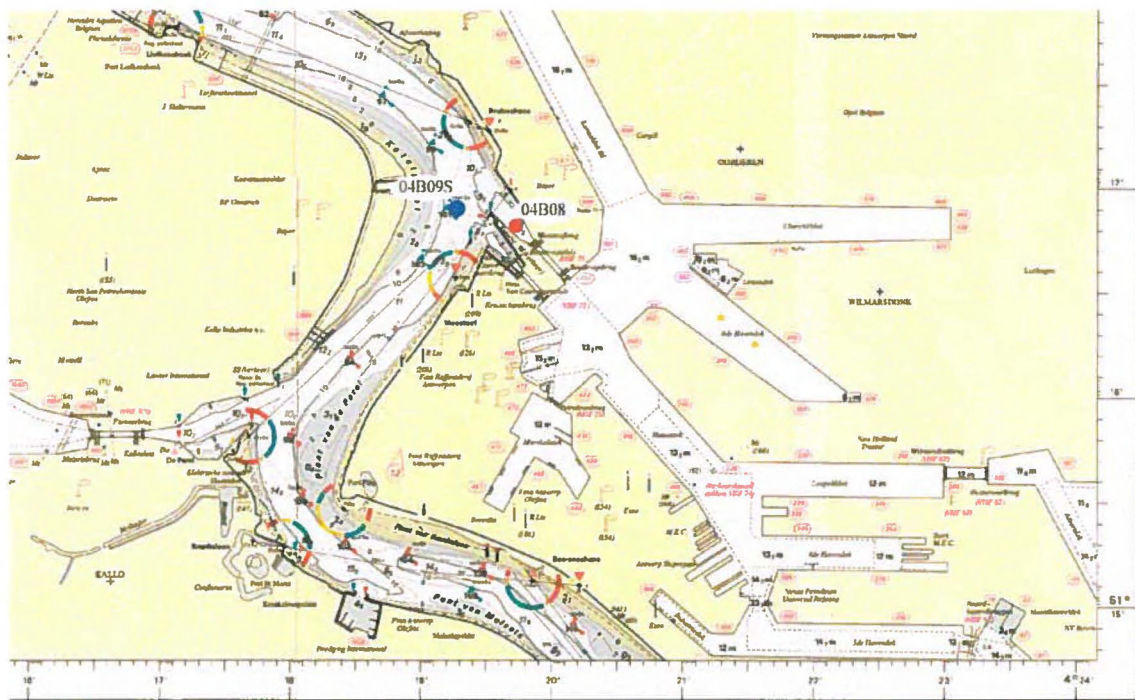


Figuur 44: lokalisatie van het suspensiestaal genomen in de Scheldegeul (04B07S) en het bodemstaal genomen in de toegangseul tot de zeesluis van Zandvliet (04B07).

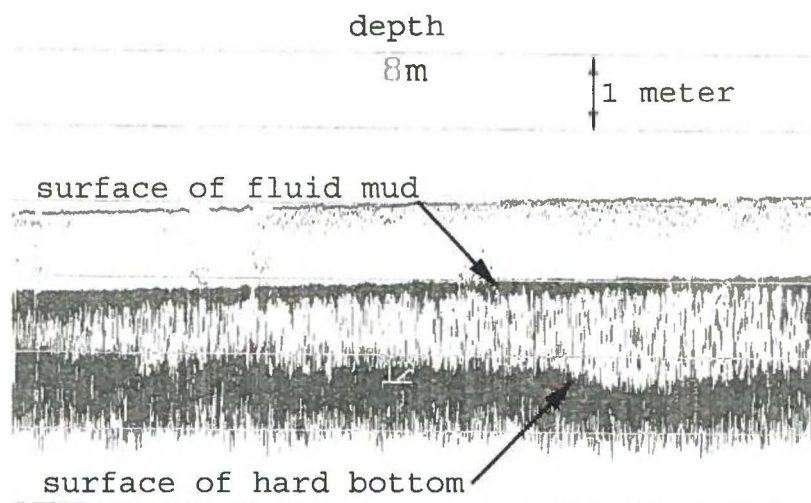


Figuur 45: echoloding in toegangseul tot de zeesluis van Zandvliet. Op de plaats van staalname is de sliblaag ongeveer 2 m dik.

Verhouding marien/fluviatiel slib in het estuarium van de Schelde

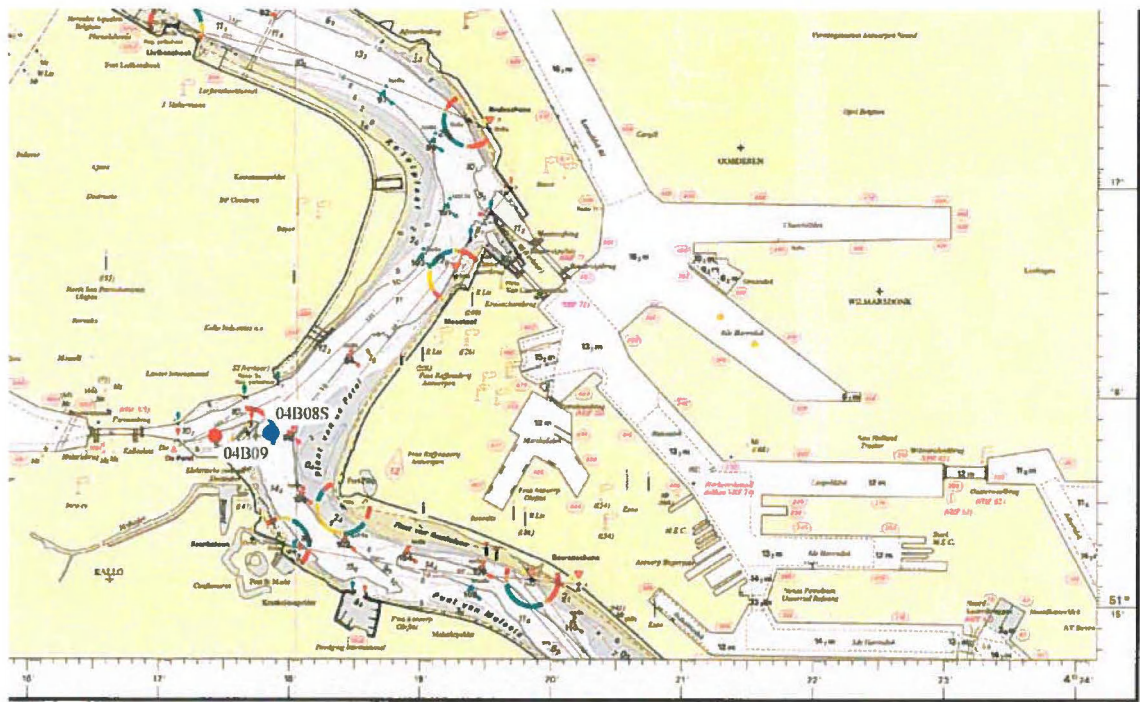


Figuur 46: lokalisatie van het suspensiestaal genomen op de drempel van Kruisschans (04B09S) en het bodemstaal genomen in de toegangsgeul tot de Boudewijnsluuis (04B08).

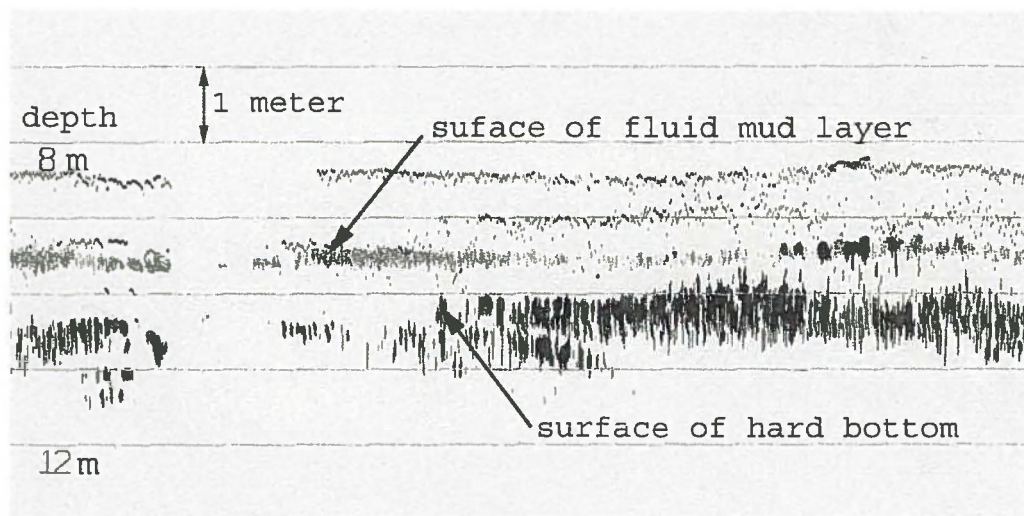


Figuur 47: echoloding in toegangsgeul tot de Boudewijnsluuis. Op de plaats van staalname is de sliblaag ongeveer 2 m dik.

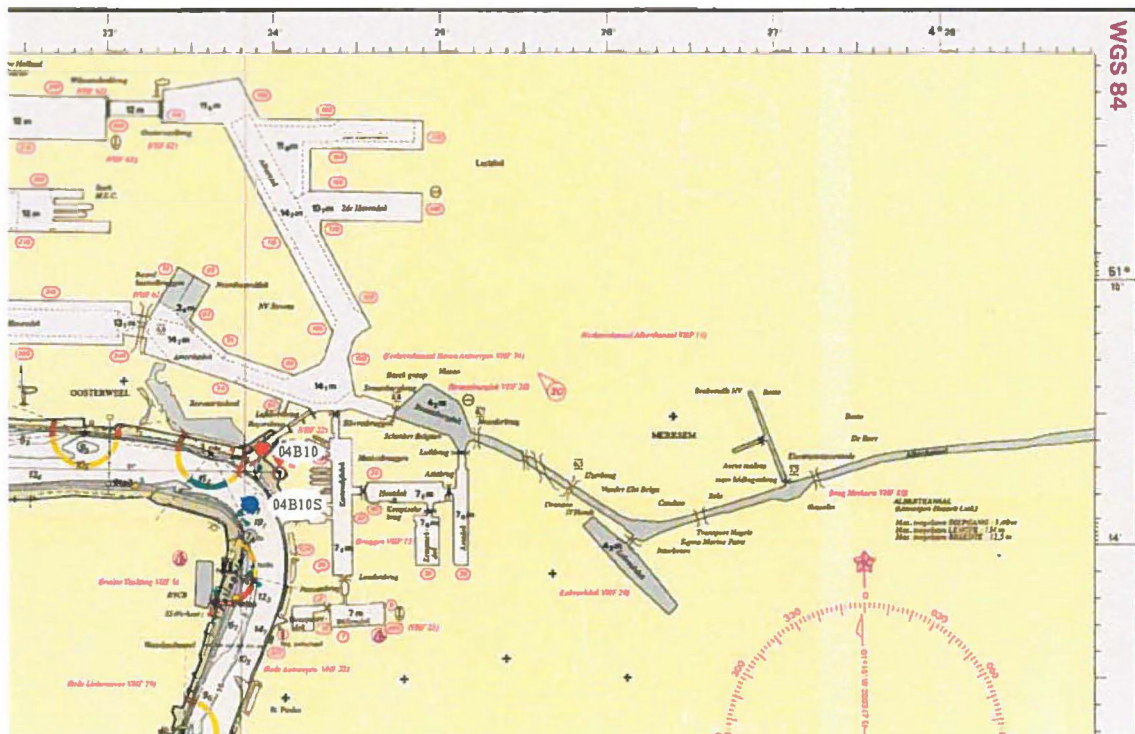
Verhouding marien/fluviatiel slib in het estuarium van de Schelde



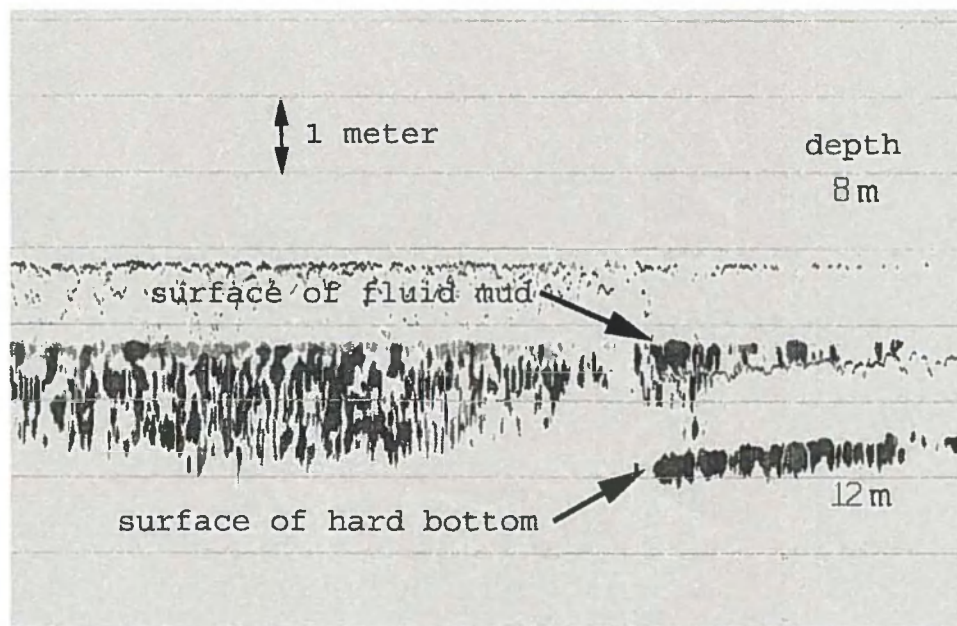
Figuur 48: lokalisatie van het suspensiestaal genomen nabij de plaat van De parel (04B08S) en het bodemstaal genomen in de toegangsgeul tot de Kallosluis (04B09)



Figuur 49: echoloding in toegangsgeul tot de zeesluis van Kallo. Op de plaats van staalname is de sliblaag ongeveer 1 m dik.

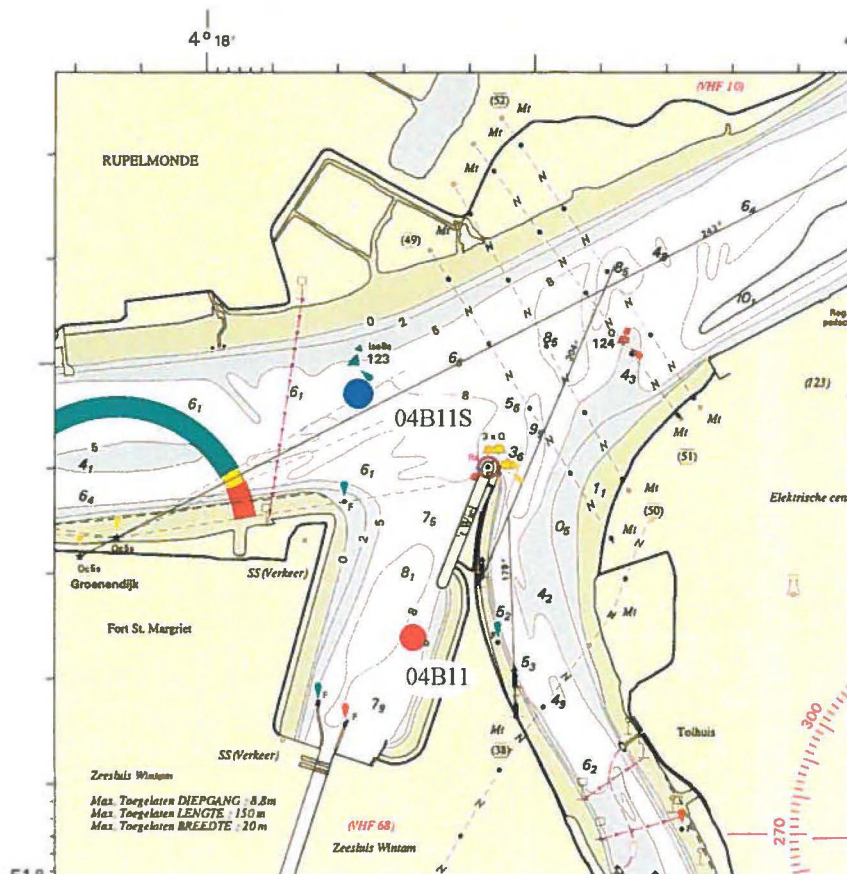


Figuur 50: lokalisatie van het suspensietaal genomen opwaarts van de Palingplaat (04B10S) en het bodemstaal genomen in de toegangseul tot de Royerssluis (04B10)

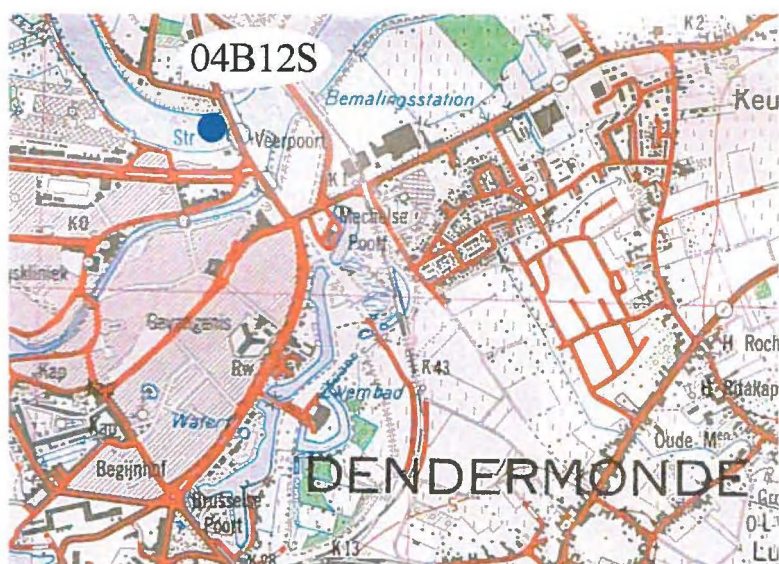


Figuur 51: echolodging in toegangseul tot de Royerssluis. Op de plaats van staalname is de sliblaag ongeveer 2 m dik.

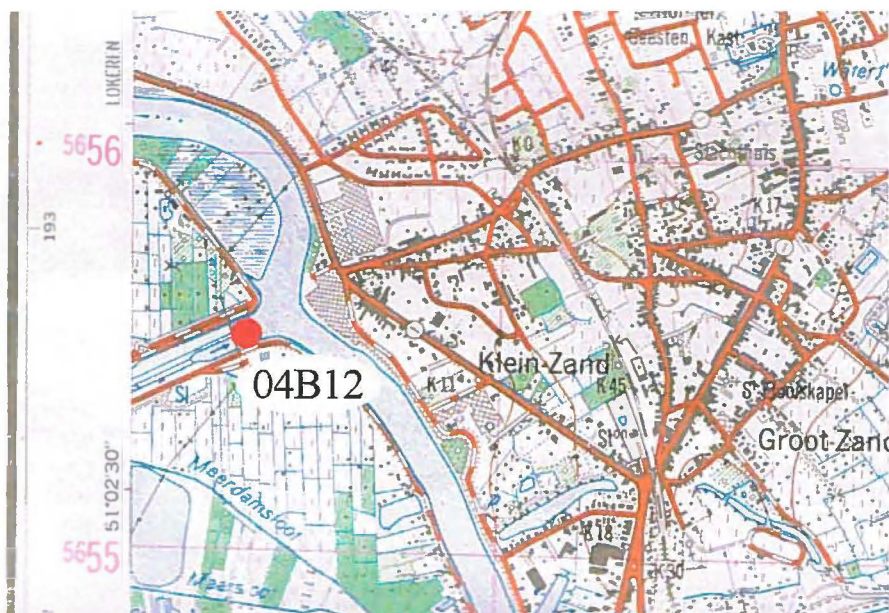
Verhouding marien/fluviatiel slib in het estuarium van de Schelde



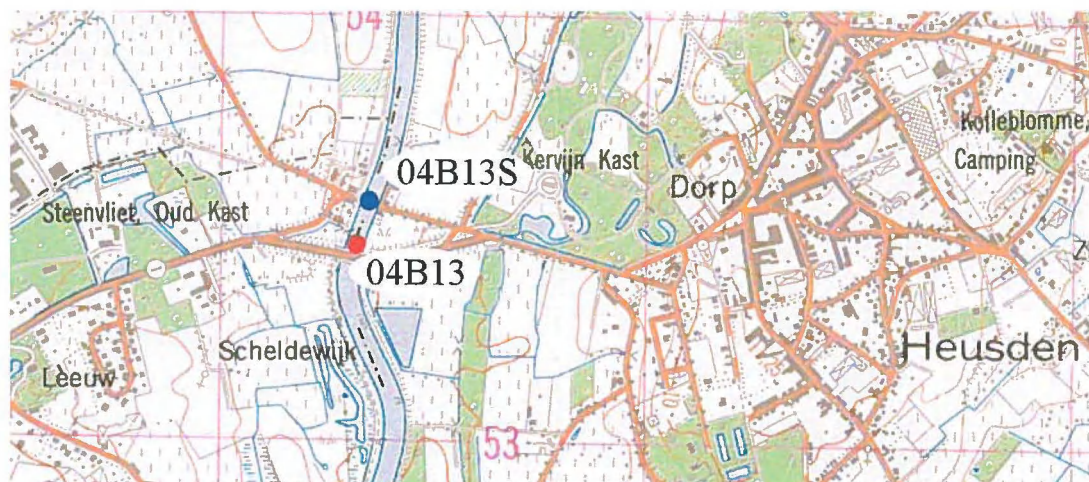
Figuur 52: lokalisatie van het suspensietaal genomen nabij boei 123 (04B11S) en het bodemstaal genomen in de toegangsgemaal tot de Zeesluis van Wintam (04B11)



Figuur 53: lokalisatie van het suspensietaal genomen aan het ponton van AWZ te Dendermonde (04B12S).

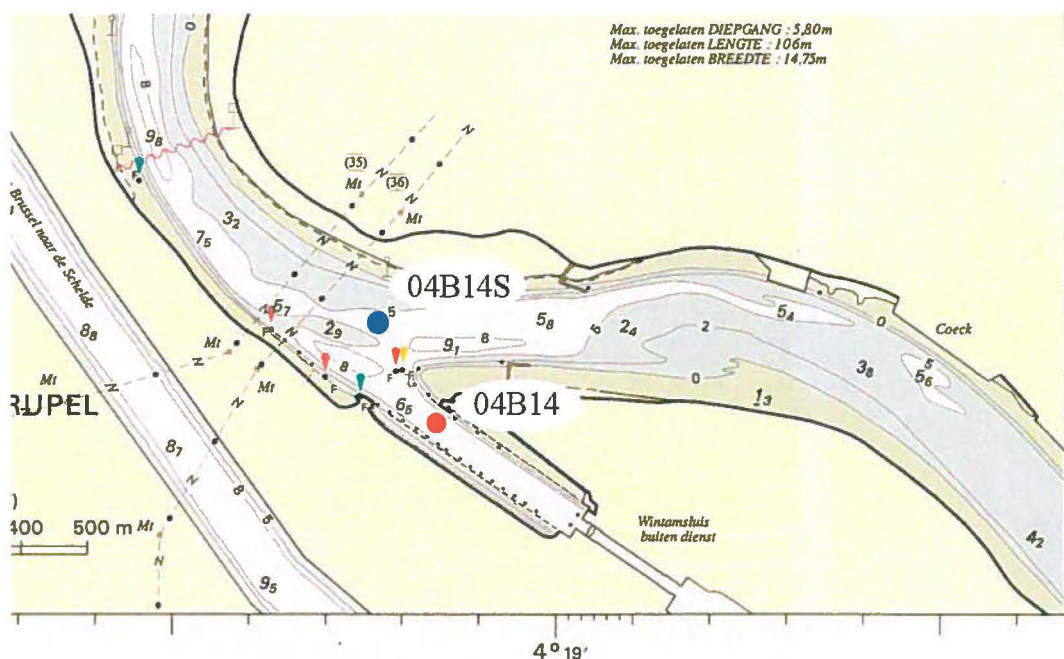


Figuur 54: lokalisatie van het bodemstaal in de toegangsgeul tot de sluis van Dendermonde (04B12).

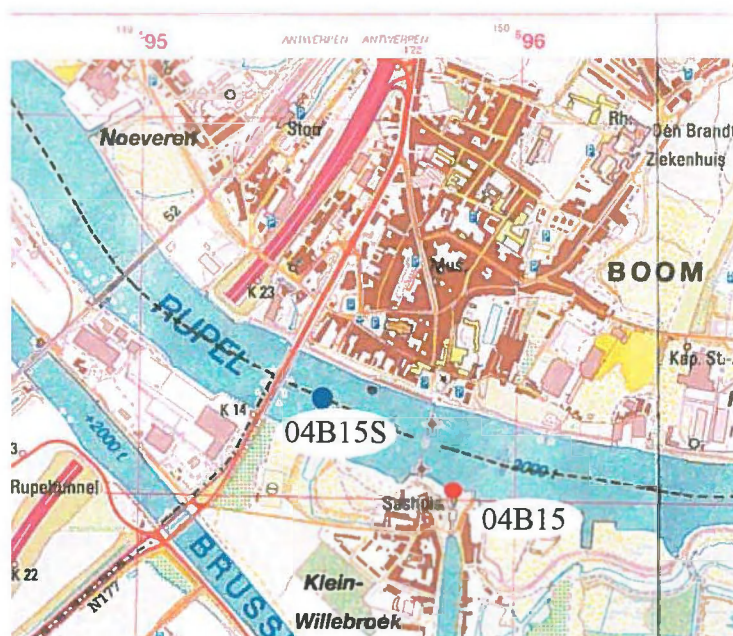


Figuur 55: lokalisatie van het suspensiestaal (04B13S) en het bodemstaal (04B13) bemonsterd te Heusden

Verhouding marien/fluviatiel slib in het estuarium van de Schelde



Figuur 56: lokalisatie van het suspensietaal genomen in de Rupel nabij Wintam (04B14S) en het bodemstaal genomen in de toegangsgeul tot oude sluis van Wintam (04B14)



Figuur 57: lokalisatie van het bodemstaal in de toegangsgeul tot de sluis van Willebroek (04B15) en van het suspensietaal in de Rupel nabij Boom (04B15S).



Figuur 58: lokalisatie van het suspensiestaal (04B16S) en het bodemstaal (04B16) bemonsterd in de Durme nabij Waasmunster.

Bijlage 3. Lijst met figuren

Figuur 1: de UWITECH-corer. De scheiding tussen water en de toplaag van het slib is duidelijk zichtbaar.	4
Figuur 2: de WILDCO box corer in geopende stand.....	4
Figuur 3: overzicht van de korrelgrootte van de zwevende stof. De gemiddelde korrelgrootte is weergegeven op de linker ordinaat, de grofste fractie (eerste percentiel) op de rechter ordinaat. De stippellijn geeft de gemiddelde korrelgrootte weer van 0.75 μm en de eerste percentiel waarde van 100 μm	13
Figuur 4: kleigehalte (fractie <2 μm) en de verhouding silt (fractie tussen 63 en 2 μm) tot klei in de zwevende stof van het Schelde estuarium.	14
Figuur 5: gemiddelde korrelgrootte en grofste fractie (eerste percentiel) van het bodemsediment op de bemonsterde lokaties.	15
Figuur 6: kleigehalte en silt-klei verhouding van het bodemsediment op de bemonsterde lokaties.	16
Figuur 7: vergelijking van de silt/klei verhouding in het bodemsediment en in de zwevende stof voor iedere bemonsteringsplaats. De stippellijn geeft de 1:1 verhouding weer. Sterk afwijkende punten hebben betrekking op sedimenten bemonsterd nabij Zandvliet (04B07) en de Boudewijnsluis (04B08) en nabij Waasmunster (04B16) en Heusden (04B13).....	16
Figuur 8: Activiteit van het ^{226}Ra in het bodemsediment en in de zwevende stof.	18
Figuur 9: jaargemiddelde activiteit en spreiding voor het $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$	19
Figuur 10: excess ^{210}Pb langsheen het estuarium van de Schelde. Er is een duidelijke landwaartse daling in $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ waarneembaar.	19
Figuur 11: verhouding totaal organisch koolstof (TOC) tot totaal stikstof (TN) in het estuarium van de Schelde. Het sediment uit de omgeving van Willebroek vertoont afwijkende kenmerken.....	22
Figuur 12: stabiele koolstof-isotopen verhouding ($\delta^{13}\text{C}$) langsheen het estuarium van de Schelde. Afstanden zeewaarts van Vlissingen zijn negatief voorgesteld. Lokaties waar afwijkende resultaten gevonden werden zijn vermeld.	23
Figuur 13: verband tussen de verhouding organisch koolstof (TOC) en stikstof (TN) en de stabiele koolstof isotopen verhouding voor zowel het bodemsedimenten als voor de zwevende stof. Het sediment uit de Pas van 't Zand (04A03) heeft de mariene kenmerken met sterk terrestrische invloed.	24
Figuur 14: verband tussen organisch materiaal en slibgehalte voor zowel de zwevende stof als voor het bodemsediment.	25
Figuur 15: totaal gehalte aan organisch koolstof voor zowel het bodemsediment als voor de zwevende stof in functie van de afstand tot Vlissingen.....	26
Figuur 16: verband tussen $\delta^{13}\text{C}_{\text{ita 15:0}}$, $\delta^{13}\text{C}$ -16PUFA en de afstand tot Vlissingen. De $\delta^{13}\text{C}_{\text{ita 15:0}}$ wordt voornamelijk, bepaald door bacteriële activiteit terwijl $\delta^{13}\text{C}$ -16PUFA bepaald wordt door de aanwezigheid van microalgen.....	27
Figuur 17: fluviatiel aandeel in de zwevende stof voor ieder bemonsteringspunt met als eindtermen de $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ activiteit te Boelare (fluviatische eindterm) en te Wielingen (mariene eindterm).	29
Figuur 18: stabiele isotopenverhouding ($\delta^{13}\text{C}$) voor zwevende stof langsheen het estuarium.....	30
Figuur 19: procent fluviatiel materiaal (FP) in de zwevende stof in functie van de afstand (L) tot Vlissingen. De regressielijn houdt geen rekening met enkele afwijkende meetresultaten.	31
Figuur 20: stabiele isotopenverhouding ($\delta^{13}\text{C}$) voor het bodemsediment langsheen het estuarium. Het sediment uit de toegangseul tot de zeesluis te Terneuzen vertoont een $\delta^{13}\text{C}$ waarde die veel lager is dan verwacht. Dit meetpunt werd dan ook buiten beschouwing gelaten bij de berekening van de regressievergelijking.	32
Figuur 21: procent fluviatiel materiaal (FP) in het bodemsediment in functie van de afstand (L) tot Vlissingen. De regressielijn houdt geen rekening met enkele sterk afwijkende resultaten.	33
Figuur 22: natrium en calcium concentraties in Schelde sedimenten.	36
Figuur 23: verband tussen het aluminium gehalte (in mg.g^{-1}) en het kleigehalte voor het bodemsediment en voor de zwevende stof.	37
Figuur 24: verhouding tussen de gemeten concentratie aan aluminium (mg.g^{-1}) en het percentage klei in de sedimenten in functie van de afstand tot Vlissingen.	38
Figuur 25: concentratie van cadmium ($\mu\text{g.g}^{-1}$) in het bodemsediment en in de zwevende stof.	38
Figuur 26: concentratie aan lood ($\mu\text{g.g}^{-1}$) in functie van de afstand tot Vlissingen.....	39
Figuur 27 : concentratie aan koper ($\mu\text{g.g}^{-1}$) in functie van de afstand tot Vlissingen.....	39
Figuur 28: concentratie aan zink ($\mu\text{g.g}^{-1}$) in functie van de afstand tot Vlissingen.	40

Verhouding marien/fluviatiel slib in het estuarium van de Schelde

Figuur 29: zuurstofconcentratie van het oppervlaktewater van het Schelde estuarium tussen Gent en de Belgisch-Nederlandse grens (gegevens: ECOBE, departement Biologie, Universiteit Anwerpen). 40	
Figuur 30: fluviatiel aandeel in de zwevende stof in functie van de afstand tot Vlissingen. Het gemiddeld fluviatiel aandeel is weergegeven door een volle dikke lijn.41	41
Figuur 31: fluviatiel aandeel in het bodemsediment in functie van de afstand tot Vlissingen. Het gemiddeld fluviatiel aandeel is weergegeven door een volle dikke lijn.42	42
Figuur 32: procent fluviatiel materiaal in het bodemsediment (SED) en in de zwevende stof (SPM) langsheen het estuarium van de Schelde.43	43
Figuur 33: fluviatiel aandeel in het bodemsediment in 1993, 1998 en 200445	45
Figuur 34: fluviatiel aandeel in de zwevende stof in 1993, 1998 en 2004.....45	45
Figuur 35: lokalisatie van de bodemstalen genomen te Vlissingen (04B01), Breskens (04B02) en het suspensiestaal in de Scheldemonding (04B01S).50	50
Figuur 36: echoloding in de haven van Breskens. Op de plaats van staalname is de sliblaag meer dan 1 m dik.50	50
Figuur 37: lokalisatie van het bodemstaal genomen in de toegangsecul tot de zeesluis van Terneuzen (04B03) en het suspensiestaal in de Pas van Terneuzen (04B03S).51	51
Figuur 38: echoloding in de toegangsecul tot de sluis van Terneuzen. Op de plaats van staalname is de sliblaag ongeveer 1 m dik.51	51
Figuur 39: lokalisatie van het bodemstaal genomen in de veerhaven van Kruiningen (04B04).52	52
Figuur 40: echoloding in veerhaven van Kruiningen. Op de plaats van staalname is de sliblaag ongeveer 1 m dik.52	52
Figuur 41: lokalisatie van het bodemstaal genomen in de veerhaven van Perkpolder (04B05) en het suspensiestaal genomen in het Zuidergat (04B05S).53	53
Figuur 42: echoloding in veerhaven van Perkpolder. Op de plaats van staalname is de sliblaag ongeveer 1 m dik.53	53
Figuur 43: lokalisatie van het suspensiestaal genomen in de Pas van Rilland (04B06S) en het bodemstaal genomen in de Appelsak (04B06).54	54
Figuur 44: lokalisatie van het suspensiestaal genomen in de Scheldegeul (04B07S) en het bodemstaal genomen in de toegangsecul tot de zeesluis van Zandvliet (04B07).55	55
Figuur 45: echoloding in toegangsecul tot de zeesluis van Zandvliet. Op de plaats van staalname is de sliblaag ongeveer 2 m dik.55	55
Figuur 46: lokalisatie van het suspensiestaal genomen op de drempel van Kruisschans (04B09S) en het bodemstaal genomen in de toegangsecul tot de Boudewijnsdus (04B08).56	56
Figuur 47: echoloding in toegangsecul tot de Boudewijnsdus. Op de plaats van staalname is de sliblaag ongeveer 2 m dik.56	56
Figuur 48: lokalisatie van het suspensiestaal genomen nabij de plaat van De parel (04B08S) en het bodemstaal genomen in de toegangsecul tot de Kallosluis (04B09)57	57
Figuur 49: echoloding in toegangsecul tot de zeesluis van Kallo. Op de plaats van staalname is de sliblaag ongeveer 1 m dik.57	57
Figuur 50: lokalisatie van het suspensiestaal genomen opwaarts van de Palingplaat (04B10S) en het bodemstaal genomen in de toegangsecul tot de Royerssluis (04B10).....58	58
Figuur 51: echoloding in toegangsecul tot de Royerssluis. Op de plaats van staalname is de sliblaag ongeveer 2 m dik.58	58
Figuur 52: lokalisatie van het suspensiestaal genomen nabij boei 123 (04B11S) en het bodemstaal genomen in de toegangsecul tot de Zeesluis van Wintam (04B11).59	59
Figuur 53: lokalisatie van het suspensiestaal genomen aan het ponton van AWZ te Dendermonde (04B12S).59	59
Figuur 54: lokalisatie van het bodemstaal in de toegangsecul tot de sluis van Dendermonde (04B12)...60	60
Figuur 55: lokalisatie van het suspensiestaal (04B13S) en het bodemstaal (04B13) bemonsterd te Heusden.....60	60
Figuur 56: lokalisatie van het suspensiestaal genomen in de Rupel nabij Wintam (04B14S) en het bodemstaal genomen in de toegangsecul tot oude sluis van Wintam (04B14)61	61
Figuur 57: lokalisatie van het bodemstaal in de toegangsecul tot de sluis van Willebroek (04B15) en van het suspensiestaal in de Rupel nabij Boom (04B15S).61	61
Figuur 58: lokalisatie van het suspensiestaal (04B16S) en het bodemstaal (04B16) bemonsterd in de Durme nabij Waasmunster.....62	62

Bijlage 4. Lijst met tabellen

Tabel 1: overzichtstabel met staalnamegegevens. De bemonstering met een speciaal uitgeruste labocontainer werd uitgevoerd door Ward De Cooman, Vlaamse Milieumaatschappij.	11
Tabel 2: geografische coördinaten van de staalnameplaatsen.	12
Tabel 3: vergelijkende tabel van de gemiddelde activiteiten van ^{226}Ra , ^{210}Pb en $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ in het bodemsediment en in de zwevende stof voor 1998 en voor 2004.	18
Tabel 4: isotopen samenstelling van de zwevende stof. Sediment % geeft de hoeveelheid materiaal aan die overblijft na behandeling van het ruwe staal met verdund waterstofperoxide en met verdund chloorzuur. Silt + klei % geeft de hoeveelheid materiaal aan kleiner dan $63\ \mu\text{m}$	21
Tabel 5: isotopen samenstelling van het bodemsediment. Sediment % geeft de hoeveelheid materiaal aan die overblijft na behandeling van het ruwe staal met verdund waterstofperoxide en met verdund chloorzuur. Silt + klei % geeft de hoeveelheid materiaal aan kleiner dan $63\ \mu\text{m}$	21
Tabel 6: dataset organisch materiaal en stabiele isotopen onderzoek. De gebruikte symbolen zijn uitgelegd in de tekst.	28
Tabel 7: fluviatiel aandeel in het bodemsediment nabij de Belgisch-Nederlandse grens en in de toegangseuilen tot de grote zeesluizen.	30
Tabel 8: procent fluviatiel materiaal in zwevende stof op de verschillende staalnamepunten langsheen het estuarium van de Schelde. De berekening gebeurde aan de hand van de regressielijn in figuur 19.	31
Tabel 9: procent fluviatiel materiaal in het bodemsediment op de verschillende staalnamepunten langsheen het estuarium van de Schelde. De resultaten zijn berekend aan de hand van de regressielijn in figuur 21.	33
Tabel 10: zware metalen in de zwevende stof.	35
Tabel 11: zware metalen in het bodemsediment.	35
Tabel 12: vergelijkende tabel van het fluviatiel aandeel in de zwevende stof.	44
Tabel 13: vergelijkende tabel van het fluviatiel aandeel in het bodemsediment.	44

Inhoudsopgave

Dankwoord.....	2
1. Inleiding.....	3
2. Methoden.....	3
2.1. Staalname	3
2.2. Korrelgrootte-onderzoek.....	5
2.3. Radioactieve isotopen	7
2.4. Stabiele isotopen in bulk organisch materiaal en in de microbiële membraanlipiden.....	8
2.5. Zware metalen	9
3. Resultaten.....	13
3.1. Korrelgrootteverdeling van de zwevende stof.....	13
3.2. Korrelgrootteverdeling van het bodemsediment	15
3.3. Radioactieve isotopen	17
3.4. Stabiele isotopen	22
4. Het fluvio-mariene evenwicht	29
4.1. Fluviaale fractie berekend op basis van het $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$	29
4.2. Fluviaale fractie in de zwevende stof.....	30
4.3. Fluviaal aandeel in het bodemsediment	32
4.4. Fluviaal aandeel op basis van zware metalen.....	34
5. Het fluvio-mariene evenwicht berekend volgens diverse methodes	43
6. Evolutie van het fluvio-mariene evenwicht sinds 1993	44
7. Besluiten	46
8. Referenties.....	47
Bijlage 1: Korrelgrootteparameters.....	49
Bijlage 2: Kaarten en echolodgingen van staalnameplaatsen	50
Bijlage 3. Lijst met figuren.....	63
Bijlage 4. Lijst met tabellen.....	65