

notitie GWA0-89.302

aan : SLIB, SAWES

van : C.J. Bams (AOME)

datum : 13-07-1989

onderwerp : De verhouding marien/fluviatiel slib in de bodem van de Westerschelde: een nadere beschouwing van nota NXL-87.015 en van de toepassing in de slibbalans van de Westerschelde

behoort bij: Notitie GWA0-89.302

datum: 13 juli 1989

bladnr: 2

INHOUD

1.	INLEIDING	3
2.	BEREKENING VOLGENS NOTA NXL-87.015	4
2.1.	Methode	4
2.2.	Waarde van $\delta_f^{13}C$ en $\delta_m^{13}C$	4
2.3.	Berekening en foutenanalyse	5
2.4.	Afgeleide percentages fluviatiel slib op de vakgrenzen	6
3.	AANGEPASTE BEREKENING	7
3.1.	Waarde van $\delta_f^{13}C$ en $\delta_m^{13}C$	7
3.2.	Berekening en foutenanalyse	7
3.3.	Afgeleide percentages fluviatiel slib op de vakgrenzen	7
3.4.	Toepassing van de percentages fluviatiel slib	8
4.	DISCUSSIE	9
5.	CONCLUSIE	10
6.	BRONNEN	11

BIJLAGEN

Tabel	1:	$\delta^{13}C$ -waarden uit diverse bronnen, met afstand langs de as
Tabel	2:	Berekend percentage fluviatiel slib per monsterlokatie
Tabel	3:	Afgeleide percentages fluviatiel slib op de 1d-model vakgrenzen
Figuur	1:	Situatie van monsterlokaties, vakgrenzen en as
Figuur	2:	Vergelijking van $\delta^{13}C$ uit diverse bronnen
Figuur	3:	Berekend percentage fluviatiel slib (vlg.par. 2.3)
Figuur	4:	Afgeleid percentage fluviatiel slib (vlg.par. 2.4)
Figuur	5:	Percentage fluviatiel slib als (3e graads-) functie van de afstand (vlg. par.3.4)
Bijlage	1:	Toelichting bij het programma GRAD (HP1000) en PROGHIS.GRADFTN (Sperry)

behoort bij: Notitie GWAO-89.302

datum: 13 juli 1989

bladnr: 3

1. INLEIDING

In nota NXL-87.015 zijn de resultaten vermeld van een onderzoek naar de verhouding van marien/fluviatiel slib in de bodem van de Westerschelde (Swart, 1987). Geconcludeerd werd dat het percentage fluviatiel slib bij de Nederlands-Belgische grens 39 % bedraagt en in de monding van de Westerschelde 1 % . Tussen beide lokaties is er sprake van een afnemende trend met een steil verloop tussen de grens en Hansweert en met een flauw verloop tussen Hansweert en de monding.

Uit deze trend (het lopend gemiddelde over 3 lokaties) en de percentages op de Schelde (afgeleid uit gegevens uit WL-nota R994, 1975) heeft D. van Maldegem het percentage fluviatiel slib bepaald op de vakgrenzen van het ld-model van de Westerschelde (in figuur 1 zijn deze vakgrenzen aangegeven). Uit (voorlopige) berekeningen met deze percentages bleek de jaarlijkse sedimentatie van fluviatiel slib in de Westerschelde veel te groot te zijn. Dit, en het ontbreken van een foutenanalyse, heeft ertoe geleid dat de resultaten uit nota NXL-87.015 en de afleiding van de percentages fluviatiel slib op de vakgrenzen aan een nadere beschouwing onderworpen zijn.

In hoofdstuk 2 van deze notitie is een foutenanalyse verricht van de berekening in nota NXL-87.015. In hoofdstuk 3 zijn de uitgangspunten bij deze berekening nader beschouwd; op grond hiervan zijn (lagere) percentages fluviatiel slib berekend. Hiermee zijn nieuwe waarden voor de percentages op de vakgrenzen van het ld-model vastgesteld. Tenslotte volgen nog enkele algemene opmerkingen over de methode zelf, m.n. over de geconstateerde verschillen in het basismateriaal (hoofdstuk 4).

behoort bij: Notitie GWA0-89.302

datum: 13 juli 1989

bladnr: 4

2. BEREKENING VOLGENS NOTA NXL-87.015

2.1. Methode

Het berekenen van de verhouding marien/fluviatiel slib is gebaseerd op verschillen in de koolstof-isotopensamenstelling van het organische deel van zee- en rivierslib; dit hangt samen met verschillen in de (plantaardige) herkomst van de organische fracties (Swart, 1987; Laane, Turkstra & Mook, 1989). In rivierslib is het aandeel ^{13}C -isotopen kleiner dan in een zeelib. De verhouding $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ wordt gerelateerd aan een internationaal overeengekomen standaard. De relatieve afwijking hiervan (een negatief getal) wordt weergegeven met $\delta^{13}\text{C}$ (‰).

In nota NXL-87.015 is voor fluviatiel en marien slib in de Westerschelde $\delta^{13}\text{C}$ bepaald (resp. $\delta_f^{13}\text{C}$ en $\delta_m^{13}\text{C}$). In 1984/1985 zijn op 13 lokaties in totaal 35 monsters van het oppervlakesediment genomen. De ligging van deze lokaties is aangegeven in figuur 1. Het organische deel van de slibfractie ($\leq 63 \mu\text{m}$) is geanalyseerd op de isotopensamenstelling; van elk monster is $\delta^{13}\text{C}$ bepaald. Met de gemiddelde waarde per lokatie ($\delta_g^{13}\text{C}$) is het percentage fluviatiel slib (% f.s.) berekend:

$$\% \text{ f.s.} = \frac{\delta_g^{13}\text{C} - \delta_m^{13}\text{C}}{\delta_f^{13}\text{C} - \delta_m^{13}\text{C}} * 100 (\%).$$

De onnauwkeurigheid van dit percentage hangt samen met:

- de monstermethode (fout niet bekend);
- de analysemethode (fout niet bekend);
- de gebruikte $\delta_f^{13}\text{C}$ en $\delta_m^{13}\text{C}$ (gemiddeldes van verschillende waarden);
- de gebruikte $\delta_g^{13}\text{C}$ (gemiddelde per lokatie).

Bij de foutenanalyse is de afwijking van het percentage fluviatiel slib bepaald uit de afwijkingen van $\delta_f^{13}\text{C}$, $\delta_m^{13}\text{C}$ en $\delta_g^{13}\text{C}$.

2.2. Waarde van $\delta_f^{13}\text{C}$ en $\delta_m^{13}\text{C}$

$\delta_f^{13}\text{C}$ is bepaald uit gegevens uit WL-nota R994 (1975), voor zover het de Schelde betreft (gegevens uit 1974):

traject : Dender	-	Durme	$\delta^{13}\text{C}$ (‰):	-28,0
		Durme		-28,4
		Rupel		-28,4
		Rupel		-28,2
		Antwerpen		-27,9
		Doel		-28,5
		Doel		
		grens		

De hieruit berekende $\delta_f^{13}\text{C}$ bedraagt $-28,2 \pm 0,2$ ‰.

behoort bij: Notitie GWAO-89.302

datum: 13 juli 1989

bladnr: 5

$\delta_m^{13}\text{C}$ is bepaald uit gegevens van Salomons & Mook (1981), voor zover het de monding van de Westerschelde betreft (gegevens uit 1959/1960):

lokatie: Vlaamse Banken	$\delta^{13}\text{C}$ (‰):	-23,2
Blankenberghe		-23,8
Zwarte Polder		-22,2

De hieruit berekende $\delta_m^{13}\text{C}$ bedraagt $-23,1 \pm 0,8$ ‰. Het verschil tussen rivier- en zeeslib is significant.

In figuur 2 zijn de $\delta^{13}\text{C}$ -waarden uit verschillende bronnen, samengevoegd in tabel 1, uitgezet als functie van de afstand langs de as van de (Wester)-Schelde, waarbij Rupelmonde op 0 km is gesteld. De verschillende bronnen zijn (zie ook hoofdstuk 6):

- WL-nota R994 (1975)
- nota NXL-87.015 (1987): gemiddelde, onder- en bovengrens
- Reijnders e.a. (1985): gemiddelde, onder- en bovengrens
- Laane, Turkstra & Mook (1989): gegevens zijn afkomstig uit diverse bronnen, o.a. WL-nota R994 en Salomons & Mook (1981).

Per bron blijkt er min of meer sprake te zijn van een toenemende $\delta^{13}\text{C}$ (d.w.z. $\delta^{13}\text{C}$ wordt minder negatief) in stroomafwaartse richting; de gradiënten hebben ongeveer dezelfde richtingscoëfficiënt. De waarden van de bijbehorende $\delta^{13}\text{C}$ verschillen per bron. In hoofdstuk 4 wordt hierop nader ingegaan.

2.3. Berekening en foutenanalyse

Met de gemiddelde $\delta_g^{13}\text{C}$ -waarden uit nota NXL-87.015 is per lokatie het percentage fluviatiel slib berekend. Voor de foutenanalyse is gebruik gemaakt van de standaardafwijkingen (σ). Van de lokaties V en VI is één $\delta^{13}\text{C}$ -waarde bekend; als standaardafwijking is de hoogste afwijking van de overige lokaties aangenomen (nl. $\pm 1,2$). De fout in het percentage fluviatiel slib (σ (% f.s.)) is berekend met:

$$\sigma(\% \text{ f.s.}) = (\% \text{ f.s.}) * \sqrt{\frac{\sigma(\delta_g)^2 + \sigma(\delta_m)^2}{(\sigma_g - \sigma_m)^2} + \frac{\sigma(\delta_f)^2 + \sigma(\delta_m)^2}{(\sigma_f - \sigma_m)^2}}$$

De resultaten staan in tabel 2. Hieruit blijkt dat de berekende percentages slib erg onnauwkeurig zijn (van ± 16 tot ± 29 %!). Er zijn geen significante verschillen tussen de percentages. In figuur 3 zijn het gemiddelde en de spreiding van het percentage fluviatiel slib uitgezet als functie van de afstand langs de as.

De fout in het percentage fluviatiel slib bestaat uit een systematische fout, bepaald door $\sigma(\delta_f)$ en $\sigma(\delta_m)$, en een stochastische fout, bepaald door $\sigma(\delta_g)$. Door uit te gaan van $\sigma(\delta_g)=0$ kan de systematische fout bepaald worden. Deze varieert van 15,7 tot 17,4 %.

behoort bij: Notitie GWA0-89.302

datum: 13 juli 1989

bladnr: 6

2.4. Afgeleide percentages fluviatiel slib op de vakgrenzen

Uit de trend van het lopend gemiddelde over 3 lokaties van het percentage fluviatiel slib (geen rekening gehouden met de afstand tussen de lokaties!) en uit de percentages op de Schelde (berekend uit de $\delta^{13}\text{C}$ - waarden van de nota WL-nota R994) heeft D. van Maldegem de percentages fluviatiel slib op de vakgrenzen van het ld-model afgeleid. Hiermee is de eerste berekening van de jaarlijkse sedimentatie van fluviatiel slib uitgevoerd. Deze bleek veel groter te zijn dan op grond van de aanvoer van fluviatiel slib verwacht mag worden; dit gold m.n voor het gebied tussen de grens en Hansweert.

In figuur 4 zijn de percentages fluviatiel slib volgens Van Maldegem en de gegevens waaruit deze afgeleid zijn, uitgezet als functie van de afstand langs de as. In tabel 3 staan de bijbehorende waarden.

Alvorens nieuwe berekeningen uit te voeren met onder- en bovengrens, bepaald in de foutenanalyse, is eerst kritisch gekeken naar de uitgangspunten. De resultaten hiervan staan in het volgende hoofdstuk.

behoort bij: Notitie GWAO-89.302

datum: 13 juli 1989

bladnr: 7

3. AANGEPASTE BEREKENING

3.1. Waarde van $\delta_f^{13}\text{C}$ en $\delta_m^{13}\text{C}$

In nota NXL-87.015 is $\delta_f^{13}\text{C}$ het gemiddelde van de $\delta^{13}\text{C}$'s op de Schelde, tussen Dendermonde en de grens. Als deze $\delta^{13}\text{C}$ - waarden nader bekeken worden (zie par.2.2 en figuur 2), dan blijkt dat er sprake is van een toename van Rupel tot aan Saeftinge; alleen de waarde van het traject Doel-grens vormt hierop een uitzondering. Gezien de genoemde gradiënt lijkt het correcter om ervan uit te gaan dat $\delta_f^{13}\text{C} = -28,4 \text{ ‰}$. De bijbehorende spreiding is gesteld op $\pm 0,2 \text{ ‰}$.

Ten aanzien van de $\delta^{13}\text{C}$ -waarden nog het volgende: omdat de waarden van $\delta^{13}\text{C}$ uit WL-nota R994 systematisch lager liggen dan die uit nota NXL-87.015, (zie figuur 2), betekent dit dat $\delta_f^{13}\text{C}$ ook mogelijk te laag is ten opzichte van de $\delta_g^{13}\text{C}$'s uit nota NXL-87.015. Omdat er voorlopig nog geen andere ("betere") informatie voorhanden is, is in deze notitie toch uitgegaan van $\delta_f^{13}\text{C} = -28,4 \pm 0,2 \text{ ‰}$.

Bij $\delta_m^{13}\text{C}$ valt op, dat de $\delta^{13}\text{C}$ -waarden, waarop deze gebaseerd is, een grote spreiding vertonen. Dit kan met verschillende factoren samenhangen (zie ook hoofdstuk 4). Er zijn (voorlopig) geen concrete argumenten aan te voeren voor een andere $\delta_m^{13}\text{C}$. Daarom is dezelfde waarde als in nota NXL-87.015 aangehouden.

3.2. Berekening en foutenanalyse

Op dezelfde wijze als in paragraaf 3.2 zijn met $\delta_f^{13}\text{C} = -28,4 \pm 0,2 \text{ ‰}$ en $\delta_m^{13}\text{C} = -23,1 \pm 0,8 \text{ ‰}$ nieuwe percentages fluviatiel slib (met afwijking) bepaald. Deze zijn in tabel 2 aangegeven.

Ook is wederom de systematische fout, bepaald door $\delta_f^{13}\text{C}$ en $\delta_m^{13}\text{C}$, berekend. Deze varieert van 15,1 tot 16,7 %.

3.3. Afgeleide percentages fluviatiel slib op de vakgrenzen

Voor het afleiden van de percentages fluviatiel slib op de vakgrenzen van het 1d-model is uitgegaan van de in paragraaf 3.2 berekende percentages. Daarbij is het volgende overwogen:

- het percentage fluviatiel slib van de laatste monsterlokatie (XIII) wijkt te sterk af van de trend. Bovendien is het slib op de Vlaamse Banken per definitie voor 100 % marien ($\delta_m^{13}\text{C} = -23,1$ komt overeen met 100 % marien slib). Daarom is in het vervolg deze lokatie buiten beschouwing gelaten.
- reeds is opgemerkt dat de waarden van $\delta^{13}\text{C}$ volgens WL-nota R994 en nota NXL-87.015 systematisch verschillen. Omdat dus niet duidelijk is, wat het percentage fluviatiel slib op de Schelde werkelijk bedraagt, is ervoor gekozen alleen gebruik te maken van 100 % fluviatiel slib bij Rupelmonde en de in paragraaf 3.2 berekende percentages.

Op verschillende manieren kan men uit de berekende percentages (de trend van) het percentage fluviatiel slib op de vakgrenzen bepalen.

behoort bij: Notitie GWAO-89.302

datum: 13 juli 1989

bladnr: 8

Van Maldegem (paragraaf 2.4; figuur 4) heeft een vloeiende aansluiting gemaakt tussen de resultaten uit de twee verschillende nota's (WL-nota R994 en nota NXL-87.015, resp. Schelde en Westerschelde). Dit heeft tot gevolg dat hij op de Schelde uitgaat van te hoge percentages fluviatiel slib t.o.v. WL-nota R994 (mits de waarde Doel-grens buiten beschouwing gelaten wordt) en dat het verloop binnen de vakken 5, 6 en 7 zeer steil is. In hoeverre dit met de werkelijkheid overeenkomt, is discutabel. Verder is uit de berekeningen met de percentages fluviatiel slib op de vakgrenzen gebleken, dat deze tot ongeveer Hansweert te hoog zijn.

Om bovenstaande problemen zoveel mogelijk te vermijden en omdat de puntenwolk zich daar goed toe leent, is in deze notitie gekozen voor het berekenen van een lineaire regressielijn (zie figuur 5). Een 3^e graads regressie bleek de hoogste correlatie op te leveren ($r = 0,98$). De bijbehorende vergelijking is:

$$\% \text{ f.s.} = 99,8530 - 1,93080 * x + 0,01396 * x^2 - 0,00004437 * x^3$$

(x: de afstand langs de as in km's).

Hiermee is per vakgrens het percentage fluviatiel slib berekend. De bijbehorende afwijking komt overeen met de systematische fout die bepaald is bij de berekening in paragraaf 3.2; de stochastische fout wordt door de regressieberekening verwaarloosbaar klein. De afwijking bedraagt 15,1-16,7 % . De resultaten zijn in tabel 3 weergegeven.

De percentages volgens Van Maldegem wijken significant af van de percentages uit deze notitie voor de vakgrenzen 3→4 (zowel bij een afwijking van 15,1 als 16,7 %) en 4→5 (alleen bij een afwijking van 15,1 %). Gezien de onnauwkeurigheden en aannames kan men niet aangeven welke percentages beter of slechter zijn. Berekeningen met de (gemiddelde) percentages uit deze notitie leveren geringere, beter met de metingen overeenkomende hoeveelheden gesedimenteerd fluviatiel slib op. Daarom is voor de slibbalans van de Westerschelde (voorlopig) van deze percentages uitgegaan (juni 1989).

3.4. Toepassing van de percentages fluviatiel slib

Het percentage fluviatiel slib kan gebruikt worden om per eenheid (WAQUA-punt, morfologische eenheid, vak, enz.) de hoeveelheid gesedimenteerd of erodeerd fluviatiel of marien slib te bepalen. Er is een programma geschreven waarmee berekend kan worden wat op elk WAQUA-roosterpunt het percentage fluviatiel slib is. Een toelichting bij dit programma is als bijlage toegevoegd.

behoort bij: Notitie GWAO-89.302

datum: 13 juli 1989

bladnr: 9

4. DISCUSSIE

In het voorafgaande is al gebleken dat de trends van $\delta^{13}\text{C}$ over de (Wester-) Schelde uit diverse bronnen wel eenzelfde richting vertonen, maar dat de waarden van $\delta^{13}\text{C}$ systematisch (en significant) kunnen verschillen. Ook binnen één bron kan de trend (grote) schommelingen vertonen. Hierdoor is ook de definitie van marien en fluviatiel slib (aan de hand van $\delta_{\text{m}}^{13}\text{C}$ en $\delta_{\text{f}}^{13}\text{C}$) discutabel. De in de paragrafen 3.2 en 3.3 bepaalde percentages fluviatiel slib zijn dan ook erg onnauwkeurig (onbetrouwbaar). De vraag is, welke factoren deze schommelingen veroorzaken en of de effecten kwantitatief aangegeven kunnen worden.

Laane, Turkstra & Mook (1989) hebben de isotopensamenstelling van het organische koolstof in suspensie en in de bodem van diverse Nederlandse watersystemen bestudeerd. O.a. is gekeken naar de invloed van temperatuur, saliniteit, getij en afbraak van organische stof op $\delta^{13}\text{C}$ van het zwevende materiaal. Hieruit bleek o.m. het volgende:

- bij laagwater is $\delta^{13}\text{C}$ lager dan bij hoogwater; dit is bekeken op één lokatie in de Waddenzee (verschil: 1,2‰).
- bij toenemende temperatuur neemt ook $\delta^{13}\text{C}$ toe; dit geldt voor 4 lokaties in de Waddenzee en het IJsselmeer. Per lokatie varieert de gemiddelde toename van 0,15 tot 0,62 ‰ per graad temperatuurstijging.
- na 13 dagen en bewaren in een donkere omgeving is $\delta^{13}\text{C}$ in waarde afgenomen (afbraak van het organische materiaal). De grootte van de daling is, evenals de beginwaarde van $\delta^{13}\text{C}$, afhankelijk van de tijd van het jaar (variërend van ca. 0 tot 5 ‰).

In hoeverre deze constatering gelden voor $\delta^{13}\text{C}$ van het organische materiaal in de bodem, is (nog) niet duidelijk. In elk geval zullen de volgende factoren een rol spelen:

- herkomst van het organische materiaal. Deze verschilt aan zee- en rivierzijde van het watersysteem, maar verandert ook over het jaar gezien. Verder spelen ook factoren als erosie van oude (veen-)lagen en lozingen van organisch (gebiedsvreemd) materiaal een rol. Een voorbeeld van een verstoring is, dat in de Schelde in 1988 hoge $\delta^{13}\text{C}$ -waarden gemeten zijn (>-20,0‰); deze worden geweten aan het voorkomen van ~~waterbouw~~ rietsoorten langs de Schelde (mond. med. Van Maldegem). Britse dijkse
- afbraak van organisch materiaal. M.n. de tijd tussen sedimentatie en monsternamen zal een rol spelen.
- diverse factoren, zoals het weer en het getij.

Volgens Laane e.a. treden langs de Westerschelde weinig verstoringen op door extra lozingen, zodat het in principe mogelijk is de zee- en rivierinvloed op een bepaalde plaats te bepalen aan de hand van de $\delta^{13}\text{C}$ -waarden. Wel zal meer bekend moeten zijn over de invloed van de verschillende factoren, hetgeen vooral naar voren zal komen als een seizoensfluctuatie in $\delta^{13}\text{C}$. Mogelijk zal blijken dat voor de zomer een andere $\delta_{\text{f}}^{13}\text{C}$ en $\delta_{\text{m}}^{13}\text{C}$ gebruikt moeten worden dan voor de winter, omdat ook deze δ 's seizoensafhankelijk zijn. Dit zou een verklaring kunnen zijn voor de systematisch verschillende $\delta^{13}\text{C}$ -waarden per bron, terwijl de gradiënt eenzelfde richting vertoont.

behoort bij: Notitie GWAO-89.302

datum: 13 juli 1989

bladnr: 10

5. CONCLUSIE

Met de beschikbare gegevens kunnen momenteel geen betere (of: minder slechte) percentages fluviaal slib bepaald worden dan in tabel 3 aangegeven zijn. De met deze percentages berekende hoeveelheid gesedimenteerd fluviaal slib in de Westerschelde komt aardig met de metingen overeen.

Uit verder onderzoek, waarbij vooral gekeken wordt naar seizoensinvloeden, zal meer bekend worden over de fluctuaties in de koolstof-isotopensamenstelling van de bodem. In 1987/1988 zijn ten behoeve van dit onderzoek bemonsteringen uitgevoerd; de resultaten hiervan verschijnen binnenkort in een notitie van D. van Maldegem. Aan de hand hiervan kunnen nieuwe percentages fluviaal slib op de vakgrenzen bepaald worden, die betrouwbaarder en nauwkeuriger zijn.

behoort bij: Notitie GWA0-89.302

datum: 13 juli 1989

bladnr: 11

6. BRONNEN

1. "Onderzoek verhouding marien/fluviatiele slib in de Westerschelde", door J.P. Swart. Nota NXL-87.015 (1987)
2. "Stable carbon isotope composition of pelagic and benthic organic matter in the North Sea and adjacent estuaries", door R.W.P.M. Laane, E. Turkstra en W.G. Mook. Concept-nota (1989)

In 1. zijn gegevens opgenomen uit de volgende nota's e.d.:

- a. "Voorkomen en gedrag van zware metalen in slib uit de Westerschelde", Waterloopkundig Laboratorium, verslag onderzoek R994 (1975)
- b. "Field observations of the isotopic compositions of particulate organic carbon in the southern North Sea and adjacent estuaries", door W. Salomons en W.G. Mook. Artikel in Marine Geology 41 (1981)
- c. "Het bodemkundig milieu van het intergetijdegebied van de Westerschelde", onder redactie van J.J. Reijnders. Rijksuniversiteit Utrecht (1985).

In 2. zijn o.a. gegevens opgenomen van a. en b.

behoort bij: notitie GWA0-89.302

datum: 13 juli 1989

Tabel 1: $\delta^{13}\text{C}$ -waarden uit diverse bronnen, met afstand langs de as (Rupelmonde: 0 km)
 (1) = uit Salomons & Mook, 1981 (2) = uit WL-Nota R994, 1975 afstanden afgelezen van figuur 1

bron	lokatie/monsternr.	afstand langs as (km)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
WL-nota R994	Rupelmonde	0,0	-28,4
	Rupelmonde-Antwerpen	7,2	-28,2
	Antwerpen-Doel	22,8	-27,9
	Doel-grens	33,8	-28,5
	Saeflinge	37,0	-27,5
	Vlissingen	91,2	-25,1
	Breskens	93,7	-25,6
Reijnders, 1985	71	49,6	-24,6 ± 0,2
	78	55,6	-22,8 ± 0,1
	94	64,2	-24,1 ± 0,1
	101	73,9	-20,0 ± 0,2
	120	86,5	-22,8 ± 0,1
Laane e.a., 1989	a. Rupelmonde (2)	0,0	-28,4
	b. Antwerpen-Doel (2)	22,8	-27,9
	c.	38,2	-27,1
	d.	48,1	-27,7
	e.	51,3	-19,5
	f.	61,0	-19,5
	g. Vlissingen (2)	91,2	-25,1
	h.	101,4	-25,4
	i. Zwarte Polder (1)	111,8	-22,2
	j. Blankenberghe (1)	115,8	-23,8
	k. Vl. Banken (1)	119,5	-23,2
nota NXL-87.015	14		-25,63
	15		-25,30
	16		-24,28
	I	37,8	-25,1 ± 0,7
	11		-24,73
	12		-25,97
	13		-25,73
	II	44,2	-25,5 ± 0,7
	8		-25,78
	9		-25,57
	10		-24,45
	III	46,7	-25,3 ± 0,7

bron	lokatie/monsternr.	afstand langs as (km)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
vervolg nota NXL-87.015	17		-23,03
	18		-24,19
	19		-24,62
	IV	54,6	-24,0 ± 0,8
	V	57,7	-24,70
	VI	66,6	-23,98
	23		-24,30
	24		-24,32
	25		-24,46
	VII	68,8	-24,4 ± 0,1
	5		-22,45
	6		-24,06
	7		-24,83
	VIII	73,5	-23,8 ± 1,2
	26		-24,12
	27		-23,52
	28		-23,73
	IX	79,2	-23,8 ± 0,3
	35		-24,34
	36		-23,49
	37		-23,06
	X	82,3	-23,5 ± 0,7
	32		-24,28
	33		-24,03
	34		-23,07
	XI	82,5	-23,8 ± 0,6
	41		-23,01
	42		-23,61
	43		-22,83
	XII	99,9	-23,2 ± 0,4
	38		-23,69
	39		-23,89
	40		-24,08
	XIII	108,0	-23,9 ± 0,2

behoort bij: Notitie GWA0-89.302

datum: 13 juli 1989

Tabel 2: Berekend percentage fluviatiet slib per monsterlokatie
(opm.: met totale fout; tussen haakjes de systematische fout)

lokatie	punten	$\delta_g^{13}\text{C}$ (‰)	% fluv.slib (vlg. par. 2.3)	% fluv.slib (vlg. par. 3.2)
I	3	-25,1 ± 0,7	39 ± 22 (16,9)	38 ± 21 (16,2)
II	3	-25,5 ± 0,7	47 ± 22 (17,4)	45 ± 21 (16,7)
III	3	-25,3 ± 0,7	43 ± 22 (17,2)	42 ± 21 (16,4)
IV	3	-24,0 ± 0,8	18 ± 22 (16,0)	17 ± 22 (15,3)
V	1	-24,7 ± 1,2	31 ± 29 (16,5)	30 ± 28 (15,8)
VI	1	-24,0 ± 1,2	18 ± 28 (16,0)	17 ± 27 (15,3)
VII	3	-24,4 ± 0,1	25 ± 16 (16,2)	25 ± 16 (15,6)
VIII	3	-23,8 ± 1,2	14 ± 28 (15,9)	13 ± 27 (15,2)
IX	3	-23,8 ± 0,3	14 ± 17 (15,9)	13 ± 16 (15,2)
X	3	-23,5 ± 0,7	8 ± 21 (15,7)	8 ± 20 (15,2)
XI	3	-23,8 ± 0,6	14 ± 20 (15,9)	13 ± 19 (15,2)
XII	3	-23,2 ± 0,4	2 ± 18 (15,7)	2 ± 17 (15,1)
XIII	3	-23,9 ± 0,2	16 ± 16 (15,9)	15 ± 16 (15,6)

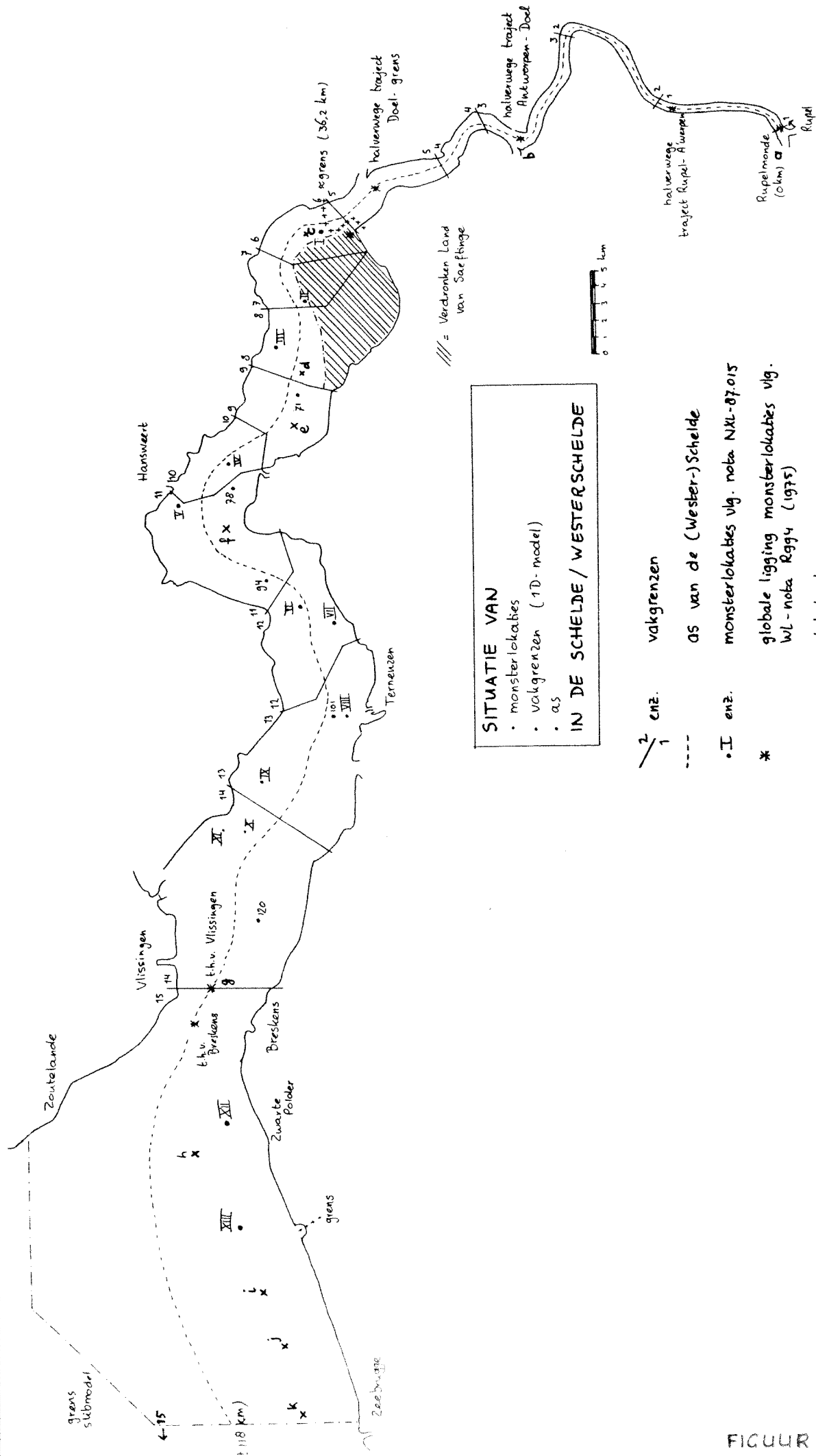
Tabel 3: Afgeleid percentage fluviatiet slib op de 1d-model vakgrenzen

* = afwijking van max. 16,7%

** = vanaf een afstand van 104,3 km is het percentage fluviatiet slib gelijk aan 0,0

*** = afstanden afgelezen van figuur 1

vakgrens	afstand langs de as (km)***	% fluv. slib (vlg. par. 2.4)	% fluv. slib (vlg. par. 3.3)*
--> 1 (Rupelmonde)	0,0	100,0	100,0
1 - 2	8,0	100,0	85,3
2 - 3	15,8	99,7	72,7
3 - 4	25,7	92,5	58,7
4 - 5	29,4	86,0	54,0
5 - 6 (grens)	36,2	66,0	46,1
6 - 7	41,0	45,0	41,1
7 - 8	44,2	37,5	38,0
8 - 9	48,7	33,5	33,8
9 - 10	52,1	30,0	30,9
10 - 11 (Hansweert)	57,1	26,0	26,9
11 - 12	61,5	24,0	23,6
12 - 13	72,1	19,5	16,6
13 - 14	80,3	12,5	11,8
14 - 15 (Vlissingen)	91,2	10,0	6,2
15 -->	124,6	10,0	0,0 **

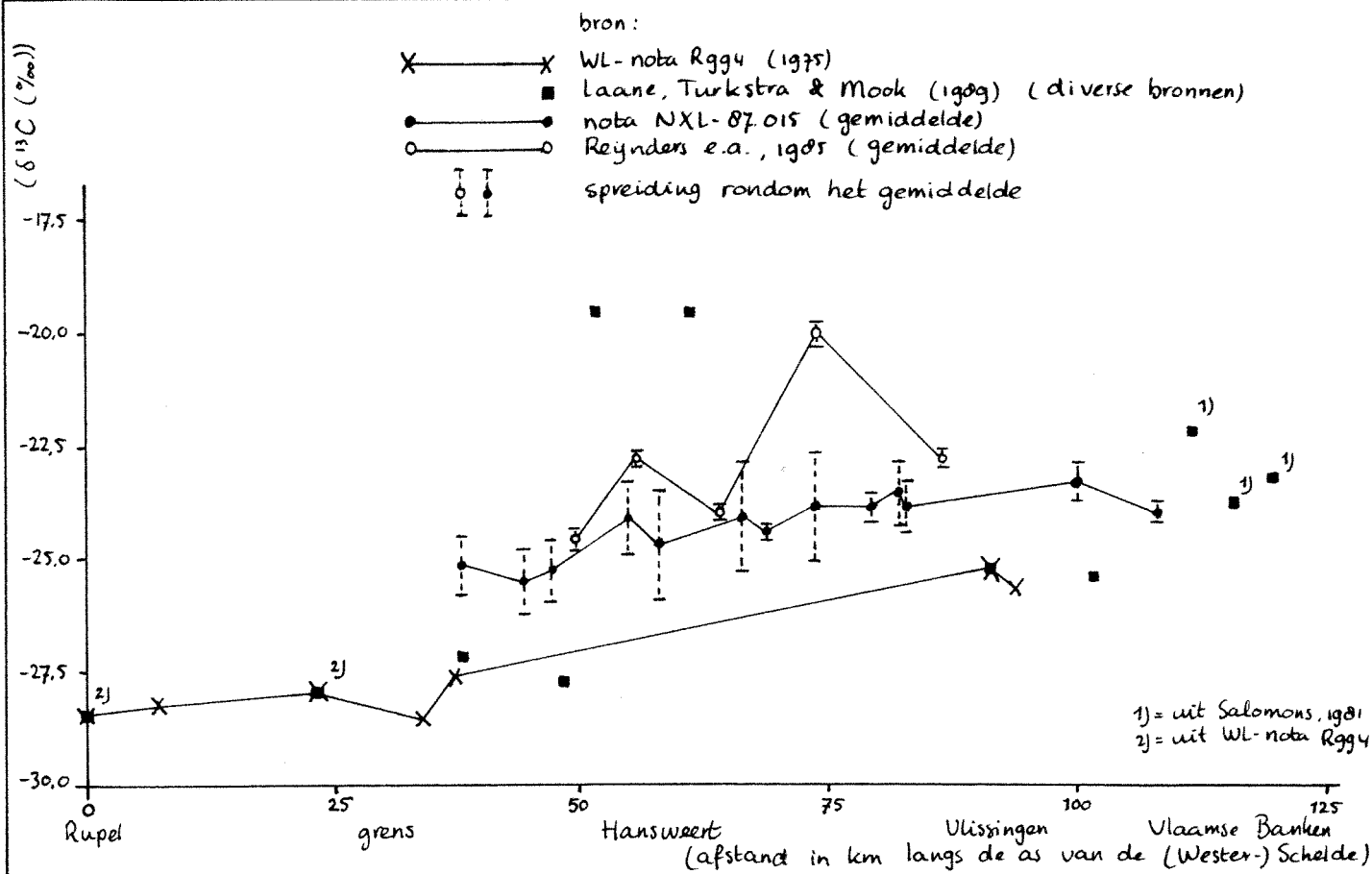


FIGUUR 1

WESTERSCHELDE

vergelijking van $\delta^{13}C$ uit diverse bronnen

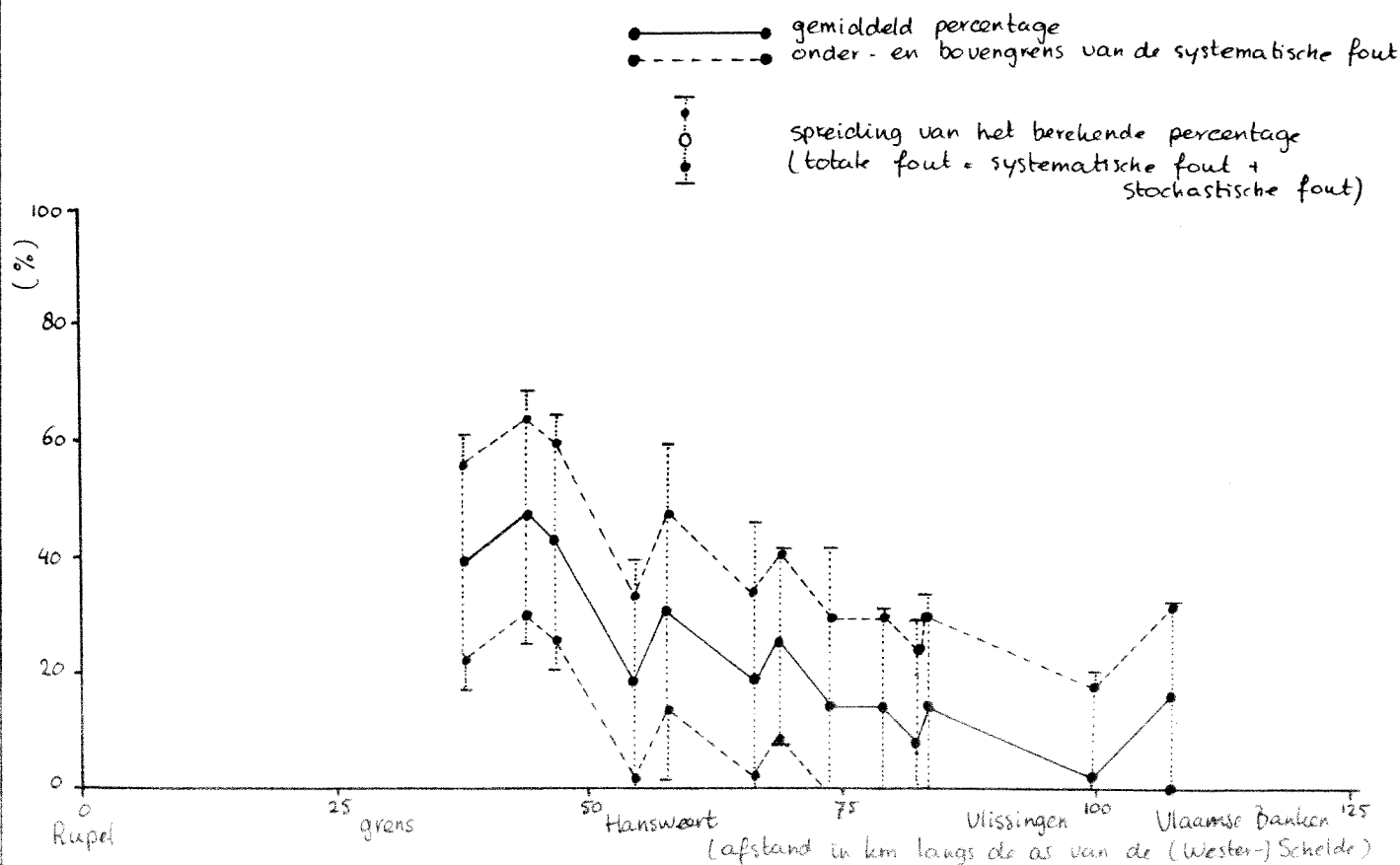
FIGUUR 2



WESTERSCHELDE

berekend percentage fluviaal silt (vgl. par. 2.3)

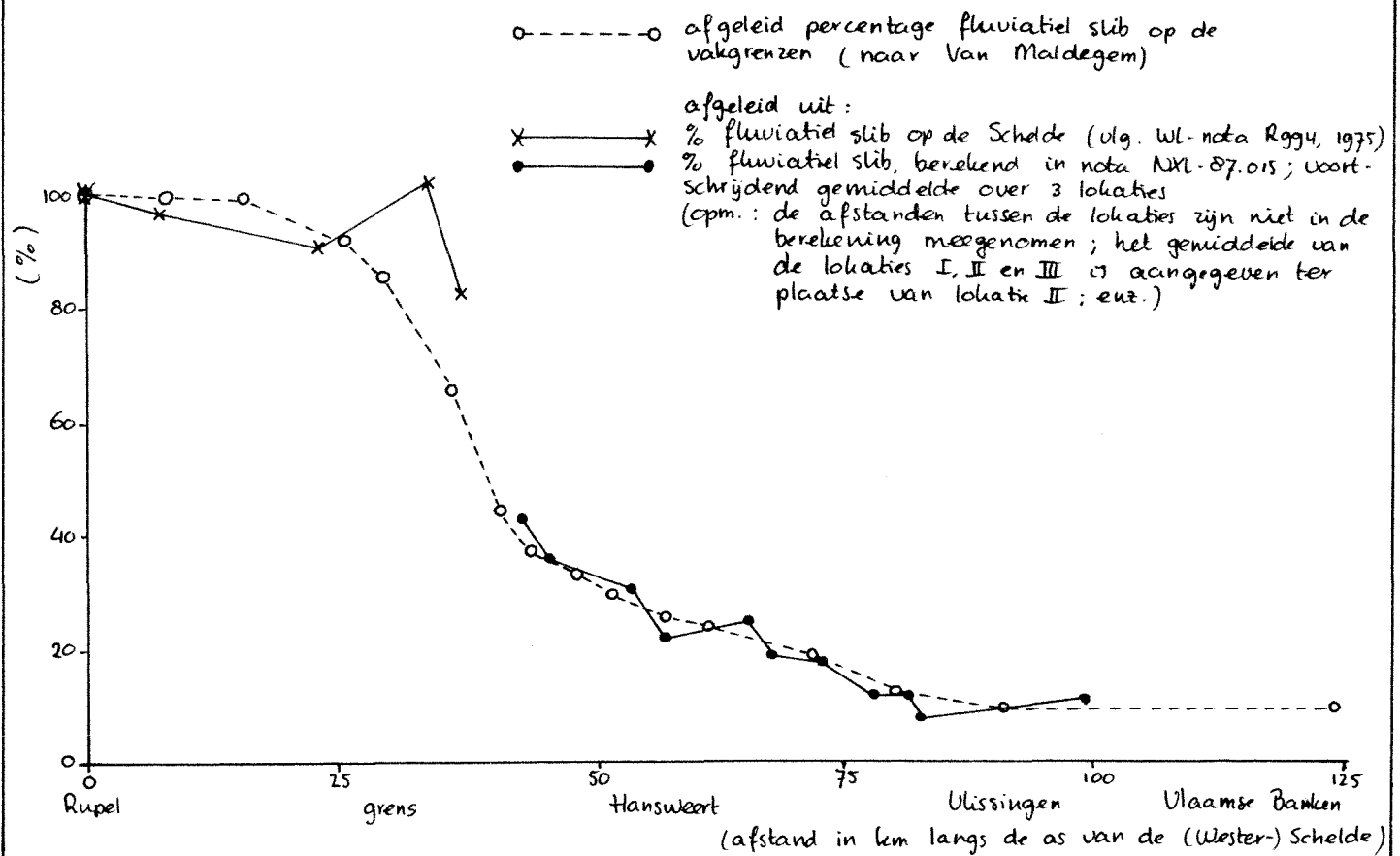
FIGUUR 3



WESTERSCHELDE

afgeleid percentage fluvieel slib (vgl. par. 2.4)

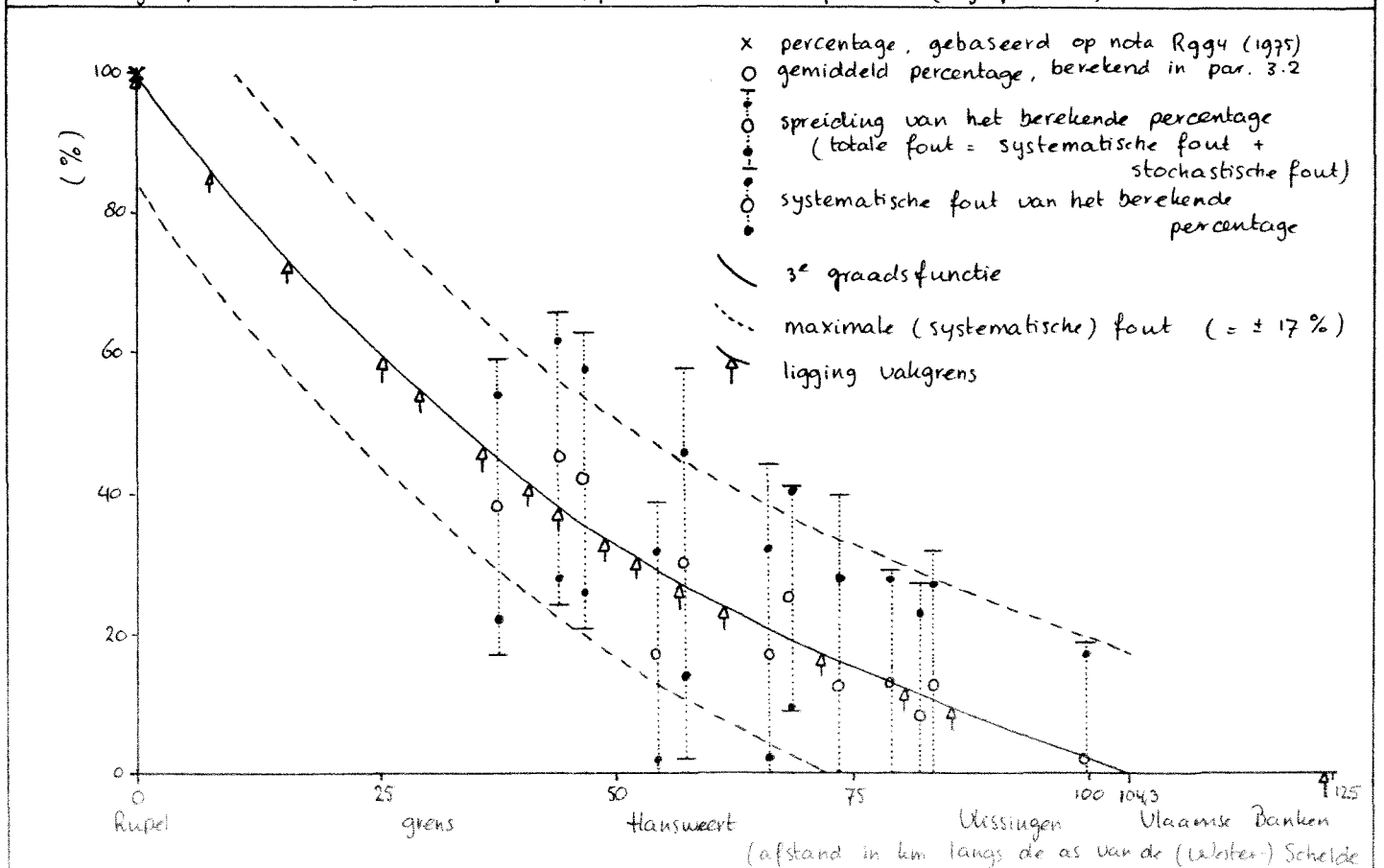
FIGUUR 4



WESTERSCHELDE

percentage fluvieel slib als (3^e graads-)functie van de afstand (vgl. par. 3.3)

FIGUUR 5



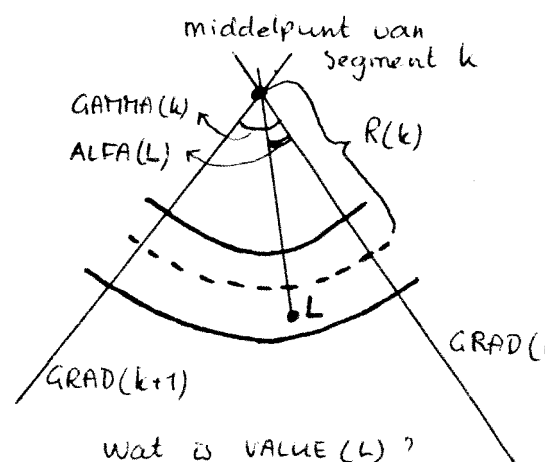
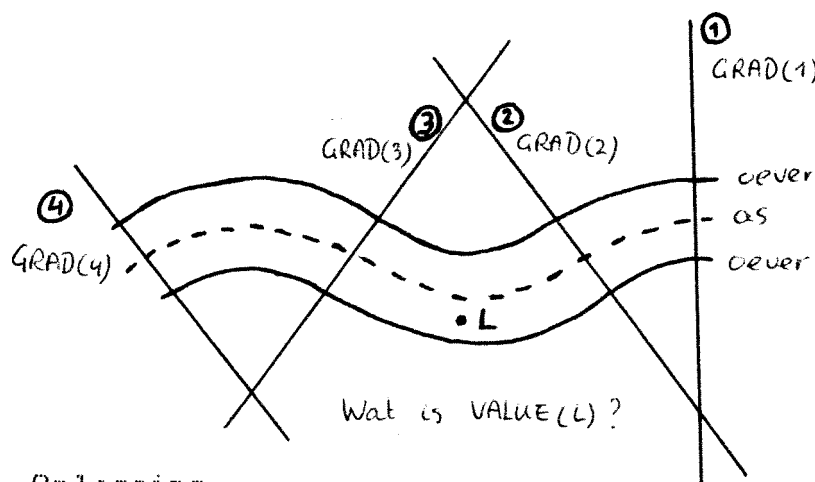
TOELICHTING BIJ HET PROGRAMMA GRAD (HP1000)
PROGHIS.GRADFTN (SPERRY)

februari 1989
wijzigingen april/mei 1989

ineke bams

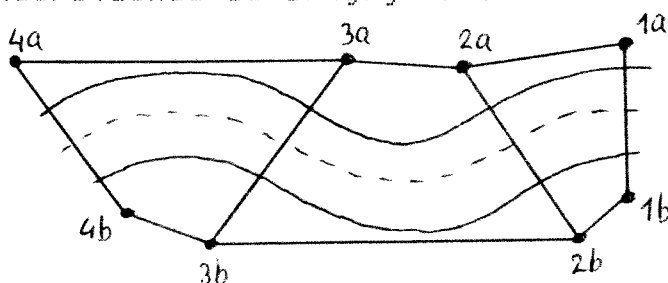
Probleem

Een bepaalde gradiënt over de lengte van een rivier of estuarium is gedefinieerd als de functie van de afstand langs de as van dit watersysteem. Voorbeelden van dergelijke gradiënten zijn het zoutgehalte en het percentage fluviatiel slib in de Westerschelde; deze nemen resp. toe en af van oost naar west. Uitgangspunt is dat de begin- en eindwaarde (en eventueel ook enkele tussenliggende waarden) van deze gradiënt bekend zijn. De vraag is: wat is de waarde van de gradiënt op een willekeurig punt van de rivier of het estuarium?



Oplossing

Dit probleem kan men oplossen door het watersysteem te beschouwen als een reeks opeenvolgende cirkelsegmenten (aantal: NK); de as is dan een reeks aan elkaar gekoppelde cirkelbogen. Allereerst moet bepaald worden in welk cirkelsegment het desbetreffende punt ligt. Hiertoe zijn polygonen (met 4 hoekpunten) gedefinieerd; op elke segmentgrens liggen dan 2 hoekpunten. De polygonen moeten het desbetreffende riviergedeelte geheel omvatten, zoals in het onderstaande is aangegeven.



Als bekend is in welk segment het punt L ligt, kan de gradiëntwaarde op het desbetreffende punt ($VALUE(L)$) bepaald worden. Van het segment K moet bekend zijn (of bepaald worden):

- de waarde van de gradiënt aan het begin van de cirkelboog: $GRAD(K)$
- de waarde van de gradiënt aan het einde van de cirkelboog (= de beginwaarde van de volgende boog): $GRAD(K+1)$

- de hoek van de cirkelboog: GAMMA(K)
 - de hoek tussen punt L dat in dat cirkelsegment ligt, het middelpunt en de eerste segmentgrens: ALFA(L).
- De gradiëntwaarde (VALUE(L)) op punt L is dan:
- $$VALUE(L) = GRAD(K) + (GRAD(K+1) - GRAD(K)) \times ALFA(L) / GAMMA(K)$$
- (de gradiëntwaarde is dan een functie van de middelpuntshoek geworden).

INVOER

Als invoer is nodig:

- een file met segmentgrenzen en gradiëntwaarden.

Voor de segmentgrenzen geldt het volgende:

- * coördinaten in m t.o.v. Parijs
- * 2 punten per lijn, onder elkaar opgegeven
- * de punten moeten opgegeven worden in de richting van de gradiënt, waarbij het eerste punt van de lijn het punt is dat aan de rechter-oever ligt van het watersysteem.

Voor de gradiënt geldt het volgende:

- * bij de berekeningen is ervan uitgegaan dat de gradiënt in een cirkel-segment lineair gecorreleerd is met de afstand over de as (= lineair gecorreleerd met de middelpuntshoek)
- * in elk geval moeten de begin- en eindwaarde voor het gehele watersys-teem opgegeven worden; als de gradiënt niet lineair verloopt, kunnen ook tussenwaarden opgegeven worden.

Het format van de invoerfile moet zijn:

XP YP PAR ICODE
4X,F8.2,3X,F9.2,3X,F5.3,3X,I1

(opm.1: de bekende gradiëntwaarden worden bij het eerste punt van een segmentgrens vermeld

opm.2: als de gradiëntwaarde niet bekend is, wordt niets opgegeven

opm.2: ICODE geeft aan dat de desbetreffende lijn een bekende parame-terwaarde heeft; dit is om te voorkomen dat een opgegeven waar-de 0.00 als 'onbekend' beschouwd wordt; als er een bekende pa-rameterwaarde is opgegeven, dan is ICODE=1; anders krijgt ICODE geen waarde toegekend)

(Zie ook de toegevoegde invoerfile zoals die momenteel geldt voor het bepalen van het percentage fluviaal slib per WAQUA-punt)

- een file met DELWAQ-nummers (matrix-file).

Voor de Westerschelde is dat op de SPERRY de file WAQDELMATFS2.

Methode

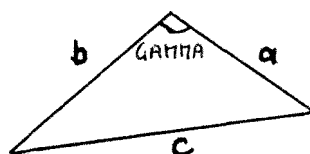
In het programma is opgegeven wat de coördinaten zijn van het snijpunt van de as met de eerst segmentgrens (in WAQUA-coördinaten).

Voor het bepalen van de gradiëntwaarde op het punt L zijn in het program-ma de volgende stappen opgenomen:

- * omrekenen van de coördinaten van de segmentgrenzen naar niet-afgeronde WAQUA-nummers (in het vervolg wordt alleen met WAQUA-coördinaten ge-werkt)

- * berekenen van de regressie-coëfficiënten van elke segmentgrens uit de coördinaten van de opgegeven punten; berekenen van de coördinaten van het middelpunt (= snijpunt van de segmentgrenzen) van segment K
- * berekenen van de straal $R(K)$ uit het middelpunt en de opgegeven of berekende coördinaten van de as met de eerste segmentgrens
- * berekenen van de middelpuntshoek $GAMMA(K)$ m.b.v. de Stelling van Apollonius:

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos(GAMMA(K))$$
 (d.w.z. $GAMMA(K) = \arccos((a^2 + b^2 - c^2) / (2ab))$)



- * berekenen van de coördinaten van de as met de tweede segmentgrens (dit is van belang voor het volgende segment)
- * berekenen van de booglengte van de as tussen de twee segmentgrenzen uit $R(K)$ en $GAMMA(K)$
- * berekenen van de beginwaarde van de gradiënt voor segment K ($GRAD(K)$), voorzover nog niet bekend, en het verschil tussen eind- en beginwaarde $DG(K)$. Dit gebeurt met de som van de booglengtes tussen twee segmentgrenzen waarvan de gradiëntwaarden wel bekend zijn, en het verschil van deze gradiëntwaarden
- * inlezen van de WAQUA-punten en het bepalen van hun coördinaten ('nummers')
- * bepalen in welk segment elk van deze punten ligt (m.b.v. de subroutine INBUIIT van C. Udink)
- * berekenen van $ALFA(L)$ m.b.v. de Stelling van Apollonius en daarmee de gradiëntwaarde op L ($VALUE(L)$) bepalen:

$$VALUE(L) = GRAD(K) + DG(K) * ALFA(L) / GAMMA(K)$$
 (opm.1: de resultaten worden als een fractie weggeschreven, dus met een waarde tussen 0 en 1
 opm.2: elk paar WAQUA-nrs. is representatief voor het 400x400 m hokje dat er rechtsboven van ligt; zowel bij het bepalen van in welk segment een hokje ligt als van de bijbehorende gradiëntwaarde is daarom 0.5 (200 m) bij elk WAQUA-nr. opgeteld)

Wegschrijven resultaten

De resultaten worden weggeschreven naar de volgende files: INUIT, RESULTAAT1 en RESULTAAT2.

De resultaten die gebruikt worden voor verdere verwerking (bijv. het berekenen van de hoeveelheid fluviatiel slib in de bodem), staan in de file RESULTAAT1 (binair weggeschreven, dus niet leesbaar).

Voor controle kunnen INUIT (polygoon-nummers) en RESULTAAT2 (berekende fractie of gehalte) gebruikt worden; deze files schrijven de resultaten weg in matrix-vorm; hiervoor is gebruik gemaakt van de subroutine VORM van R. Kalf.

Toepassing op de Westerschelde

Voor de Westerschelde is een indeling in 41 segmenten gemaakt (dus met 42 segmentgrenzen). Deze zijn aangegeven in fig. 1. Het riviergedeelte is hierbij niet opgenomen. De coördinaten en de percentages fluviaal slib staan in de file /AOME/BAMS/WESTERSCHELDE/KAART/WSSEGMENT1.DAT op de HP1000 en in de file SEGMENTLW. op de SPERRY onder NW3 (zie ook blz. 5). De indeling kan ook getekend worden (met het programma KONMAT); hiervoor kan gebruik gemaakt worden van de file /AOME/BAMS/WESTERSCHELDE/KAART/WSSEG.DAT.

Het programma GRAD is aangepast voor de Westerschelde, nl. de invoerfile WAQDELMATFS2 wordt automatisch aangeroepen. Voor het inlezen van deze file is het aantal rijen (NRIJ) op 64 en het aantal kolommen (NKOL) op 196 gezet. De opgegeven coördinaten van het snijpunt van de as met de eerste segmentgrens zijn: 182.00, 7.35.

file: /AOME/BAMS/WESTERSCHELDE/KAART/WSSEGMENT.DAT

format:

	4X	F8.2	3X	F9.2	3X	F5.3	3X	I1										
1a		76800.00		374867.91		0.461		1	28b		34729.65		376600.00					
1b		69907.89		371000.00					29a		40000.00		392446.33					
2a		75605.89		378633.30					29b		34621.91		376600.00					
2b		69422.01		371000.00					30a		34275.80		388400.00					
3a		73381.76		381100.00		0.411		1	30b		34618.70		376600.00					
3b		69222.84		371000.00					31a		34166.68		388400.00					
4a		69642.97		380250.00		0.380		1	31b		30598.07		373000.00					
4b		69049.06		371000.00					32a		33150.00		388099.50					
5a		68364.59		380250.00					32b		29135.41		377647.37					
5b		68983.50		371000.00					33a		32940.53		388000.00		0.062		1	
6a		66400.00		381486.74		0.338		1	33b		26728.76		378906.81					
6b		62842.93		373000.00					34a		32891.91		388000.00					
7a		64789.10		382000.00					34b		26199.38		379196.19					
7b		63578.50		374800.00					35a		30885.89		388353.30					
8a		64637.56		382000.00					35b		25885.89		379033.30					
8b		60247.83		375140.83					36a		27205.89		389273.30					
9a		64490.26		382000.00		0.309		1	36b		24005.89		379033.30					
9b		58721.11		377084.90					37a		26885.89		389393.30					
10a		63600.00		381729.26					37b		20285.89		377913.30					
10b		58751.13		379542.77					38a		25605.89		391953.30					
11a		65141.38		383957.33					38b		19645.89		377713.30					
11b		58749.21		379596.51					39a		18805.89		395833.30		0.000		1	
12a		63429.79		387000.00					39b		18925.89		377713.30					
12b		57857.79		380000.00					40a		9485.89		394313.30					
13a		58389.49		386501.31		0.269		1	40b		14805.89		375313.30					
13b		57680.51		380000.00					41a		-794.11		384753.30					
14a		54497.03		388178.87					41b		8085.89		372913.30					
14b		57568.23		380000.00					42a		-1514.11		383833.30		0.000		1	
15a		51473.27		387144.94					42b		-514.11		373913.30					
15b		57388.92		380000.00														
16a		51098.93		381072.91														
16b		57483.71		379735.43														
17a		50800.00		380261.36		0.236		1										
17b		56981.13		375818.08														
18a		50821.11		379850.00														
18b		56121.29		374609.70														
19a		50764.81		379850.00														
19b		50286.19		373100.00														
20a		47975.86		383811.16														
20b		50253.97		373100.00														
21a		46599.17		380000.00														
21b		50187.86		373100.00														
22a		46436.87		380003.58		0.166		1										
22b		48498.13		369820.39														
23a		46298.01		380002.79														
23b		44500.00		371470.50														
24a		45989.99		380304.76														
24b		41000.00		371778.50														
25a		44241.56		383999.82														
25b		41000.00		370289.06														
26a		42629.82		381921.56														
26b		37691.60		373000.00														
27a		41755.88		382264.50		0.118		1										
27b		33535.00		373000.00														
28a		42000.00		383347.85														

coördinaten van de segment-
grenzen, met percentages
fluviaal slijb

(opm.: de nummering vóór de
coördinaten staat niet
in de file; deze verwijst
naar het kaartje op
blz. 6)

WESTERSCHELDE

INDELING IN SEGMENTEN

4

