

rijkswaterstaat
dienst getijdewateren
bibliotheek
grenadiersweg 31 -
4338 PG middelburg

inventarisatie en geochemisch gedrag van
zware metalen in de Schelde en Westerschelde

verslag onderzoek

M 1640 / M 1736

december 1981

REL.NR. 368 dd. 15. FEB. 1982

INHOUD

	blz.
1. Inleiding...	1
1.1 Opdracht	1
1.2 Doel van het onderzoek	1
1.3 Verloop van het onderzoek	2
1.4 Samenvatting	3
2. Achtergrondgegevens van de Westerschelde	9
2.1 Hydrologie	9
2.1.1 Geometrische karakteristieken van het estuarium	9
2.1.2 Waterbeweging	10
2.2 Sedimentologie	13
2.2.1 Bodemgesteldheid	13
2.2.2 Sediment in suspensie	15
2.2.3 Aan- en afvoer van sediment	16
2.2.4 Interne sedimenttransporten	18
2.3 Zware metalen en fosfor	21
2.3.1 Transport van zware metalen en fosfor	21
2.3.2 Wijze van voorkomen van zware metalen in sedimenten	21
2.3.3 Gehalten aan zware metalen en fosfor in sedimenten in de Schelde, Westerschelde en aangrenzende gebieden voor 1979	23
2.4 Gedrag van stoffen in estuaria	25
3. Het onderzoek	26
3.1 Monsternamen	26
3.2 Eigenschappen waarop de monsters zijn geanalyseerd	27
3.3 Verwerking resultaten slibanalyses	28
3.3.1 Afgezet slib	28
3.3.2 Zwevend slib	29
4. Resultaten van het onderzoek	29
4.1 Gehalten aan metalen en fosfor in het afgezette slib	29
4.2 Gehalten aan metalen en fosfor in het zwevende slib	34
4.3 Vergelijking tussen de gehalten in het zwevende en afgezette slib	38
4.4 Gehalten in het oppervlaktewater	38
4.5 Vergelijking van de gehalten in het zwevende slib met de opgeloste gehalten	40

	blz.
5. Statistische verwerking van de resultaten	41
→ 6. Balansstudie	49
7. Conclusies en aanbevelingen	55
7.1 Algemene conclusies	55
7.2 Conclusies betrekking hebbende op deelaspecten	56
7.3 Aanbevelingen	57

REFERENTIES

FIGUREN

BIJLAGEN

TABELLEN

- 1 Gehalten bij 50% < 16 μm in afgezet slib genomen tussen Rupelmonde en Antwerpen en ter hoogte van Vlissingen
- 2 Gemiddelde opgeloste gehalten ter hoogte van Rupelmonde en Vlissingen
- 3 Totaal gehalte en opgelost gehalte in % van totaal gehalte op de lokaties Rupelmonde en Vlissingen
- 4 Zeer globale schatting van de hoeveelheid per jaar gesedimenteerd slib, metalen en fosfor in tonnen/jaar in het Belgische en Nederlandse deel van het Schelde-estuarium op basis van de monstertocht in september 1979
- 5 Karakteristieke gegevens Westerschelde -estuarium
- 6 Getijgegevens Westerschelde-estuarium
- 7 Waterafvoer, slibafvoer en hoeveelheid in suspensie getransporteerd metaal van, resp. door enkele Westeuropese rivieren
- 8 Overzicht van de metaal- en fosforgehalten in afgezette sedimenten voorafgaande aan het huidige onderzoekprogramma (bij 50% < 16 μm)
- 9 Gemiddelde gehalten in afgezet slib van het Schelde-estuarium (1979)
- 10 Gemiddelde gehalten in afgezet slib van het Schelde-estuarium (1974)
- 11 Gemiddelde gehalten in het zwevende slib
- 12 Gehalten in het zwevende slib in procenten van de gehalten in het afgezette slib, bemonsterd tussen de Rupel en Antwerpen.
- 13 Gehalten aan metalen en fosfor in het zwevende slib uitgedrukt in % van de gehalten in het afgezette slib
- 14 Correlatiematrix zwevend slib
- 15 Factormatrix zwevend slib
- 16 Correlatiematrix oppervlaktewater
- 17 Factormatrix oppervlaktewater
- 18 Factormatrix zwevend slib + oppervlaktewater
- 19 Berekende gemiddelde gehalten in het afgezette slib

FIGUREN

1. Geulenpatroon in Westerschelde
2. Maandelijks gemiddelde afvoer Schelde periode 1949-1973
3. Verband tussen getijvolume en dwarsprofiel
4. Longitudinale zoutverdeling in Scheldeestuarium
5. Zwevend slibgehalte als functie van de afstand
6. Korrelverdeling van zwevend sediment
7. Transport van metalen door de Rijn (Lobith) en de Maas (Eijsden)
8. De samenstelling van slib als functie van het percentage $<16 \mu\text{m}$
9. Wijze van voorkomen van metalen in sedimenten
10. Verloop van de metaal- en fosforgehalten in afgezet slib als functie van de afstand.
11. Effect van verwijdering en mobilisatie op theoretische mengverhouding rivier- en zeewater
12. Monsterpunten bodemslib
13. Monsterpunten zwevend slib en oppervlaktewater
14. Verband tussen het Zn- en Cu-gehalte en het % $<16 \mu\text{m}$ in afgezet slib
15. Verband tussen het Cr- en Pb-gehalte en het % $<16 \mu\text{m}$ in afgezet slib
16. Verband tussen het Cd- en Ni-gehalte en het % $<16 \mu\text{m}$ in afgezet slib
17. Verband tussen het Hg- en As-gehalte en het % $<16 \mu\text{m}$ in afgezet slib
18. Verband tussen het fosforgehalte en het % $<16 \mu\text{m}$ in afgezet slib
19. Cd- en P-gehalten in afgezet slib van de Sloehaven
20. Gehalten aan metalen en fosfor in afgezet slib bij 50% $<16 \mu\text{m}$ als functie van de afstand
21. Gehalten aan metalen en fosfor in afgezet slib in 1979 uitgedrukt in % van de gehalten in 1974
22. Verband tussen het Zn-, Cu-, Cr- en Pb-gehalte en het % zeeslib in zwevend slib
23. Verband tussen het Cd-, Ni-, Hg- en As-gehalte en het % zeeslib in zwevend slib
24. Verband tussen het Fe-, Mn-, P- en Al-gehalte en het % zeeslib in zwevend slib
25. Verband tussen het Zn-, Cu-, Pb- en Cd-gehalte en de saliniteit in oppervlaktewater
26. Verband tussen het Ni-, Fe-, Mn- en O-PO_4 -gehalte en de saliniteit in oppervlaktewater
27. Verband tussen pH, O_2^- , Si en slibgehalte en de saliniteit in oppervlakte-water

28. Verband tussen % zeeslib in zwevend slib en de saliniteit
29. Verband tussen het Zn-, Cu-, Cr- en Pb-gehalte in zwevend slib en de saliniteit
30. Verband tussen het Cd-, Ni-, Hg- en As-gehalte in zwevend slib en de saliniteit
31. Verband tussen het Fe-, Mn-, P- en Al-gehalte in zwevend slib en de saliniteit
- 32,
33. Massabalans in tonnen/jaar
34. Verband tussen het Zn- en P-gehalte en het Al-gehalte in afgezet slib in vergelijking met zwevend slib (locatie Rupelmonding)

BIJLAGEN

- 1 Analysemethoden
- 2 Resultaten van de analyses in de afzonderlijke monsters van het afgezette slib
- 3 Resultaten berekeningen verband tussen metaal- en fosforgehalten en % < 16 μm in afgezet slib
- 4 Resultaten van de analyses in de afzonderlijke monsters van het zwevende slib
- 5 Resultaten van de analyses in de afzonderlijke monsters van het oppervlaktewater
- 6 Basisformules statistische bewerkingen

INVENTARISATIE EN GEOCHEMISCH GEDRAG VAN ZWARE METALEN IN DE SCHELDE EN WESTERSCHELDE

1. Inleiding

1.1 Opdracht

Op 30 maart 1978 stuurde het Rijksinstituut voor Zuivering van Afvalwater (RIZA) een brief naar het Waterloopkundig Laboratorium (WL), kenmerk EU/3927 met als onderwerp : onderzoek naar het voorkomen van zware metalen in slib uit de Westerschelde. Naar aanleiding hiervan vond op 21 april 1978 te Lelystad een bespreking plaats tussen ir. L.J. Gilde en drs. P. Frintrop van het RIZA en ir. E. Allersma en dr. W. Salomons van het WL over vervolgonderzoek naar de zware metaalbelasting van afgezet slib in de Schelde en Westerschelde alsmede onderzoek naar de zware metaalbelasting van afgezet slib in het kanaal Gent-Terneuzen. In een brief, kenmerk V4134/LV1022/1023/Sal/gv d.d. 14 juni 1978 is door het WL een voorstel tot onderzoek van 192 slibmonsters gedaan. De opdracht tot het uitvoeren van het onderzoek werd gegeven in 1979, RIZA overeenkomst nr. 27.

Op 13 augustus 1979 vond te Lelystad een gesprek plaats tussen ir. L.J. Gilde van het RIZA en dr. W. Salomons en ir. H.N. Kerdijk van het WL over de monstername van de afgezette sedimenten. Tijdens dit gesprek kwam de wenselijkheid naar voren om het onderzoek aan te vullen met een bemonstering van het zwevende slib. Een onderzoekvoorstel hiertoe is door het WL ingediend op 27 augustus 1979 per brief, kenmerk V6150/LV1172/Sa/Mo. De opdracht voor dit onderzoek werd gegeven op 14 juli 1980 per brief, kenmerk Hod/7543.

Op 15 april 1980 werd per brief, kenmerk V3733/M1640/Sal/gv, aan het RIZA een aanvullende begroting toegezonden.

Het onderzoek stond onder leiding van dr. W. Salomons van de vestiging Haren van het WL. Tezamen met ir. W.D. Eysink van de vestiging "de Voorst" en ir. H.N. Kerdijk van de vestiging Haren stelde hij het rapport samen.

1.2 Doel van het onderzoek

In 1974 is door het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid (IB) in samenwerking met het WL in opdracht van het RIZA onderzoek gedaan naar de metaalbelasting van het afgezette slib in de Schelde en de Westerschelde. De resultaten van dit onderzoek

zijn vervat in rapport R994 (23). In september 1977 heeft het RIZA zelf een beperkt slibonderzoek uitgevoerd. De resultaten van dit onderzoek wekten de indruk dat ten opzichte van 1974 een daling in de zware metaalgehalten was opgetreden. Een goede vergelijking was niet mogelijk omdat op sommige monsterlocaties een te smal spectrum in de korrelgrootteverdeling was gevonden. Doel van het in 1979 uitgevoerde uitgebreide onderzoek is enerzijds geweest om de indruk van een daling in de gehalten éénduidig vast te stellen en anderzijds om te voldoen aan de afspraken die in het kader van de konventie van Parijs zijn gemaakt.

Tevens is het afgezette slib in het kanaal Gent-Terneuzen onderzocht om een indruk te krijgen van de metaalniveaus in dit kanaal.

Om de inzichten te verkrijgen in de processen die de metaalgehalten in het Scheldeestuarium bepalen, respectievelijk deze inzichten te verdiepen is onderzoek verricht naar de gehalten in het zwevende slib.

1.3 Verloop van het onderzoek

Op 13 augustus 1979 werd te Lelystad in een gesprek met ir. L.J. Gilde en dhr. J.R. Huisman het bemonsteringsprogramma voor het afgezette en zwevende slib doorgesproken. Er zouden 24 afgezette slibmonsters worden genomen in het kanaal Gent-Terneuzen. In de Schelde en Westerschelde werden 14 lokaties vastgesteld, waarvan 6 op Belgisch gebied, 5 aan de zuidzijde van de Westerschelde en 3 aan de noordkant. Op elke lokatie werden 12 monsters gepland; totaal aantal monsters derhalve 192. In het kader van een parallel lopend onderzoek (M1650) naar de invloed van een gipslozing ter hoogte van Terneuzen op de gehalten aan zware metalen en fosfor in zwevend en afgezet slib in de Westerschelde (24) zouden 20 bodemmonsters worden genomen.

Voorgenomen werd op 7 ankerstations gedurende één getijcyclus 13 zwevende slib- en oppervlaktewatermonsters per station te nemen, waarvan twee stations ter ondersteuning van bovengenoemd onderzoek M1650.

De bemonstering vond plaats in september 1979 vanaf het schip "de Kamps". Op 3 ankerstations in de Schelde werd op 1,5 m van het lucht-water grensvlak, maar ook op 1,5 m van de bodem zwevend slib verzameld. Aan boord van "de Kamps" werden in het oppervlaktewater de pH, temperatuur, saliniteit, zuurstofgehalte en

zwevend slibgehalte bepaald.

Na onderzoek van de afgezette slibmonsters op korrelgrootteverdeling bleek, dat op een aantal lokaties in een aantal monsters de korrelgrootteverdeling vrijwel identiek was. Aangezien het te verwachten viel dat bij gelijke korrelgrootteverdeling van monsters van één lokatie het metaal- en fosforgehalte zeer weinig zou verschillen zijn 132 van de 192 verzamelde monsters geanalyseerd. Dit werd besloten tijdens een bespreking van de eerste resultaten van het onderzoek op 3 maart 1980 tussen ir. L.J. Gilde van het RIZA en ir. H.N. Kerdijs en dhr. H. Wijkstra van het WL,

Naar aanleiding van dezelfde bespreking is op 19 maart 1980 tussen ir. L.J. Gilde van het RIZA en ir. E. Allersma van het WL telefonisch afgesproken dat er een interimrapport zou worden uitgebracht, waarin de resultaten van de analyses in het afgezette slib van het kanaal Gent-Terneuzen zouden worden gepresenteerd. Dit interimrapport werd in juni 1980 aan het RIZA toegezonden.

Op 10 november 1980 werden schriftelijk de belangrijkste resultaten van het onderzoek naar de gehalten aan metalen en fosfor in afgezet slib, zwevend slib en oppervlaktewater in de Schelde en Westerschelde aan ir. C. Venema van het RIZA toegezonden, alsmede een eerste interpretatie van de resultaten. Een bespreking van deze resultaten vond plaats te Lelystad op 23 december 1980. Bij deze gelegenheid werd besloten de rapportage voornamelijk af te stemmen op het Nederlandse deel van het estuarium, en slechts beperkte aandacht te geven aan het Belgische deel.

1.4 Samenvatting

In september 1979 zijn op een 16-tal lokaties in de Schelde en Westerschelde 192 afgezette slibmonsters verzameld. Na een selectie op korrelgrootte zijn hiervan 132 monsters geanalyseerd op metalen en fosfor. In dezelfde maand zijn op een 8-tal ankerstations gedurende één getijcyclus per station 13 zwevende slib en oppervlaktewatermonsters verzameld op 1,5 m diepte. Op 3 ankerstations in het lage saliniteitsgebied zijn tevens op 1,5 m van de bodem in totaal 39 zwevende slibmonsters genomen. Vrijwel alle zwevende slibmonsters zijn geanalyseerd op metalen en fosfor, behalve op Hg en As. Deze twee elementen zijn in 66 monsters

geanalyseerd. In het kader van het eigen onderzoek van het WL, bedoeld als aanvulling op het onderzoek, dat in 1978 in samenwerking met de Rijksuniversiteit Groningen, Technische Hogeschool Delft, Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee en de Vrije Universiteit van Brussel werd uitgevoerd, zijn aanvullende analyses verricht:

- bepaling van de verhouding rivier- : zeeslib in 67 zwevende slibmonsters
- bepaling van de gehalten aan Zn, Cu, Pb, Cd, Ni, Fe, Mn, $O-PO_4$ en Si in oppervlaktewater

De voor korrelgrootte variatie gecorrigeerde gehalten aan metalen en fosfor in afgezet slib genomen tussen Rupelmonde en Antwerpen en in slib genomen ter hoogte van Vlissingen in 1979 en 1974 zijn vermeld in tabel 1.

jaar	Rupelmonde-Antwerpen		Vlissingen		
	1979	1974	1979	1974	
Zn	$\mu\text{g/g}$	993	1534	169	182
Cu	$\mu\text{g/g}$	177	195	28	29
Cr	$\mu\text{g/g}$	289	514	101	99
Pb	$\mu\text{g/g}$	259	258	46	65
Cd	$\mu\text{g/g}$	34,8	37,2	2,0	1,2
Ni	$\mu\text{g/g}$	59,6	70,9	25,7	24,0
Hg	$\mu\text{g/g}$	2,96	3,76	0,49	0,67
As	$\mu\text{g/g}$	93,8	84	21,4	18
Fe	%	4,45		2,83	
Mn	$\mu\text{g/g}$	706		644	
P	%	0,485	0,529	0,125	0,107
Al	%	3,75		3,10	

Tabel 1. Gehalten bij $50\% < 16 \mu\text{m}$ in afgezet slib genomen tussen Rupelmonde en Antwerpen en ter hoogte van Vlissingen

De resultaten doen vermoeden dat t.o.v. 1974 de gehalten aan Zn, Cr, Ni en Hg zijn gedaald en het gehalte aan As is gestegen in slib aangevoerd door de rivier, terwijl in het slib aangevoerd vanuit zee de gehalten aan Pb en Hg zijn gedaald, en die aan Cd, As en P zijn gestegen. Waarschijnlijk als gevolg van plaatselijke lozingen vertonen de monsters genomen ter hoogte van Doel en Boudewijnsluizen verhoogde kwikgehalten en de monsters uit de Sloehaven van Vlissingen verhoogde gehalten aan Cd en P.

De gehalten aan metalen en fosfor in het zwevende slib liggen op vergelijkbare lokaties op een hoger niveau dan de gehalten in afgezet slib. Vooral voor Cu op alle lokaties en voor P in het lage saliniteitsgebied is het verschil groot. Het verschil is ten dele te verklaren uit een verschil in korrelgrootte tussen afgezet slib (grovere korrels) en zwevend slib (fijnere korrels). In de zwevende slibmonsters genomen ter hoogte van Hoboken zijn de gehalten aan Cu en Pb hoger en de gehalten aan Zn en Ni lager dan in zwevend slib verzameld ter hoogte van Rupelmonde. Dit doet vermoeden dat door de Rupel meer met Cu en Pb en minder met Zn en Ni belast slib wordt aangevoerd dan door de Schelde.

De gehalten aan Cu en P in het zwevend slib genomen op 1,5 m diepte zijn veel hoger dan die in slib genomen op 1,5 m van de bodem. Mogelijk is de bijdrage van minder met Cu en P belast afgezet slib aan laatstgenoemde monsters hiervoor verantwoordelijk.

De metaal- en fosforgehalten in de afgezette en zwevende slibmonsters nemen m.u.v. mangaan af in zeewaartse richting. Dit is een gevolg van het mengingsproces van sterk met metalen en fosfor belast rivierslib en minder belast zeeslib, waarbij in zeewaartse richting het percentage zeeslib toeneemt. Dit mengingsproces bepaalt voor het grootste deel de gehalten in het slib. Daarnaast spelen precipitatie- en mobilisatieprocessen een rol. Omdat het transport overwegend in de vaste fase plaats vindt geeft een geringe precipitatie of mobilisatie reeds een grote verandering in de opgeloste gehalten (de gehalten in monsters gefiltreerd over een 0,45 μm filter). Fe en P en mogelijk As precipiteren bij een saliniteit van ongeveer 4 ‰. Zn en Ni worden gemobiliseerd tussen 8 en 12 ‰ en Cu, Pb, Cd, Hg en As tussen 20 en 24 ‰ saliniteit. Mn gaat in oplossing rond 4-8 ‰ en verdwijnt weer uit de oplossing rond 18 ‰ saliniteit. Deze verschijnselen zijn waarschijnlijk een gevolg van veranderingen in chemische evenwichten ten gevolge van ondermeer veranderingen in pH en/of O_2 -gehalte. Tussen 0 en 12 ‰ saliniteit moet de Schelde als een anaerobe rivier worden beschouwd. Vanaf 20 ‰ saliniteit bereikt het O_2 -gehalte waarden zoals deze voorkomen op de Noordzee. Tussen 0 en

14⁰/₀₀ saliniteit daalt de pH van 7,5 tot iets beneden de 7,2 om daarna snel op te lopen tot 8. In het kader van dit onderzoek, waar de nadruk lag op inventarisatie, was het niet mogelijk om aan deze verschijnselen, die vooral op Belgisch gebied plaats vonden uitgebreid aandacht te besteden. In tabel 2 zijn de gemiddelde opgeloste gehalten in de monsters verzameld t.h.v. Rupelmonde en Vlissingen vermeld. Overwegend het grootste deel van de metalen en fosfor wordt in vaste vorm getransporteerd. Het procentuele aandeel van het opgeloste gehalte in het totale gehalte (opgelost + zwevend) alsmede het totaalgehalte op de lokaties Rupelmonde en Vlissingen zijn weergegeven in tabel 3.

		Rupelmonde	Vlissingen
pH		7,39	7,99
O ₂	mg/l	< 0,1	9,4
saliniteit	‰	2,3	28,9
slibgehalte	mg/l	166	42
Zn	µg/l	7,6	3,9
Cu	µg/l	0,3	1,1
Pb	µg/l	1,3	1,4
Cd	µg/l	0,15	0,14
Ni	µg/l	12	0,8
Fe	mg/l	0,23	< 0,01
Mn	mg/l	0,31	< 0,02
o-PO ₄	mgP/l	2,0	0,09
Si	mg/l	7,7	0,2
temperatuur	°C	17,1	15,7

Tabel 2. Gemiddelde opgeloste gehalten ter hoogte van Rupelmonde en Vlissingen

Het verschil in het procentuele aandeel van het opgeloste in het totale gehalte op deze lokaties wordt veroorzaakt door een verschil in zwevend slibconcentratie (zie tabel 2), een verschil in de opgeloste gehalten (zie tabel 2) en een verschil in de gehalten aan metalen en fosfor in het zwevende slib (te Vlissingen lager dan te Rupelmonde, uitgezonderd voor mangaan).

Met behulp van de resultaten van de analyses in het zwevende slib en het oppervlaktewater zijn balansberekeningen uitgevoerd.

Rupelmonde		Vlissingen	
totaal gehalte in µg/l	opgelost gehalte in % van totaal gehalte	totaal gehalte in µg/l	opgelost gehalte in % van totaal gehalte
Zn	247	3	13
Cu	53	1	3,0
Pb	55	2	4,6
Cd	8,3	2	0,24
Ni	26	46	2,0
Fe	9675	2	< 1220
Mn	441	70	< 64
P	3480	57	154

Tabel 3. Totaal gehalte en opgelost gehalte in % van totaal gehalte op de lokaties Rupelmonde en Vlissingen

In tabel 4 zijn schattingen gegeven van de hoeveelheden slib, metaal en fosfor die per jaar in het Belgische gebied van het estuarium vanaf Rupelmonde en in het Nederlandse gebied tot Vlissingen sedimenteren. Deze getallen moeten als een indicatie worden gezien voor de werkelijkheid, daar de aannamen die voor de berekeningen zijn gedaan geen exacte cijfers konden opleveren. Bovendien zijn de schattingen gebaseerd op één monstertocht.

	Sedimentatie in tonnen/jaar Belgisch gebied	Sedimentatie in tonnen/jaar Nederlands gebied
slib	660.000	970.000
Zn	755	405
Cu	185	91
Cr	199	142
Pb	200	127
Cd	23,8	19,2
Ni	38,4	36,5
Hg	2,3	1,7
As	70	54
Fe	39.520	36.990
Mn	650	1.230
P	6.530	*)

Tabel 4. Zeer globale schatting van de hoeveelheid per jaar gesedimenteerd slib, metalen en fosfor in tonnen/jaar in het Belgische en Nederlandse deel van het Scheldeestuarium op basis van de monstertocht in september 1979

*) Er bestond geen overeenstemming tussen het P-gehalte in het zwevende slib en het opgeloste gehalte in het hoge saliniteitsgebied, zodat voor de hoeveelheid gesedimenteerd P in het Nederlandse deel van het estuarium geen schatting kon worden gegeven.

2. Achtergrondgegevens van de Westerschelde

2.1 Hydrologie

2.1.1 Geometrische karakteristieken van het estuarium

De mond van de Westerschelde verloopt van de Noordzee tot iets voor de lijn Vlissingen-Breskens sterk trechtervormig. In dit gebied ligt de buitendelta van het estuarium met daarin twee belangrijke geulen, waarvan de zuidelijkste de grootste is (Fig. 1).

Achter de vernauwing van de mond, in de keel van het estuarium, is kilometer 0 gedefinieerd. Vanaf dit punt tot aan de Nederlands-Belgische grens (km 54-57) heeft het estuarium een karakter van een waddegebied. Bij hoogwater staat dit gebied vrijwel geheel onder water, behoudens enkele begroeide buitendijkse gebieden, zoals de schorren in het Verdrongen Land van Saeftinge.

De breedte van het estuarium varieert in dit traject dan tussen ca. 3 km. en 8 km. Bij laag water komen de platen en slikken boven water, waarmee een groot deel van dit gebied droog valt; slechts de geulen voeren dan nog water.

Het geulenstelsel in dit deel en in de mond van het estuarium bestaat uit eb-^{geulen} en vloedscharen waardoor met het getij het water wordt af- en aangevoerd. Het geulenstelsel is sterk vertakt en de hoofdgeulen snijden diep in de zandige bodem. De grootte van de geulen hangt in belangrijke mate af van de hoeveelheid water die per getij moet worden verwerkt (eb- en vloedvolumina). Deze hoeveelheden worden vooral bepaald door het getijverschil en het kombergend oppervlak achter een bepaalde geuldoorsnede; de grootte van de geulen neemt derhalve van buiten naar binnen toe af. De ebscharen zijn, als gevolg van de tijdens eb meer in de geulen geconcentreerde stroming dan tijdens vloed, dieper dan de vloedscharen.

Plaatselijk is dit nog door de mens versterkt door het ^{in de ebscharen} wegbaggeren van drempels ten behoeve van de scheepvaartgeul voor zeeschepen met bestemming Antwerpen. Door de beweeglijkheid van de zandige bodem is permanent onderhoud van deze geul nodig. In 1978 werd $13,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ aan onderhoudsbaggerspecie uit de scheepvaartgeul naar de haven van Antwerpen gezogen.

Vanaf de Nederlands-Belgische grens, treedt een plotselinge vernauwing van het estuarium op en gaat deze over in de rivier de Schelde. De Schelde, die in de mond (op km 54-57) nog vrij breed is, heeft tot het bovenstroomse deel van de haven van Antwerpen (ca. km. 80) nog een trechtervorm en gaat daarna over in een min of meer prismatisch profiel.

In tabel 5 zijn enige karakteristieke gegevens van de Westerschelde samengevat.

2.1.2 Waterbeweging

Verticaal getij

De waterbeweging in de Westerschelde wordt overwegend bepaald door het getij dat vanaf de Noordzee het estuarium binnendringt. De getijverschillen zijn voor Nederlandse begrippen groot; het gemiddelde getijverschil bedraagt bij Vlissingen 3,86 m en loopt naar binnen toe op tot ca. 5 m bij Hemiksem, iets bovenstrooms van Antwerpen, om vervolgens weer langzaam af te nemen (zie tabel 6).

Getijvolumina en rivierafvoer

Elk getij stromen er grote hoeveelheden water in en weer uit het estuarium. De gemiddelde hoeveelheid die per getij bij Vlissingen in- en weer uit stroomt, het gemiddelde getijvolume, bedraagt ca. 1 km^3 . Naarmate de beschouwde dwarsdoorsnede meer landinwaarts ligt is het achterliggende kombergingsgebied kleiner en neemt dus het getijvolume, dat deze doorsnede passeert, af. Vergelijking van deze watermassa's met de hoeveelheid zoet water die de Schelde (gemiddelde per maand) in een getijperiode kan afvoeren illustreert duidelijk de overheersende rol van het getij op de waterbeweging in de Westerschelde (tabel 5). De rivier de Schelde is een betrekkelijk kleine rivier, die wordt gevoed door regenwater. De afvoer, die aanzienlijk in de tijd kan variëren, vertoont een duidelijke seizoensafhankelijkheid (fig 2). Uit waarnemingen van 1949 t/m 1978 te Schelle, net benedenstrooms van de mond van de Rupel, blijkt dat de jaarlijkse afvoer varieerde van 1,4 tot $6,5 \text{ km}^3/\text{j}$ met een gemiddelde van $3,2 \text{ km}^3/\text{j}$ ($100 \text{ m}^3/\text{s}$).

Stroomsnelheden

X De stroomsnelheden in de Westerschelde variëren met het getij en bereiken in de geulen snelheden die zowel bij eb als bij vloed maximaal in de orde van $1,5 \text{ à } 1,7 \text{ m/s}$ bedragen. Dit geldt tot voorbij Antwerpen en is mogelijk doordat met het afnemen van het getijvolume ook het dwarsprofiel afneemt. In de Waddenzee bleek een lineair verband te bestaan tussen het getijvolume en het oppervlak van het dwarsprofiel van de geul beneden gemiddeld laagwater, terwijl er tevens een zekere relatie bleek te bestaan tussen het getijvolume en de gemiddelde diepte van de geul (1,2). Ook in de nog betrekkelijk ongestoorde Westerschelde blijkt een dergelijke relatie tussen getijvolume en dwarsprofiel te bestaan (zie Fig.3), waarmee de geringe verschillen in de stroomsnelheden in de verschillende geulen kunnen worden verklaard.

*Samenvatting van de gegevens van de
W.S. getij eb en vloed profiel.*

Gebied	Buitendelta	Vlissingen-grens	Grens-Rupelmonde
lengte (langs vaarweg, km) ca.	35	ca. 55	ca. 38
oppervlak (km ²)			
- buitendijks		330	
- onder GHW		310	
- onder NAP	ca. 650	250	25,5
- onder GLW		210	
inhoud onder NAP (km ³)	ca. 6	2,52	0,20
gem. vloedvolume (km ³)		1,05	0,12

Gemiddelde bovenafvoer van de Schelde gebaseerd op maandgemiddelde over de periode 1949-1973:

- per jaar	: 3,2	km ³
- per getij	: 4,5.10 ⁻³	km ³
- per getij in februari	: 8,0.10 ⁻³	km ³
- per getij in juli	: 2,1.10 ⁻³	km ³

Tabel 5. Karakteristieke gegevens Westerschelde-estuarium

Plaats	GHW (m t.o.v. NAP)	GLW (m t.o.v. NAP)	Gem. tijverschil (m)	Gem. Vloedvolume ¹⁾ (10 ⁶ m ³)
Cadzand	1,905	-1,80	3,705	
Vlissingen	1,99	-1,87	3,86	1050
Terneuzen	2,24	-1,97	4,21	700
Hansweert	2,33	-2,155	4,485	400
Bath	2,635	-2,14	4,775	165
Zandvliet	2,705	-2,15	4,855	110
Antwerpen				60
Hemiksem			ca. 5 ¹⁾	
Rupelmonde				40
Gentbrugge			ca. 2 ¹⁾	

Waterstanden gebaseerd op gegevens RWS van 1975 (22)

¹⁾Uit (9).

Tabel 6. Getijgegevens Westerschelde-estuarium

Reststromen

X Als gevolg van de geometrie van het estuarium en de massastraagheid van stromend water zal het instromende water anders over de verschillende geulen worden verdeeld dan het uitstromende water. Hierdoor kunnen de geulen veelal worden onderscheiden in eb-^{geulen} en vloedscharen die over de getijperiode een overschot vertonen respectievelijk in uitstroming en instroming. Dit impliceert dat gemiddeld over het getij geringe reststromen optreden. Hierdoor zal de waterbeweging niet alleen bestaan uit een heen en weer gaande beweging, maar zullen resulterende (langzaam draaiende) horizontale circulatiestromen om platen of zelfs binnen brede geulen optreden, zoals ook in de Waddenzee zijn waargenomen (3,4,5).

Dichtheidsstromen

In de Westerschelde, maar vooral in de benedenloop van de Schelde (6) komen zout zeewater en zoet rivierwater samen en worden gemengd. De getijbeweging in de Westerschelde is dusdanig overheersend ten opzichte van de bovenafvoer dat een volledige menging over de waterdiepte plaats vindt. Er treden dan ook geen belangrijke dichtheidsverschillen in de vertikaal op en derhalve geen duidelijk aantoonbare dichtheidsstromen. Enige invloed van de longitudinale dichtheidsgradiënten (Fig. 4) op het stroombeeld is er echter wel. In stilstaand water wil zwaarder water zich langs de bodem onder aangrenzend lichter water dringen, waarbij het verplaatste zwaardere water aan het oppervlak door een gelijke hoeveelheid lichter water wordt vervangen. Dit mechanisme van uitwisselingsstromen door dichtheidsverschillen, ook wel dichtheidsstromen genoemd, leidt in stromend water tot vervorming van de min of meer logaritmische snelheidsprofielen die optreden in homogeen water. Dit verschijnsel leidt tot een min of meer buigig snelheidsprofiel tijdens vloed en een min of meer driehoekig profiel tijdens eb, zoals geschetst door Postma (7) en zoals uit waarnemingen is gevonden (8,9). Op deze wijze blijken er dus ook (langzaam draaiende) resulterende verticale circulatiestromingen in het estuarium plaats te vinden.

Invloed van wind op waterbeweging

De invloed van wind op de waterbeweging is in het algemeen gering. Bij krachtige of stormachtige winden kan, afhankelijk van de windrichting, aanzienlijke op- of afwaaiing plaats vinden waardoor incidenteel een grote hoeveelheid water het estuarium in- en weer uitstroomt (of andersom). Als gevolg van dit verschijnsel kunnen waterstandsverhogingen van ca. 2,5 m (extreem, 1953) optreden of verlagingen van ca. 1,5 m (extreem, 1956). Als gevolg hiervan wordt dan ca. 0,8 km³ water extra in de Westerschelde geborgen of is ca. 0,3 km³ extra water uit het

estuarium gestroomd. Gezien de grote (extra) waterverplaatsing kunnen deze verschijnselen, in het bijzonder de opwaaiing, een belangrijke invloed hebben op de sedimentologische verschijnselen in de Westerschelde; vooral in combinatie met de in dergelijke situaties gegenereerde golven die op ondiepe plaatsen veel sediment kunnen opwoelen.

2.2 Sedimentologie

2.2.1 Bodemgesteldheid

De bodem van de Westerschelde bestaat voor het overgrote deel uit zand. In het oostelijke deel van de Westerschelde blijkt het zandpercentage van het bodemoppervlak (anorganische stof groter dan 16 μm) overwegend rond de 95 % te liggen (10). De overige 5 % bestaat uit kalkdeeltjes (orde 3,5 à 4 %), slib (anorganische stof kleiner dan 16 μm ; ca. 0,5 %) en humus (organische stof; ca. 0,5 à 1 %).

Door het voorkomen van fossiele schelpconcentraties kunnen lokaal aanzienlijk hogere kalkgehalten in de bodem voorkomen, die zelfs op kunnen lopen tot meer dan 40 %. Hoge kalkgehalten kunnen zowel voorkomen in de diepe geulen (fossiele schelpafzettingen) als op slikkige platen en oevers (fossiele resten van daar levende schaaldieren).

Het humusgehalte in de bodem van het oostelijk deel van de Westerschelde blijkt slechts zelden meer dan 2 % te bedragen. Deze plekken vallen steeds samen met slibrijke plaatsen. Slechts bij de oevers bij Baalhoek en de radartoren Waarde komen plaatsen voor met humusgehalten van meer dan 50% respectievelijk 35%.

Het slibgehalte in de bodem van het oostelijk deel van de Westerschelde is slechts in beperkte gebieden groter dan 3%. In de ligging van de gebieden met hoge tot zeer hoge slibgehalten valt een duidelijke overeenkomst op te merken met die van de hogere humusgehalten. Deze gebieden komen voor op tegen golfslag beschermd liggende plaatsen langs de oevers (schorren en slikken; o.a. platen van Hulst, rechter oever van het Middellgat, schor van Baalhoek en het Verdronken Land van Saeftinge) en op platen (o.a. de slikkige delen van de Molenplaat, de Rug van Baarland en de Ballastplaat). Ook op enkele plaatsen in diepere geulen (Middellgat en Appelzak) komt veel slib voor alsmede in de gebaggerde vaargeulen tussen Bath en Zandvliet. De aanslibbing van de Appelzak is mogelijk het gevolg van het aanbrengen van de leidam, waardoor de Appelzak minder water is gaan verwerken.

De mediaan van de zandfracties blijkt in het oostelijk deel van de Westerschelde overwegend binnen de fractie van 105 μm tot 210 μm te liggen. In een aanzienlijk deel van het platengebied ligt de mediaan zelfs tussen 105 μm en 150 μm (10). Langs de vooroevers en de oevers is het bodemmateriaal op verschillende plaatsen nog fijner, als ook in het ondiepe noordelijk deel van het Middellgat ter hoogte van de Kapellebank. In de diepere delen van de hoofdgeulen, behalve in het Middellgat worden aanzienlijk hogere waarden voor de mediaan van het zand aangetroffen. Tot aan de veerhaven van Kruiningen blijkt het zand op de bodem van het hoofdvaarwater grover te zijn dan 210 μm en in aanzienlijke delen zelfs grover dan 300 μm . Zo ligt in een groot deel van de Overloop van Hansweert de mediaan tussen 300 μm en 390 μm . *Waarde tot omg. 400 μm van rijk. note op. Xiv. plaatsen in het westelijk deel van de Westerschelde (80. Voor) (door middel van het verlagen van*

Als gevolg van het verstoren van de natuurlijke situatie, door het baggeren van een geul door de drempels in de hoofdvaarweg, vindt ter plaatse van deze drempels sedimentatie plaats van relatief fijn materiaal (1). Dientengevolge wordt bij de stroomopwaarts gelegen drempels van Zandvliet en Bath betrekkelijk fijn materiaal aangetroffen dat plaatselijk zelfs een mediaan heeft van minder van 105 μm . Ook op de drempels van Valkenisse en Hansweert is plaatselijk vrij fijn zand aanwezig (105 à 150 μm). *waaronder ook vork? In Dons niet gevonden.*

Bovengenoemd beeld zal eveneens in het westelijk deel van de Westerschelde gelden. Een voorbehoud dient hierbij gemaakt te worden voor het kalkgehalte dat hier ca. tweemaal zo hoog is als in het oostelijke deel (11). Gezien de overeenkomst met de Waddenzee, mag het volgende karakteristieke beeld worden verwacht:

- De sedimenten worden vanaf de keel van het zeegat naar binnen toe fijner. Ook naar de buitendelta toe wordt het zand wat fijner dan in het zeegat.
- Het sediment wordt in het algemeen ook in verticale richting van de diepe geul in het zeegat naar de ondieper liggende geulbodems en de nog hoger liggende platen en schorren toe fijner.

In het algemeen geldt dat slechts korrels met een relatief grote valsnelheid op energierijke plaatsen (hoge stroomsnelheden en/of sterke golfinvloed) kunnen bezinken en standhouden, terwijl korrels met een lage valsnelheid op energiearme plaatsen bezinken. De waterbeweging in de Westerschelde werkt hierbij blijkbaar als een hydraulische sorteermachine.

Het verder afnemen van de mediaan zet zich naar Antwerpen toe voort; tussen Fort De Parel en Antwerpen blijkt de bodem van de Schelde voor een belangrijk deel uit slik en slikkige afzettingen te bestaan, terwijl bovenstrooms van Antwerpen het bodemmateriaal weer grover wordt (6).

2.2.2 Sediment in suspensie

De hoeveelheid sediment die in het water van de Westerschelde in suspensie is wordt door een aantal factoren bepaald, zoals:

- de waterbeweging,
- sedimentaanvoer vanuit zee,
- sedimentaanvoer van de Schelde,
- baggeractiviteiten in de Westerschelde, en
- sedimenteigenschappen.

Naarmate de turbulentiegraad in het water toeneemt kan meer sediment in suspensie worden gebracht en gehouden. Turbulentie ontstaat door energievernietiging in stromend water en brekende golven, door energieoverdracht van wind op water en door scheepvaart. Hiervan zijn de eerste drie het belangrijkste. De sedimentgehalten van het water hebben dan ook een duidelijke relatie met het getij en de weersomstandigheden. Daarnaast zijn de sedimentgehalten ook plaatsafhankelijk omdat een aantal factoren plaatsafhankelijk zijn, zoals de baggeractiviteiten, waarvan de invloed onbekend is (zie ook paragraaf 2.2.4 laatste alinea).

Uit waarnemingen van Gosse (12) blijkt dat de hoeveelheid gesuspandeerd sediment in de kustwateren van Nederland en België aanmerkelijk fluctueren, met name bij de Vlaamse banken en de mond van de Westerschelde. Uit deze gegevens en gegevens van het Rijksinstituut voor Zuivering van Afvalwater blijkt dat de sedimentgehalten daar kunnen variëren van 5 mg/l tot 125 mg/l. Een belangrijke oorzaak is waarschijnlijk de ruwheid van de zee, hoewel dit verband niet zo duidelijk uit de waarnemingen blijkt. De indruk bestaat dat er een traagheid van 1 à 3 dagen in het systeem zit, een tijd die nodig is om de benodigde massa slib op te woelen en te verspreiden en anderzijds om het opgewoelde slib weer te laten bezinken. De hoge slibconcentraties bij de Vlaamse banken stroken met de veronderstelling dat de oude kleilagen, die hier aan de oppervlakte komen, een brongebied is voor slib dat door de Noordzee langs de kust noordwaarts wordt getransporteerd en zich elders (o.a. in estuaria en in de Waddenzee) weer afzet.

Waarnemingen in de Westerschelde geven sedimentgehalten, die variëren van 5 mg/l tot 200 mg/l. In het algemeen vertonen de sedimentgehalten tussen Vlissingen en Bath geen grote verschillen en schommelen rond een van de omstandigheden afhankelijk niveau. Vanaf Bath neemt het sedimentgehalte in het water toe (9) (Fig. 5). Op de Schelde neemt het sedimentgehalte verder toe en bereikt daar een maximum dat samenvalt met de plaats van het eind van de zouttong, waar een saliniteit van

1 ‰ à 5 ‰ wordt bereikt (9, 13) (fig. 5). Deze plaats schuift met de fluctuaties in de bovenafvoer, het getij en de middenstand heen en weer van de Nederlands-Belgische grens tot ver voorbij de Rupelmonding (6,9). Het maximum sediment gehalte loopt hier op tot ca. 2 à 3 maal het gehalte in de rivier of in de Westerschelde (hoogste van de twee) en kan een waarde bereiken van 750 mg/l (6,13) of meer. Bovenstrooms van het turbiditeitsmaximum lijken de sedimentgehalten in de rivier te variëren tussen ca. 25 mg/l en 250 mg/l (9,13).

Turbiditeitsmaxima zijn ook in andere riviermonden aangetoond (14) en worden veroorzaakt door accumulatie van zwevend slib nabij het eind van de zouttong ten gevolge van een circulatiestroom van slib in het systeem. Zowel via het zoete rivierwater als door het zoute zeewater kan slib naar deze plaats worden aangevoerd. Het zoute water uit de onderlaag mengt met het rivierwater en wordt hierdoor via de bovenlaag weer naar zee teruggevoerd. Als gevolg hiervan neemt het gemiddelde zoutgehalte vanaf zee naar binnen toe af tot het geringe zoutgehalte van de rivier. In tegenstelling tot zout kan slib uit het water bezinken. Als gevolg hiervan kan het slib in het gebied van de zouttong uit de bovenlaag in de onderlaag zakken, via de onderlaag weer landwaarts worden verplaatst, via de menging van zout- met zoet water weer in de bovenlaag terecht komen en zeewaarts worden getransporteerd, enz. Een belangrijk verschijnsel, dat vermoedelijk ook bepalend is voor de plaats van de slib accumulatie, is het flocculeren van slibdeeltjes. Dit proces wordt bevorderd door het zoutgehalte van het water en werkt al optimaal bij een geringe saliniteit van 3 ‰ à 5 ‰ (9, 13). Hierdoor zal veel fijn rivierslib bij het bereiken van de grens van de zouttong flocculeren tot vlokken met een hogere valsnelheid dan de individuele kleideeltjes (uit Wollast et al.) (Fig. 6), waarmee het uitzakken uit de bovenlaag en daarmee de slibcirculatie wordt bevorderd.

2.2.3 Aan- en afvoer van sediment

Uit historische gegevens blijkt dat het Westerscheldebekken een gebied is waar resulterend sedimentatie optreedt. Het sediment wordt aangevoerd door de rivier de Schelde en, in belangrijke mate, door de zee.

Gegevens over de jaarlijkse zwevend sedimentafvoer van de Schelde lopen sterk uiteen en variëren van 0,1 miljoen ton tot 1,42 miljoen ton. Het eerste getal is een schatting gebaseerd op vergelijkbare rivieren (15), terwijl het tweede

de canvas van Schuren en
Slikken is bij de inbouw
Berekeningen van of 1955 ^(in fase) ^{te maken} -
niet geloven.

xx het bagger, van vangeaten heeft
met name in het onbelijde deel van
de W.S. van, verloop van de laagwater
in eerste plaats van de laagwater 1 de
de, de kare van de van de van de
daarmee ook van de polycouma 2 land
(op de pijp van de l.).

getal is gebaseerd op balansmetingen in een getijgebied (13). Uitgaande van de gemiddelde bovenafvoer van de Schelde leidt het eerste getal tot een gemiddeld sedimentgehalte in de rivier van ca. 30 mg/l en het tweede getal tot ca. 445 mg/l. Gezien de beschikbare gegevens betreffende waargenomen concentraties lijken beide grenzen extreem en lijkt een zwevend sedimentafvoer van 0,25 à 0,75 miljoen ton per jaar, waarschijnlijker. Het laatste getal komt overeen met de hoeveelheid, welke is berekend naar aanleiding van de resultaten van het onderhavige onderzoek (zie hoofdstuk 6).

Uit het getijvolume en de zwevend sedimentgehalten bij Vlissingen blijkt dat er bij elke vloed geweldige hoeveelheden sediment de Westerschelde instromen en er bij eb weer uitkomen. Afhankelijk van de omstandigheden kan er zowel een resulterend transport naar buiten als naar binnen plaats vinden. Over langere termijn echter vindt er een resulterend binnenwaarts transport plaats, dat bijdraagt in onder andere de aanwas van schorren en slikken. Als gevolg hiervan neemt, zij het zeer langzaam, het vloedvolume af hetgeen vervolgens aanleiding zal zijn tot een daarmee gepaard gaande sedimentatie in de geulen, zodanig dat steeds zal worden voldaan aan de in figuur 3 gegeven relatie. Naast deze sedimentatie als gevolg van het op natuurlijke wijze verkleinen van de komberging kan er extra sedimentatie in het estuarium plaats vinden als gevolg van andere verstoringen van de dynamische evenwichtssituatie. Deze verstoringen kunnen zowel natuurlijk van aard zijn, met name de relatieve zeespiegelrijzing, als door de mens zijn aangebracht, zoals het bouwen van dammen in de rivier, waardoor lokaal verlanding optreedt, en het baggeren van vaargeulen.

Betrouwbare gegevens over de sedimentaanvoer uit zee ontbreken in de literatuur. Naar aanleiding van de resultaten van het onderhavige onderzoek is een hoeveelheid berekend van bijna 1 miljoen ton per jaar (hoofdstuk 6). De menselijke activiteit, met name in de vorm van baggeren, in het Westerschelde-estuarium is aanzienlijk. Uit gegevens van Rijkswaterstaat blijkt dat er jaarlijks ca. 2,5 miljoen m³ baggerspecie uit de Nederlandse havens langs de Westerschelde wordt gebaggerd en wordt teruggestort in het estuarium. Daarnaast wordt er uit de vaargeul naar de haven van Antwerpen jaarlijks nog eens 10 à 13,5 miljoen m³ specie gebaggerd (16,17). Deze baggerspecie wordt grotendeels teruggestort in de Westerschelde. Uit (18) blijkt dat, althans toen, ca. 25% van de specie op het land werd gestort. Deze specie, afkomstig van de Schelde, bestond voornamelijk uit slik (deeltjes kleiner van 50 µm) en bevatte ca. 1,2 miljoen ton vaste stof, dat zo jaarlijks uit het estuarium werd verwijderd.

x is de feitelijke noemer is de
de is de pure lagere gebroeders
tothlaven rond de Ew Kerkmanig, da,
pind de hoo kerkmanig!!

de is een, peal al den, laagwater!!

(Churdon)

2.2.4 Interne Sedimenttransporten

Aan de hand van waarnemingen van de waterbeweging en de sedimentgehalten kam men een redelijk beeld krijgen betreffende de sedimenttransporten die op een bepaald moment in de Westerschelde plaats vinden. Van de resulterende sedimenttransporten, die morfologisch gezien juist erg belangrijk zijn, is echter kwantitatief weinig bekend. Wel bestaat er een redelijk inzicht in de mechanismen die een rol spelen in de verspreiding van de naar het gebied aangevoerde sedimenten. Deze kennis is gebaseerd op vele waarnemingen van de waterbeweging en bodemonderzoek in de Westerschelde en vergelijkbare gebieden, met name de Waddenzee. (1,9).

Uit bodemonderzoek is gebleken dat marien materiaal nog tot voorbij Antwerpen in de Schelde wordt afgezet, hetgeen gezien de beperkte getijweg bij Vlissingen (gemiddeld ca. 12,5 km) slechts door landinwaarts gericht transport mogelijk is. Dit transport vindt plaats door:

1. dichtheidsstromen tengevolge van saliniteitsverschillen,
2. diffusief (gradienttype) transport tijdens storm,
3. vervorming van het getij, en
4. "settling lag" en "scour lag" effecten.

In paragraaf 2.1.2 is reeds beschreven dat als gevolg van dichtheidsverschillen resulterend verticale circulatiestromen in het estuarium ontstaan met een netto instroming langs de bodem en een netto uitstroming bij het oppervlak. Doordat de sedimentconcentraties bij de bodem hoger zijn dan bij het wateroppervlak, ontstaat hierdoor een resulterend sedimenttransport naar binnen.

De karakteristieke verdelingen van het sedimentgehalte over de Westerschelde en de Schelde tonen aan dat er in de Westerschelde vrijwel geen gradient in de langsrichting van het estuarium bestaat. Dit impliceert dat onder normale omstandigheden hier geen noemenswaardig transport ten gevolge van diffusie zal plaats vinden. Tijdens storm neemt echter de sedimentconcentratie in de kuststreek aanzienlijk toe en zal er tijdelijk een gradient in het sedimentgehalte aanwezig zijn waardoor ook het diffusieve transport een bijdrage in het resulterend landinwaarts transport kan leveren.

Groen (19) toont langs mathematische weg aan, dat vervorming van het getij een resulterend landwaarts sedimenttransport kan veroorzaken. Dit komt doordat door de vervorming van de getijgolf de periode met lage stroomsnelheden rond HW-kentering langer duurt dan die rond LW-kentering. Hierdoor krijgt het slib rond HW meer gelegenheid te bezinken dan rond LW. Dit lijkt het meest te spelen in ondiepe geulen en krekken, waar een sterke asymmetrie in het horizontale getij optreedt (20).

X geldt slechts tot de
boven- en benedenstromen
van de draad als geheel -
deels, z.ich^l wat de geul daarom de
in de volumina betuigt aan de
persi die draadhallozing
hulden aanse part.

Van Straten en Kuenen (21) tonen langs theoretische weg aan, dat tengevolge van de veranderingen van de hydraulische omstandigheden naar de plaats een landinwaarts sedimenttransport kan optreden. Essentieel hierbij is het gedrag van de sedimentdeeltjes bij erosie en sedimentatie. In het algemeen blijkt sediment bij eenzelfde of iets lagere snelheid te sedimenteren dan waarbij het erodeert (scour lag). Daarnaast heeft het gesuspendeerde sediment, na onderschrijding van de kritieke stroomsnelheid, tijd nodig om de bodem te bereiken (settling lag). Door deze effecten wordt het sediment als het ware stapje voor stapje overgedragen naar een steeds verder naar binnen gelegen watermassa, die met een bijbehorende, steeds kleiner wordende getijweg in het estuarium heen en weer beweegt. Het sediment zig-zagt zo langzaam naar binnen, totdat het bij vloed zover naar binnen gaat, dat de lokale eb- en vloodsnelheden niet meer voldoende zijn om het te eroderen. Dit punt ligt voor fijn sediment verder naar binnen dan voor grof sediment, waarmee deze theorie tevens een verklaring geeft voor de selectieve sedimentatie die in grote lijnen ook in de Westerschelde is waargenomen. Via dit proces kan tijdens stormvloed marien materiaal ver landinwaarts worden afgezet.

In de transporttypen 1, 3 en 4 speelt de valsnelheid van het sediment een belangrijke rol; indien deze te gering is vindt geen resulterend landwaarts sedimenttransport plaats. Dat desondanks fijn materiaal een belangrijk deel van het bodemmateriaal in de schorren en slikken en in de gebaggerde scheepvaartgeul vormt is mogelijk door een aantal processen, zoals:

- flocculatie van kleimineralen, vooral onder invloed van het zoutgehalte,
- produktie van slibpropjes door mossels en kokkels ("bioflocculatie")
- hechten van slib aan de bodem via slijm van diatomeeën,
- gunstige sedimentatiecondities door plantengroei op schorren,
- gunstige sedimentatiecondities in gebaggerde geulen door verstoring van het natuurlijk (dynamisch) evenwicht, .

De bijdrage van fluviatiel materiaal in de bodem blijkt in zeevaartse richting snel af te nemen en kan slechts tot Hansweert worden aangetoond. Hieruit zou kunnen worden afgeleid dat slechts een gering deel van het door de Schelde aangevoerde sediment de Noordzee bereikt en vrijwel alles in het estuarium wordt afgezet. Kennelijk zijn de mechanismen die een resulterend landinwaarts transport veroorzaken belangrijker dan het zeewaarts gerichte transport als gevolg van de bovenafvoer van de Schelde. Dit beeld blijkt ook uit op basis van getijmetingen opgestelde sedimentbalansen (13, 16).

De verspreiding van zowel de mariene als de fluviatische sedimenten in de Westerschelde geschiedt via vele malen van eroderen, transporteren en afzetten van deeltjes door de complexe waterbeweging in dit estuarium. Hierbij kunnen naast de resulterende landinwaartse transporten ook resulterende sedimenttransporten rond platen plaatsvinden. In dit systeem ontmoeten de fluviatische en de mariene sedimenten elkaar en worden gemengd. De vermenging is, onder invloed van de valsnelheid van het sediment, anders dan die van het zoete rivierwater en het zoute zeewater. Een extra mechanisme dat dit beeld nog complexer maakt is het onderhoudsbaggerwerk van de havens en vaargeulen langs en in het estuarium. Door het baggeren van deze plaatsen, het weer terugstorten van het grootste deel van de baggerspecie elders in het estuarium zullen extra, door de mens gegenereerde sedimentcirculaties plaats vinden.

2.3 Zware metalen en fosfor

2.3.1 Transport van zware metalen en fosfor

Zware metalen en fosfor worden zowel gebonden aan het zwevende slib als in oplossing door rivieren en zeestromen getransporteerd. In rivieren is in de meeste gevallen het overgrootste deel van de metalen aan de vaste fase gebonden. Een voorbeeld voor het transport van metalen door de Rijn en de Maas is weergegeven in figuur 7. De geringe verschillen in transportwijze, met name voor Cd en Mn tussen deze twee rivieren hangt waarschijnlijk samen met verschillen in pH van het rivierwater, deze is hoger voor de Maas. Een pH verhoging heeft voor deze metalen een verschuiving van de opgeloste naar de vaste fase tot gevolg (25, 26). Gegevens over de Schelde ontbreken. Voor deze rivier mag echter worden aangenomen dat ook hier het transport in hoofdzaak in vaste fase zal plaatsvinden. Voor een aantal West-Europese rivieren is een schatting gemaakt van de hoeveelheid zware metalen die in suspensie worden getransporteerd (tabel 7). De Schelde is hierbij vergelijkbaar met de Elbe, echter iets kleiner dan de Maas. Hierbij moet wel worden bedacht dat de hoeveelheid slib die door de Schelde wordt getransporteerd vrij hoog is (zie paragraaf 2.2.3).

2.3.2 Wijze van voorkomen van zware metalen in sedimenten

Zware metalen en fosfor zijn geassocieerd met de fijne bestanddelen in het slib zoals blijkt uit de over het algemeen goede correlaties tussen de gehalten en het percentage aan fijne bestanddelen in sedimenten (figuur 8). Voor fosfor is gevonden dat een zeer sterke voorkeur voor de fractie kleiner dan 2 micron optreedt, bij zware metalen dragen ook de iets grovere fracties bij tot het transport, alsmede, de metalen die zich bevinden in hydroxide huidjes om de grotere korrels (30, 31).

Zware metalen zijn op verschillende wijzenchemisch gebonden aan slib, variërend van de zwak gebonden uitwisselbare fractie tot de metalen die zijn ingebouwd in de silicaatroosters van kleimineralen en niet deelnemen aan kort-durende geochemische processen als in estuaria. Inzicht in de wijze van voorkomen van metalen in sedimenten (en van fosfor) kan worden verkregen door het toepassen van extractieschema's waarbij met verschillende chemische extracties bepaalde metaalfracties meer of minder selectief uit het sediment worden geëxtraheerd (32). Ook voor fosfaat worden dergelijke schema's toegepast (zie o.a. 30).

Rivier	Waterafvoer $10^9 \text{ m}^3/\text{jaar}$	Slibafvoer 10^6 ton/jaar	Hoeveelheid in suspensie getransporteerd metaal ton/jaar						
			Zn	Cu	Cr	Pb	Cd	Ni	totaal
Schelde	3,2	1,0 ^a	1430	270	390	400	55	130	2675
Maas	10,3	0,7 ^b	2821	144	186	466	57	70	3743
Rijn	69,4	3,4 ^c	4845	884	1870	1547	120	391	9657
Eems	3,2	0,07 ^c	41	6	8	6	0,2	3	63
Weser	11,0	0,37 ^c							
Elbe	22,5	0,8 ^c	2000	288	296	208	14	68	2874

Tabel 7. Waterafvoer, slibafvoer van en hoeveelheid in suspensie getransporteerd metaal, door enkele Westeuropese rivieren

^a Gegevens variëren van 0,1 tot 1,42 (15, 13, 16)

^b Gebaseerd op (27)

^c (28, 29)

Resultaten van een dergelijk extractieschema toegepast voor een aantal rivier- en mariene sedimenten zijn weergegeven in figuur 9. Het gebruikte extractieschema bestond uit de volgende stappen.

- Extractie met ammoniumacetaat (pH = 7). Met dit extractiemiddel komen metalen vrij, die grotendeels op adsorptieve wijze zijn gebonden aan het slib (Uitwisselbare fractie)
- Extractie met hydroxylamine-HCl bij een pH van ongeveer 2. Hiermede worden de metalen losgemaakt die geassocieerd zijn met mangaanhydroxiden, carbonaten en sulfiden (Zuur reduceerbare fractie)
- Extractie met een waterstofperoxide oplossing (30%) bij een pH van ongeveer 2,5. Door de waterstofperoxide wordt de in het sediment aanwezige organische stof gedeutereerd, zodat met dit middel de metalen die geassocieerd zijn met de organische stof worden vrijgemaakt (Organische fractie)
- Totaalbepaling volgens de methode beschreven in bijlage 1. De totale hoeveelheid minus de hoeveelheid die met bovenstaande extractiemiddelen wordt vrijgemaakt is de fractie, die zeer stevig aan het slib gebonden is (Restfractie of inerte fractie)

Over het algemeen wordt gevonden dat vooral koper is geassocieerd met de organische fractie. Zink, cadmium en lood komen vooral in de zuurreduceerbare fractie (hydroxiden en carbonaten) voor, terwijl nikkel van de onderzochte metalen ook in belangrijke mate in de inerte fractie wordt aangetroffen. Uit een vergelijking van het voorkomen van metalen in tropische en andere riviersystemen is gebleken dat bij niet-vervuilde systemen die inerte fractie relatief belangrijk is (32) Grote verschillen tussen de Rijn, Eems en Schelde worden niet aangetroffen, alleen wordt bij de Eems meer metaal in de inerte fractie gevonden.

2.3.3 Gehalten aan zware metalen en fosfor in sedimenten in de Schelde, Westerschelde en aangrenzende gebieden vóór 1979

In de Westerschelde en aangrenzende gebieden zijn sinds de vijftiger jaren onderzoeken door IB, IB-WL naar de samenstelling van de sedimenten uitgevoerd.

Dit betrof:

- onderzoeken in het kader van het voorkomen van mangaan in sedimenten (34)
- inventarisatie van de gehalten aan metalen in de Oosterschelde (35)
- inventarisatie van de gehalten aan metalen in sedimenten van de Westerschelde (23)
- een inventariserend onderzoek op een beperkt aantal lokaties in de Oosterschelde naar het voorkomen van metalen in de sedimenten (35)

In 1978 is door IB-WL in samenwerking met het NIOZ, THD, IRI, RUG en een aantal Belgische instanties een onderzoek naar het geochemische gedrag van zware metalen in de water- en slibfase in de Schelde en Westerschelde gestart. De resultaten hiervan zijn momenteel bij de verschillende onderzoekers in bewerking. Resultaten van het zware metalen onderzoek in het kader van het "Projet Mer" zijn gepubliceerd (16). Uitvoerig onderzoek is verricht naar het gedrag van mangaan in het Schelde-estuarium (33).

Door TNO is onderzoek verricht naar de accumulatie van metalen door schelpdieren in de Westerschelde terwijl door het Delta-instituut onderzoek werd verricht naar de accumulatie van metalen door planten in de Wester- en in de Oosterschelde.

In het kort wordt nu een overzicht gegeven van de gehalten aan metalen in de bodemsedimenten van het Westerschelde gebied in de periode voorafgaande aan het uitgevoerde onderzoek in 1979.

Als bronnen voor sedimenten in het Westerschelde-estuarium komen in aanmerking:

- - materiaal vanuit het zuiden aangevoerd. De schattingen voor deze hoeveelheid lopen uiteen van 600.000 ton (beste schatting in de vijftiger jaren (36) tot 10×10^6 ton (37) nu. Materiaal representatief voor dit materiaal komt waarschijnlijk (tijdelijk) in het gebied van de Vlaamse Banken tot bezinking. In 1978 werden sedimentmonsters in dit gebied verzameld.
- materiaal aangevoerd door de Schelde. De schattingen over de aanvoer van de Schelde lopen zeer sterk uiteen (paragraaf 2.2.3). De "beste" schatting lijkt $0,75 \times 10^6$ ton te zijn.

Hoewel de slibaanvoer van de Schelde in vergelijking met die van de slibstroom uit het zuiden gering is, is deze door zijn sterke contaminatie met metalen voor het tot standkomen van metaalgehalten in de Zuid-Westelijk deltagebied wel van belang.

De metaalgehalten in sedimenten ter hoogte van de Vlaamse Banken (1978), in de Schelde (1974) en in de mondingsgebieden van de Westerschelde (1974) en van de Oosterschelde (1975) zijn weergegeven in tabel 8.

Vergeleken met de Vlaamse Banken zijn de gehalten in de Oosterschelde op een min of meer vergelijkbaar niveau. De gehalten in de Westerschelde zijn hoger dan die in de Oosterschelde en in de Vlaamse Banken.

Vergeleken met het voorlopige base-line niveau voor Nederland (gehalten aan metalen en fosfor in niet-vervuilde sedimenten, (38 en 39)) zijn alle gehalten, ook die van de Vlaamse Banken verhoogd.

	Zn	Cu	Cr	Ni	Pb	Cd	P
Vlaamse Banken 1978	180	18	110	22	65	0,8	-
Schelde 1974	1535	195	515	71	285	37	0,5
Westerschelde (Vlissingen)							
1974	180	30	120	24	65	1,2	0,1
Oosterschelde (werkhavens)							
1975	160	23	90	23	55	0,9	0,1
Voorlopige baseline	88	10	74	26	32	0,3	0,08

Tabel 8. Overzicht van de metaal- en fosforgehalten in afgezette sedimenten voorafgaande aan het huidige onderzoekprogramma (bij 50% < 16 μ m)

In het Schelde-estuarium en in de Westerschelde nemen de gehalten aan metalen en fosfaat in zeewaartse richting af (figuur 10^a). Het belangrijkste proces dat deze afname veroorzaakt is de vermenging van rivier- met zeesedimenten (40). Gesuperponeerd op deze vermenging treden adsorptie- resp. desorptieprocessen op. Bij de bespreking van de gehalten aan metalen in het zwevende slib verkregen bij dit onderzoek (paragraaf 4.2) en in de volgende paragraaf zal nader op de processen worden ingegaan.

2.4 Gedrag van stoffen in estuaria

In estuaria treedt een vermenging van rivier- met zeewater op en van rivierslib met zeeslib. Worden de concentraties aan opgeloste componenten uitsluitend bepaald door de mengverhouding tussen rivier- en zeewater, dan spreekt men van conservatief gedrag. Het zoutgehalte c.q. de saliniteit is een goede tracer voor deze mengverhouding. De concentraties in het zwevende slib worden bij conservatief gedrag uitsluitend bepaald door de mengverhouding tussen rivier- en zeeslib. Voor het bepalen van deze mengverhouding - de saliniteit is geen goede tracer hiervoor omdat het verband tussen % zeeslib en saliniteit niet lineair is - zijn tracers ontwikkeld, waarvan de stabiele isotopen de beste resultaten geven. De verhouding tussen het C¹³ en C¹²-isotoop van de koolstof is verschillend voor bepaalde componenten in rivier- en zeeslib. Deze verhouding, aangeduid met de δ^{13} -waarde, is derhalve een maat voor de verhouding rivier- : zeeslib. Kunnen bij conservatief gedrag de gehalten berekend worden uit de mengverhouding tussen rivier-

en zeewater, respectievelijk rivier- en zeeslib, zij kunnen ook grafisch worden afgelezen in figuren, waarbij enerzijds het opgeloste gehalte is uitgezet tegen de saliniteit en anderzijds het gehalte in het zwevend slib tegen het percentage zeeslib. Indien de gehalten in puur rivier- en zeewater respectievelijk puur rivier- en zeeslib bekend zijn, dan liggen de gehalten in het estuarium op de rechte tussen de eindleden (zie lijnen a in figuur 11).

Afwijkingen van de rechte lijn treden op ten gevolge van:

- meerdere bronnen dan alleen de rivier en de zee: lozingen van metalen en fosfor via industrieel en huishoudelijk afvalwater en bijdrage van andere rivieren, die in het estuarium uitmonden
- adsorptie en desorptie aan respectievelijk van het zwevende slib; deze processen zijn afhankelijk van het zwevend slibgehalte, de saliniteit, de pH en de temperatuur (26)
- precipitatie op het zwevende sediment of rechtstreeks naar de bodem
- coprecipitatie, dat wil zeggen precipitatie van een bepaald metaal kan het gevolg hebben dat een ander metaal uit de oplossing wordt afgevangen en meeprecipiteert
- flux aan opgeloste componenten uit het afgezette slib door diffusie, bioturbatie en consolidatie
- baggeractiviteiten, zowel op de plaats waar gebaggerd wordt als op de plaats waar de baggerspecie gestort wordt

Het effect van adsorptie of precipitatie - verwijdering genoemd - van een bepaalde component is, dat het gehalte in het zwevende slib hoger is dan berekend uit de mengverhouding en het opgeloste gehalte juist lager. Bij desorptie - ook wel mobilisatie genoemd - is het omgekeerde het geval. In figuur 11 is het effect van verwijdering weergegeven in de curven b en van mobilisatie in de curven c. Het effect van een lozing is dat of het opgeloste gehalte of het gehalte in het zwevende slib of beide hoger zijn dan de theoretische mengverhoudingslijn aangeeft.

3. Het onderzoek

3.1 Monsternamen

Monsters van het afgezette slib zijn verzameld met een grijper volgens "van Veen". Een overzicht van de monsterlokatie is weergegeven in figuur 12. De lokaties Doel, Hedwigepolder en Baalhoek zijn bij laag water vanaf de wal bemonsterd op 27 en 28 september 1979. De overige lokaties zijn bemonsterd vanaf het schip "de Kamps" op

4, 5 en 6 september 1979. Per lokatie zijn steeds een 12-tal monsters verzameld met een zo groot mogelijke spreiding in de gehalten aan deeltjes kleiner dan 16 μm .

Oppervlaktewatermonsters en monsters van het zwevende slib zijn verzameld op een 8-tal ankerstations op 1,5 m diepte in de periode van 11 tot 27 september 1979, vanaf het schip "de Kamps". De ankerstations waren zodanig gekozen dat met behulp van 13-uurs metingen het gehele saliniteitsbereik kon worden bemonsterd. Een overzicht van de lokaties is weergegeven in figuur 13. Op drie lokaties, te weten Rupelmonde, Hoboken en Antwerpen, is in het kader van het eigen onderzoek het zwevende slib op 1,5 m van de bodem bemonsterd. De oppervlaktewatermonsters zijn verzameld met een plastic emmer. Ter plaatse zijn de monsters in apparatuur, gemaakt van teflon, over een filter met een poriënwiidte van 0,45 μm gefiltreerd. Het zwevende slib werd verzameld met behulp van doorstroomcentrifuges. Daartoe werd oppervlaktewater of water vlak boven de bodem met behulp van een dompelpomp aan boord van het schip gepompt en door de centrifuges geleid. De centrifuges waren ter voorkoming van contaminatie gecoat met teflon. Om een modelmatige benadering van de resultaten, op een later tijdstip, mogelijk te maken zijn continue metingen verricht van de temperatuur, saliniteit, zuurstofgehalte, pH en turbiditeit.

3.2 Eigenschappen waarop de monsters zijn geanalyseerd

In 132 monsters van het afgezette slib zijn de volgende parameters bepaald: % < 16 μm , calciumcarbonaat, organische stof, aluminium, zink, koper, chroom, lood, cadmium, nikkel, kwik, arseen, ijzer, mangaan en fosfor.

134 monsters van het zwevende slib zijn geanalyseerd op aluminium, zink, koper, chroom, lood, cadmium, nikkel, ijzer, mangaan en fosfor. In een selectie van 66 monsters zijn kwik en arseen bepaald en in een andere selectie van 67 monsters de $\delta^{13}\text{C}$ -waarde (de laatste voor eigen onderzoek).

Het oppervlaktewater, 104 monsters totaal, is onderzocht op zwevend slibgehalte, temperatuur, saliniteit, pH, zuurstof, zink, koper, lood, cadmium, nikkel, ijzer, mangaan, ortho-fosfaat en silicium, waarvan de metalen in een selectie van 64 monsters (eigen onderzoek).

De analysemethoden zijn vermeld in bijlage 1.

3.3 Verwerking resultaten slibanalyses

3.3.1 Afgezet slib

De granulometrische samenstelling van slibmonsters kan grote onderlinge verschillen te zien geven. Omdat de zware metalen en het fosfor overwegend zijn gebonden aan de fijnere delen (46) kunnen er derhalve per lokatie grote verschillen in de absolute gehalten optreden. De metaal- en fosforgehalten, evenals de mineralogische bestanddelen, in slibmonsters van één lokatie blijken te correleren met de korrelgrootteverdeling. Om de korrelgrootteverdeling weer te geven wordt gebruik gemaakt van het percentage aan deeltjes $< 16 \mu\text{m}$ van het gedestrueerde monster d.w.z. vrij van calciumcarbonaat en organische stof. Dit wordt genoemd het % $< 16 \mu\text{m}$ berekend. In formule:

$$\% < 16 \mu\text{m berekend} = \frac{100 * (\% < 16 \mu\text{m bepaald})}{100 - \% \text{ CaCO}_3 - \% \text{ organische stof}}$$

Het % $< 16 \mu\text{m}$ bepaald is het % $< 16 \mu\text{m}$ dat is bepaald met de massapipetmethode (zie bijlage 1). Voor de metalen, fosfor en enkele andere bestanddelen, waaronder de organische stof, wordt voor monsters genomen op éénzelfde lokatie een lineaire betrekking gevonden tussen het gehalte en het % $< 16 \mu\text{m}$ berekend. De lijn voldoet aan de vergelijking $y = ax + b$, waarin
y is gehalte in % of $\mu\text{g/g}$ van een bepaald element of bestanddeel
x is percentage $< 16 \mu\text{m}$ berekend

$$a \text{ is de helling} = \frac{\sum x_i \cdot y_i - \sum x_i \cdot \sum y_i / n}{\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2 / n}$$

$$b \text{ is afgesneden stuk van de y-as} = \left[\sum y_i / n - a \sum x_i / n \right]$$

x_i, y_i zijn de coördinaten van de afzonderlijke punten met $i = 1, 2, 3 \dots n$
n is het aantal monsterpunten

De betrouwbaarheid van de regressielijn wordt weergegeven door de waarde van de correlatiecoëfficiënt r^2 . Deze is gelijk aan:

$$r^2 = \frac{[\sum x_i \cdot y_i - (\sum x_i \cdot \sum y_i) / n]^2}{[\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2 / n] \cdot [\sum y_i^2 - (\sum y_i)^2 / n]}$$

Hoe dichter r^2 bij 1 ligt, des te betrouwbaarder is de regressielijn.

Teneinde verschillende lokaties onderling met elkaar te vergelijken of om variaties binnen één lokatie in de tijd vast te stellen, moeten de variaties in de korrelgrootte worden geëlimineerd. Dit wordt bereikt door de metaal- en fosforgehalten steeds op te geven bij eenzelfde percentage $< 16 \mu\text{m}$ berekend i.c. 50%. De gehalten bij 50% $< 16 \mu\text{m}$ worden berekend uit de regressielijn.

3.3.2 Zwevend slib

Vanwege de geringe hoeveelheid monster is het niet mogelijk in het zwevende slib de korrelgrootte te bepalen. Om zwevend slibmonsters van verschillende lokaties toch met elkaar te vergelijken, alsmede zwevende- en afgezette slibmonsters van één lokatie worden de gehalten opgegeven bij eenzelfde gehalte aan aluminium. Het Al-gehalte is een maat voor de hoeveelheid aan fijne bestanddelen en is niet onderhevig aan invloeden van lozingen en/of chemische processen. De relatie tussen het Al-gehalte en het % $< 16 \mu\text{m}$ is lineair.

4. Resultaten van het onderzoek

4.1 Gehalten aan metalen en fosfor in het afgezette slib

Zoals in paragraaf 1.3 is uiteengezet zijn niet in alle monsters de gehalten aan zware metalen bepaald omdat in vele gevallen de variatie in korrelgrootte gering was. Op grond van vroegere onderzoeken kon verwacht worden dat in dit geval ook de metaalgehalten niet sterk zouden variëren. Op basis van de gehalten aan het % $< 16 \mu\text{m}$ is een selectie gemaakt. De resultaten van de analyses in de afzonderlijke monsters zijn weergegeven in bijlage 2. De per lokatie gemiddelde analyseresultaten staan vermeld in tabel 9.

Om een eerste onderlinge vergelijking tussen de monsterlokaties te maken zijn de gemiddelde gehalten aan metalen en fosfor in de figuren 14 t/m 18 uitgezet tegen het % $< 16 \mu\text{m}$. Tevens zijn in deze figuren een drietal lijnen getekend die het verband tussen metaalgehalte en % $< 16 \mu\text{m}$ voor de volgende lokaties aangeven:

- a. Monsters genomen tussen de Rupel en Antwerpen: het bovenstroomse, meest gecontamineerde deel van de Schelde.
- b. Monsters genomen ter hoogte van Baalhoek: de eerste monsterlokatie op Nederlands gebied.
- c. Monsters genomen ter hoogte van de Vlaamse Banken in 1978 (niet onderdeel van deze opdracht): materiaal dat representatief geacht kan worden voor mariene sedimenten, die door de getijwerking het estuarium naar binnen dringen.

Inspectie van de onderlinge plaats van de lokaties op de figuren laat het volgende zien:

- op lokatie 15 de Sloehaven zijn de cadmium- en fosforgehalten hoger dan op de nabijgelegen lokatie 16, Breskens
- de kwik gehalten op de lokaties 5 en 6 (resp. Boudewijnsluizen en Doel) zijn hoger dan op nabijgelegen lokaties

Het is niet uitgesloten dat er voor deze lokaties sprake is van een extra toevoer van de desbetreffende elementen aan het afgezette sediment, waarschijnlijk tengevolge van lozingen.

Ter illustratie zijn in figuur 19 voor lokatie 15, de individuele analyse-resultaten weergegeven als functie van de plaats in de Sloehaven, voor wat betreft fosfor en cadmium.

In figuur 10^b zijn alle gemiddelde gehalten als functie van de afstand tot Vlissingen uitgezet. Duidelijk hieruit is de afname van de gehalten in de metalen in zeevaartse richting. Gesuperponeerd op deze algemene trend zijn echter variaties tengevolge van korrelgrootteverschillen. De gemiddelde korrelgrootte ($\% < 16 \mu\text{m}$) is onderaan de desbetreffende figuur weergegeven. Zo worden de snelle fluctuaties in de metaalgehalten bij km 20-25 veroorzaakt door verschillen in korrelgroottesamenstelling.

Het was niet mogelijk om voor alle monsterlokaties te corrigeren voor variaties in korrelgrootteverdeling, door het ontbreken van een voldoende grote range in korrelgrootteverschillen. Per gebied zijn in enkele gevallen een aantal nabijgelegen monsterlokaties samengenomen.

Aldus ontstonden de volgende 6 gebieden:

- Rupel en Antwerpen
- Royerssluis en Krankeloonpolder
- Baalhoek
- Perkpolder en Hansweert
- Griete, Terneuzen, Ellewoutsdijk en DOW
- Breskens

Voor deze gebieden werd de regressielijn berekend die het verband tussen metaalgehalte en $\% < 16 \mu\text{m}$ weergeeft. De resultaten van deze berekeningen staan vermeld in bijlage 3. In figuur 20^b zijn de gehalten bij $50\% < 16 \mu\text{m}$ voor deze gebieden uitgezet als functie van de afstand tot Vlissingen.

Uit de resultaten van deze bewerking blijkt dat de gehalten aan metalen in zeevaartse richting afnemen. Zoals in sectie 2.3 is uiteengezet weerspiegelt een dergelijke afname in eerste instantie de vermenging van rivierslib (sterk gecontamineerd) met zeeslib (minder gecontamineerd).

Schelde 1979

Lokatie	Lokatie nummer (zie fig. 12)	% <16µm ber.	% P	% Al	µg/g Zn	µg/g Cu	µg/g Cr	µg/g Pb	µg/g Cd	µg/g Ni	µg/g Hg	µg/g As	µg/g Mn	% Fe
Rupel	1	28.4	0.264	2.44	777	125	205	211	23.3	43.0	2.30	64.5	455	2.94
Antwerpen	2	43.5	0.467	3.35	857	150	259	222	29.4	52.5	2.68	86.2	638	4.06
Royerssluizen	3	67.2	0.616	4.61	1047	187	300	308	40.7	61.3	3.65	115	963	5.74
Krankeloonpolder	4	60.9	0.507	4.27	871	146	270	243	31.8	51.7	3.12	99.3	961	5.43
Boudewijnsluizen	5	66.3	0.531	4.52	890	154	276	252	29.6	53.5	3.71	104	1088	5.70
Doel	6	60.3	0.410	4.12	679	116	228	195	20.2	44.3	3.10	77.7	1301	5.18
Hedwige polder	7	57.8	0.316	3.77	501	89	183	156	14.8	37.9	2.27	61.6	1522	4.71
Baalhoek	8	42.5	0.210	3.05	320	51	151	101	5.8	32.0	1.34	49.3	1401	3.79
Perkpolder	9	40.9	0.113	2.68	230	27	107	56	2.6	24.5	0.72	24.7	921	2.91
Hansweert	10	47.8	0.156	3.22	270	38	120	75	4.4	27.4	0.96	29.5	1017	3.30
Griete	11	25.6	0.074	1.97	99	15	82	33	0.7	14.5	-	-	414	2.00
Terneuzen	12	56.0	0.132	3.72	242	29	121	66	2.6	28.9	0.74	24.5	1186	2.86
Ellewoutsdijk	13	24.8	0.061	1.99	126	15	73	34	1.3	14.9	0.28	14.2	414	2.08
DOW	14	43.4	0.101	2.54	164	25	95	35	1.7	22.4	-	-	651	2.44
Sloehaven	15	59.1	0.175	4.00	210	34	112	67	3.1	33.8	0.58	25.6	624	3.30
Breskens	16	53.6	0.105	2.99	172	27	105	41	1.5	24.4	0.54	20.3	786	2.73

Tabel 9. Gemiddelde gehalten in afgezet slib van het Schelde-estuarium (1979)

In 1974 werd in hetzelfde gebied een monsternamen van het bodemsediment uitgevoerd (23). In figuur 10^a zijn alle gemiddelde gehalten, welke zijn vermeld in tabel 10, uitgezet als functie van de afstand tot Vlissingen, analoog aan figuur 10^b. Resultaten van de berekeningen van de regressielijnen in 1974 voor drie met 1979 te vergelijken lokaties - te weten Rupel-Antwerpen, Baalhoek en Breskens - zijn vermeld in bijlage 3. In figuur 20^a zijn analoog aan figuur 20^b de uit de regressielijnen berekende gehalten bij 50% < 16 µm voor deze drie lokaties uitgezet als functie van de afstand tot Vlissingen. Voor dezelfde drie gebieden zijn de uitkomsten van het onderzoek uitgevoerd in 1974 vergeleken met de uitkomsten van het onderzoek uitgevoerd in 1979.

De resultaten van deze vergelijking zijn gepresenteerd in figuur 21 in de vorm van staafdiagrammen, waarbij de gehalten aan metalen en fosfor (bij 50% < 16 µm) in het sediment bemonsterd in 1974 steeds op 100% zijn gesteld.

In het gebied van de Rupel tot Antwerpen tenderen alle gehalten aan metalen en fosfor, met uitzondering van arseen, naar lagere waarden in 1979. Gezien de eenduidigheid van de afname bestaat de indruk dat deze afname - variërend van 6% voor Cd tot 44% voor Cr - voor Zn, Cr en Hg ten dele en voor Cu, Pb, Cd, Ni en P in zijn geheel is veroorzaakt door een afname in de mengverhouding rivier- : zeeslib. De sterkere afname voor Zn, Cr en Hg wordt daarnaast vermoedelijk veroorzaakt door afnemende lozingen in het zoete gebied van de Schelde en/of de Rupel, met andere woorden door een verlaging van deze gehalten in puur rivierslib. Het gehalte aan As lijkt in het rivierslib van 1979 te zijn gestegen ten opzichte van 1974. Rekening houdend met de daling in de mengverhouding rivier- : zeeslib be- draagt genoemde stijging ongeveer 20%.

Het slib dat zich in de havens van Breskens heeft afgezet bevatte in 1979 een hoger gehalte aan Cd en een lager gehalte aan Pb en Hg dan in 1974 als gevolg van een hogere belasting met Cd en een lagere belasting met Pb en Hg van puur zeeslib. De overige gehalten liggen in 1979 ten opzichte van 1974 te Breskens op een vergelijkbaar niveau.

Rekening houdend met bovenstaande veronderstellingen lijkt het aannemelijk dat de mengverhouding van rivier- : zeeslib in het nabij Baalhoek afgezette slib in 1979 hoger was dan in 1974. Met name de relatief even hoge gehalten aan Zn en Cr in 1979 ten opzichte van 1974, terwijl deze gehalten in puur rivierslib zijn gedaald, geven hiertoe aanleiding.

getijwised veldu stromingswaars?
zelfde tendens als bij eilanden

Schelde 1974

Lokatie	Lokatie nummer (zie fig. 12)	% <16µm ber.	µg/g Zn	µg/g Cu	µg/g Cr	µg/g Pb	µg/g Cd	µg/g Ni	µg/g Hg	µg/g As	% P
Rupe1	1	33.5	1024	135	351	175	24.2	52.6	2.39	57	0.471
Antwerpen	2	21.8	716	73	264	124	11.2	33.7	1.29	35	0.234
Royerssluizen	3	67.4	894	164	317	246	23.4	58.0	3.93	80	0.497
Boudewijnsluizen	5	75.9	844	153	338	224	22.9	56.7	4.46	86	0.552
Doel	6	67.0	845	150	327	256	19.9	54.8	3.99	76	0.482
Hedwigepolder	7	39.9	456	76	198	119	10.7	33.9	2.65	46	0.336
Baalhoek	8	26.7	229	46	124	68	4.2	20.2	1.08	29	0.187
Sloehaven	15	54.7	201	30	106	73	1.5	26.7	0.73	20	0.107
Breskens	16	40.5	148	25	88	51	0.9	19.0	0.55	15	0.090

Tabel 10. Gemiddelde gehalten in afgezet slib van het Schelde-estuarium (1974)

4.2 Gehalten aan metalen en fosfor in het zwevende slib

De gehalten aan metalen en fosfor in de afzonderlijke monsters van het zwevende slib zijn vermeld in bijlage 4. De gemiddelde gehalten zijn weergegeven in tabel 11. Opgemerkt moet worden dat de monsters met de nummers 2670 en 2671, genomen nabij Hoboken, niet bij de berekening van de gemiddelden zijn meegenomen. Deze monsters hebben een extreem hoog % zeeslib en sterk afwijkende metaalgehalten. Bij de berekening van de gemiddelde Al-gehalten zijn de monsters met de nummers 2644, 2668, 2676, 2694, 2698, 2700, 2701, 2702, 2704, 2723 en 2726 buiten beschouwing gelaten. Er bestaan aanwijzingen dat bij deze monsters fouten zijn geïntroduceerd bij de Al-bepaling.

In de figuren 22, 23 en 24 zijn de metaal- en fosforgehalten uitgezet tegen het percentage zeeslib. Zoals in paragraaf 2.4 is betoogd zou een rechte lijn gevonden moeten worden als de metaalgehalten alleen worden bepaald door de vermenging van rivier- en zeeslib. Uit de figuren blijkt dat dit voor geen van de elementen opgaat. Voor Zn, Cr, Pb, Cd, Ni, Hg, As en P is in het gebied met % zeeslib > 30% in genoemde figuren een naar beneden gericht knikpunt waar te nemen, hetgeen wijst op een mobilisatie van deze elementen in een beperkt gebied. Voor Mn en Cu kunnen twee knikpunten worden onderscheiden. In het gebied met lage % zeeslib vindt mogelijk een mobilisatie plaats, bij een hoger % zeeslib een adsorptie of precipitatie. Het gedrag van de metalen en fosfor in het gebied met % zeeslib < 30% is uit deze zwevend slibmetingen niet duidelijk vanwege de grote spreiding in de gehalten bij lage % zeeslib. Hiervoor zijn drie potentiële oorzaken aan te wijzen, welke zijn afgeleid uit een eerste inspectie van de gemiddelde gehalten uit tabel 11:

1. Er is een grote spreiding in Al-gehalte. Omdat het Al-gehalte een maat is voor de hoeveelheid aan fijne bestanddelen en de metalen en fosfor bij voorkeur zijn gebonden aan de fijne delen, veroorzaakt deze spreiding in Al-gehalte een spreiding in alle gehalten.
2. Een verschil in gehalten in het zwevend slib aangevoerd door de Rupel enerzijds en de Schelde anderzijds.
3. Een verschil in gehalte in zwevend slib in de monsters genomen op 1.5 m diepte en de monsters verzameld op 1.5 m van de bodem.

De eerste oorzaak speelt zeker een rol. Uit figuur 24 blijkt dat de spreiding in het Al-gehalte in het gebied met lage % zeeslib zeer groot is. Of de overige twee oorzaken een rol spelen wordt middels tabel 12 aangetoond. In deze tabel zijn de gemiddelde gehalten in het zwevende slib, verzameld in het gebied met lage % zee-

	R _b Rupelmonde boven	H _b Hoboken boven	A _b Antwerpen boven	R _o Rupelmonde onder	H _o Hoboken onder	A _o Antwerpen onder
% zeeslib	18	22	35	18	35	36
Zn	120	102	67	115	86	71
Cu	138	192	105	108	83	67
Cr	102	98	80	100	83	81
Pb	105	125	93	121	104	72
Cd	110	106	64	135	97	61
Ni	122	108	81	130	90	87
Fe	106	112	112	106	99	111
Mn	89	97	110	100	112	105
P	134	139	118	108	113	84

Tabel 12. Gehalten in het zwevende slib in procenten van de gehalten in het afgezette slib, bemonsterd tussen de Rupel en Antwerpen.

slib - lokaties Rupelmonde, Hoboken en Antwerpen - uitgedrukt in procenten van de gehalten in het afgezette slib verzameld tussen Rupelmonde en Antwerpen. Daarbij is rekening gehouden met verschillen in korrelgrootte tussen het zwevende en afgezette slib door de gehalten in het afgezette slib om te rekenen naar hetzelfde Al-gehalte als in het zwevende slib. Hiertoe werd eerst het verband tussen metaal- of fosforgehalte en het % Al in de afgezette slibmonsters berekend. Vervolgens werd het metaal- en P-gehalte berekend bij het gemiddelde Al-gehalte voor de zwevend slibmonsters. Tevens is in deze tabel het gemiddelde % zeeslib vermeld in de zwevend slibmonsters.

lokatie	→ Rupel- monde	Hoboken	Ant- werpen	Bath	Baalhoek	Ter- neuzen	Ellew. dijk	Vlis- singen	Rupel- monde	Hoboken	Ant- werpen
lokatie- nr.	→ 17	18	19	20	21	22	23	24	17	18	19
Zn µg/g	1438	1366	793	594	342	309	314	208	1235	1142	819
Cu µg/g	318	504	242	201	178	112	127	46	221	215	145
Cr µg/g	355	383	276	240	136	142	130	101	315	322	272
Ni µg/g	84.5	84.1	54.8	47.4	35.2	38.7	36.3	29.3	82.1	68.7	57.9
Pb µg/g	325	434	287	197	105	85	83	77	344	360	215
Cd µg/g	49.4	55.3	28.1	15.5	4.0	2.6	3.1	2.3	54.1	49.2	26.2
Fe %	5.69	6.84	6.02	5.66	3.91	3.36	3.30	2.89	5.16	6.43	5.48
Mn µg/g	787	960	942	1853	1872	1427	1350	1046	788	967	926
P %	0.892	1.081	0.775	0.445	0.207	0.162	0.148	0.153	0.628	0.868	0.530
Al %	4.65	5.32	4.60	4.64	3.58	4.20	4.09	3.79	4.14	5.24	4.46
Hg µg/g		5.04	3.17	2.17	1.04	0.65	0.82	0.44			
As µg/g		141	121	67.1	35.7	21.4	23.5	17.4			
zwevend slib op 1.5 m diepte									zwevend slib 1.5 m boven bodem		

Tabel 11. Gemiddelde gehalten in het zwevende slib

De volgende notatie zal nu worden aangehouden:

- R_b , H_b en A_b als aanduiding van de lokaties Rupelmonde, Hoboken en Antwerpen waarbij de index b aangeeft dat de monsters bovenin d.w.z. op 1,5 m diepte zijn genomen.
- R_o , H_o en A_o als aanduiding van dezelfde lokaties waarbij de index o aangeeft dat de monsters onderin, dus op 1,5 m van de bodem zijn verzameld.

Eerst worden R_b en H_b vergeleken. In de R_b -monsters zijn de gehalten aan Zn en Ni hoger en de gehalten aan Cu en Pb lager dan die in de H_b -monsters ondanks een vrijwel gelijk % zeeslib. Voor de overige elementen is het verschil gering. Dit doet vermoeden dat door de Schelde minder met Cu en Pb en meer met Zn en Ni belast slib wordt aangevoerd dan door de Rupel. Dit vermoeden wordt bevestigd door de volgende waarneming. In de R_b -monsters (zie bijlage 4) zijn tijdens hoog water (wanneer % zeeslib het hoogst is en ook slib dat door de Rupel is aangevoerd kan zijn meegemonsterd), de gehalten aan Cu en Pb gelijk aan de gehalten in de R_b -monsters, bemonsterd tijdens laag water (wanneer % zeeslib laag is en alleen slib dat door de Schelde wordt aangevoerd wordt bemonsterd). Het normale patroon zou zijn dat tijdens laag water hogere gehalten worden gevonden dan tijdens hoog water.

Worden de R_b - met de R_o -monsters vergeleken dan blijkt dat in de R_b -monsters de gehalten aan Cu en P hoger en de gehalten aan Pb en Cd lager zijn dan in de R_o -monsters ondanks een gelijk % zeeslib. Als een mogelijke oorzaak voor dit verschijnsel kan voor Cu en P gedacht worden aan de bijdrage van minder met Cu en P belast afgezet slib door erosie in de R_o -monsters.

Door verschillen in % zeeslib zijn alle gehalten in de H_o -monsters lager dan de gehalten in de H_b -monsters. De verschillen tussen de gehalten aan Cu en P zijn groter als voor de overige elementen, waarschijnlijk door de bijdrage van afgezet slib aan de H_o -monsters. Hetzelfde kan gezegd worden ten aanzien van de A_b en A_o -monsters. Het % zeeslib is in deze monsters gemiddeld gelijk, de gehalten aan Cu en P wijken te Antwerpen echter evenals te Rupelmonde en Hoboken nogal af tussen de op verschillende diepten genomen monsters.

Gesteld kan worden derhalve, dat alle 3 genoemde oorzaken een rol spelen bij de grote spreiding in de gehalten in het zwevend slib bij lage % zeeslib.

Bij de bespreking van de opgeloste gehalten in paragraaf 4.4 zal nader worden ingegaan op het niet-conservatieve gedrag van de metalen en fosfor. Met behulp van de resultaten van de opgeloste gehalten is het dan wellicht mogelijk het gedrag van de metalen en fosfor in het gebied met lage % zeeslib vast te stellen.

4.3 Vergelijking tussen de gehalten in het zwevende en afgezette slib

Vergelijking van de gemiddelde gehalten aan metalen en fosfor in het zwevende slib (tabel 11) met de gemiddelde gehalten in het afgezette slib (tabel 9) laat zien dat het zwevende slib over het algemeen hogere concentraties aan zware metalen en fosfor bevat dan het afgezette slib. Voor een drietal locaties (Antwerpen, Bath en Vlissingen) is dit nader uitgewerkt door in tabel 13 de gehalten in het zwevende slib uit te drukken in die van het afgezette slib. Daarbij is gecorrigeerd voor verschillen in korrelgrootte (zie paragraaf 4.2) echter niet voor verschillen in % zeeslib, daar het % zeeslib in afgezet slib nog niet bepaald is.

Met uitzondering van zink, cadmium en nikkel zijn de gehalten in het zwevende slib bij Antwerpen hoger dan die in het afgezette slib tussen de Rupel en Antwerpen. Behalve voor Cu liggen de gehalten in het zwevende slib bij Bath op een gelijk of lager niveau dan die in het afgezette slib tussen de Boudewijnsluizen en Baalhoek. Ter hoogte van Vlissingen zijn de gehalten aan kwik en arseen in het afgezette slib veel hoger dan die in het zwevende slib, de gehalten aan Pb, Cu en Mn zijn duidelijk lager.

4.4 Gehalten in het oppervlaktewater

De resultaten van de analyses in de afzonderlijke monsters zijn vermeld in bijlage 5. In de figuren 25, 26 en 27 zijn de pH, O_2^- , slib-, $Si-, o-PO_4^-$ en metaalgehalten uitgezet als functie van de saliniteit.

In het rivierwater is het zwevende slibgehalte hoger dan in zeewater. Op de tussenliggende locaties zal, wanneer geen sedimentatie plaatsvindt, het zwevende slibgehalte lineair dalen in zeevaartse richting, volgens de rechte die tussen de twee eindleden in figuur 27 getrokken kan worden.

De curve in figuur 27 wijst op een sedimentatie in het gehele estuarium. De verdunning met zeewater alsmede de sedimentatie heeft tot gevolg dat de hoeveelheid organische stof in het oppervlaktewater afneemt. Hierdoor stijgt het zuurstofgehalte (zie figuur 27) dat in het gebied tussen 0 en 12‰ saliniteit vrijwel 0 is. De toevoer van zuurstof door het luchtwater grensvlak is dan voldoende om het zuurstofverbruik van de organische stof te compenseren. Bij saliniteiten hoger dan 20‰ worden zuurstofgehalten van 8 mg/l aangetroffen, welke als normaal voor oppervlaktewater gelden.

Element	Antwerpen ^a	Baalhoek ^b	Vlissingen ^c
Zn	67	91	96
Cu	105	164	139
Cr	80	77	78
Pb	93	89	145
Cd	64	60	121
Ni	81	94	95
Hg	86	66	64
As	102	62	68
Fe	112	88	84
Mn	110	114	105
P	118	84	115

Tabel 13. Gehalten aan metalen en fosfor in het zwevende slib uitgedrukt in

% van de gehalten in het afgezette slib

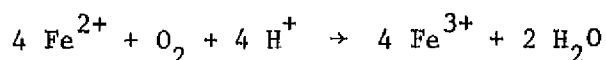
^a = zwevend slib Antwerpen ↔ afgezet slib Rupel tot Antwerpen

^b = zwevend slib Baalhoek ↔ afgezet slib Baalhoek

^c = zwevend slib Vlissingen ↔ afgezet slib Breskens

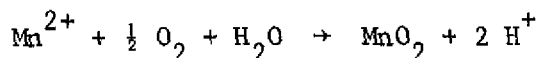
Het pH-verloop is weergegeven in figuur 27, en verloopt als reeds bij andere onderzoeken in het Schelde-estuarium is gevonden (41). Na een aanvankelijke lichte daling tot een saliniteit van ongeveer 12‰, begint de pH vervolgens te stijgen tot waarden zoals die op de Noordzee worden aangetroffen.

Evenals in de figuren 22, 23 en 24, waarin de gehalten in het zwevende slib zijn uitgezet tegen het % zeeslib zijn de curven in de figuren 25, 26 en 27 op te splitsen in 2 of 3 rechte stukken. Voor ijzer en fosfaat treedt een precipitatie op rond 4‰ saliniteit. Hoewel het O₂-gehalte nog vrijwel nul is, wordt hier blijkbaar reeds het goed oplosbare Fe²⁺ geoxideerd tot het slecht oplosbare Fe³⁺ volgens de reactie:



Van fosfaat (en arseen, maar arseen is niet geanalyseerd) is bekend dat het met het ijzer is geassocieerd (30, 42).

Voor mangaan vindt naast de mobilisatie bij 8‰ saliniteit een verwijdering plaats bij 18‰ saliniteit, juist voordat de O₂-concentratie zijn normale waarde van 8 mg/l bereikt. Deze verwijdering is een gevolg van de oxidatie van goed oplosbaar Mn²⁺ tot slecht oplosbaar Mn⁴⁺ volgens de reactie:



In het estuarium vindt een continue verwijdering uit de oplossing van silicium plaats door de opname van Si door diatomeeën (16).

Nikkel heeft, evenals mangaan, maximale gehalten rond 8‰ saliniteit, zink rond 12‰ en koper, lood en cadmium tussen 20 en 24‰. Dit wijst op een mobilisatie van deze metalen in een beperkt saliniteitsgebied. Het maximum in de gehalten aan Mn, Ni en Zn loopt vrijwel parallel met het minimum in de pH. Bij minimale pH is de CO₃²⁻-concentratie eveneens minimaal. De concentraties aan Mn, Ni en Zn worden tot saliniteiten van ongeveer 12‰ derhalve mogelijk bepaald door de oplosbaarheidsproducten van de metaal-carbonaat-complexen. Het mechanisme van de mobilisatie van Cu, Pb en Cd, die bij hogere saliniteiten optreedt dient nader onderzocht te worden.

4.5 Vergelijking van de gehalten in het zwevende slib met de opgeloste gehalten

Zoals in paragraaf 2.4 is uiteengezet gaat een verwijdering uit de oplossing van een bepaalde component gepaard met voor het opgeloste gehalte een negatieve afwijking ten opzichte van de lijn die de mengverhouding tussen rivier- en zeewater

aangeeft en voor het gehalte in het zwevende slib een positieve afwijking ten opzichte van de lijn die de mengverhouding tussen rivier- en zeeslib aangeeft. De figuren 22, 23 en 24 en 25, 26 en 27 zijn niet rechtstreeks met elkaar te vergelijken, omdat in het ene geval op de x-as de saliniteit staat en in het andere geval het % zeeslib, terwijl het verband tussen saliniteit en % zeeslib niet lineair is. Dit verband is weergegeven in figuur 28. Wanneer dit verband in de beschouwing wordt meegenomen - daartoe zijn in de figuren 29, 30 en 31 de gehalten in het zwevende slib uitgezet tegen de saliniteit, waarbij de resultaten van de analyses in de monsters genomen op 1.5 m van de bodem niet zijn vermeld - kan geconcludeerd worden dat de resultaten van de analyses in het zwevend slib en in het oppervlaktewater elkaar bevestigen behalve voor wat betreft koper en fosfor. Uit het opgeloste Cu-gehalte als functie van de saliniteit blijkt een mobilisatie van Cu bij een saliniteit van ongeveer 24⁰/100. Dit blijkt niet uit het gehalte aan Cu in het zwevende slib. Een mogelijke oorzaak zou de toevoeging als gevolg van een lozing van Cu aan het zwevende slib in dit gebied kunnen zijn. Uit figuur 31, waarin het P-gehalte in zwevend slib uitgezet is tegen de saliniteit blijkt dat er een mobilisatie van P optreedt bij een saliniteit van ongeveer 19⁰/100, hetgeen echter niet bevestigd wordt door het opgeloste O-PO₄-gehalte. De oorzaak hiervan is onbekend.

5. Statistische verwerking van de resultaten

In paragraaf 4.1 is ingegaan op de correlatie van metaal- en fosforgehalten in het afgezette slib met de korrelgrootte. Ten einde na te gaan of er correlaties bestaan in de zwevende slib- en oppervlaktewatermonsters, bijvoorbeeld tussen elementen onderling, elementen met de O₂-concentratie etcetera, zijn correlatieberekeningen uitgevoerd. Om gemeenschappelijke oorzaken voor het tot stand komen van de gehalten naar voren te laten komen werd tevens een factor analyse uitgevoerd. Hiermee worden de variabelen gegroepeerd naar onderlinge samenhang. De in de volgende beschouwing gebezigde begrippen variantie, correlatie, common factoren, unieke factoren, communaliteit en eigenwaarde zijn in bijlage 6 nader uitgewerkt.

In eerste instantie zijn twee correlatiematrices gemaakt, één voor het zwevend slib en één voor het oppervlaktewater. De één heeft als variabelen de metaal- en fosforgehalten in het zwevend slib plus de bijbehorende gegevens van de algemene variabelen te weten het slibgehalte en het O₂-gehalte in en de saliniteit, pH, temperatuur, alkaliteit en stroomsnelheid van het oppervlaktewater. De ander is samengesteld uit de variabelen: metaal-, fosfaat- en Si-gehalten in het opper-

vlaktewater en bovengenoemde algemene variabelen. Op deze correlatiematrices is een factoranalyse uitgevoerd.

De correlatiematrix van het zwevend slib is weergegeven in tabel 14. Onder de waarden voor de correlaties is het aantal paren van waarnemingen vermeld waarop de correlaties zijn gebaseerd. Behalve Mn en Al blijken de metalen onderling goed met elkaar te correleren (waarden tussen 0,8 en 1). De correlaties van dezelfde metalen met de pH zijn redelijk tot zeer goed (Fe en As). De correlaties met de slibconcentratie zijn eveneens redelijk, waarden rond de 0,75, maar voor Fe juist iets lager. De correlaties met de stroomsnelheid zijn slecht, met de overige algemene variabelen goed. Zo liggen de correlaties met de saliniteit op 0,9 of hoger. De saliniteit correleert met alle andere variabelen, behalve Mn, Al en de stroomsnelheid, zeer goed. De factormatrix is gepresenteerd in tabel 15. In deze tabel zijn de factorladingen van drie common factoren, en de communaliteiten van de variabelen vermeld. Factor 1 verklaart ongeveer 90 % van de totale variantie in de variabelen. Het merendeel van de variantie in de afzonderlijke variabelen, uitgezonderd Mn, Al en stroomsnelheid, wordt verklaard uit factor 1. Voor de meeste variabelen is dit meer dan 80 %, voor de pH 70 % en voor de slibconcentratie 50 %. Een deel van de variantie in de pH, de slibconcentratie en het Mn-gehalte (20-25 %) wordt verklaard uit factor 2. Het percentage verklaarde variantie in de overige variabelen uit factor 2 is minder dan 10 %. Factor 2 verklaart 7 % van de variantie in alle variabelen. Factor 3 tenslotte verklaart bijna 3 % van de totale variantie, doch het percentage verklaarde variantie in de afzonderlijke variabelen is kleiner dan 10 %. De drie factoren tezamen verklaren slechts een klein gedeelte van de variantie in Mn, Al en stroomsnelheid. De variantie in deze variabelen wordt grotendeels verklaard door de unieke factoren. Factor 1 zou de saliniteitsfactor genoemd kunnen worden. Immers de vermenging van zoet met zout water en rivierslib met zeeslib bepaalt voor het grootste gedeelte de metaalgehalten. Moeilijker is het de tweede factor te benamen. Er ligt geen fysisch of chemisch proces ten grondslag aan de afhankelijkheid tussen de pH en het slibgehalte.

De correlatiematrix voor het oppervlaktewater is weergegeven in tabel 16. Correlatiecoëfficiënten met een absolute waarde groter dan 0,5 van metalen onderling zijn er alleen tussen Zn en Cd, Zn en Ni en Mn en Ni. Zn, Ni, Mn, $O-PO_4$ en Si correleren redelijk tot goed met de pH en het O_2 -gehalte en uitgezonderd zink ook met het slibgehalte en de saliniteit liggen tussen 0,5 en 0,95 resp. -0,5 en -0,95. Fe en Mn correleren goed met $O-PO_4$ en Si. De stroomsnelheid correleert slecht met alle andere variabelen.

Zn	1,0																		
Cu	0,93	1,0																	
	82	81																	
Pb	0,95	0,85	0,93	1,0															
	81	81	80																
Cd	0,99	0,91	0,94	0,96	1,0														
	81	81	80	82															
Ni	0,97	0,88	0,91	0,91	0,94	1,0													
	82	82	81	81	81														
Fe	0,90	0,80	0,94	0,92	0,88	0,85	1,0												
	82	82	81	81	81	82													
Mn	-0,32	-0,25	-0,25	-0,34	-0,41	-0,26	-0,11	1,0											
	82	82	81	81	81	82	82												
P	0,93	0,81	0,91	0,95	0,94	0,87	0,92	-0,40	1,0										
	82	82	81	81	81	82	82	82											
Hg	0,97	0,90	0,95	0,95	0,98	0,92	0,93	-0,39	0,93	1,0									
	69	69	68	70	70	69	69	69	69										
As	0,90	0,80	0,92	0,92	0,91	0,83	0,94	-0,42	0,94	0,96	1,0								
	69	69	68	70	70	69	69	69	69	71									
Al	0,25	0,28	0,24	0,15	0,21	0,27	0,21	0,08	0,18	0,22	0,15	1,0							
	82	82	81	81	81	82	82	82	82	69	69								
tempe- ratuur	0,86	0,78	0,92	0,87	0,84	0,80	0,96	-0,20	0,88	0,90	0,93	0,14	1,0						
	81	81	80	81	81	81	81	81	81	70	70	81							
pH	-0,75	-0,67	-0,82	-0,79	-0,73	-0,67	-0,93	0,02	-0,78	-0,82	-0,88	-0,07	-0,94	1,0					
	79	79	78	79	79	79	79	79	79	68	68	79	85						
alka- liteit	0,94	0,88	0,90	0,93	0,96	0,90	0,85	-0,43	0,93	0,94	0,90	0,22	0,82	-0,71	1,0				
	80	80	79	80	80	80	80	80	80	69	69	80	86	84					
O ₂	-0,90	-0,82	-0,94	-0,91	-0,89	-0,83	-0,95	0,27	-0,92	-0,92	-0,95	-0,24	-0,98	0,91	-0,88	1,0			
	77	77	76	77	77	77	77	77	77	66	66	77	82	81	82				
salini- teit	-0,95	-0,89	-0,94	-0,95	-0,94	-0,89	-0,95	0,25	-0,95	-0,96	-0,95	-0,16	-0,93	0,87	-0,96	0,95	1,0		
	80	80	79	80	80	80	80	80	80	69	69	80	85	84	84	83			
slibcon- centratie	0,79	0,78	0,72	0,77	0,82	0,74	0,58	-0,47	0,69	0,79	0,71	0,16	0,53	-0,37	0,80	-0,61	-0,69	1,0	
	79	79	78	79	79	79	79	79	79	68	68	79	85	83	85	81	83		
stroom- snelheid	0,16	0,17	0,12	0,14	0,18	0,08	0,10	-0,24	0,17	0,14	0,14	0,09	0,09	0,01	0,21	-0,14	-0,14	0,29	1,0
	79	79	78	79	79	79	79	79	79	68	68	79	85	83	85	81	83	84	
	Zn	Cu	Cr	Pb	Cd	Ni	Fe	Mn	P	Hg	As	Al	tempe- ratuur	pH	alka- li- teit	O ₂	salini- teit	slib- con- centratie	stroom- snel- heid

Tabel 14 Correlatiematrix zwevend slib

Variabele	Factorladingen			Communaliteit h^2
	F1	F2	F3	
Zn	0,98	0,10	0,15	0,99
Cu	0,90	0,14	0,25	0,89
Cr	0,97	-0,06	0,09	0,95
Pb	0,97	0,05	-0,04	0,94
Cd	0,98	0,18	0,03	0,99
Ni	0,93	0,09	0,25	0,93
Fe	0,95	-0,29	0,04	0,98
Mn	-0,32	-0,46	0,34	0,43
P	0,96	0,03	-0,14	0,94
Hg	0,99	0,06	-0,01	0,98
As	0,96	-0,05	-0,23	0,98
Al	0,21	0,04	0,32	0,15
temperatuur	0,92	-0,31	-0,11	0,96
pH	-0,83	0,51	0,11	0,96
alkaliteit	0,96	0,19	-0,03	0,95
O ₂	-0,96	0,19	0,07	0,96
saliniteit	-0,98	0,09	0,02	0,97
slibgehalte	0,75	0,48	0,01	0,79
stroomsnelheid	0,16	0,28	-0,09	0,11

Tabel 15. Factormatrix zwevend slib

Zn	1,0																			
	54																			
Cu	0,27	1,0																		
	54																			
Pb	-0,08	0,24	1,0																	
	54	54																		
Cd	0,50	0,37	0,20	1,0																
	54	54	54																	
Ni	0,65	-0,09	-0,22	0,05	1,0															
	54	54	54	54																
Fe	-0,34	-0,24	-0,06	-0,33	0,31	1,0														
	27	27	27	27	27															
Mn	0,37	-0,30	-0,15	-0,40	0,88	0,37	1,0													
	37	37	37	37	37	27														
O-PO ₄	0,03	-0,25	-0,03	-0,38	0,68	0,78	0,81	1,0												
	38	38	38	38	38	27	38													
Si	0,06	-0,30	-0,12	-0,49	0,75	0,67	0,87	0,93	1,0											
	38	38	38	38	38	27	38	44												
tempe- ratuur	0,58	-0,26	-0,16	0,03	0,91	0,30	0,91	0,76	0,83	1,0										
	54	54	54	54	54	27	38	44	44											
pH	-0,72	0,15	0,16	-0,17	-0,91	-0,15	-0,83	-0,60	-0,68	-0,94	1,0									
	53	53	53	53	53	26	37	43	43	85										
alka- liteit	0,17	-0,21	-0,16	-0,22	0,79	0,58	0,89	0,93	0,96	0,82	-0,71	1,0								
	53	53	53	53	53	26	37	43	43	86	84									
O ₂	-0,49	0,24	0,15	0,03	-0,91	-0,36	-0,96	-0,78	-0,86	-0,98	0,91	-0,88	1,0							
	51	51	51	51	51	24	34	40	40	82	81	82								
salini- teit	-0,41	0,26	0,15	0,07	-0,90	-0,49	-0,92	-0,89	-0,95	-0,93	0,87	-0,96	0,95	1,0						
	54	54	54	54	54	27	38	44	44	85	84	84	83							
slib- gehalte	-0,09	-0,28	-0,22	-0,34	0,52	0,26	0,68	0,80	0,80	0,53	-0,37	0,80	-0,61	-0,69	1,0					
	52	52	52	52	52	26	37	42	42	85	83	85	81	83						
stroom- snelheid	-0,14	-0,14	0,03	-0,17	0,14	0,38	0,43	0,36	0,48	0,09	0,01	0,21	-0,14	-0,14	0,29	1,0				
	53	53	53	53	53	26	37	42	42	85	83	85	81	83	84					
	Zn	Cu	Pb	Cd	Ni	Fe	Mn	O-PO ₄	Si	tempe- ra- tuur	pH	alka- li- teit	O ₂	salini- teit	slib- ge- halte	stroom- snel- heid				

Tabel 16 Correlatiematrix oppervlaktewater

De correlaties, waarin Cu, Pb en Cd in het geding zijn, liggen alle gelijk of lager dan ca. 0,5.

De onderlinge samenhang tussen de variabelen komt tot uiting in de factormatrix, weergegeven in tabel 17. Factor 1, welke factor eveneens de saliniteitsfactor genoemd kan worden, verklaart 75 % van de totale variantie. In deze factor zijn met name Ni, Mn, O-PO₄, Si, en de algemene variabelen, uitgezonderd de stroomsnelheid, vertegenwoordigd. Factor 2 verklaart zo'n 20 % van de totale variantie en verklaart met name de variantie in het Zn, Cd en Fe-gehalte en in de pH. Deze factor zou de pH-factor genoemd kunnen worden. Hoewel de overige zware metalen in deze factor nauwelijks bijdragen, is het bekend dat de opgeloste metaalgehalten mede door pH-afhankelijke processen bepaald worden. Factor 3 verklaart ongeveer 5 % van de totale variantie en verklaart minder dan 16 % van de variantie in elk van de afzonderlijke variabelen. De drie factoren tezamen verklaren minder dan 30 % van de variantie in het Cu^e-Pb-gehalte en in de stroomsnelheid, ongeveer 60 % van de variantie in het Cd-, Fe- en slibgehalte, 80 % van de variantie in het Zn-gehalte en meer dan 90 % van de variantie in de overige variabelen. De overgebleven variantie wordt met name uit de unieke factoren verklaard. Factoranalyse op de gehele dataset lijkt voor de hand liggend omdat in beide deelsets eenzelfde stuurvariabele namelijk de saliniteit is gevonden.

Derhalve is de factoranalyse toegepast op de totale dataset. De correlatiematrix wordt niet getoond, omdat relevante correlatiecoëfficiënten in tabel 14 resp. 16 staan; de factormatrix is weergegeven in tabel 18. Factor 1, de saliniteitsfactor, verklaart 80 % van de totale variantie in de variabelen en zij verklaart bijna alle variantie (> 75%) in de variabelen Zn, Cu, Cr, Pb, Cd, Ni, Fe, P, Hg en As in het zwevend slib en Ni, Mn, PO₄, Si, temperatuur, alkaliteit, O₂ en saliniteit in het oppervlaktewater en in iets mindere mate (25-75%) de variantie in het Fe-gehalte, de pH en het slibgehalte van het oppervlaktewater. De overige variabelen dragen niet bij tot factor 1. Factor 2, de pH-factor verklaart 14% van de totale variantie. In deze factor zijn met name het gehalte aan Mn in het zwevend slib, het gehalte aan Zn, Cd en Fe in het oppervlaktewater en de pH vertegenwoordigd. De overige twee factoren dragen nauwelijks bij tot de verklaring van de totale variantie. De variantie in de variabelen Cu en Pb in het oppervlaktewater en de stroomsnelheid wordt voor minder dan 40% uit de commonfactoren verklaard. De variantie in de meeste variabelen wordt grotendeels verklaard uit één factor, de variantie in het Mn-gehalte in het zwevend slib, in het Fe-gehalte in het oppervlaktewater en in de pH echter uit meerdere factoren.

Variabele	Factorladingen			Communaliteit h^2
	F1	F2	F3	
Zn	0,34	-0,84	0,01	0,82
Cu	-0,28	-0,31	0,31	0,27
Pb	-0,18	-0,03	0,41	0,20
Cd	-0,21	-0,66	0,31	0,57
Ni	0,89	-0,35	0,01	0,92
Fe	0,49	0,51	0,33	0,61
Mn	0,96	0,02	-0,14	0,94
O-PO ₄	0,90	0,34	0,23	0,98
Si	0,96	0,33	0,07	1,0
temperatuur	0,93	-0,30	-0,05	0,97
pH	-0,84	0,50	0,05	0,95
alkaliteit	0,96	0,15	0,04	0,94
O ₂	-0,96	0,21	0,03	0,97
saliniteit	-0,99	0,09	-0,07	0,99
slibgehalte	0,71	0,33	-0,17	0,64
stroomsnelheid	0,27	0,35	0,19	0,23

Tabel 17. Factormatrix oppervlaktewater

	Variabele	Factorladingen				Communaliteit h^2
		F1	F2	F3	F4	
ZWEVEND SLIB	Zn	0,98	-0,04	0,19	-0,08	0,99
	Cu	0,89	-0,08	0,25	-0,15	0,87
	Cr	0,96	0,09	0,06	-0,11	0,95
	Pb	0,97	0,02	0,02	-0,06	0,95
	Cd	0,98	-0,12	0,10	-0,10	0,99
	Ni	0,93	-0,06	0,29	-0,08	0,95
	Fe	0,94	0,28	0,03	0,01	0,96
	Mn	-0,38	0,56	0,47	-0,02	0,68
	P	0,96	-0,03	-0,07	-0,04	0,93
	Hg	0,99	-0,03	0,02	-0,08	0,98
	As	0,96	0,10	-0,25	-0,07	1,00
	OPPERVLAKTEWATER	Zn	0,31	0,78	-0,18	0,10
Cu		-0,30	0,35	0,23	0,19	0,30
Pb		-0,18	0,05	0,28	0,20	0,16
Cd		-0,21	0,75	0,33	0,02	0,71
Ni		0,87	0,36	-0,14	0,15	0,93
Fe		0,52	-0,44	0,41	0,21	0,67
Mn		0,95	-0,05	-0,35	0,25	1,05
O-PO ₄		0,92	-0,30	0,25	0,12	1,01
Si		0,97	-0,30	0,01	0,18	1,05
temperatuur		0,92	0,32	-0,10	0,04	0,96
pH		-0,82	-0,53	0,12	-0,04	0,97
alkaliteit		0,96	-0,13	0,06	-0,04	0,94
O ₂		-0,95	-0,23	0,08	-0,04	0,96
saliniteit		-0,98	-0,13	-0,06	-0,01	0,98
slibconcentratie		0,75	-0,32	-0,00	-0,21	0,71
stroomsnelheid		0,21	-0,33	-0,01	0,47	0,38

Tabel 18. Factormatrix zwevend slib + oppervlaktewater

Uit de toepassing van de factoranalyse op de volledige dataset van zwevend slib en oppervlaktewater kan het volgende geconcludeerd worden:

- de vermenging van rivier- met zeewater en van rivier- met zeeslib bepaalt voor een groot gedeelte de metaal- en fosforgehalten in het zwevende slib, alsmede de gehalten aan Ni, Mn, O-PO₄ en Si in het oppervlaktewater
- pH afhankelijke processen bepalen grotendeels de gehalten aan Zn en Cd in het oppervlaktewater
- er zijn andere processen die de gehalten aan Cu en Pb in het oppervlakte- water bepalen

6. Balansstudie

Op 7 lokaties in de Schelde en Westerschelde zijn monsters zwevend slib en oppervlaktewater genomen, terwijl op een dertiental lokaties het afgezet slib is bemonsterd. De resultaten van de analyses in het afgezet slib lieten zien dat de metaal- en fosforgehalten (uitgezonderd mangaan) afnemen in zeewaartse richting (hoger percentage zeeslib). De metaal- en fosforgehalten in het zwevende slib nemen eveneens af in zeewaartse richting, waarbij echter de gehalten op een bepaalde lokatie ongelijk zijn aan de gehalten berekend op basis van de verhouding rivier-: zeeslib. Er bestaat geen lineair verband tussen de gehalten en de saliniteit. Dit is een gevolg van adsorptie-, precipitatie- en desorptieprocessen in een bepaald saliniteitsgebied. De gehalten in het oppervlaktewater vertonen evenmin een conservatief gedrag (lineair verband tussen gehalte en saliniteit). In het algemeen zijn de opgeloste gehalten consistent met de gehalten in het zwevend slib.

Met behulp van de resultaten van de diverse analyses is getracht op jaarbasis een massabalans voor de metalen en het fosfor op te stellen voor het Schelde-estuarium, met de volgende doelstellingen voor ogen:

- inzicht in de vracht aan metalen en fosfor die het estuarium binnenkomt c.q. verlaat,
- inzicht in de verdeling over opgelost en zwevend als functie van de afstand in het estuarium, en
- inzicht in de hoeveelheid aan metalen en fosfor die sedimenteert.

Omdat het slechts een momentopname betrof - alle monsters zijn in september 1979 verzameld - en de balans daardoor vrij grof zal zijn is voor de eenvoud het estuarium verdeeld in twee compartimenten. Het eerste compartiment is het riviergedeelte vanaf de Rupelmonding tot de grens, het tweede gedeelte loopt vanaf de

grens tot aan Vlissingen. Hiermede wordt het estuarium derhalve in een Belgisch en in een Nederlands gebied gescheiden.

Ten behoeve van de massabalansberekeningen zijn de volgende aannamen en randvoorwaarden gemaakt:

- De waterafvoer van de Schelde bedraagt gemiddeld over een jaar $100 \text{ m}^3/\text{s} = 3,15 * 10^9 \text{ m}^3/\text{jaar}$ (zie paragraaf 2.1.2),
- het verloop van het zwevend slibgehalte met de saliniteit is gemiddeld gelijk aan het verloop gemeten in 1979; dit verloop komt in grote lijnen overeen met de bevindingen vermeld in het boek "Projekt Zee" (16),
- dezelfde aanname is van toepassing op het verloop van de opgeloste metaal- en fosforgehalten en deze gehalten in het zwevend slib met de saliniteit,
- de gehalten in het zwevende slib en de opgeloste gehalten zijn constant over de diepte,
- bijdragen van zijriviertjes en/of afvalwater zijn verwaarloosd, en
- aangaande de flux aan componenten uit de bodem bestaan te weinig gegevens, zodat het niet mogelijk was de bijdrage hiervan in de balans op te nemen

Het nettotransport van een opgeloste stof op een bepaalde lokatie x kan worden beschreven met de volgende formule:

$$F = R \cdot c_x - K_x \cdot A_x \frac{dc_x}{dx} \quad (1)$$

waarin,	F : netto transport	ton/jaar
	R : waterafvoer van de rivier	m^3/jaar
	c_x : concentratie op lokatie x	ton/m^3
	K_x : dispersiecoëfficiënt	m^2/jaar
	A_x : doorsnede op lokatie x	m^2
	x : afstand	m

De tweede term aan de rechterkant van het = teken in vergelijking (1) is moeilijk vast te stellen maar kan worden herleid tot een differentiaal van de concentratie c_x naar de saliniteit s . Voor de saliniteit is in de steady state situatie het nettotransport 0.

In formule :

$$F = R_s - K_x \cdot A_x \cdot \frac{ds}{dx} = 0 \quad (2)$$

Substitutie van vergelijking (2) in (1) levert :

$$F = R \left(c_x - s \frac{dc_x}{ds} \right) \quad (3)$$

waarin dc_x/ds de afgeleide van de concentratie naar de saliniteit is. Deze afgeleide is voor de opgeloste gehalten (en dus ook de zwevend slib concentratie) de helling in de figuren 25 t/m 27, waarin de gehalten zijn uitgezet als functie van de saliniteit.

Analoog aan vergelijking (3) is het netto transport voor een bepaalde stof gebonden aan het zwevend slib op een bepaalde lokatie x gelijk aan:

$$F = R_1 \left(C_x - s \frac{dC_x}{ds} \right) - R_2 \left(C_x - (s-30) \frac{dC_x}{ds} \right) \quad (4)$$

waarin; F	: netto transport	ton/jaar
R ₁	: netto zwevend slib transport vanaf de rivier	ton/jaar
R ₂	: netto zwevend slib transport vanaf zee	ton/jaar
C _x	: concentratie in zwevend slib op lokatie x	ton/ton
s	: saliniteit	‰
30	: saliniteit aan het eindpunt op zee	‰
$\frac{dC_x}{ds}$: afgeleide gehalte in zwevend slib naar de saliniteit = helling in de figuren 29 t/m 31	

Bij de monding van de Rupel, de grens en Vlissingen zijn met behulp van de vergelijkingen (3) en (4) de netto transporten aan metalen en fosfor opgelost in het water en gebonden aan het zwevende slib berekend. De resultaten van de balansberekningen zijn weergegeven in de figuren 32 en 33. Een onderbroken pijl geeft het opgeloste transport weer, een ononderbroken pijl het "gesuspendeerde" transport. Een hoeveelheid x geeft aan dat deze hoeveelheid niet berekend kon worden, omdat hiertoe geen analyses in het oppervlaktewater zijn uitgevoerd.

→ De slibbalans verlangt enige nadere uitleg. Deze balans laat zien dat 800×10^3 ton slib door de rivier wordt afgevoerd. Bij de grens bedraagt het netto transport 140×10^3 ton slib per jaar in zeewaartse richting. Dit betekent dat 660×10^3 ton slib tussen de Rupelmonding en de grens sedimenteert.

Uit de bepaling van het percentage zeeslib in de zwevend slibmonsters met behulp van de stabiele isotopengeochemie kan worden afgeschat dat het percentage zeeslib in het afgezet slib gelijk is aan ongeveer 30%. M.a.w. 460×10^3 ton rivierslib en 200×10^3 ton zeeslib sedimenteert in het eerste compartiment. Bij de grens is derhalve een netto transport R1 van 340×10^3 ton rivierslib in zeevaartse richting en van 200×10^3 ton zeeslib in omgekeerde richting (R2). Met het gegeven dat in het gebied tussen de grens en Vlissingen gemiddeld 75% van het afgezette slib zeeslib is, is te berekenen dat in dit gebied per jaar 240×10^3 ton rivierslib en 730×10^3 ton zeeslib sedimenteert. De netto transporten R1 en R2 zijn bij Vlissingen respectievelijk 100×10^3 ton en 930×10^3 ton per jaar.

Wat de metaal- en fosforbalansen betreft kunnen de volgende algemene conclusies worden getrokken :

- Bij de monding van de Rupel is uitgezonderd voor Ni, Mn en P en mogelijk As het opgeloste transport vele malen lager dan het aan het slib gebonden transport,
- ter hoogte van Vlissingen is het opgelost transport veelal hoger dan en in omgekeerde richting met het "gesuspendeerde" transport,
- uitgezonderd voor koper is ter hoogte van Vlissingen het transport aan materiaal gebonden aan het zwevend slib stroomopwaarts gericht, en
- ter hoogte van de grens is het netto transport aan materiaal gebonden aan het zwevend slib, behalve voor mangaan in zeevaartse richting.

Aangaande de afzonderlijke elementen kunnen de volgende opmerkingen gemaakt worden :

- Koper. Figuur 25, waarin het opgeloste Cu-gehalte is uitgezet tegen de saliniteit, geeft aan dat in het saliniteitsgebied tussen 22 en 26 ‰ 23 ton Cu desorbeert van het zwevende slib en in oplossing gaat. Het verband tussen het Cu-gehalte in het zwevende slib en de saliniteit laat deze desorptie niet zien (figuur 29). In de balans is met deze desorptie wel rekening gehouden. Er is geen rekening gehouden met de hoge Cu-gehalten in het zwevend slib bij lage saliniteit, welke ook een desorptie doet vermoeden.
- Fosfor. In tegenstelling tot hetgeen uit figuur 26, waarin het $O-PO_4$ -gehalte is uitgezet tegen de saliniteit, valt op te maken, blijkt uit figuur 31, waarin het P-gehalte in het zwevend slib tegen de saliniteit is uitgezet, dat

er bij hoge saliniteit een desorptie van P plaatsvindt. In de berekeningen is deze desorptie in beschouwing genomen.

Wanneer voor de twee onderscheiden gebieden de hoeveelheden gesedimenteerd metaal en fosfor worden gedeeld door de hoeveelheden gesedimenteerd slib worden de gemiddelde gehalten in het afgezette slib verkregen. In tabel 19 is het resultaat van deze berekeningen weergegeven. Deze berekende gehalten zijn met name voor P en Cu in beide gebieden en voor Cd in het gebied tussen de grens en Vlissingen hoger dan de gehalten die in het afgezet slib gevonden zijn.

element	Monding Rupel tot grens berekend	grens gemeten	Grens tot Vlissingen berekend	gemeten
Zn µg/g	1140	854	415	236
Cu µg/g	280	146	94	39
Cr µg/g	300	256	146	115
Pb µg/g	303	239	130	70
Cd µg/g	36,0	29,2	19,8	4,0
Ni µg/g	58,0	51,0	37,6	25,2
Hg µg/g	3,5	3,1	1,7	1,0
As µg/g	106	91	55	32
Fe %	5,9	4,9	3,8	3,0
Mn µg/g	985	900	1270	920
P %	1,0	0,466	0,32	0,14

Tabel 19. Berekende gemiddelde gehalten in het afgezette slib

De gemeten waarden staan eveneens in tabel 19. De onder de kolom monding Rupel tot de grens weergegeven gemeten waarden zijn gemiddelde waarden van de gehalten in het slib op de lokaties 1 t/m 6, welke gehalten in tabel 9 zijn vermeld. De gemeten waarden tussen de grens tot Vlissingen zijn gemiddelde waarden van de gehalten op de lokaties 7 t/m 16, lokatie 15 uitgezonderd. De getallen geven een indicatie van de werkelijkheid, omdat "toevallig" op de lokaties 1 t/m 16 is gemonsterd.

Behalve voor P, Cu en Cd kan het verschil tussen berekend en gemeten verklaard worden uit het feit dat het percentage aan fijne deeltjes - aan welke deeltjes de metalen en fosfor bij voorkeur gebonden zijn - in het zwevend slib hoger is dan in het afgezette slib. Dit blijkt uit het aluminiumgehalte, welke een maat is voor het percentage aan fijne deeltjes. Het Al-gehalte is in het zwevend slib hoger dan in het afgezette slib. Voor het Belgische deel van het Schelde estuarium zijn de Al-gehalten in zwevend slib en afgezet slib resp. 4,8 en 3,9 %, voor het Nederlandse deel 4,1 en 2,9 %. (Deze gehalten zijn gemiddelde waarden van de gehalten opgegeven voor het Belgische en Nederlandse deel van het estuarium in tabel 9 en 11.) Blijkbaar vindt er een selectieve sedimentatie plaats. Voor Cd is het bovendien zeer wel mogelijk dat er rond 20 ‰ saliniteit meer Cd desorbeerd dan berekend kan worden uit figuur 25, waarin het opgeloste Cd-gehalte is uitgezet tegen de saliniteit. Bij koper en fosfor is er nog iets anders in het geding. Wordt op een bepaalde lokatie het gehalte in het afgezette slib uitgezet tegen het aluminiumgehalte, dan wordt een rechte lijn verkregen. Het gemiddelde gehalte in het zwevende slib op dezelfde lokatie ligt op deze lijn, behalve voor P en Cu. Als voorbeeld is voor lokatie "Rupelmonding" het Zn- en P-gehalte als functie van het Al-gehalte uitgezet in figuur 34.

De resultaten van de balansberekeningen geven slechts een globaal beeld van het gedrag van de metalen en fosfor in het estuarium te zien. Omdat het echter een momentopname betrof, en er nogal wat aannamen zijn gedaan, dienen de resultaten met de nodige omzichtigheid betracht te worden.

7. Conclusies en aanbevelingen

7.1. Algemene conclusies

De gehalten aan zware metalen in de waterfase en gebonden aan het zwevende en afgezette sediment worden door een aantal processen bepaald. Het overheersende proces is de vermenging van rivier- met zeewater en rivier- met zeeslib. In het Schelde estuarium wordt een afname van de metalen in de afgezette sedimenten in zeewaartse richtingen geconstateerd. Deze afname is ook in andere estuaria, zoals het Rijn-, Eems- en Elbe estuarium, gevonden en wordt veroorzaakt door de vermenging van metaalrijk rivierslib met relatief metaalarm Noordzeeslib. De vermenging is aangetoond met behulp van natuurlijke tracers.

Ook de gehalten aan metalen in het zwevende slib worden in eerste instantie bepaald door de mengverhouding tussen rivier- en zeeslib. Bij het onderhavige onderzoek is de mengverhouding bepaald door middel van de stabiele isotopengeochemie. Ter hoogte van Baalhoek is ongeveer 70% van het slib van mariene herkomst, ter hoogte van Antwerpen is dit ongeveer 35%.

Gesuperponeerd op dit fysisch mengproces treden adsorptie en desorptie op, die met name de gehalten in oplossing beïnvloeden. Dit laatste hangt samen met het feit, dat een groot deel van de metaalvracht gebonden aan het slib wordt getransporteerd. Daardoor geeft een geringe desorptie of adsorptie reeds aanleiding tot grote veranderingen in de opgeloste gehalten.

Voor wat betreft deze processen wijkt het Schelde estuarium sterk af van andere West-Europese estuaria. Terwijl in het Rijn- en Eemsestuarium een verwijdering van opgeloste metalen uit de oplossing plaats vindt, treedt in het Schelde estuarium een aanzienlijke mobilisatie van de slibgebonden metalen op. Het is niet uitgesloten, dat deze mobilisatie samenhangt met het zuurstofloze karakter van het Scheldewater en de intensieve afbraak van de organische stof in het estuarium.

7.2. Conclusies betrekking hebbende op deelaspekten

1. Ten opzichte van 1974 zijn in 1979 de gehalten aan Zn, Cr en Hg in slib bemonsterd tussen Rupelmonde en Antwerpen gedaald, terwijl het gehalte aan As is gestegen.
2. De afgezette slibmonsters verzameld nabij Boudewijnsluizen en Doel vertonen, in vergelijking met nabijgelegen lokaties, verhoogde kwikgehalten, vermoedelijk als gevolg van plaatselijke lozing van Hg.
3. Het slib verzameld ter hoogte van Vlissingen bevatte in 1979 ten opzichte van 1974 lagere gehalten aan Pb en Hg en een hoger gehalte aan Cd.
4. Het afgezette slib in de Sloehaven van Vlissingen bevat verhoogde gehalten aan Cd en P. De regionale verschillen in deze haven wijzen op de toevoeging van deze elementen middels plaatselijke lozingen.
5. De combinatie van de analyses in het zwevende slib en het gefiltreerde oppervlaktewater toonden aan dat Fe, P en As uit de oplossing worden verwijderd bij een saliniteit van ongeveer 4 ‰. Zn en Ni worden gemobiliseerd bij saliniteiten tussen 8 en 12 ‰ en Cu, Pb, Cd, Hg en As bij saliniteiten tussen 20 en 24 ‰. Mangaan wordt gemobiliseerd bij een saliniteit van ongeveer 8 ‰ en vervolgens uit de oplossing verwijderd bij een saliniteit rond 18 ‰. Veranderingen in de pH, de slibconcentratie, het zuurstofgehalte en de afbraak van de organische stof zijn waarschijnlijk mede de oorzaak van deze verwijderings- en mobilisatieprocessen.
6. Behalve voor Cu en P bevestigen de resultaten van de analyses in het gefiltreerde oppervlaktewater de resultaten van de analyses in het zwemwater.
7. Het zwevende slib aangevoerd door de Rupel is mogelijk meer met Cu en Pb en minder met Zn en Ni belast dan het slib aangevoerd door de Schelde.
8. Het ontbreken van gegevens over de verhouding rivierslib:zeeslib in afgezet slib maakt een vergelijking tussen de gehalten in zwevend slib en afgezet slib niet goed mogelijk. Het Cu- en P-gehalte in zwevend slib is, in vergelijking tot de overige elementen, veel hoger dan in afgezet slib op overeenkomstige lokaties.
9. Een zeer globale balansstudie laat zien dat in het Belgische gebied van het Schelde estuarium vanaf Rupelmonde ongeveer 2 keer zo veel Zn, Cu en Pb, bijna evenveel Fe, Cd en Ni en 0,5 keer zoveel Mn sedimenteert als in het Nederlandse gebied van het estuarium tot aan Vlissingen. Omdat de bemonsteringen in het Schelde estuarium in 1979 een moment-opname betreffen, moeten de resultaten van de balansberekningen met de nodige voorzichtigheid worden bekeken. De resultaten zijn namelijk gebaseerd op een periode van lage rivierafvoer.

7.3. Aanbevelingen

1. Tussen de bemonsteringen die in 1974 en in 1979 zijn uitgevoerd in de Schelde en Westerschelde, treden voor een aantal metalen significante verschillen op, die het nut van sedimenten als een monitor duidelijk laat zien. De vraag dient zich aan met welk tempo een dergelijke scanning van sedimenten dient te worden uitgevoerd om veranderingen in de belasting van oppervlaktewater met metalen en fosfor te kunnen vervolgen. Op basis van de monitoring van Rijn-sedimenten (jaarlijks) en het huidige onderzoek lijkt vooreerst een gedifferentieerde aanpak de voorkeur te verdienen.
 - a. Een jaarlijkse scanning van de bronnen, d.w.z. van het afgezette slib tussen de Rupelmonding en Antwerpen en van Noordzeesedimenten ter hoogte van de Vlaamse Banken. In totaal omvat dit een onderzoek van een twintigtal sedimentmonsters.
 - b. Een beperkte 2 tot 3 jaarlijkse scanning van de bronnen + enkele nader vast te stellen lokaties in het Schelde estuarium. In totaal omvat dit een onderzoek van een vijftigtal sedimentmonsters.
 - c. Eens in de 5 jaar een uitvoerige scanning van het bodemsediment zoals ten behoeve van dit onderzoek is uitgevoerd.
2. De gehalten aan metalen in zwevend slib genomen op één lokatie zijn door de seizoenen heen niet constant. Bij lage rivierafvoer zal het zeelib verder het estuarium kunnen binnendringen dan bij hoge rivierafvoer. Daarnaast zal bij hoge rivierafvoer per tijdseenheid meer slib worden afgevoerd, zodat, wanneer de totale hoeveelheid van in het rivierwater ingebracht metaal per tijdseenheid hetzelfde blijft, de gehalten in het zwevende slib bij hoge rivierafvoer lager zullen zijn dan bij lage rivierafvoer. In dit verband verdient het aanbeveling een bemonstering van het zwevend slib en oppervlaktewater uit te voeren ten tijde van hoge rivierafvoer. Het is dan tevens mogelijk een nauwkeuriger dan in dit verslag aangegeven metaalbalans op te stellen. Een bijkomend voordeel hierbij is dat het zeelib bij hoge rivierafvoer niet tot voorbij de monding van de Rupel binnendringt, zodat de vaststelling van de gehalten in puur rivierslib beter tot stand kan komen. N.a.v. de bemonstering in 1979 was dit niet goed mogelijk.
3. De parameters die een rol spelen bij de verwijdering- en mobilisatieprocessen in het Scheldeestuarium worden nog onvoldoende begrepen. Onderzoek naar de mechanismen van deze processen is gewenst.
4. Nader onderzoek is gewenst naar het gedrag van Cu en P. De resultaten van de analyses in het zwevende slib en het gefiltreerde oppervlaktewater waren niet éénduidig interpreteerbaar.

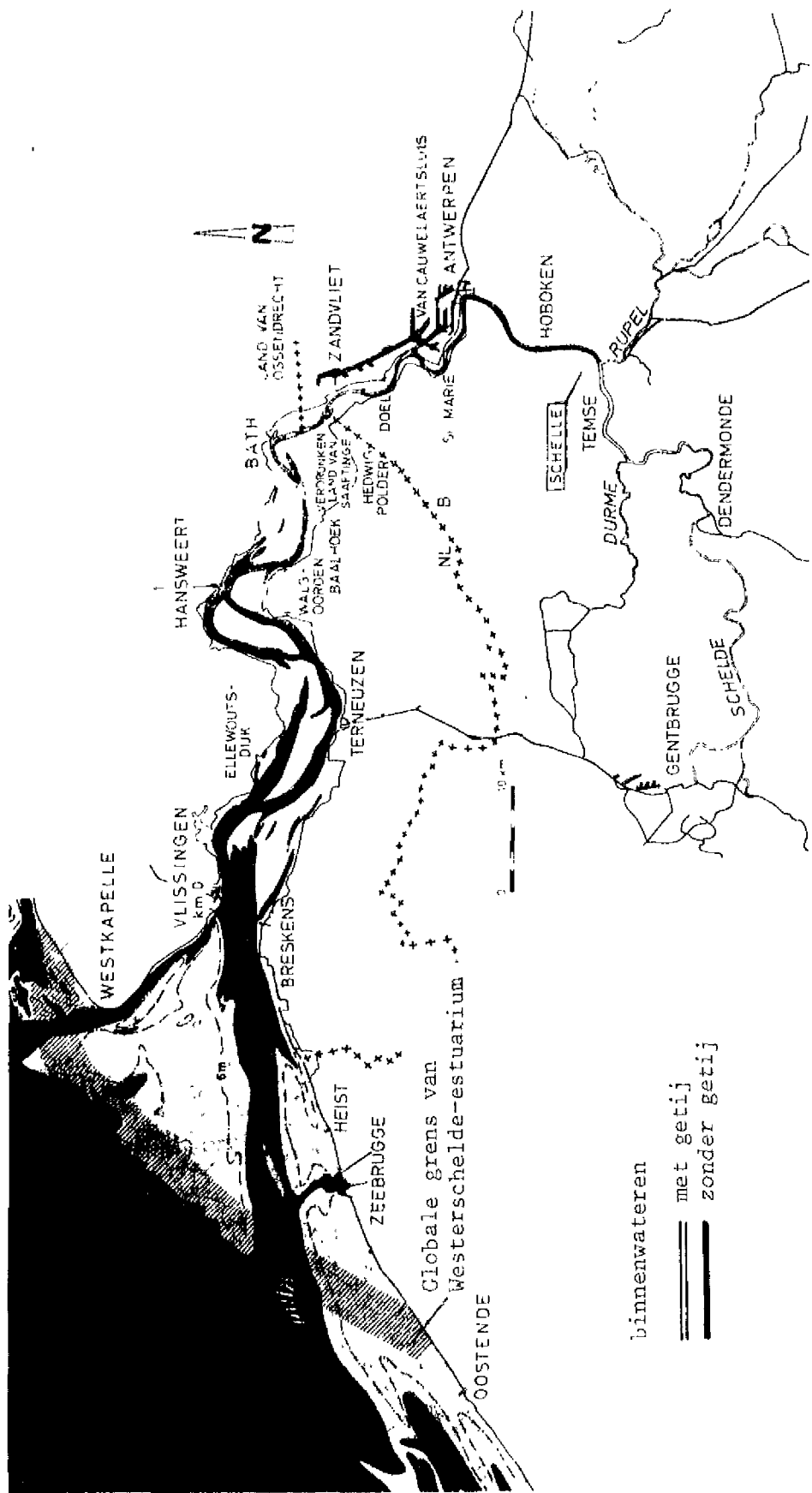
5. Nader onderzoek naar de mogelijke lozing van kwik nabij Boudewijnsluizen en Doel.
6. Om de resultaten van de analyses in zwevend slib en afgezet slib goed met elkaar te kunnen vergelijken, is naast toepassing van de stabiele isotopen-geochemie op het zwevend slib ter bepaling van de verhouding riverslib:zeeslib toepassing van deze techniek op het afgezette slib gewenst. Ook in verband met het vergelijken van resultaten van analyses in afgezet slib, bemonsterd op dezelfde lokatie op verschillende tijdstippen, is isotopengeochemisch onderzoek gewenst.
7. In het algemeen verdient het aanbeveling om naast de metalen en fosfor, organische microverontreinigingen in het onderzoek te betrekken.

Literatuur

- (1) Eysink, W.D., Morfologie van de Waddenzee; gevolgen van zand- en schelpenwinning, Waterloopk. Lab, Versl. lit. onderz. R1336, Mei 1979.
- (2) Glopper, R.J. de, Over de bodemgesteldheid van het Waddengebied, Serie: Van Zee tot Land, 43, 1967, Tjeenk Willink, Zwolle.
- (3) Zimmerman, J.T.F., Circulation and water exchange near a tidal watershed in the Dutch Wadden Sea, Neth. J. Sea Res., 8 (2-3), 1974, pp: 126-138.
- (4) Zimmerman, J.T.F., Mixing and flushing of tidal embayments in the western Dutch Wadden Sea, VU Amsterdam, Proefschrift, dec. 1976 en Neth. J. Sea Res. 10 (2 en 4), 1976, pp: 149-191 resp. 397-439.
- (5) Anonymus, Groninger Wadden, RWS-Studiedienst Hoorn, juli 1941 (bibl. RWS-Landaanwinningswerken, prov. Groningen, No. 41.7 en 41.8).
- (6) Wartel, S., Variations in concentration of suspended matter in the Scheldt estuary. Aardwetenschappen, Brussel, Bull. 49.2, 31 dec. 1973.
- (7) Postma, H., Hydrography of the Dutch Wadden Sea. A study of the relations between water movement, the transport of suspended materials and the production of organic matter, Arch. Néerl. Zoöl., X, 4e livr. 1954, pp: 405-512.
- (8) Dorrestein, R., On the distribution of salinity and some other properties of the water in the Ems-estuary, Verh. Kon. Ned. Geol. Mijnb. Gen., Geol. Serie XIX, 1960, pp: 43-74.
- (9) Peter, J.J. en A. Sterling, Hydrodynamique et transports des sédiments de l'estuaire de l'Escaut, Hoofdst. I in: Projekt Zee, Eindverslag, boekdeel 10; Het Schelde Estuarium, uitgevoerd door J.C.J. Nihou^l en R. Wollast, Diensten van eerste minister van Programmatie Wetenschapsbeleid, Brussel, dec. 1976.
- (10) Loeff, D. de, Kaartering van de bodemsamenstelling van het oostelijk gedeelte van de Westerschelde. Methode en resultaten, RWS, Studiedienst Vlissingen, Nota WWKZ-78.V013, dec. 1978.
- (11) Wartel, S., Het gehalte aan carbonaten in sedimenten van het Schelde-estuarium, de Ooster Schelde en het Veerse Meer, Hoofdst. II-C in: Project Zee, Eindverslag, boekdeel 10, (zie ref. (9)).
- (12) Gossé, J.G., A preliminary investigation into the possibility of erosion in the area of the Flemish Banks, RWS, dir. W. en W., F.A., Nota 7702, 1977.
- (13) Wollast, R. et al., Origine et mecanismes de l'envasement de l'estuaire de l'Escaut. Un. Bruxelles, Fac. Sciences appl., Inst. Chimie Industrielle, Rapp. de Synthèse, dec. 1973.

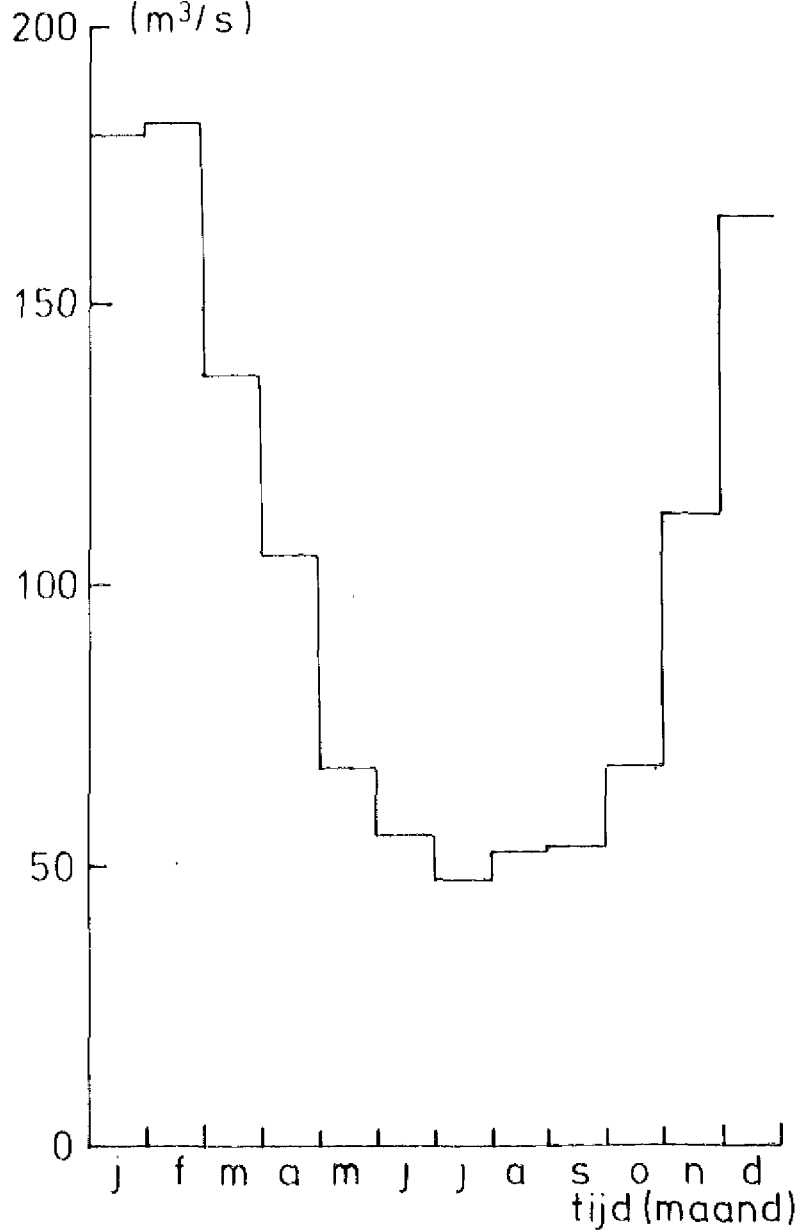
- (14) Postma, H., Einige Bemerkungen über den Sinkstofftransport in Ems-Dollard-Estuarium, Das Ems-Estuarium (Nordsee) Kon. Ned. Geol. Mijnb. Gen., Geol. Serie 19, 1960, pp: 103-110.
- (15) Mc Cave, J.N., Mud in the North Sea, Nato North Sea Science Conf. Aviemore, Scotland, 15-20 Nov. 1971, In E.D. Goldberg (Ed.), North Sea Science, 1973, pp. 75-100.
- (16) Wollast, R., Transport et accumulation de polluants dans l'estuaire de l'Escaut, Hoofdst. IV in: Project Zee, Eindverslag, boekdeel 10, (zie ref (9)).
- (17) Gegevens onderhoudsbaggerwerk in het Westerschelde-estuarium van RWS-dienstkring Vlissingen
- (18) Angremond, K. d', et al., Assesment of certain european dredging practices and dredging material containment and reclamation methods, Adriaan Volker, Rotterdam, Contract Studie for the WES, March 1977.
- (19) Groen, P., On the residual transport of suspended matter by an alternating tidal current, Neth. J. Sea. Res., 3, 1967, pp: 564-574.
- (20) Postma, H., Transport and accumulation of suspended matter in the Dutch Wadden Sea, Neth. J. Sea. Res., 1, 1961, pp: 148-190.
- (21) Straaten, L.M.J.U. van, en Ph. H. Kuenen, Accumulation of fine grained sediments in the Dutch Wadden Sea, Geol. en Mijnb., 19, Aug. 1957, pp: 329-354.
- (22) Jaarboek der waterhoogten 1975. RWS, 's-Gravenhage.
- (23) Waterloopkundig Laboratorium en Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Voorkomen en gedrag van zware metalen in slib uit de Schelde, verslag R994 (mei 1975)
- (24) Waterloopkundig Laboratorium, De invloed van een gipslozing ter hoogte van Terneuzen op de gehalten aan zware metalen en fosfaat in zwevend en afgezet slib in de Westerschelde, verslag M1650 (oktober 1980)
- (25) Salomons, W. en W.G. Mook, Biogeochemical processes affecting metal concentrations in lake sediments (IJsselmeer, the Netherlands), Science of the Total Environment, 16,217-229 (1980)
- (26) Salomons,W., Adsorption processes and hydrodynamic conditions in estuaries, Environ. Technol. Letters, 1,356-365 (1980)
- (27) Terwindt,J.H.J., Mud in the Dutch delta area, Geol.Mijnb., 56,203-210 (1977)
- (28) Hinrich,H., Schwebstoffgehalt und Schwebstofffracht der Haupt- und einigen Nebenflüsse in der Bundesrepublik Deutschland, Deutsche Gewässerk. Mitt., 15,113-129 (1971)
- (29) Hellman, H., J.Hinrich, H.Knöpp, S.Kolb, P.Kothé, D.Müller, H.Mundschenk, F.Schwille und M.Tippner, Schwebstoffe und Schlammablagerungen in Bundeswasserstrassen, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Jahresbericht 1977, 1-28 (1977)
- (30) Salomons,W. and R.A.Gerritse, Some observations on the occurence of

- phosphorus in sediments from Western Europe, *Science of the Total Environment*, 17,37-49 (1981)
- (31) Förstner, U. and W. Salomons, Trace element speciation in surface waters: Interactions with sediments, Nato workshop on "Trace element speciation in surface waters and its ecological implications" (1981)
- (32) Salomons, W. and U. Förstner, Trace metal analysis on polluted sediments, Part II: Assessment of Environmental impact, *Environ. Technol. Letters*, 1,506-517 (1980)
- (33) Wollast, R., G. Billen and J.C. Duinker, Behaviour of Manganese in the Rhine and Scheldt Estuaries, I. Physico-chemical aspects, *Est. and Coastal Mar. Sci.*, 9,161-169 (1979)
- (34) Groot, A.J. de, Mangan toestand van Nederlandse en Duitse holocene sedimenten in verband met slibtransport en bodemgenese, *Dissertatie* (1963)
- (35) Waterloopkundig Laboratorium en Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Zware metalen in zuid-westelijk Deltagebied, verslag R1051 (augustus 1977)
- (36) Terwindt, J.H.J., Mud transport in the Dutch Delta area and along the adjacent coast line, *Neth. J. of Sea Res.*, 3(4),505-531 (1967)
- (37) Eisma, D., Areas of present mud deposition in the North Sea, Presented at: International Meeting on Holocene Marine Sedimentation in the North Sea Basin, Texel (1979)
- (38) Groot, A.J. de, W. Salomons and E. Allersma, Processes affecting heavy metals in estuarine sediments, In: *Estuarine chemistry* (Ed. J.R. Burton and P.S. Liss), Academic Press (1976)
- (39) Salomons, W. and A.J. de Groot, Pollution history of trace metals in sediments, as affected by the Rhine river, In: *Environmental Biogeochemistry and Geomicrobiology* (ed. W.E. Krumbein), Volume I, 149-164, Ann Arbor Science (1978)
- (40) Salomons, W., W.G. Mook and W.D. Eysink, Biogeochemical and hydrodynamic processes affecting heavy metals in rivers, lakes and estuaries, *Delft Hydraulics Publication No. 253* (1981)
- (41) Mook, W.G. and D. Koene, Chemistry of dissolved inorganic carbon in estuarine and coastal brackish waters, *Est. Coastal Mar. Sci.*, 3, 325-336 (1975)
- (42) Brümmer G. und R. Lichtfüß, Phosphorgehalte und bindungsformen in den sedimenten von Elbe, Trave, Eider und Schwentine, *Naturwissenschaften*, 65, 527-531 (1978)



GEULENPATROON IN WESTERSCHELDE

bovenafvoer Schelde
200 (m³/s)

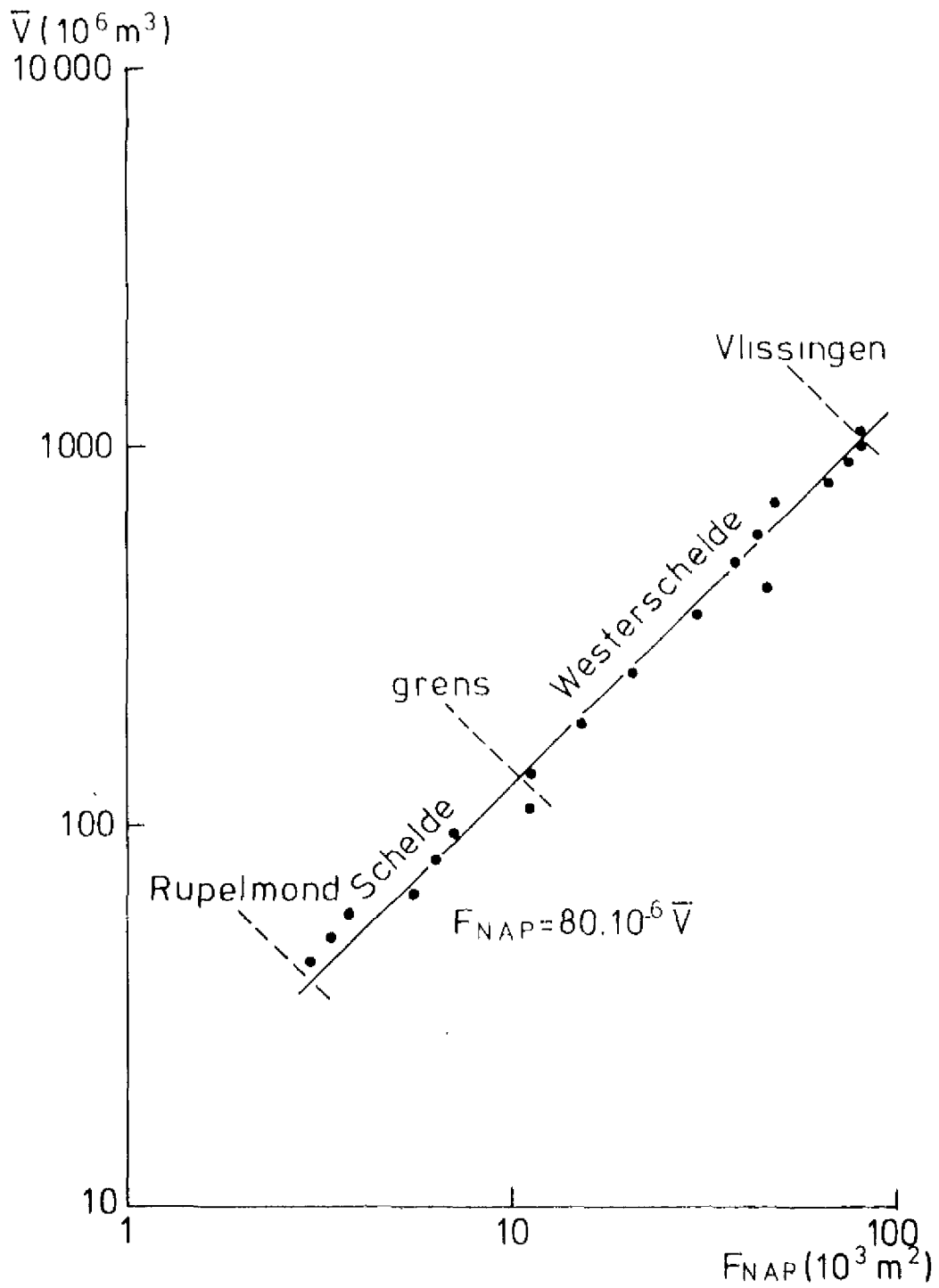


MAANDELUKS GEMIDDELTE
AFVOER SCHELDE PERIODE 1949-1973

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M1640/M1736

FIG. 2

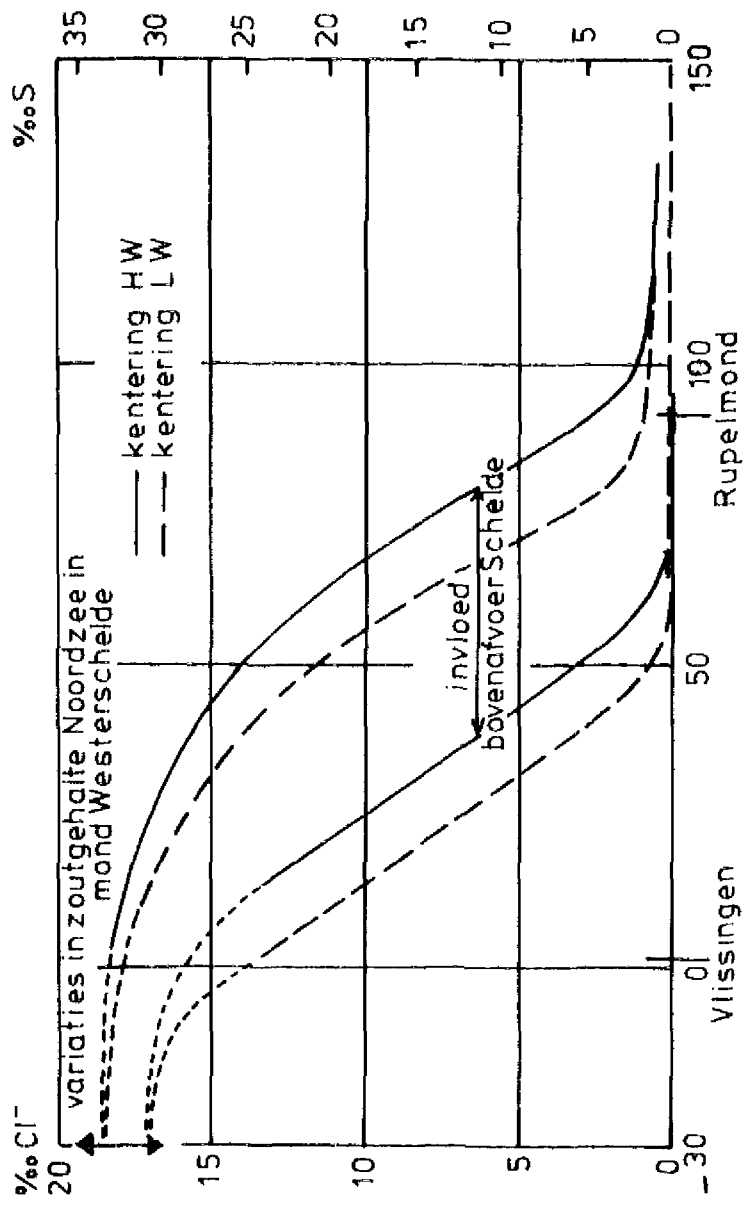


VERBAND TUSSEN GETUVOLUME EN DWARSPROFIEL

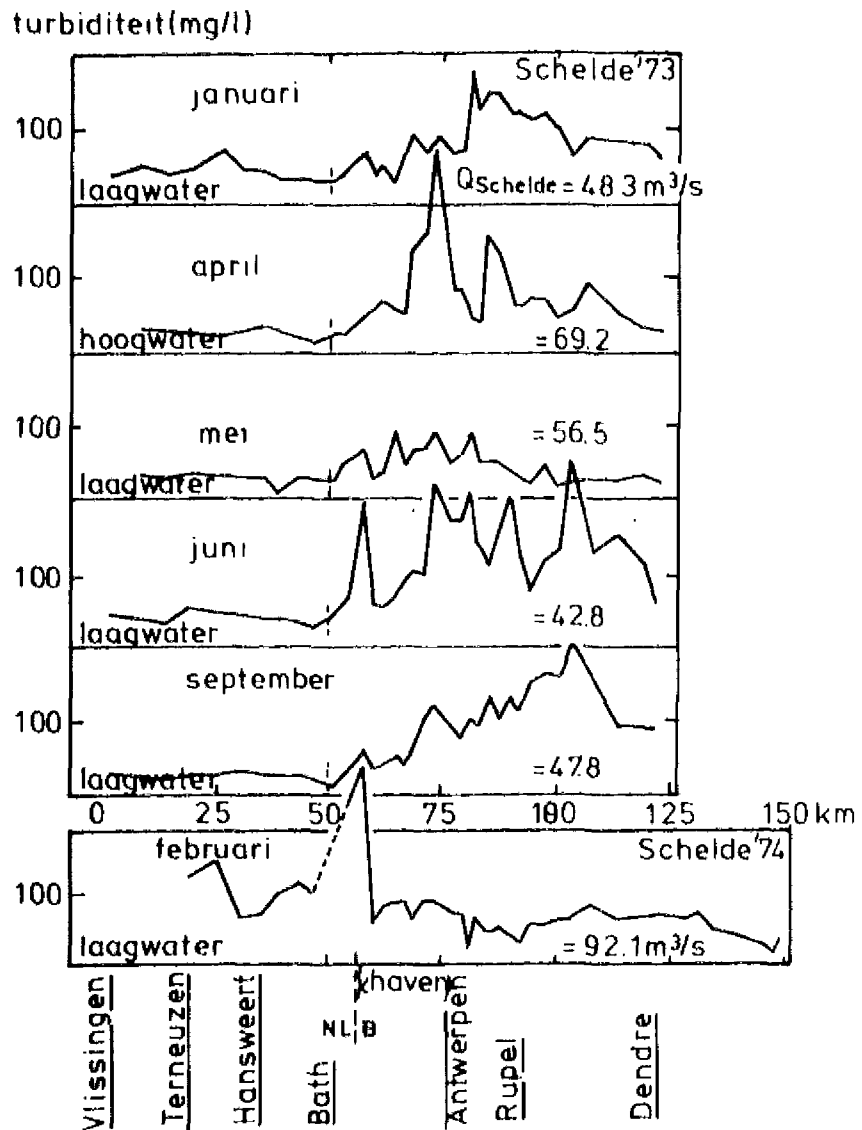
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M1640/M1736

FIG. 3

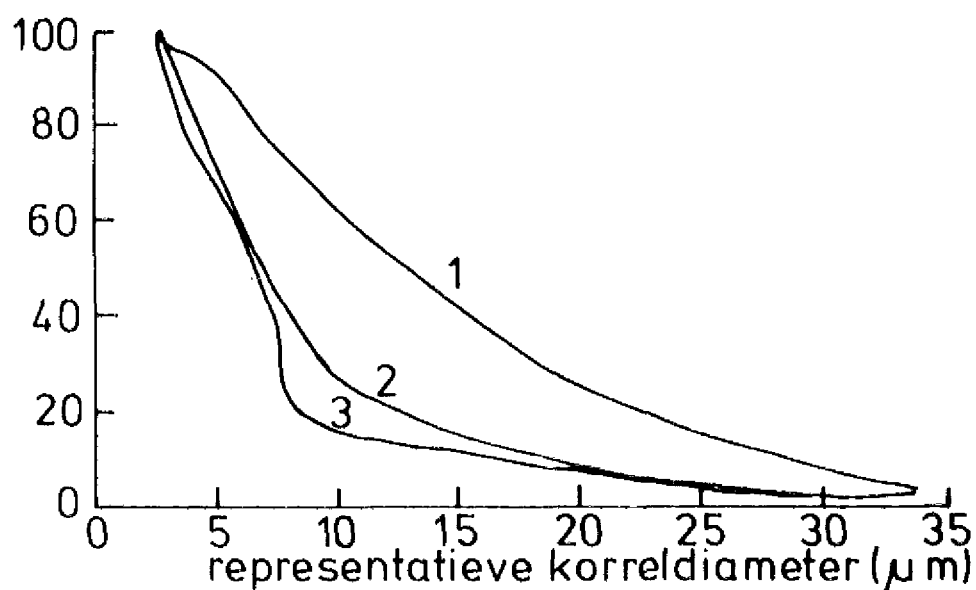


LONGITUDINALE ZOUTVERDELING
IN SCHELDE ESTUARIIUM



ZWEVEND SLIBGEHALTE ALS
FUNCTIE VAN DE AFSTAND

percentage kleiner dan



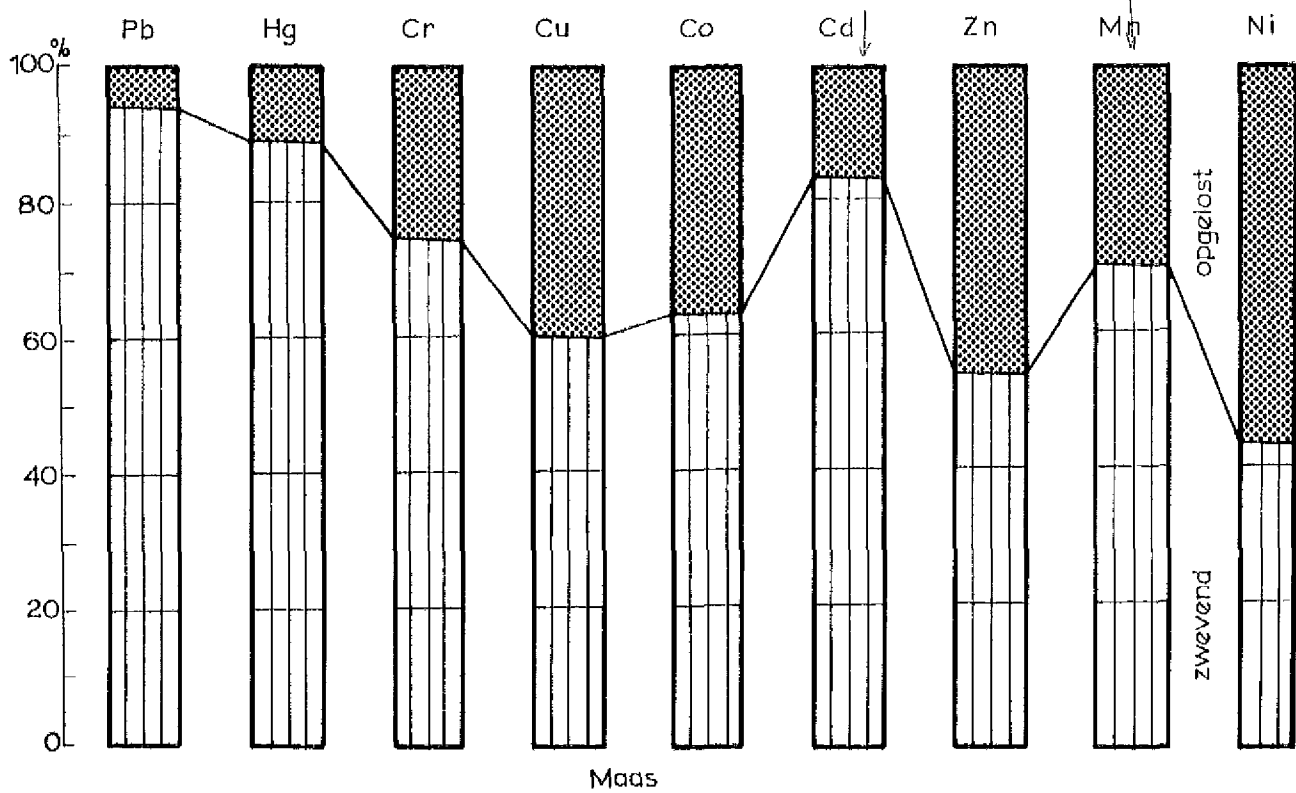
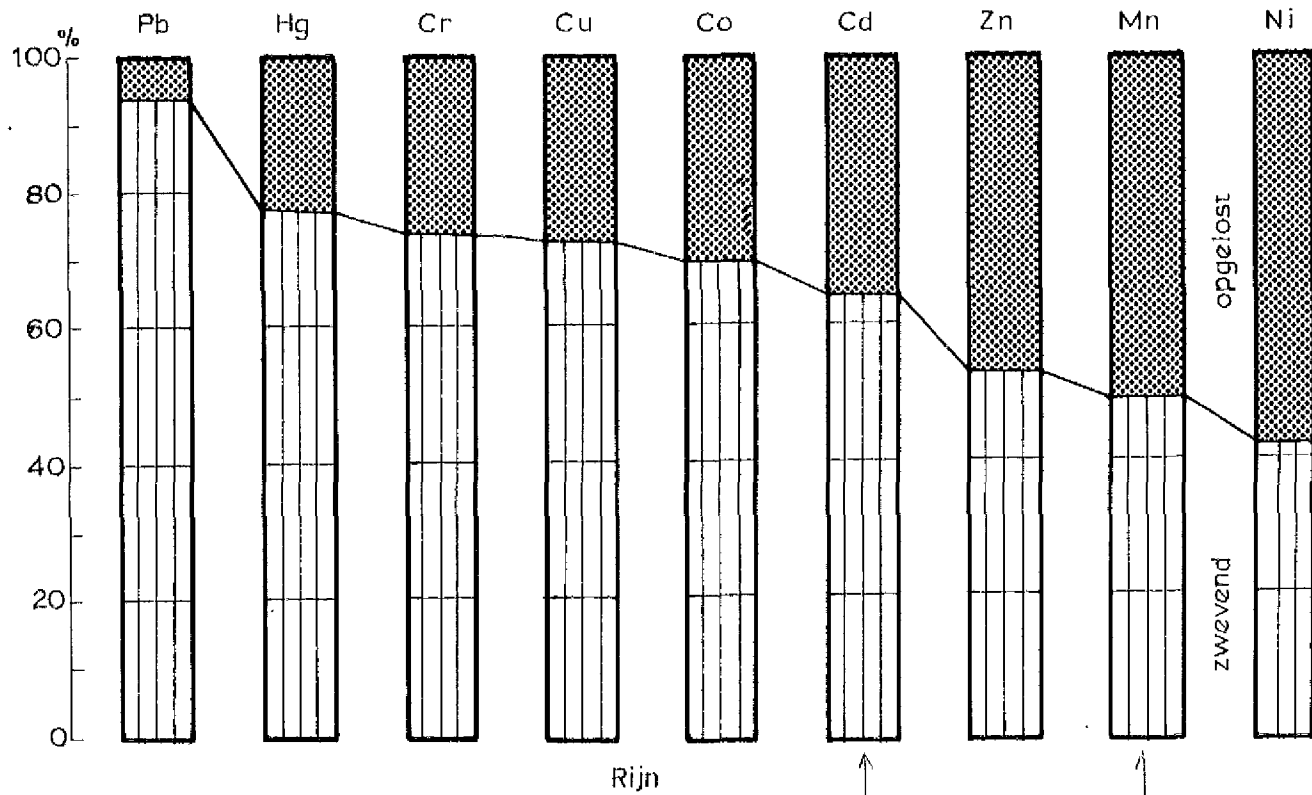
- 1 valsnelheidsverdeling (korrelverdeling volgens Stokes) van monster genomen bij Doel
- 2 valsnelheidsverdeling van monster 1 na behandeling met ultrasonore geluidsgolven (destructie slibvlokken)
- 3 valsnelheidsverdeling van monster genomen bovenstrooms van Antwerpen

KORRELVERDELINGEN VAN ZWEVEND SEDIMENT

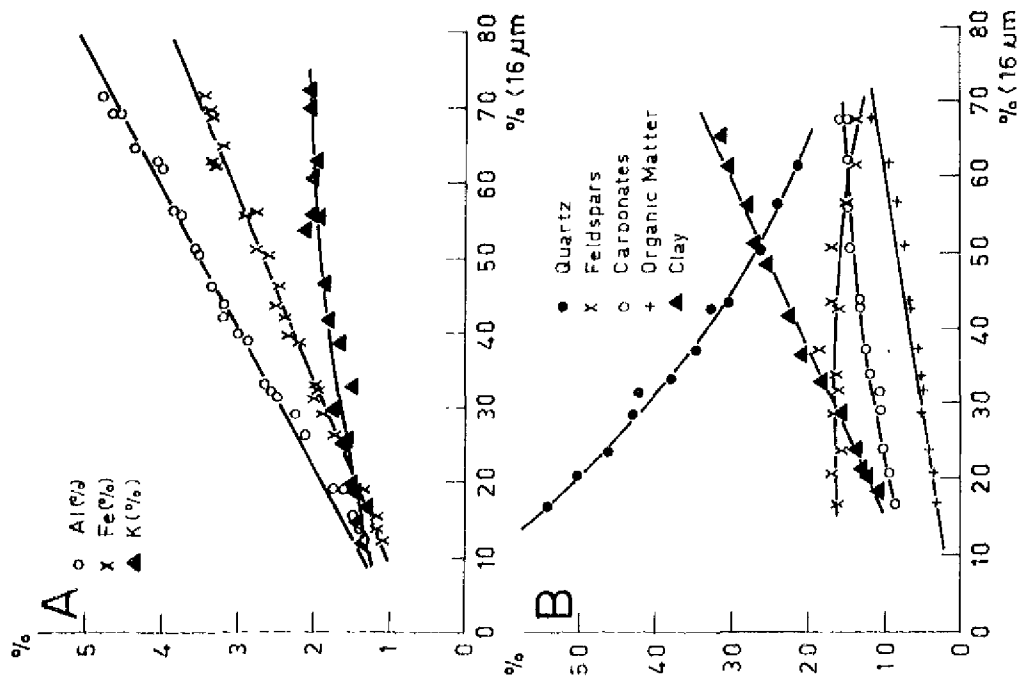
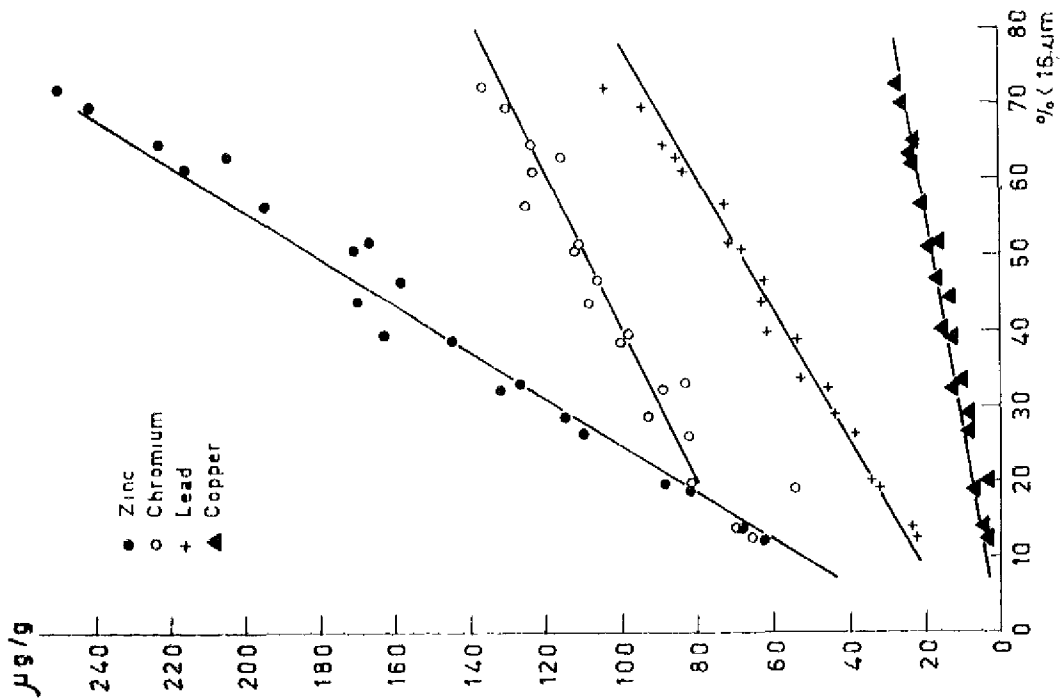
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M1640/M1736

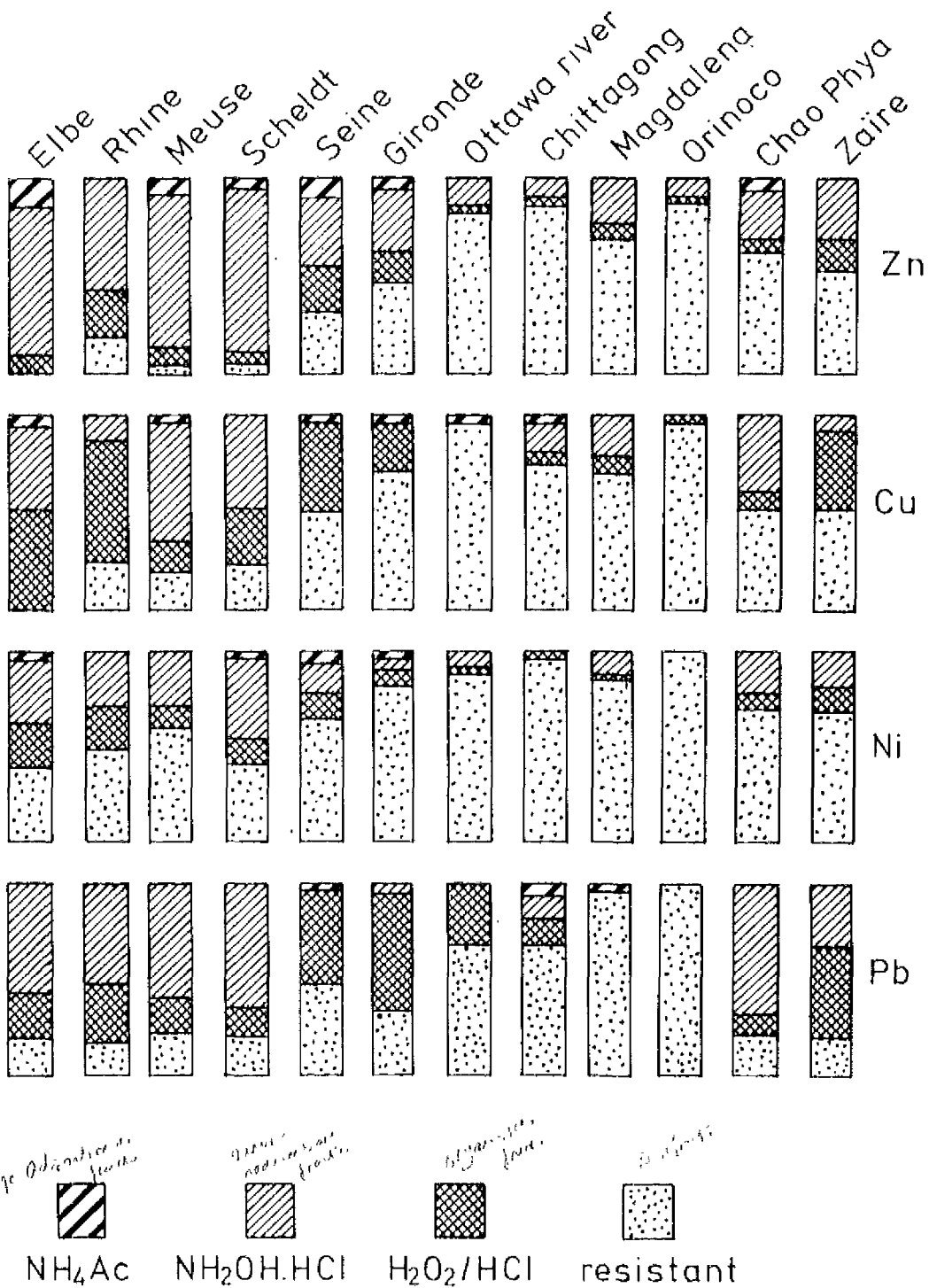
FIG. 6



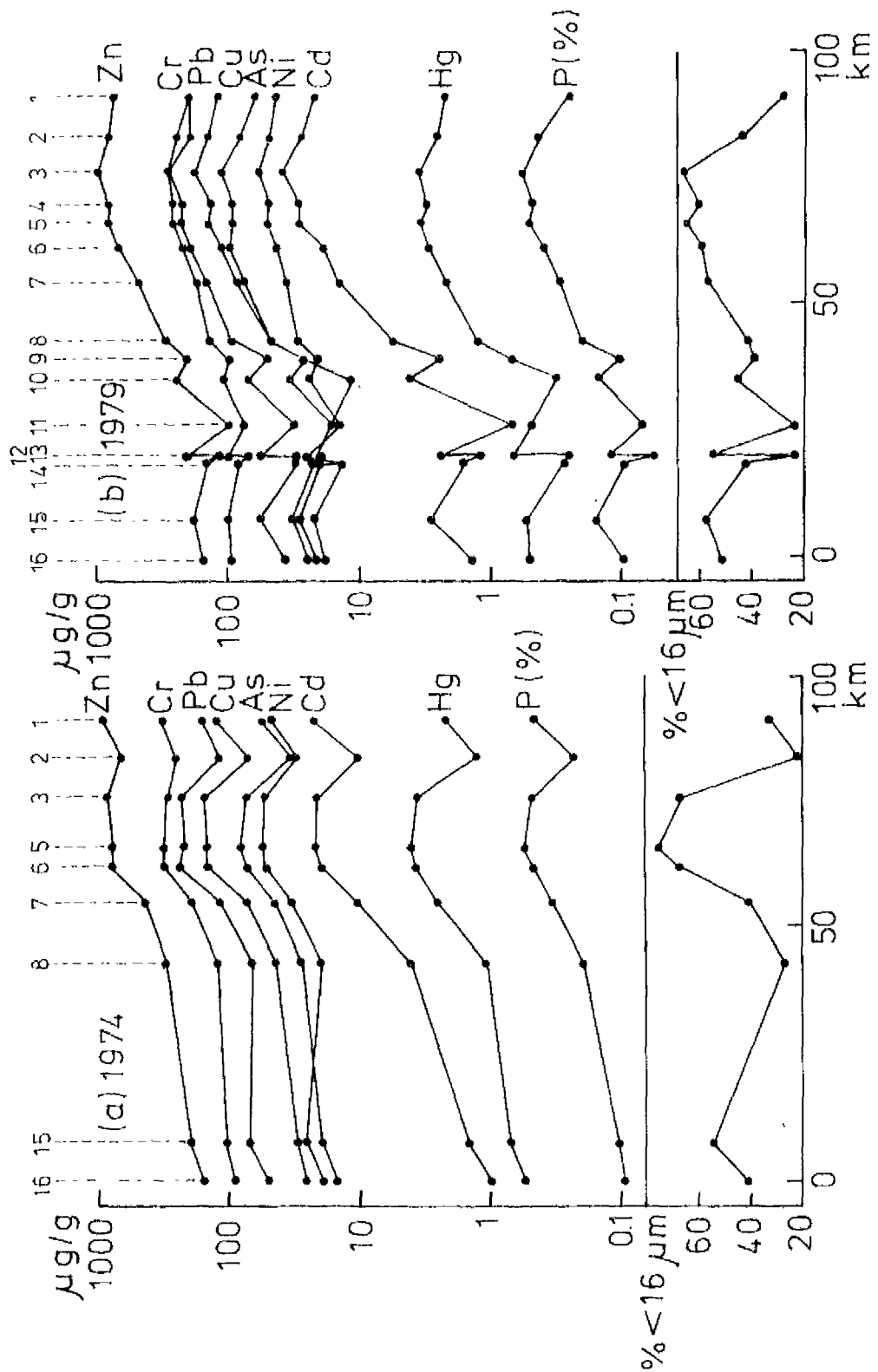
TRANSPORT VAN METALEN DOOR DE RIJN (LOBITH)
EN DE MAAS (EJSDEN)



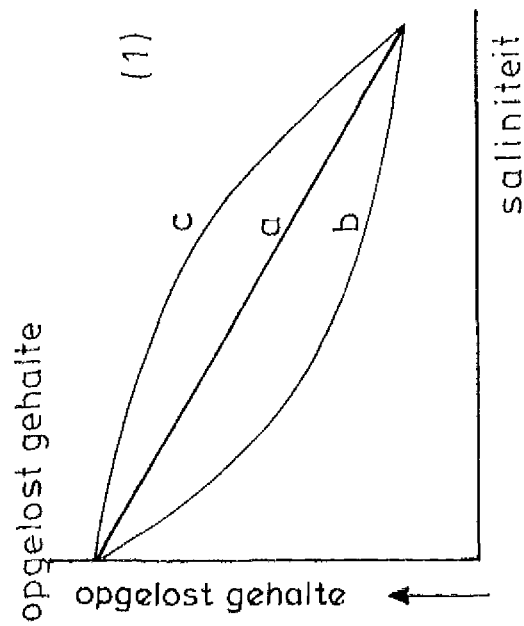
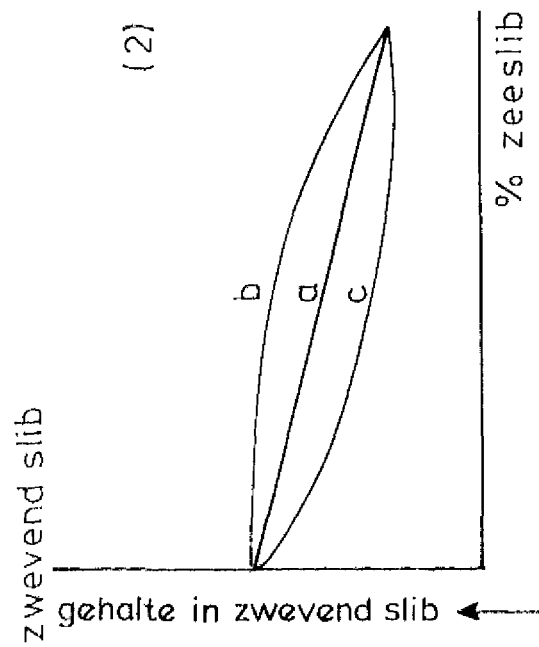
DE SAMENSTELLING VAN SLIB ALS
FUNKTIE VAN HET % < 16 μm



WUZE VAN VOORKOMEN VAN METALEN IN SEDIMENTEN



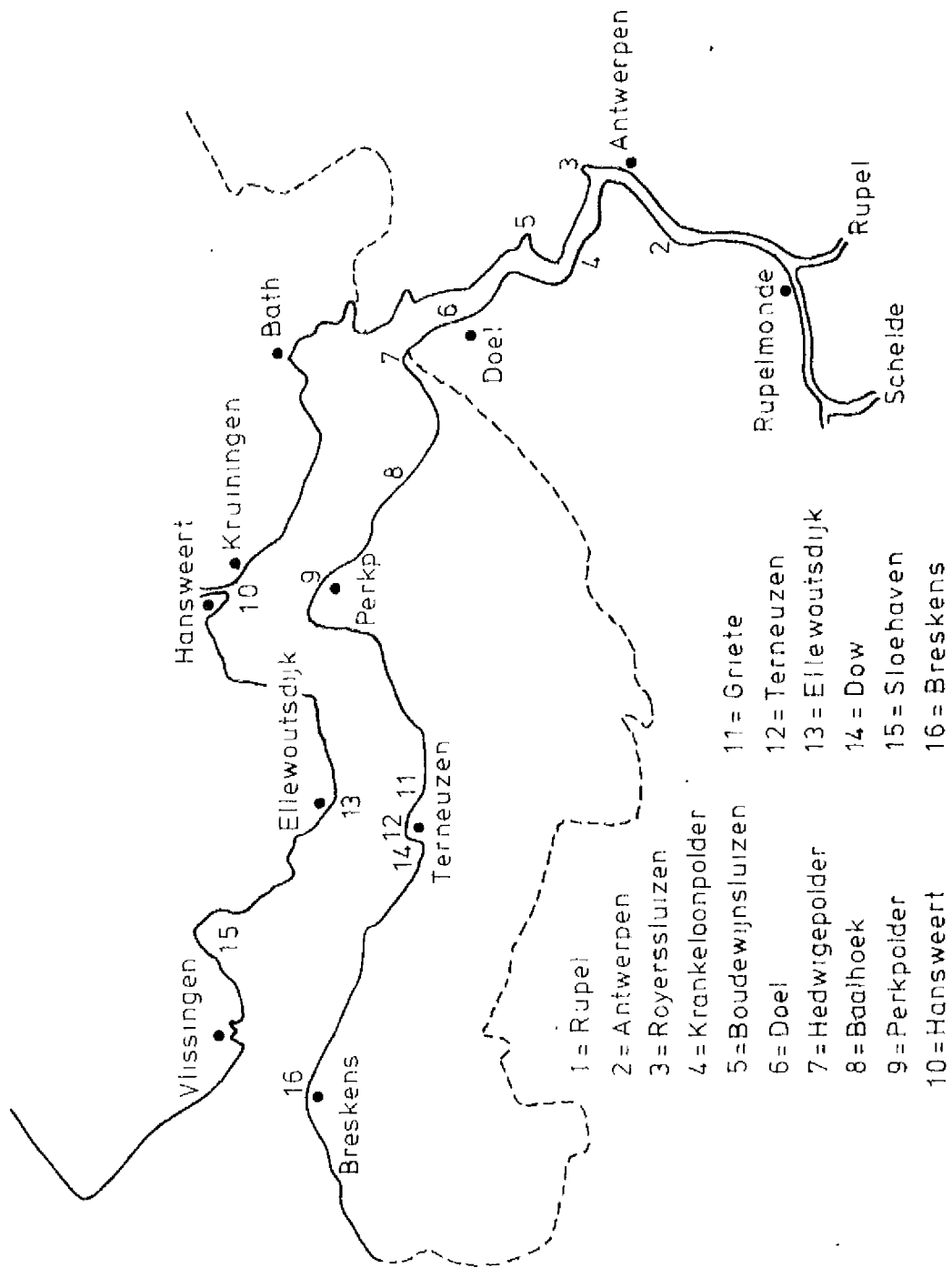
VERLOOP VAN DE METAAL-EN FOSFORGEHALTEN
ALS FUNCTIE VAN DE AFSTAND
VOOR LOKATIES 1 t/m 16 ZIE FIG. 12



GEDRAG VAN STOFFEN IN ESTUARIA

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

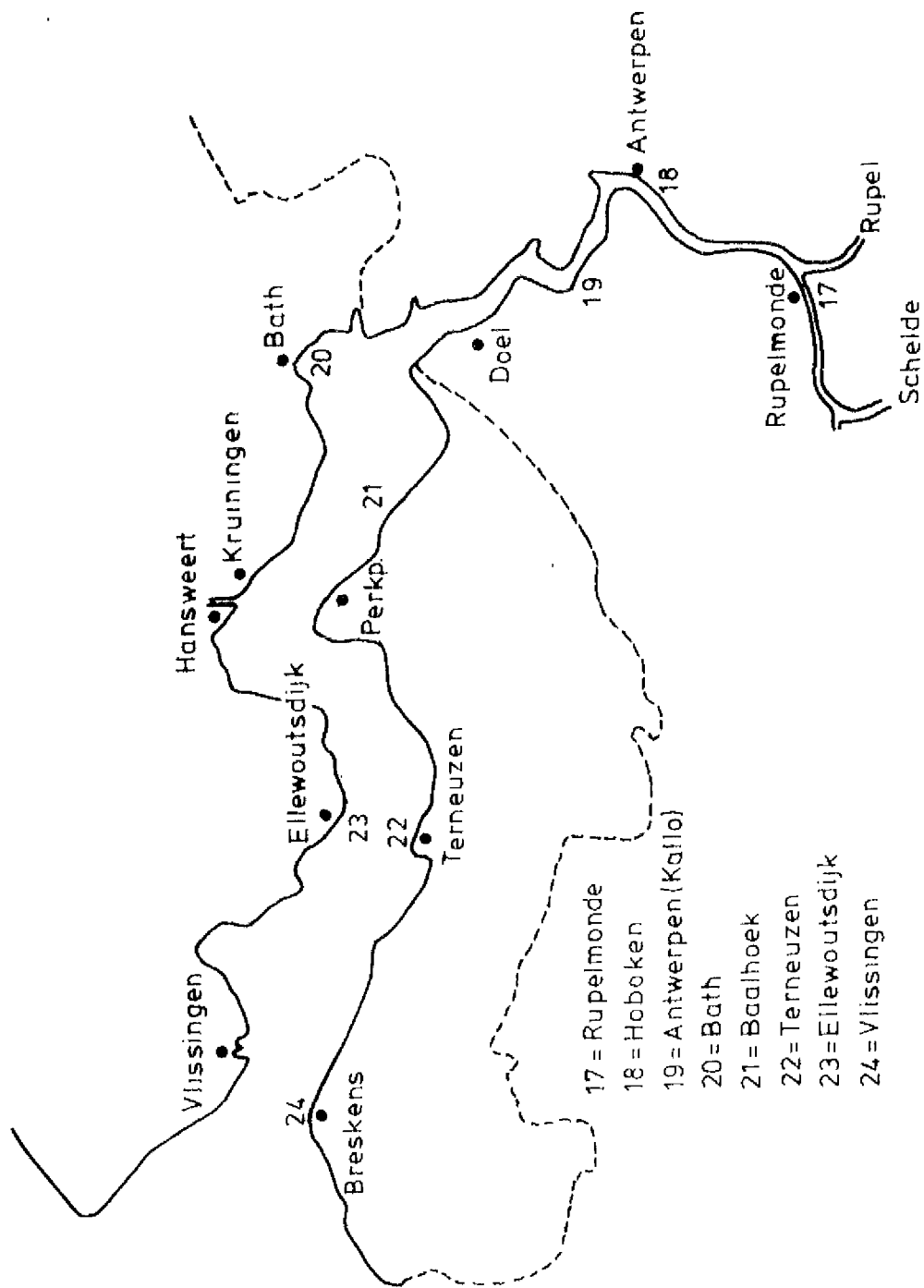
M1640/M1736 FIG. 11



MONSTERPUNTEN BODEMSLIB

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M1640/M1736 FIG 12

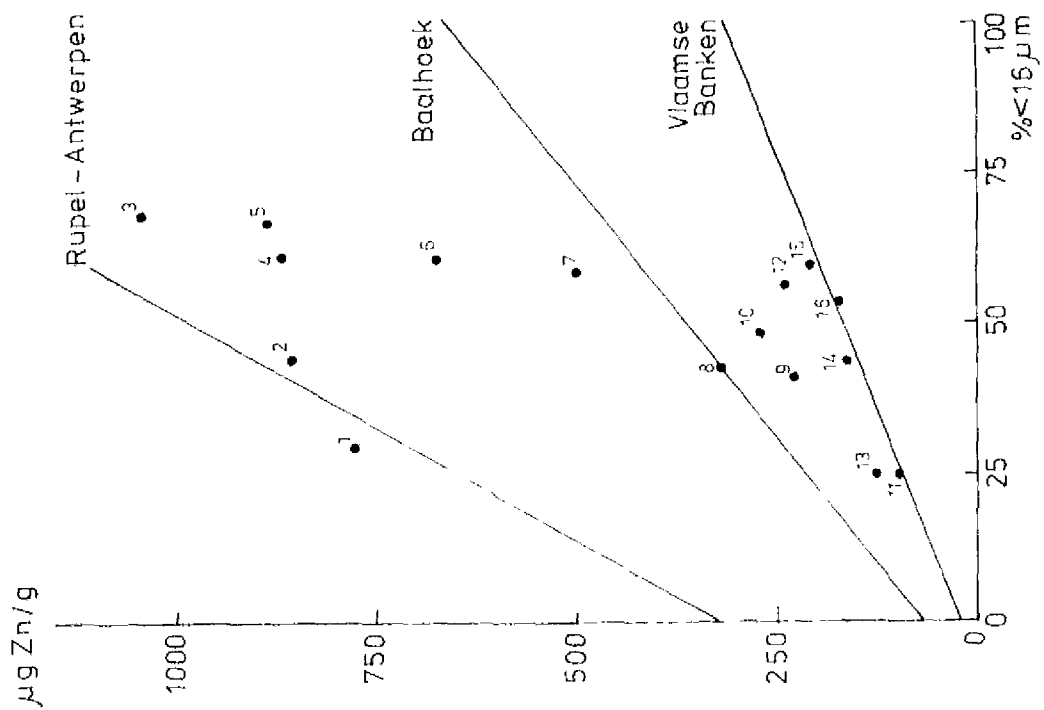
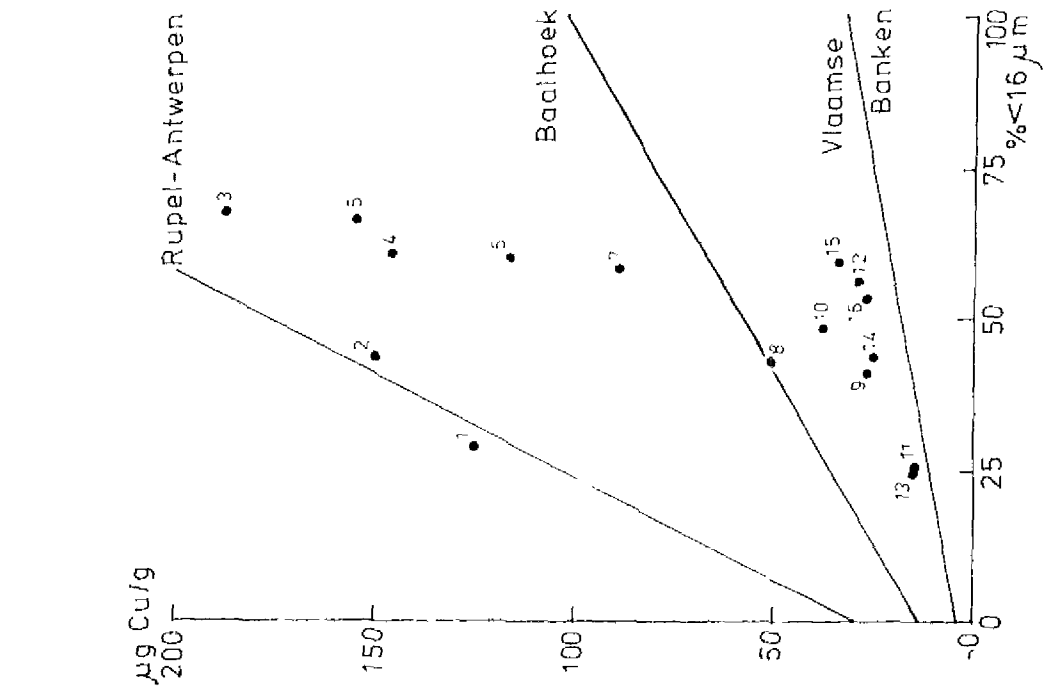


MONSTERPUNTEN ZWEVEND SLIB EN OPPERVLAKTEWATER

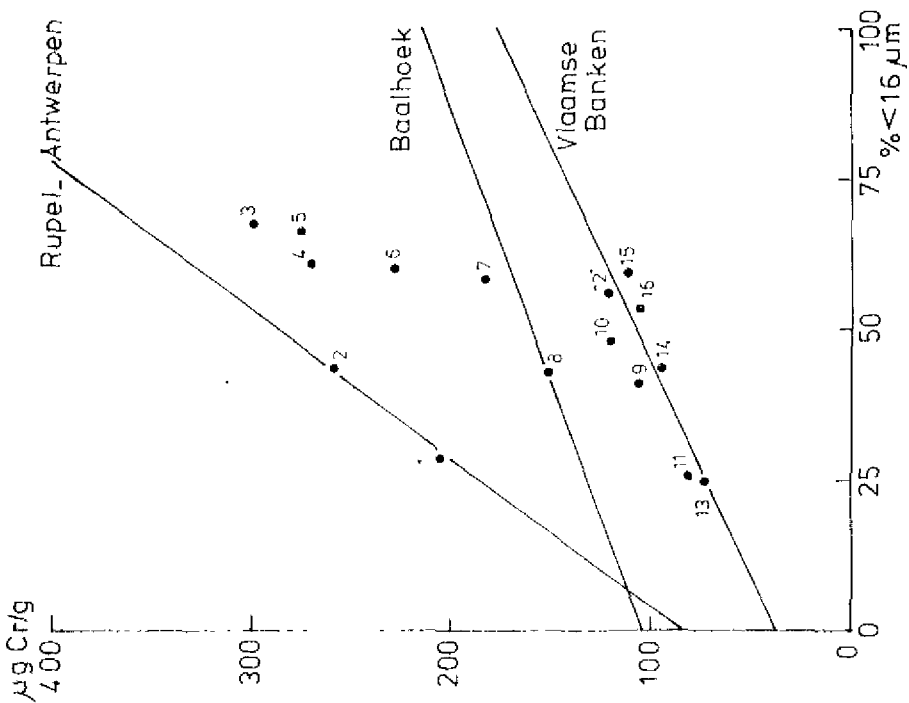
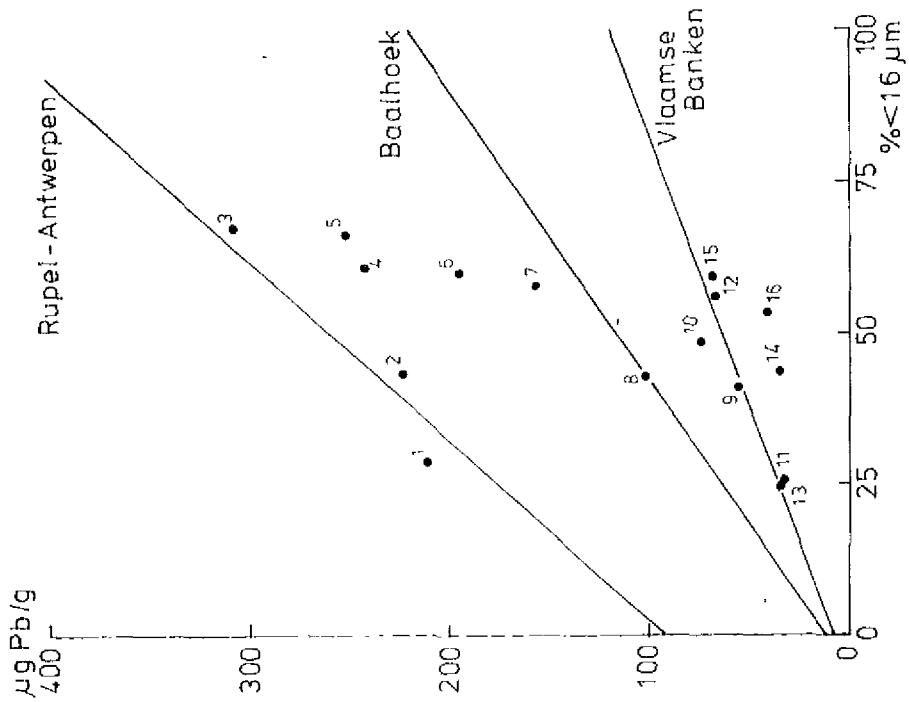
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1640/M 1736

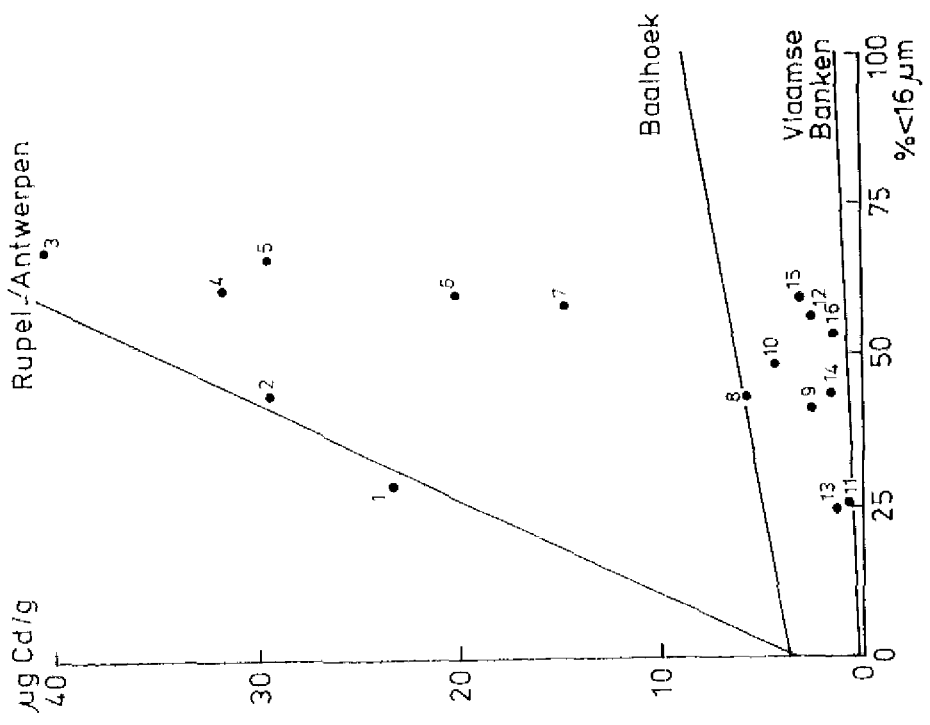
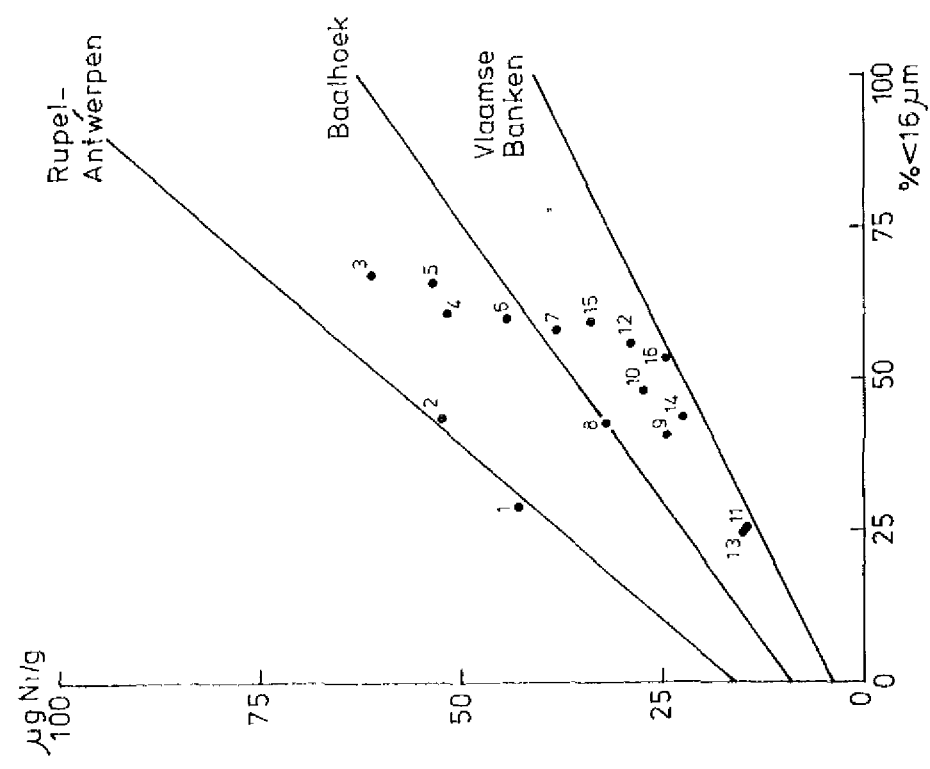
FIG. 13



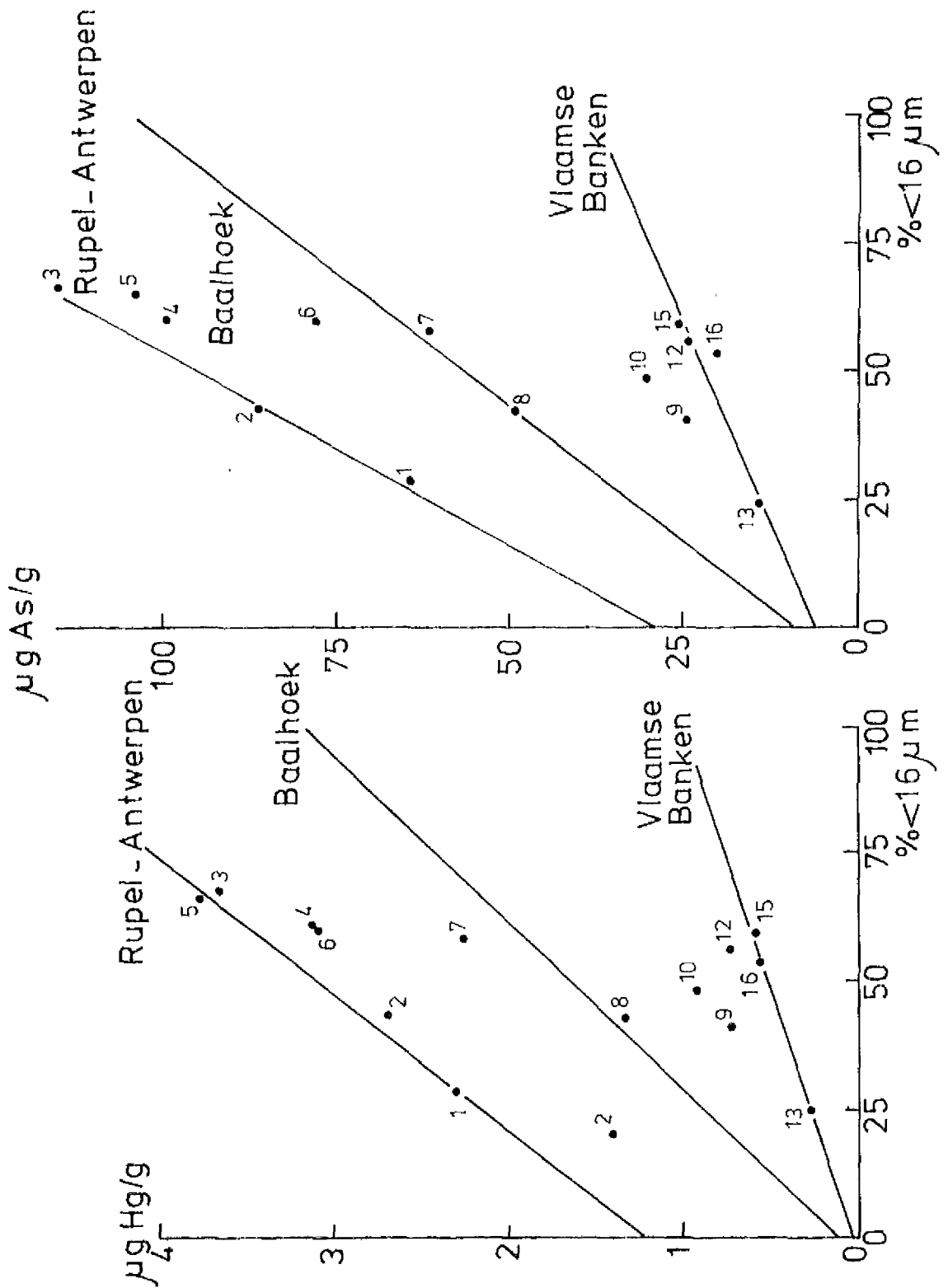
VERBAND TUSSEN HET ZN-EN CU- GEHALTE
EN HET % < 16 μm IN AFGEZET SLIB



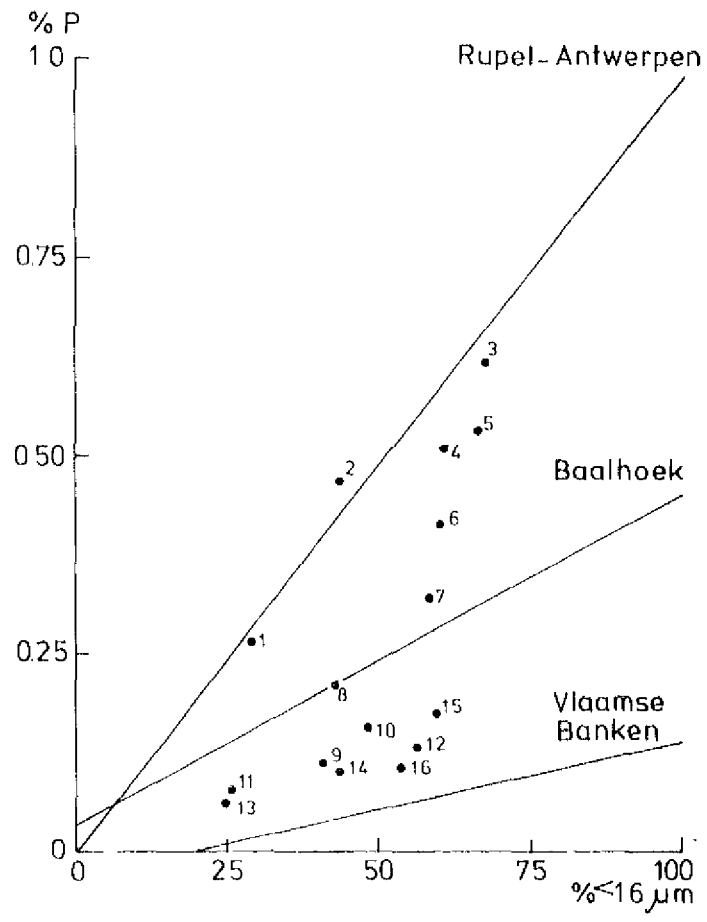
VERBAND TUSSEN HET CR-EN PB-GEHALTE
EN HET % < 16 μm IN AFGEZET SLIB



VERBAND TUSSEN HET CD-EN NI-GEHALTE
EN HET $\% < 16 \mu\text{m}$ IN AFGEZET SLIB



VERBAND TUSSEN HET HG-ENAS-GEHALTE
EN HET $\% < 16 \mu\text{m}$ IN AFGEZET SLIB

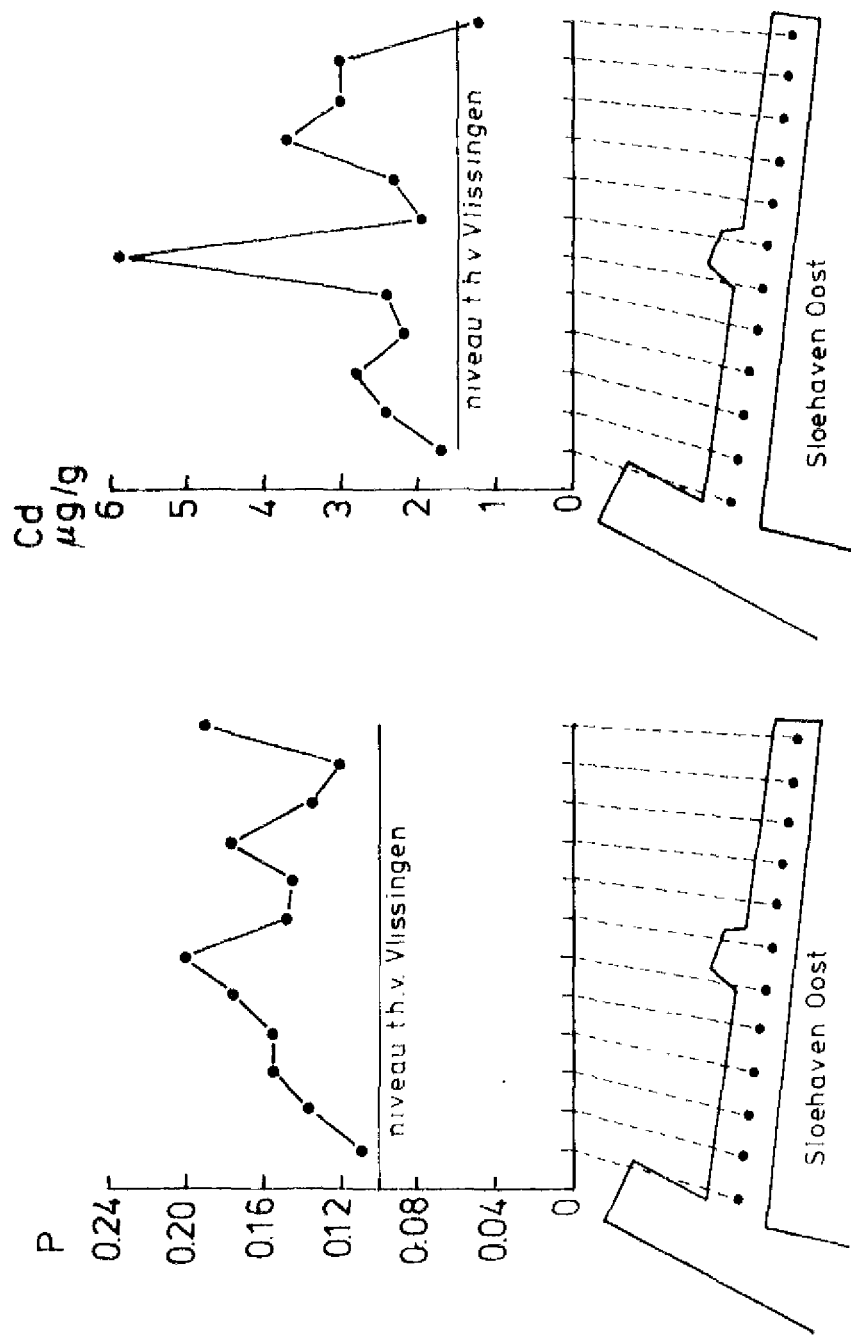


VERBAND TUSSEN HET FOSFOR GEHALTE
EN HET % <16 μm IN AFGEZET SLIB

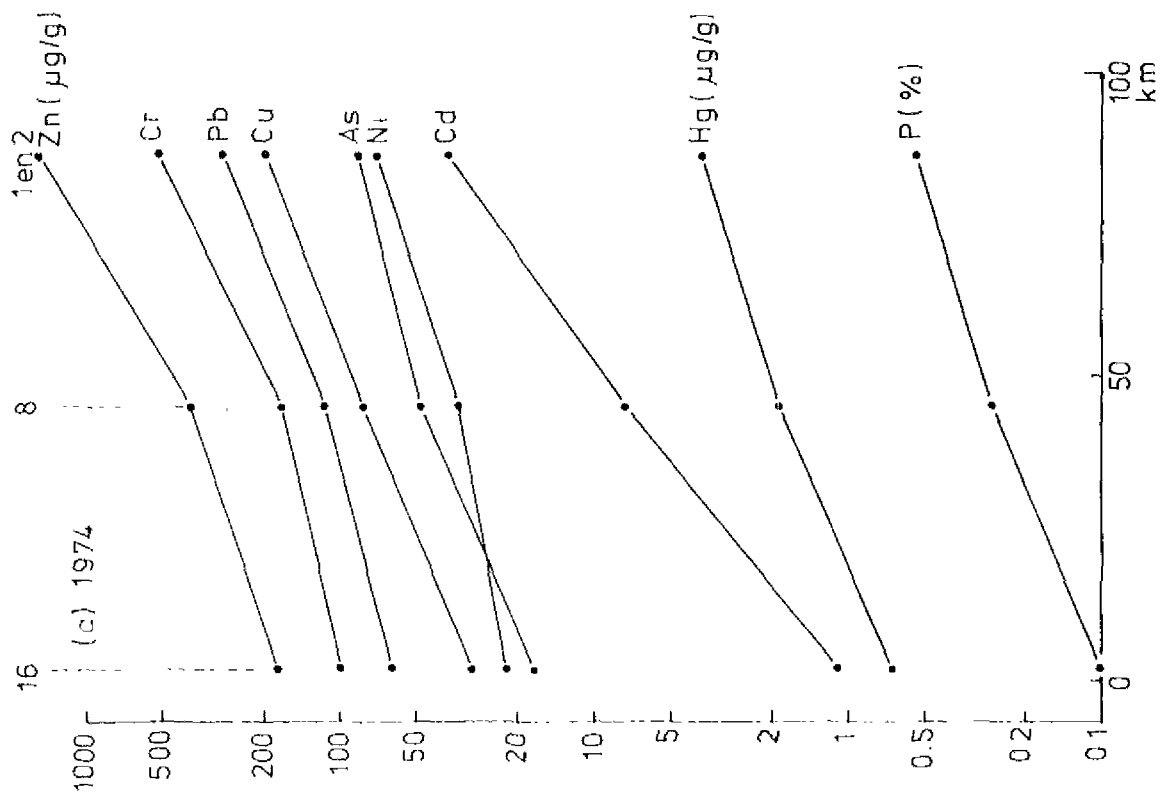
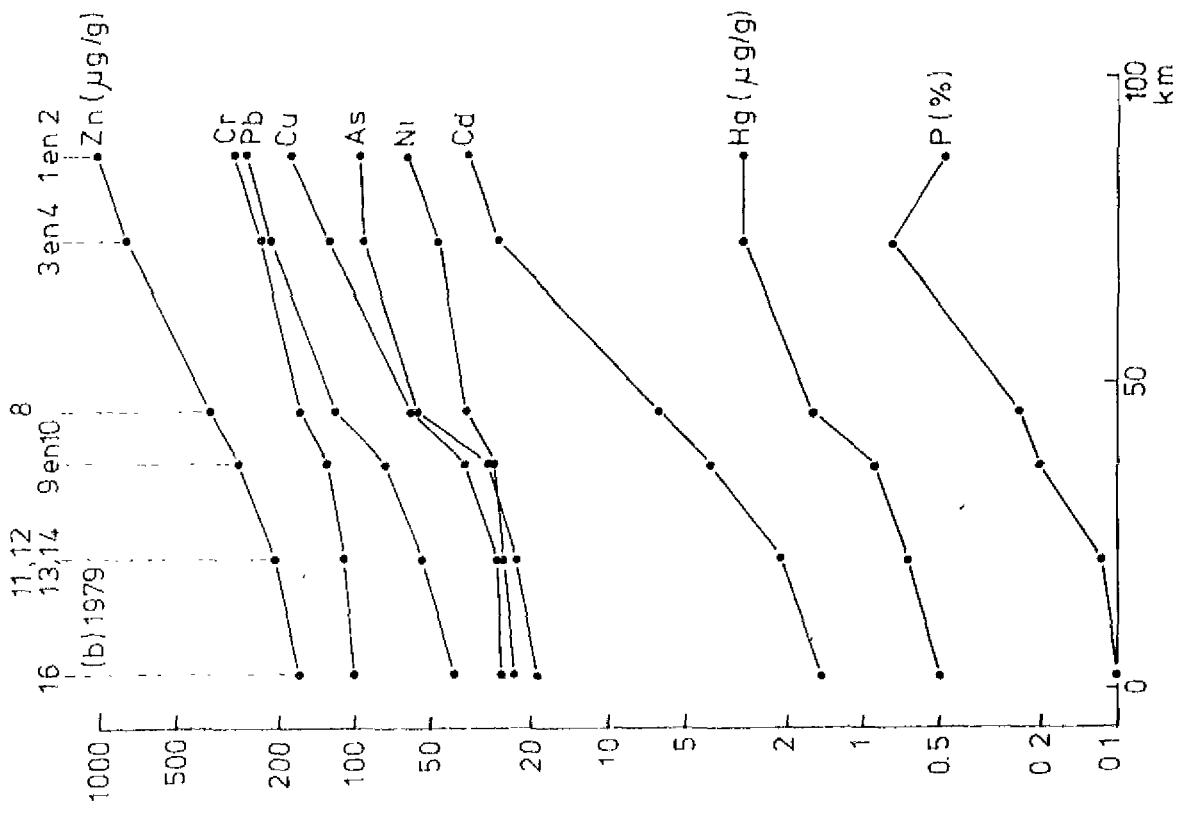
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M1640/M1736

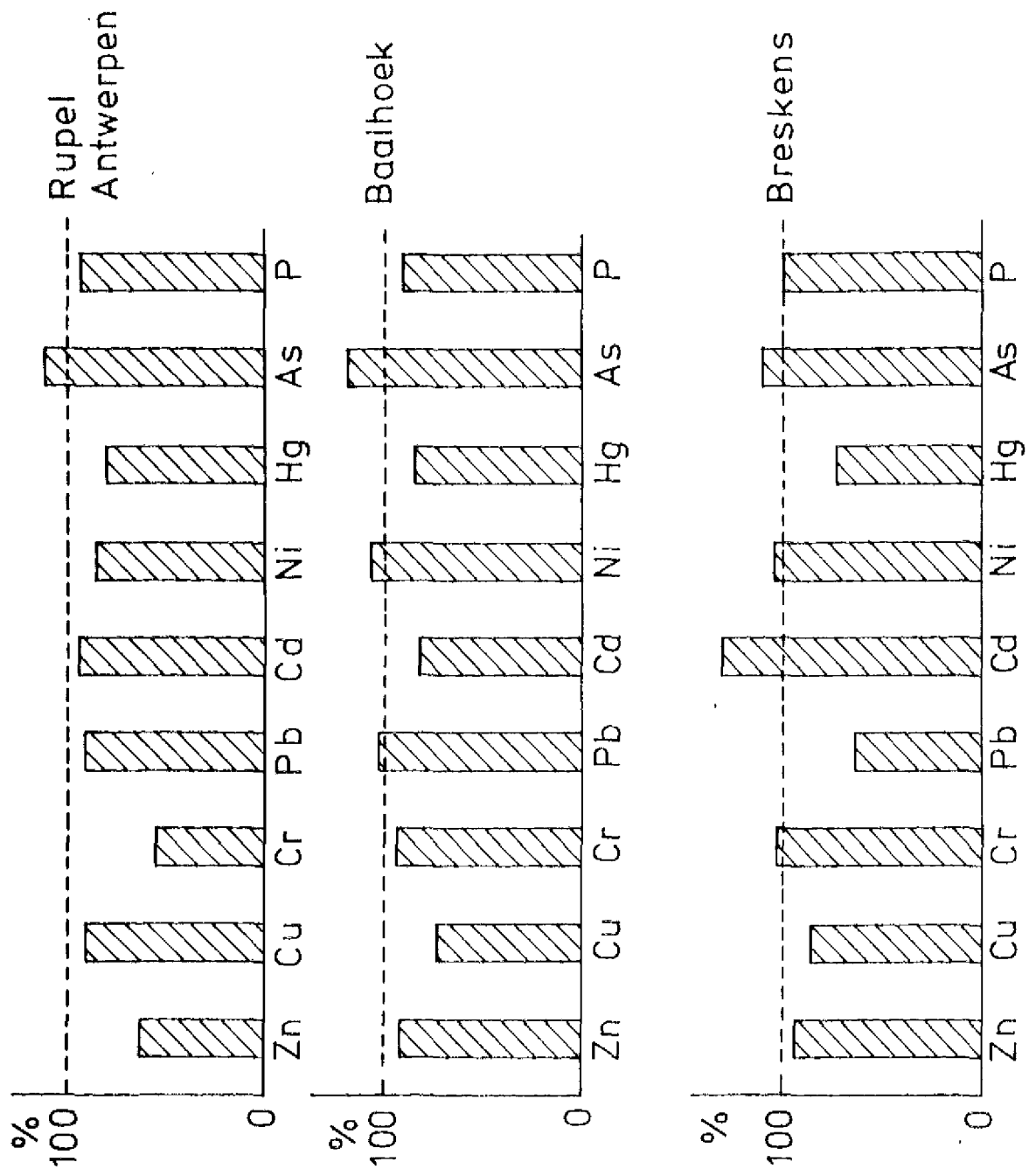
FIG. 18



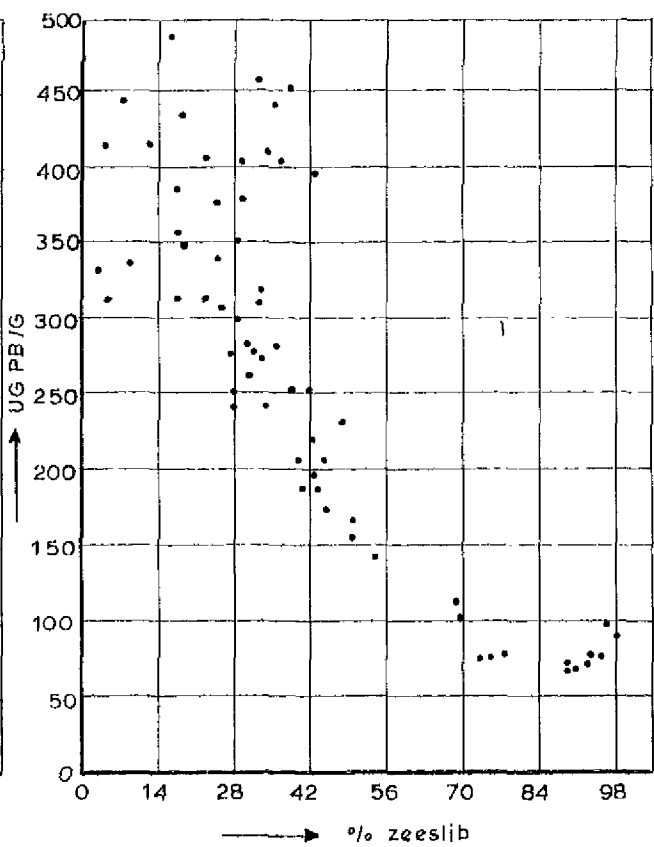
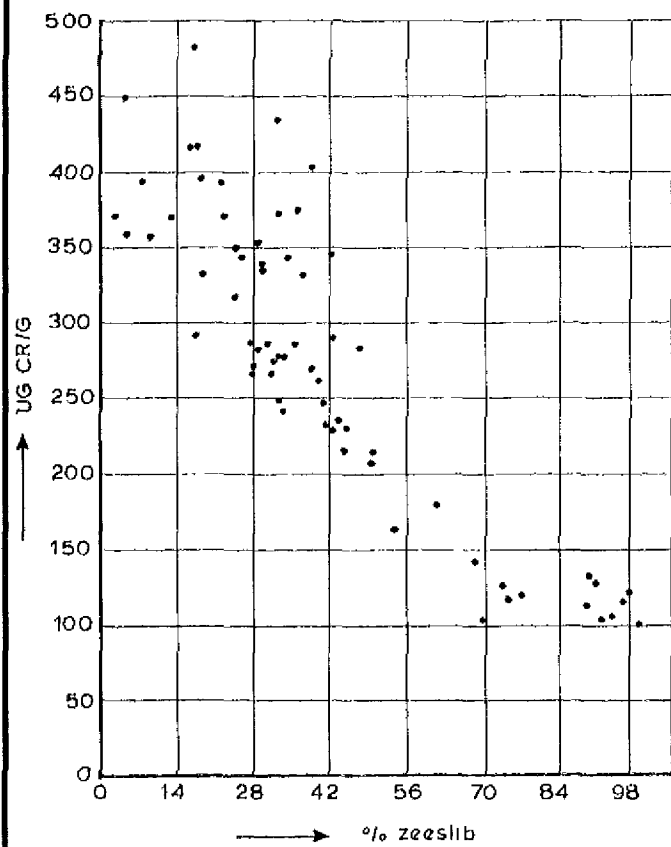
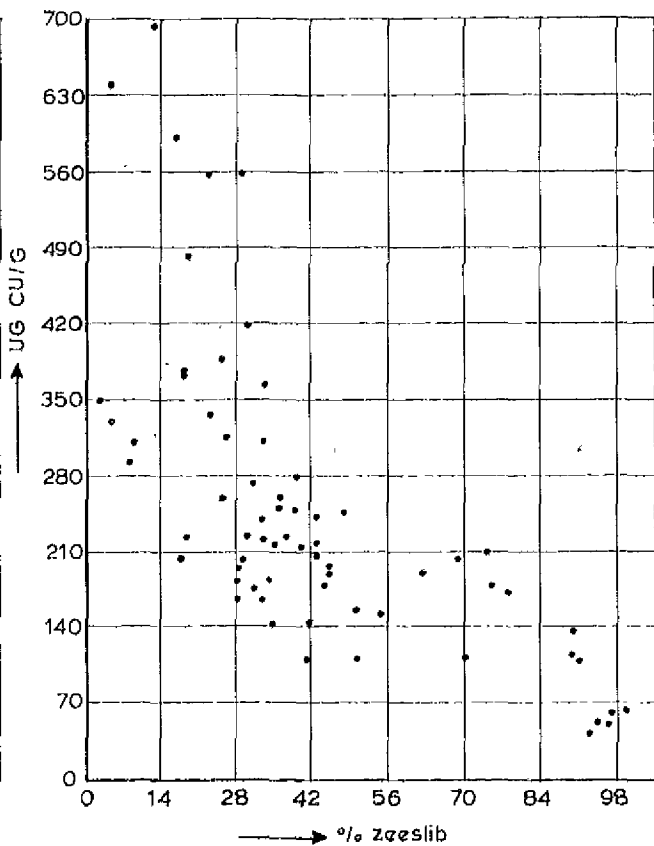
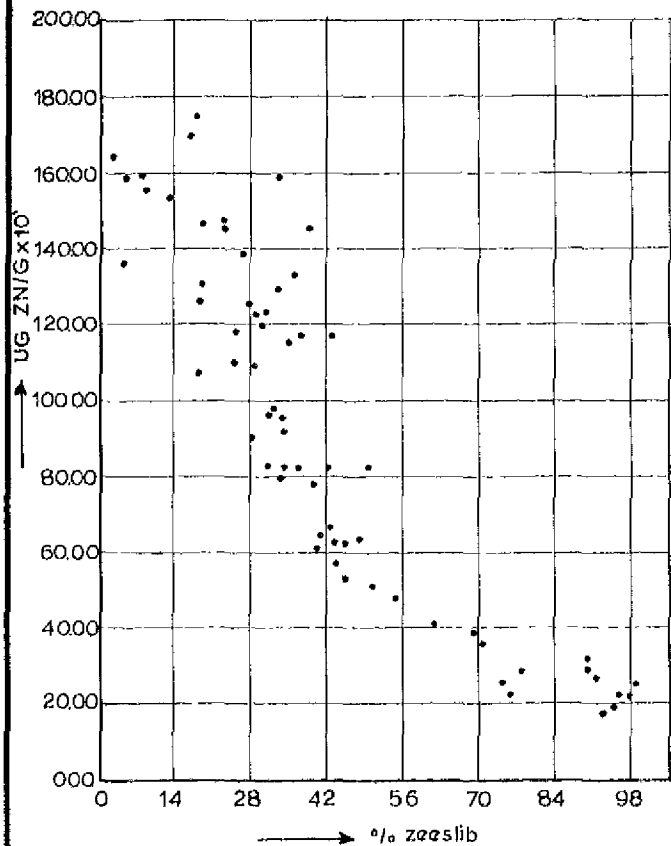
CD-EN P-GEHALTEN IN AFGEZET SLIB
VAN DE SLOEHAVEN



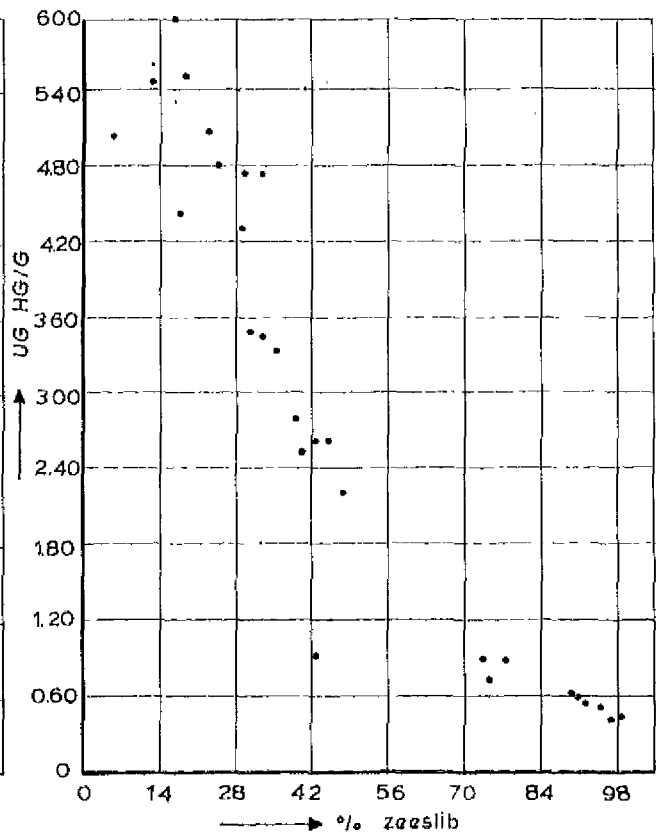
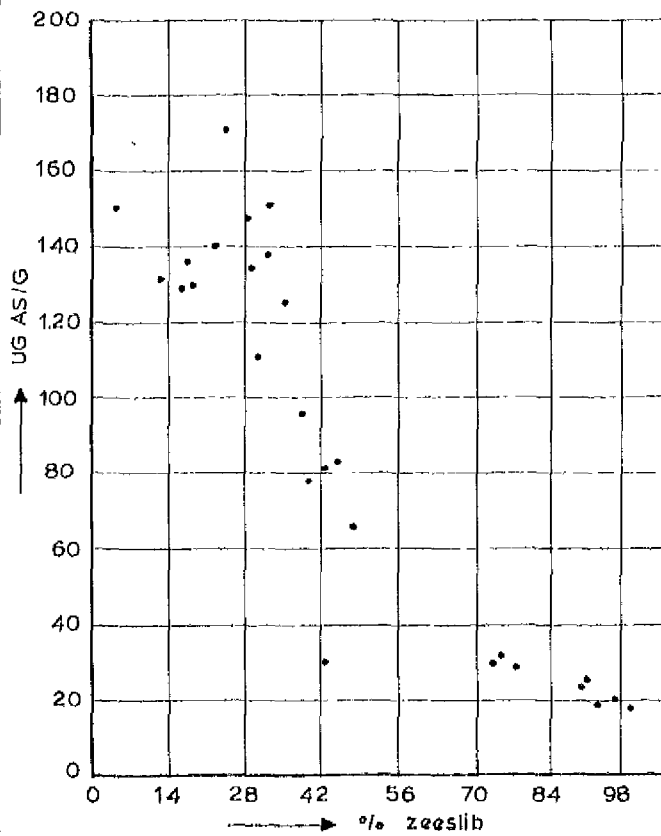
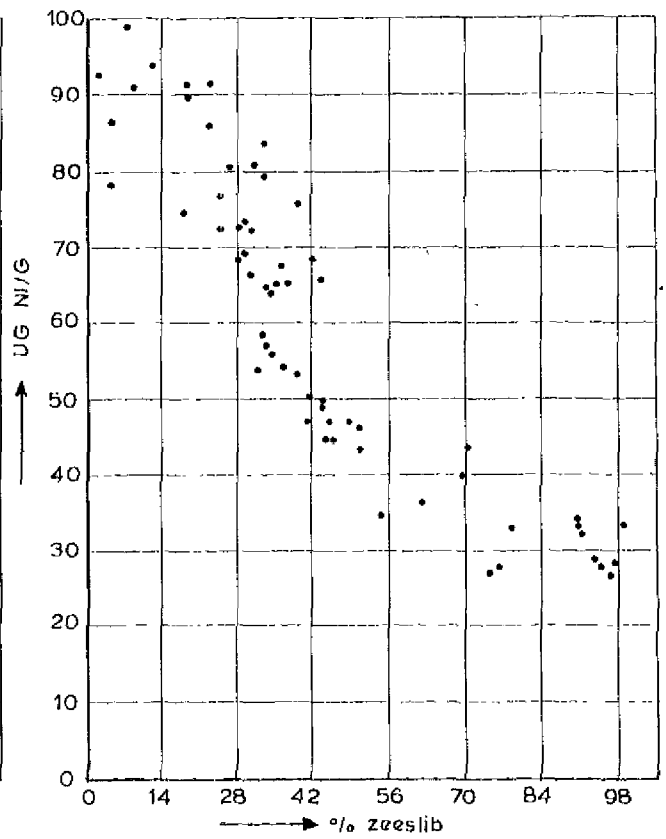
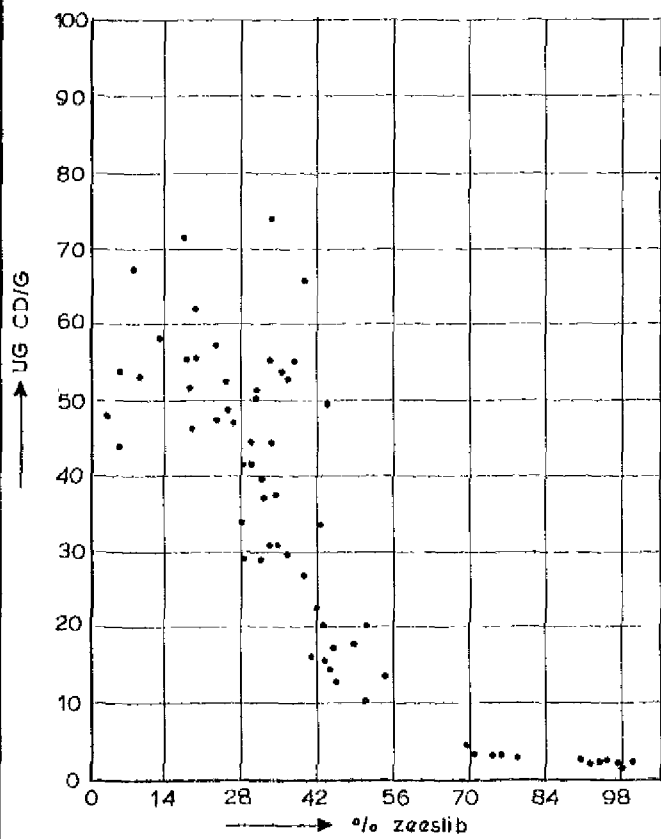
GEHALTEN AAN METALEN EN FOSFOR IN AFGEZET SLIB
 BU 50% < 16 µm ALS FUNKTIE VAN DE AFSTAND



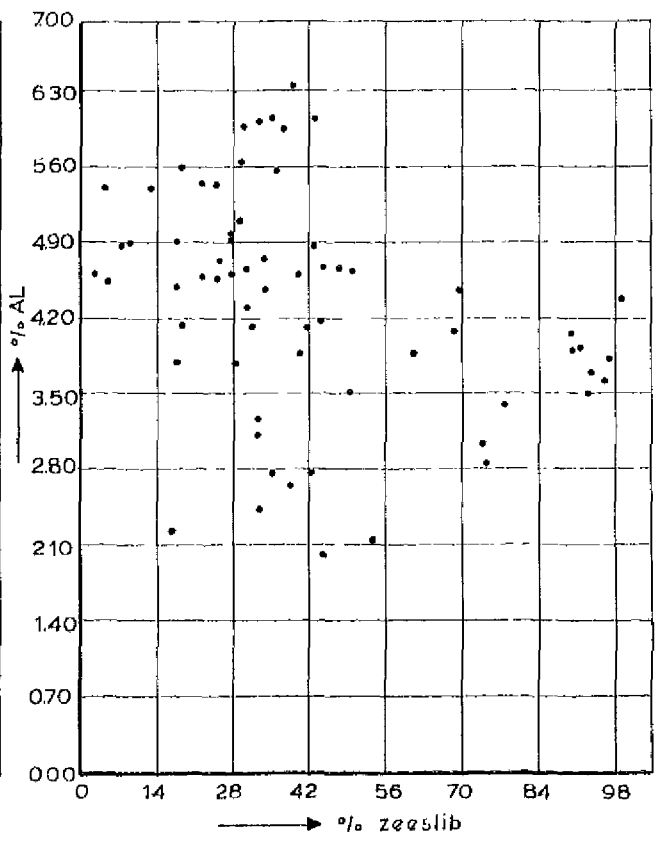
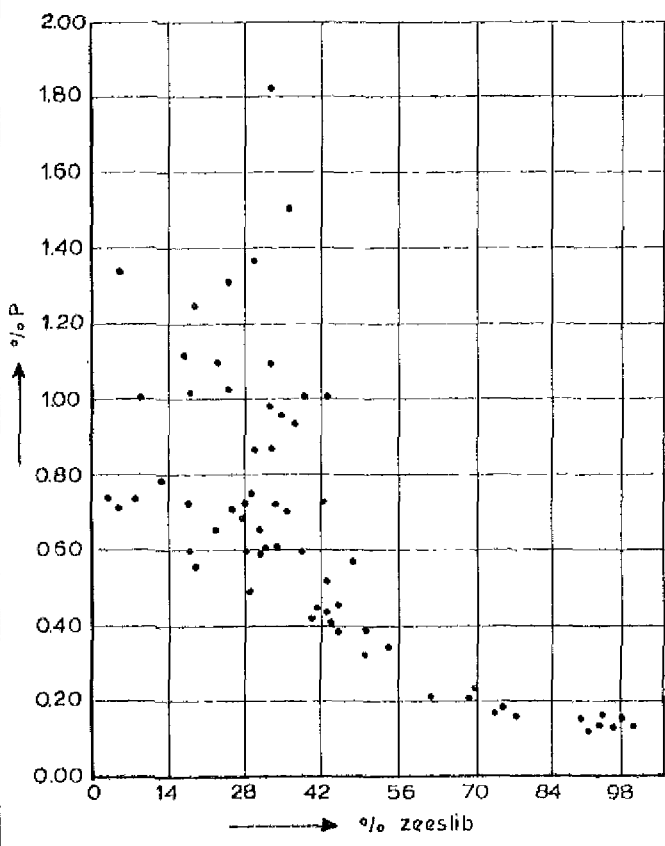
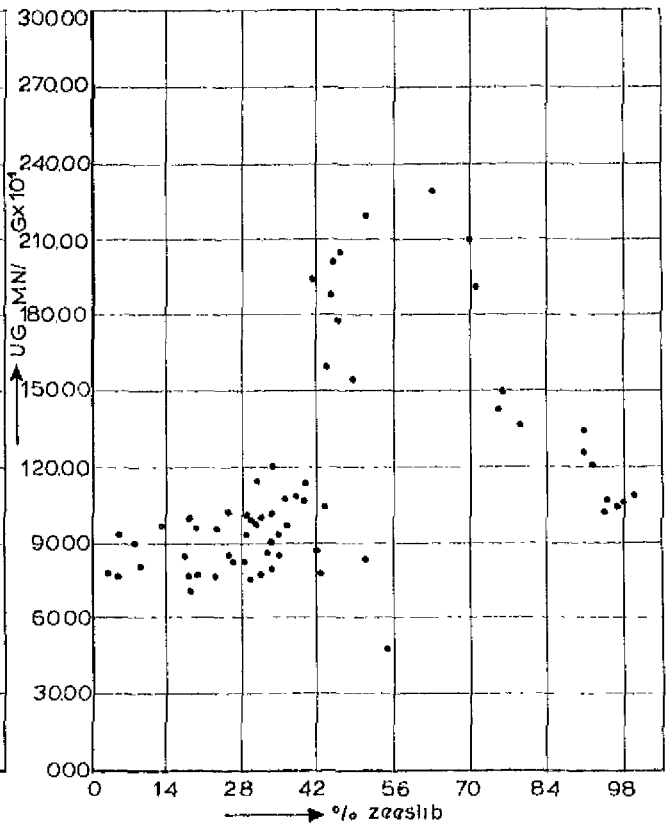
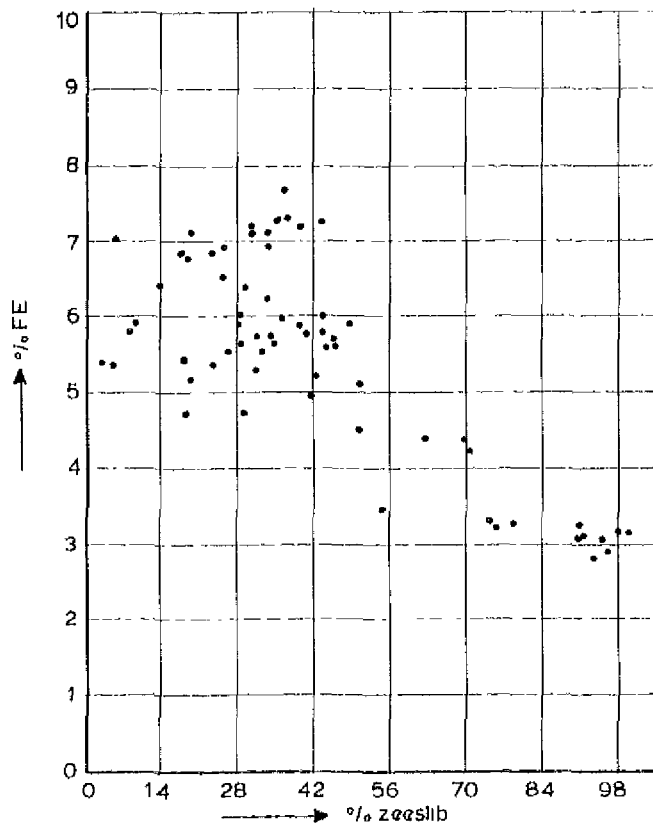
GEHALTEN AAN METALEN EN FOSFOR IN
AFGEZET SLIB IN 1979 UITGEDRUKT
IN % VAN DE GEHALTEN IN 1974



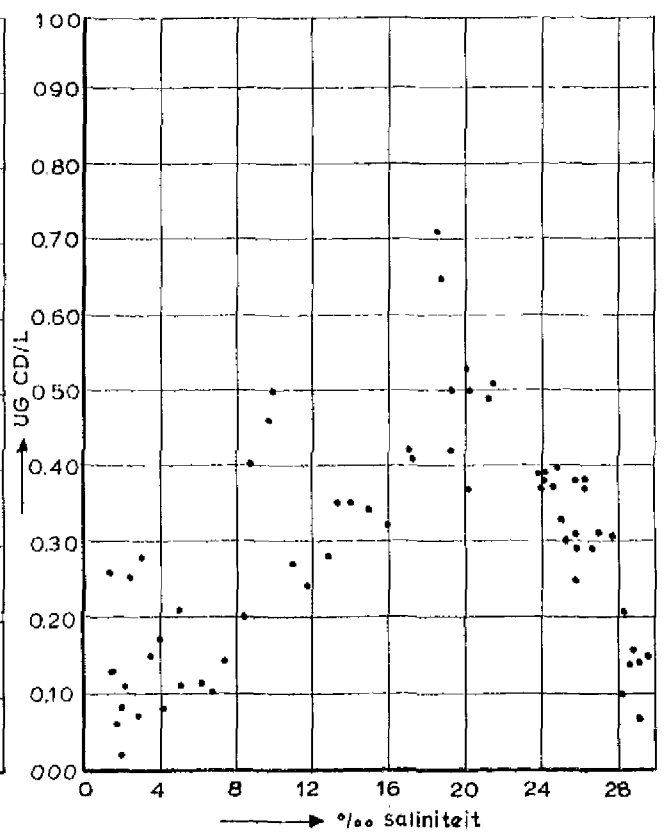
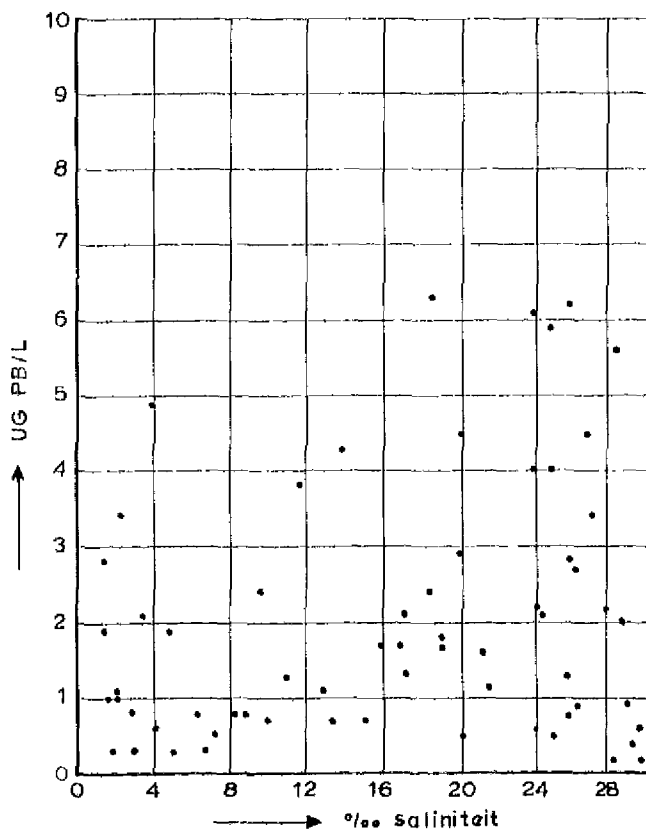
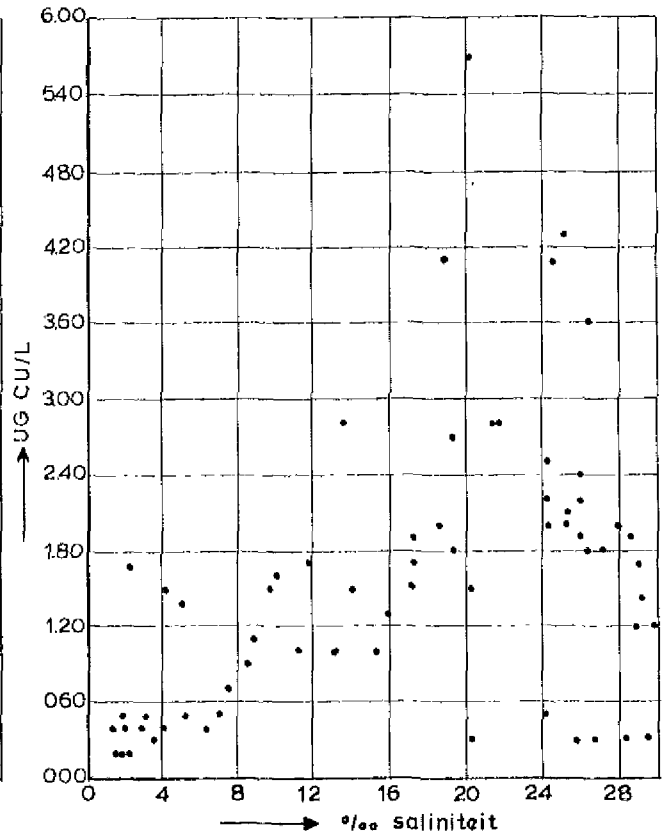
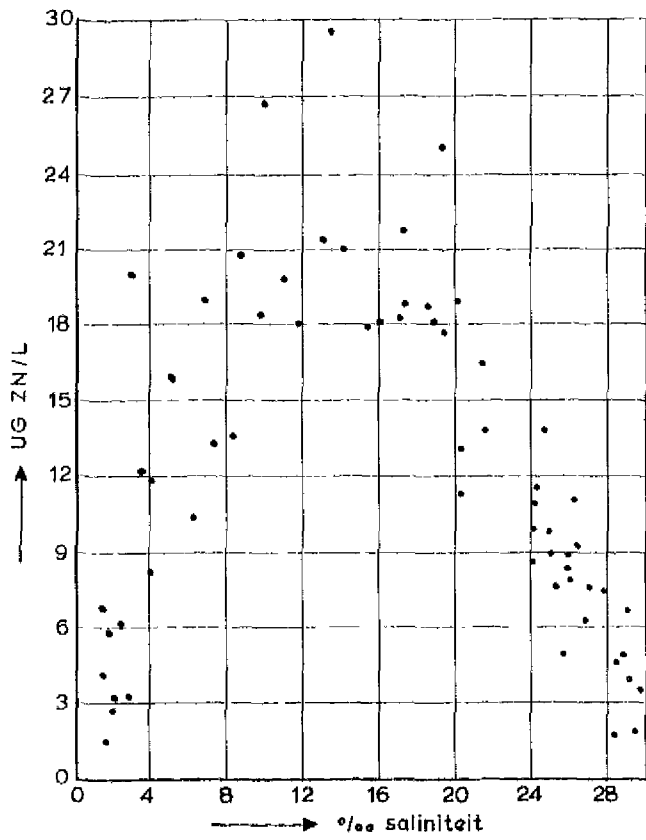
VERBAND TUSSEN HET ZN-,CU-,CR-EN PB-GEHALTE
EN HET % ZEESLIB IN ZWEVEND SLIB



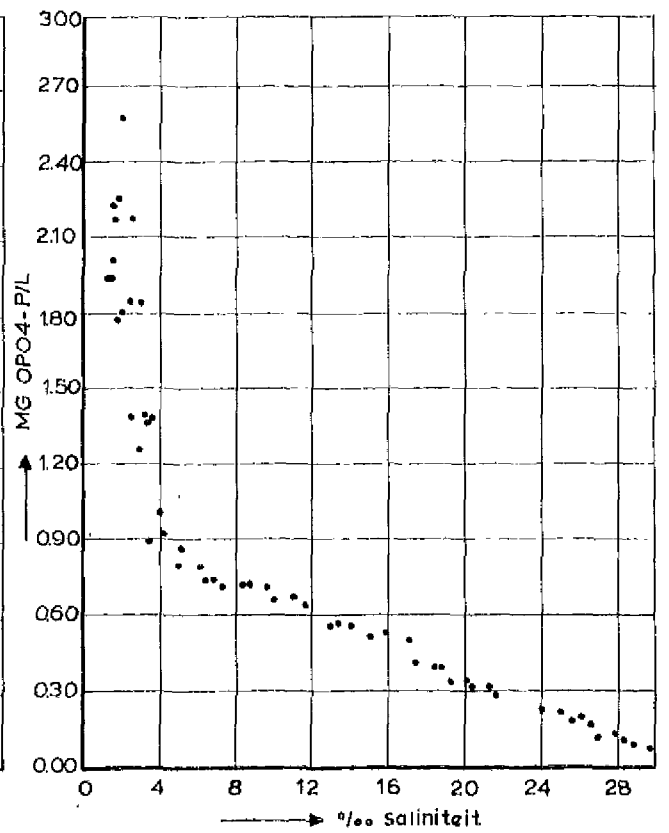
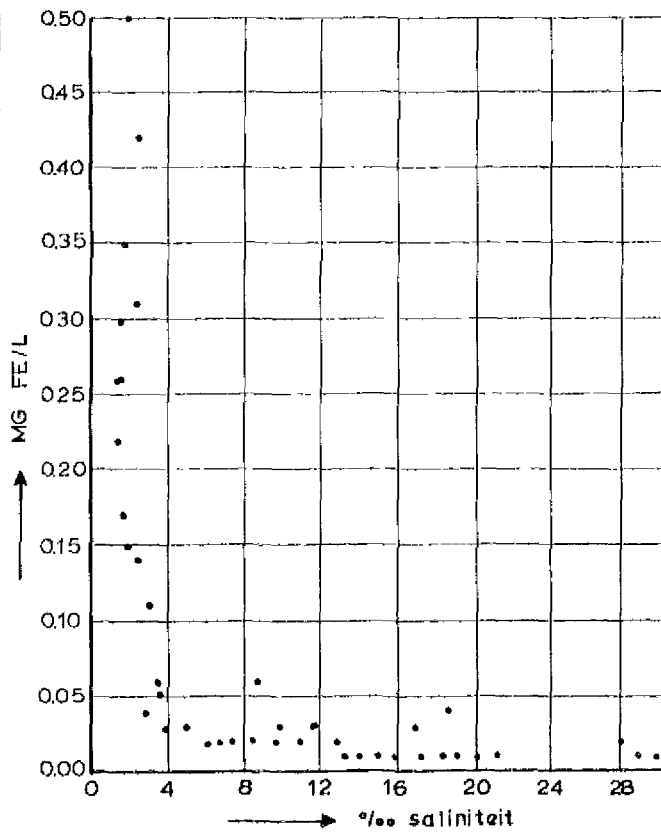
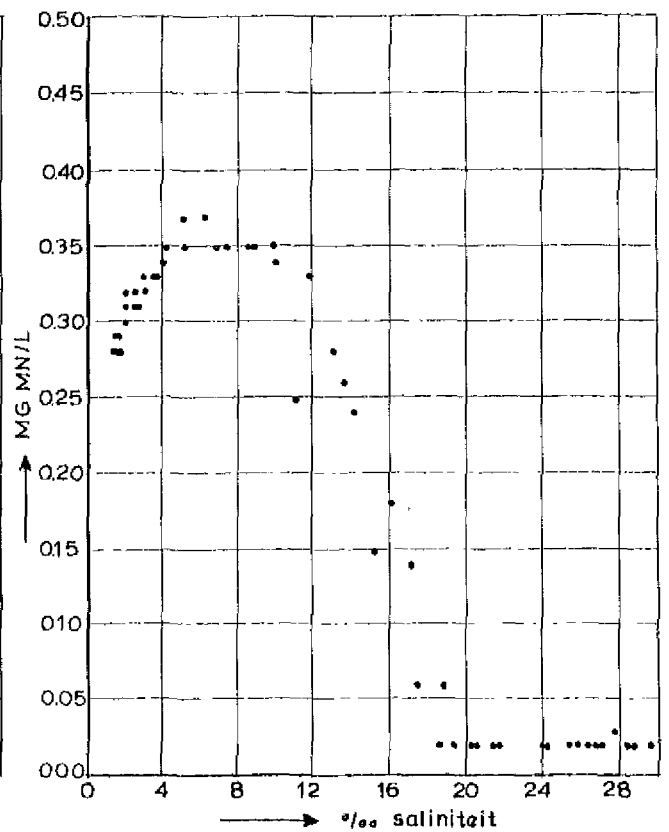
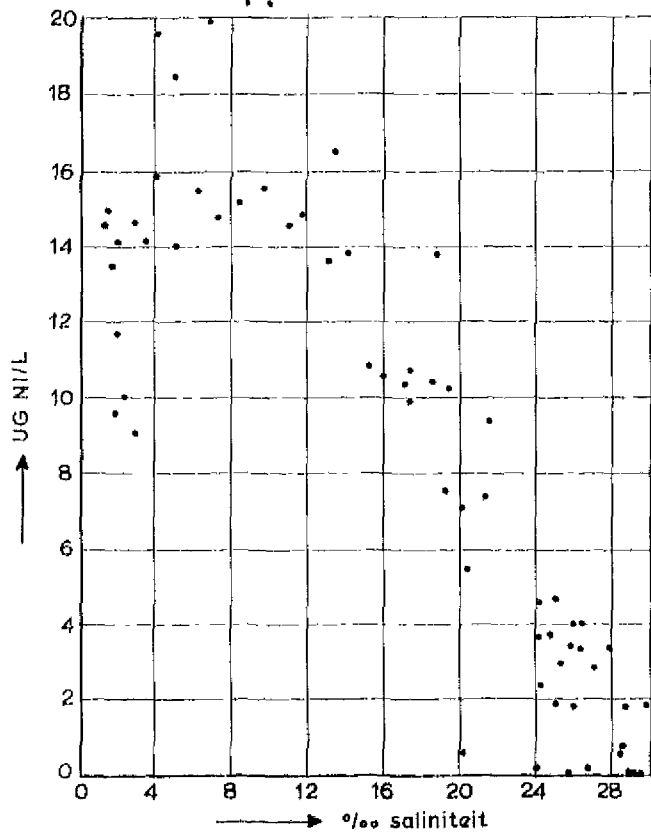
VERBAND TUSSEN HET CD-, NI-, HG- EN AS- GEHALTE
EN HET % ZEESLIB IN ZWEVEND SLIB



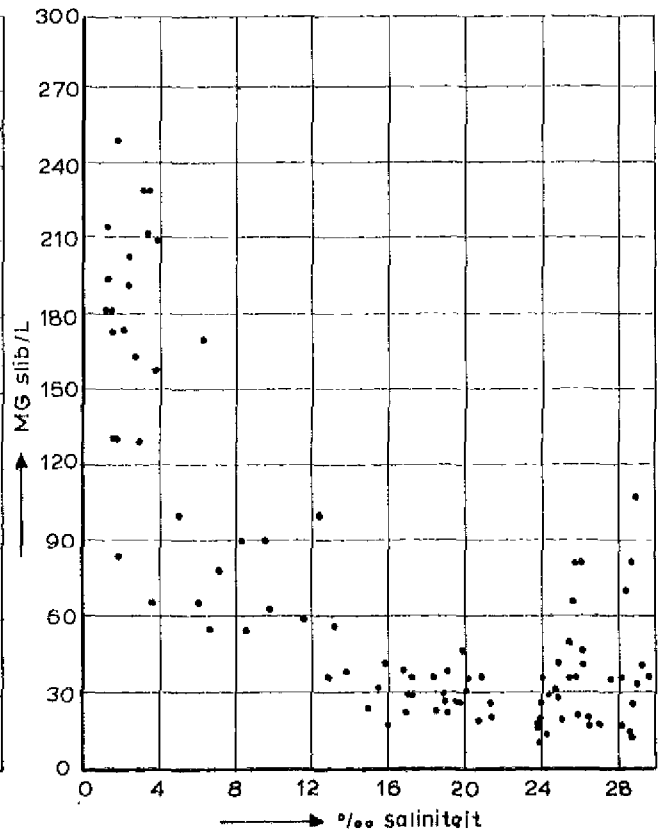
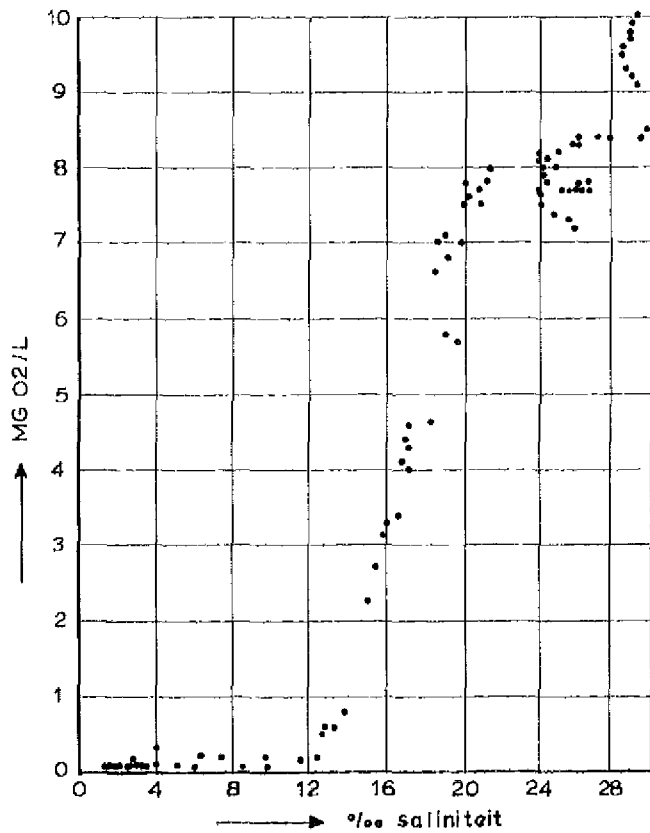
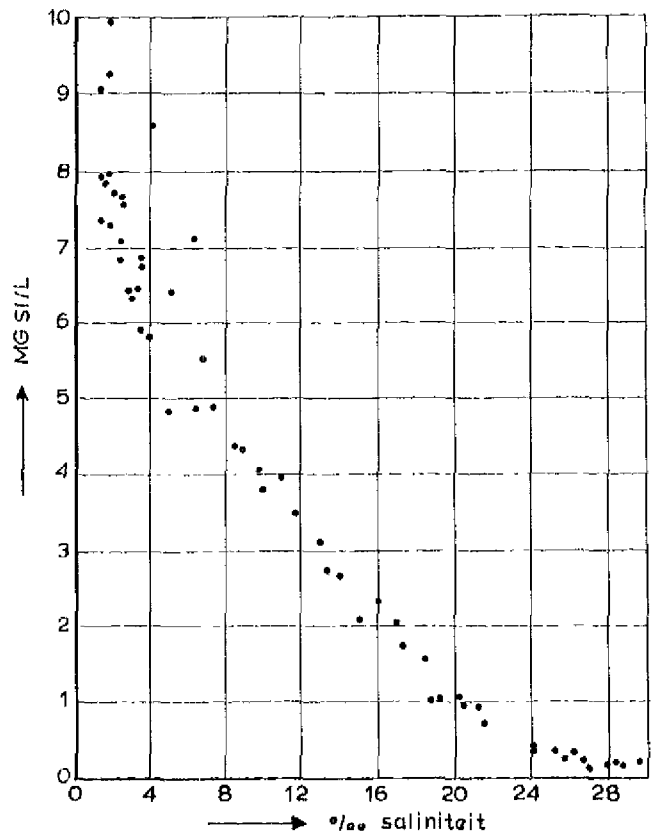
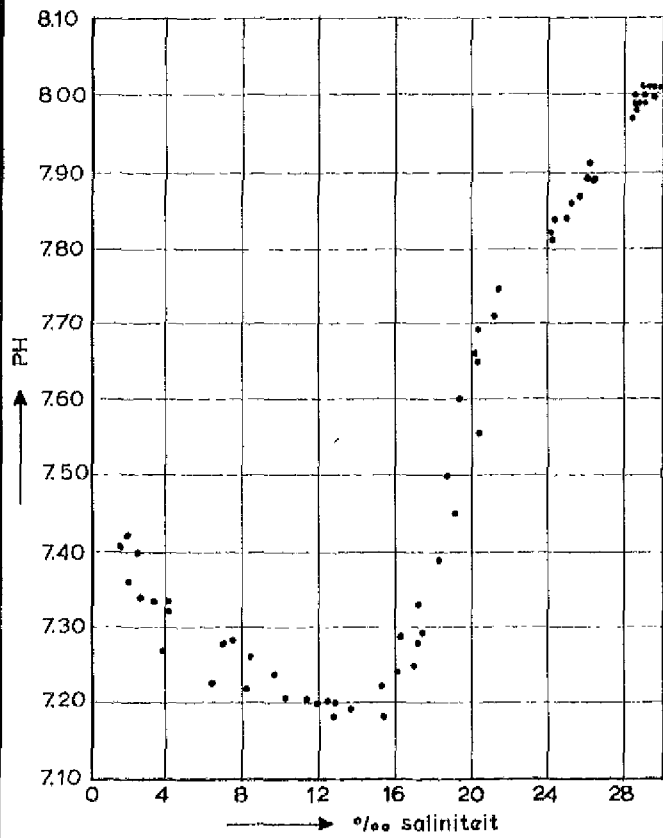
VERBAND TUSSEN HET FE-,MN-,P-EN AL-GEHALTE
EN HET % ZEESLIB IN ZWEVEND SLIB



VERBAND TUSSEN HET ZN-,CU-,PB-EN CD-GEHALTE
EN DE SALINITEIT IN OPPERVLAKTEWATER

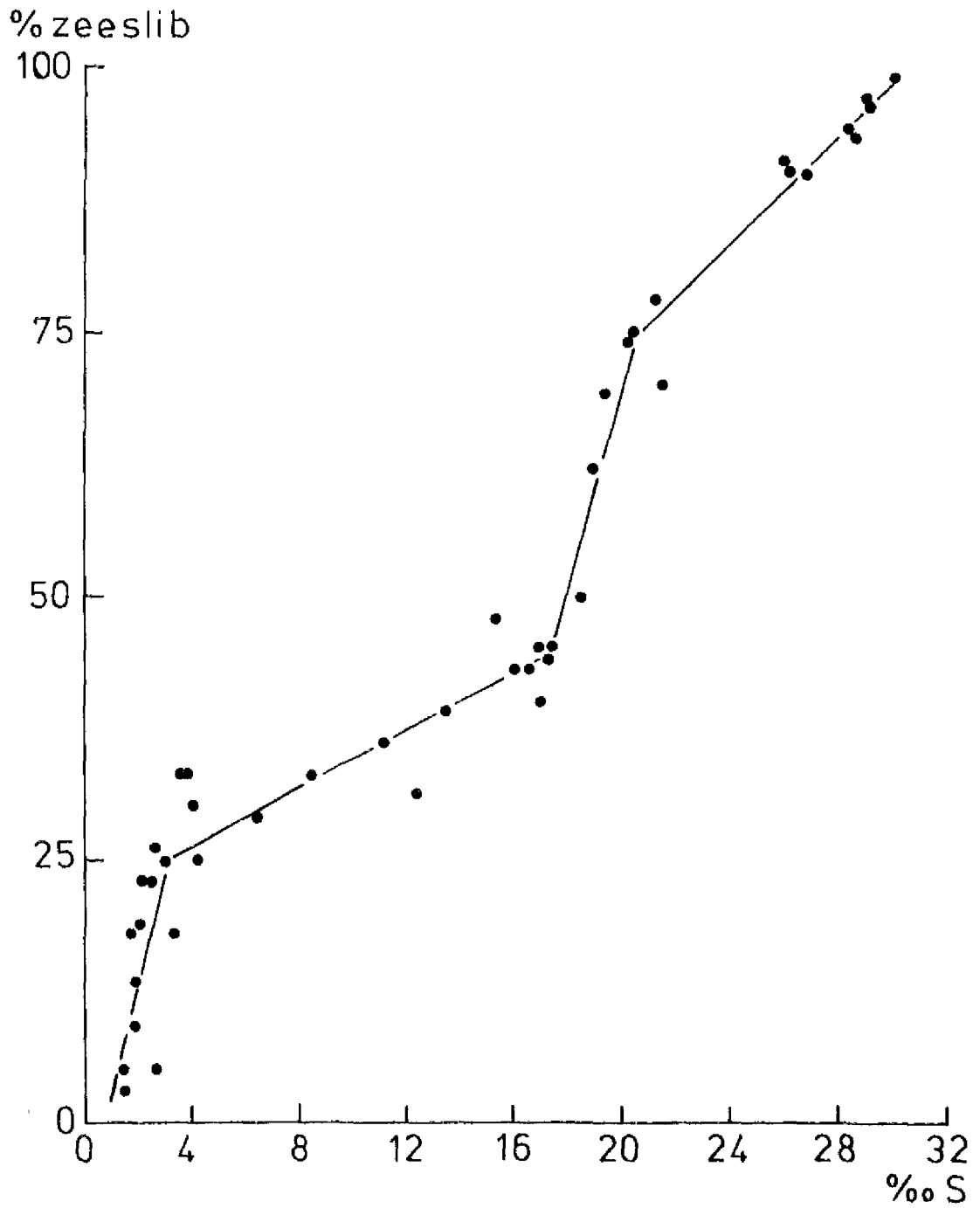


VERBAND TUSSEN HET NI-,FE-,MN-EN O-PO4-
GEHALTE EN DE SALINITEIT IN OPPERVLAKTEWATER



VERBAND TUSSEN PH-, O₂-SI-EN SLIBGEHALTE
EN DE SALINITEIT IN OPPERVLAKTEWATER

Schelde

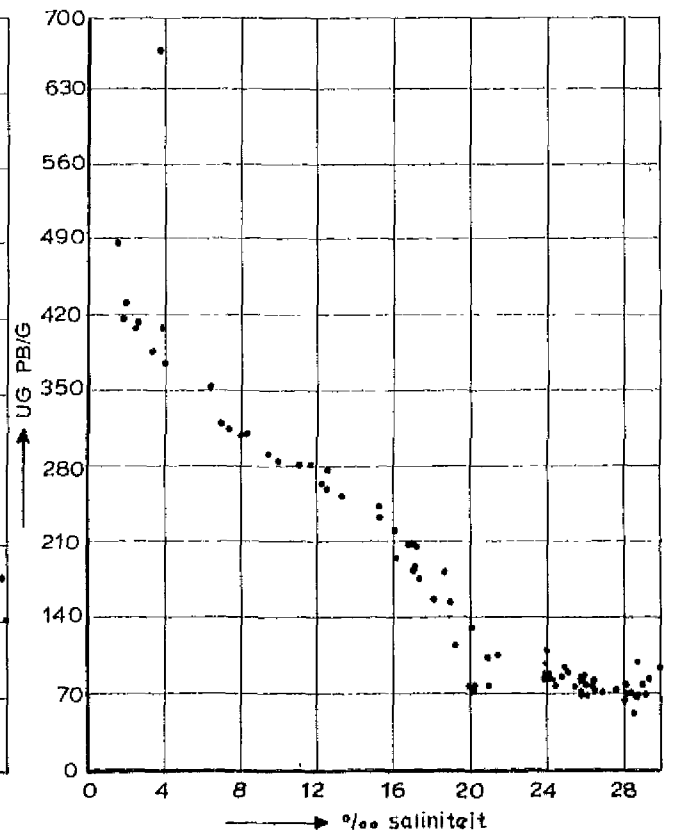
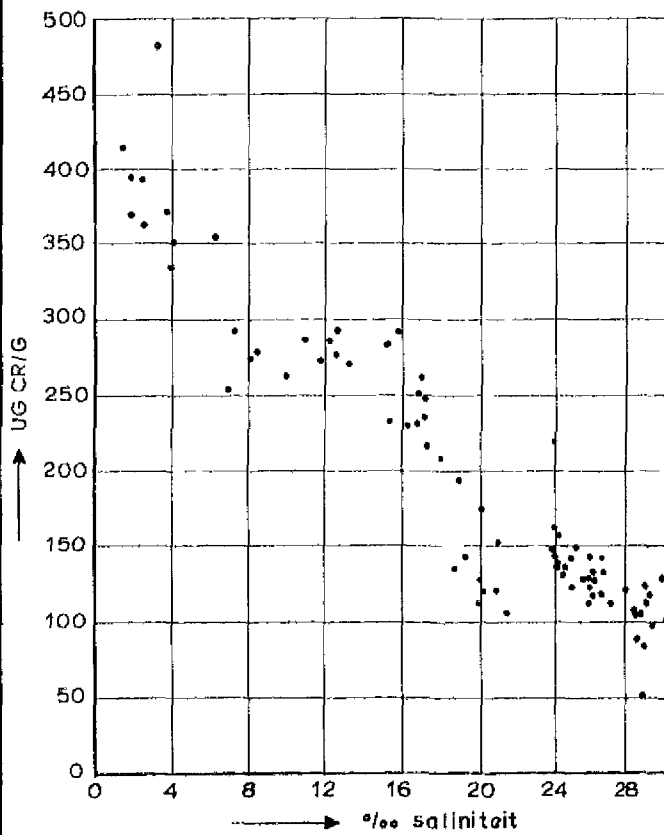
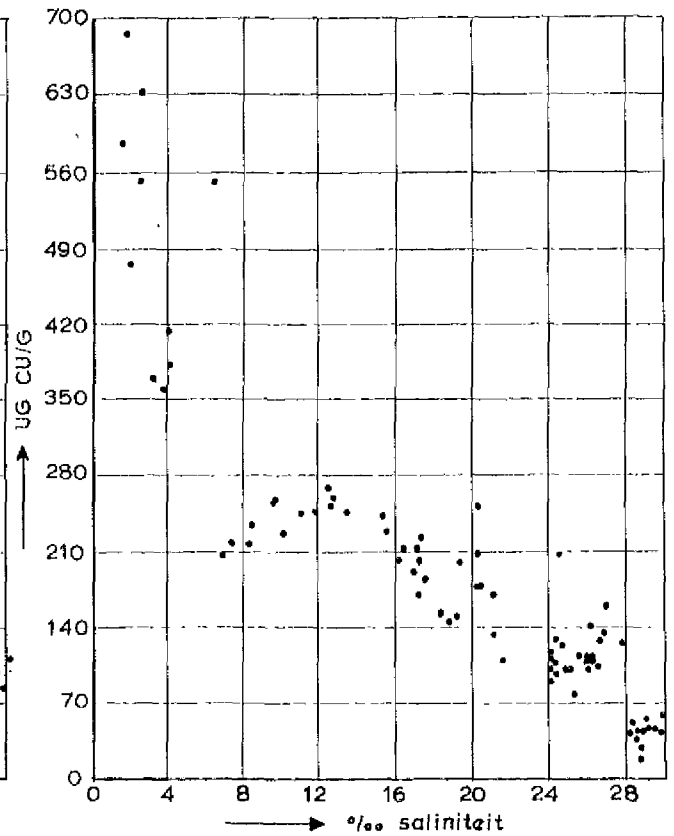
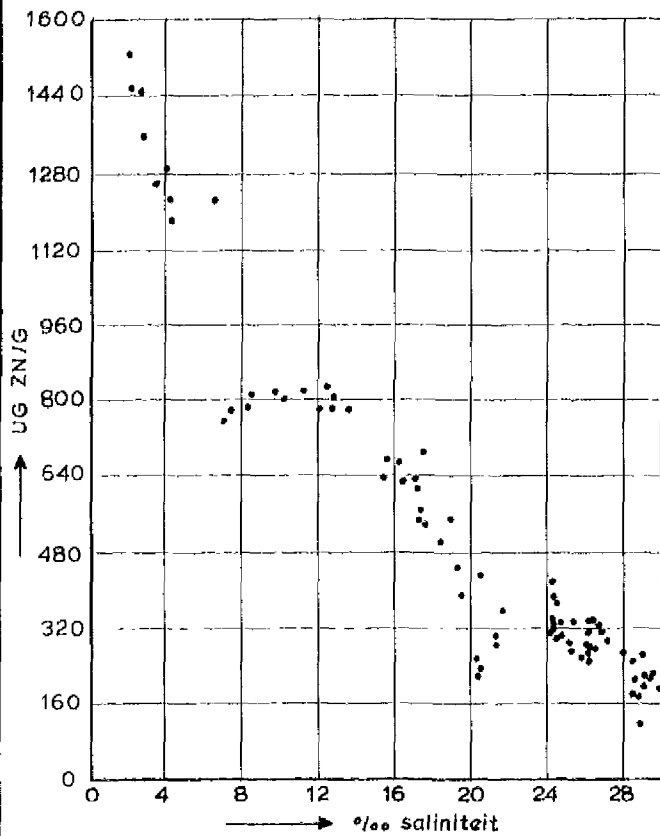


VERBAND TUSSEN % ZEESLIB IN
ZWEVEND SLIB EN SALINITEIT

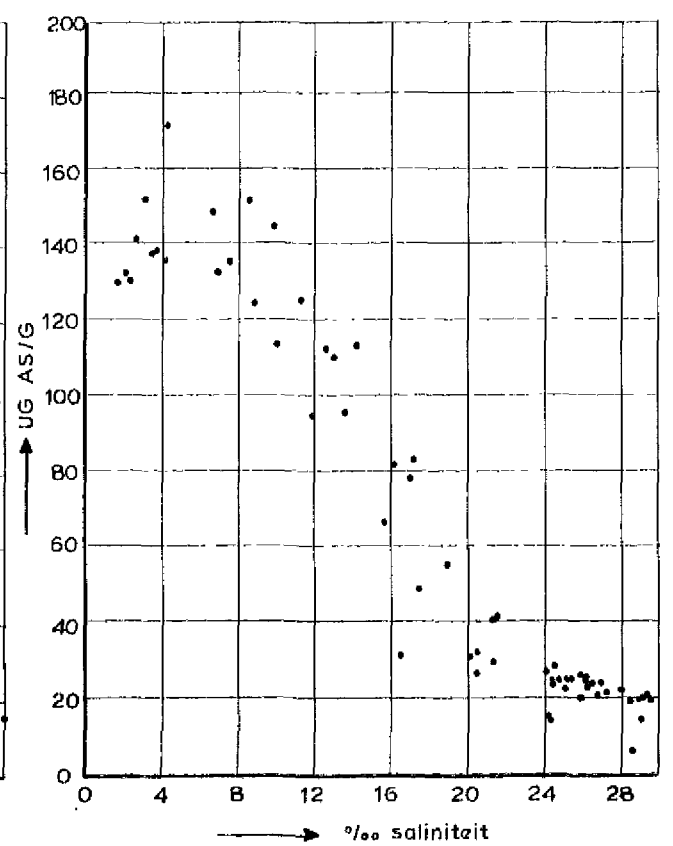
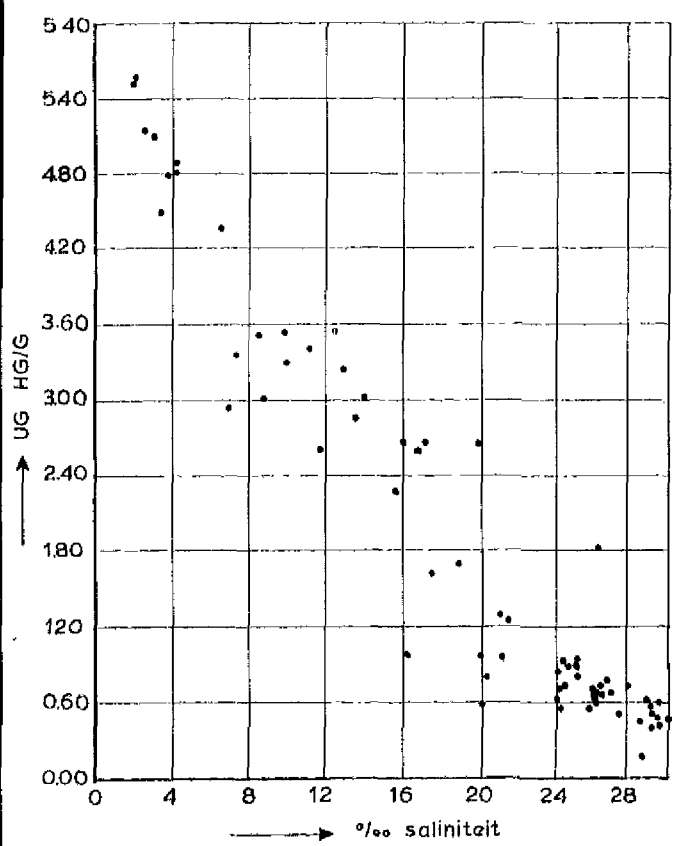
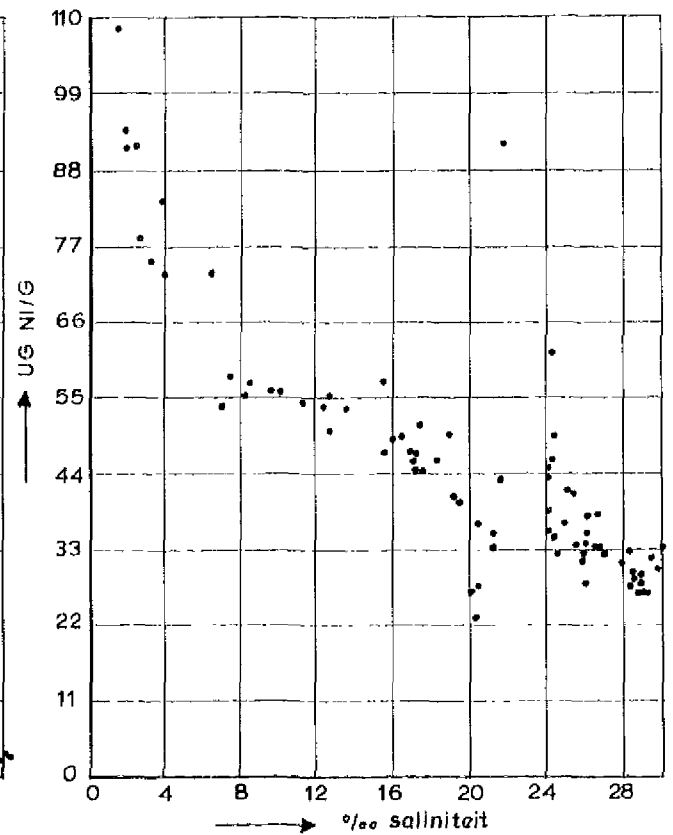
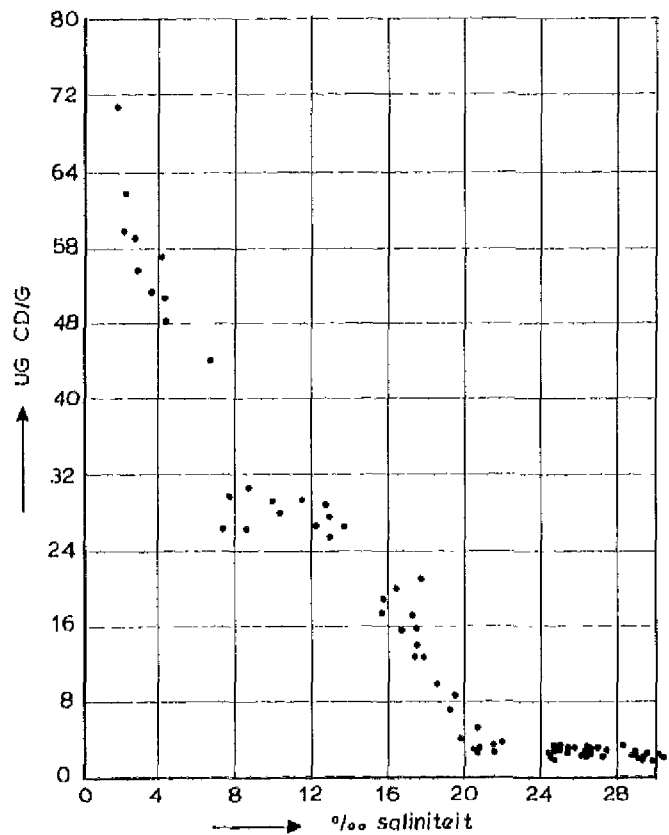
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M1640/M1736

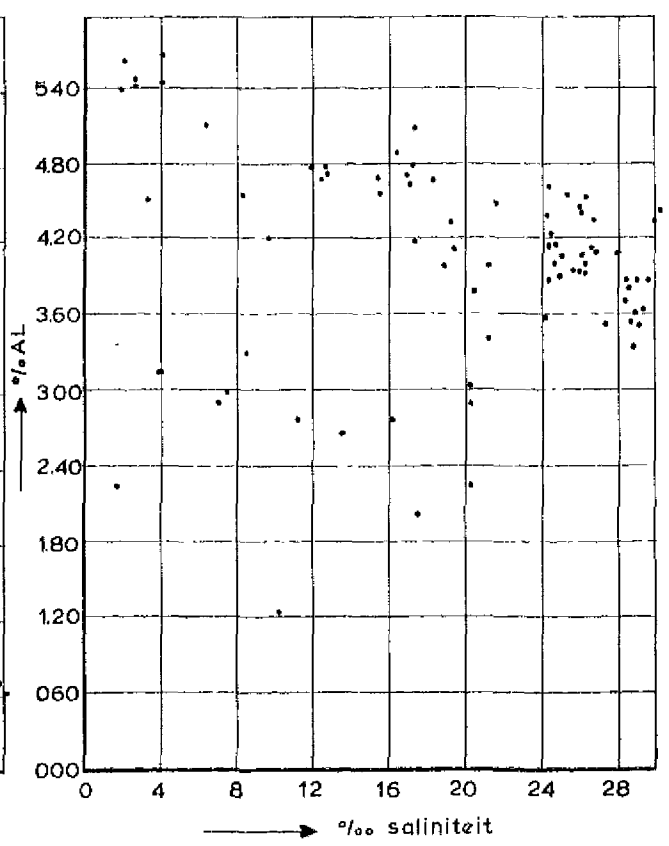
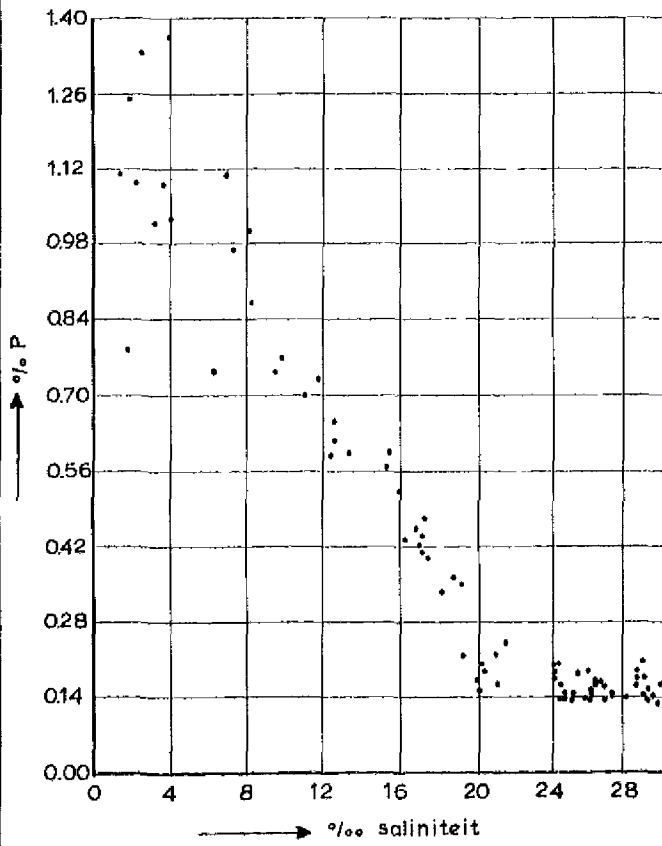
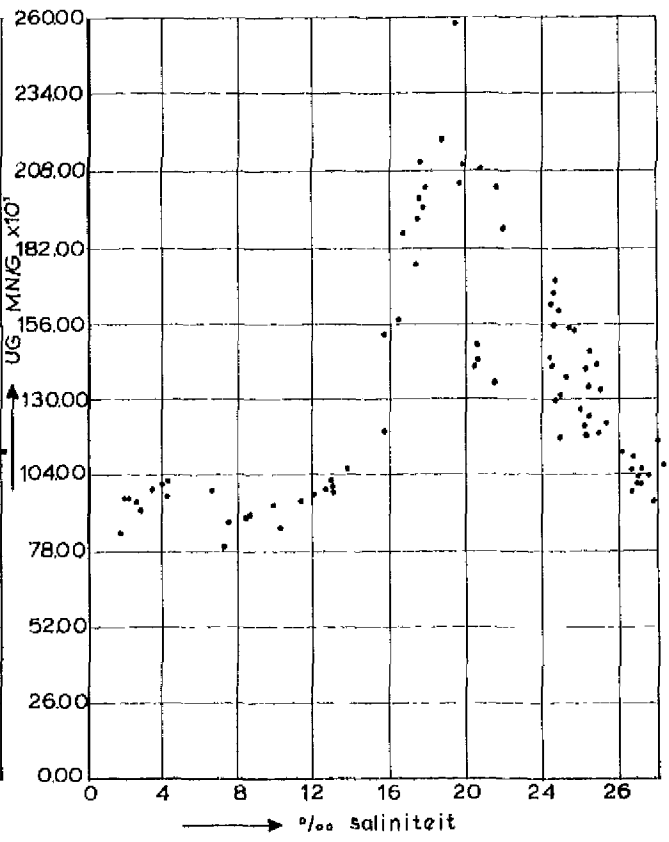
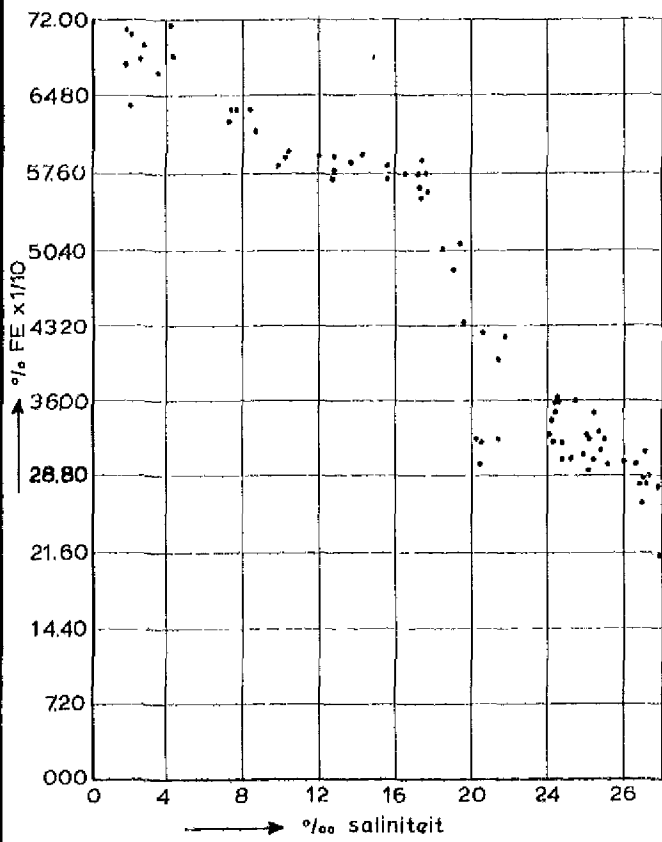
FIG. 28



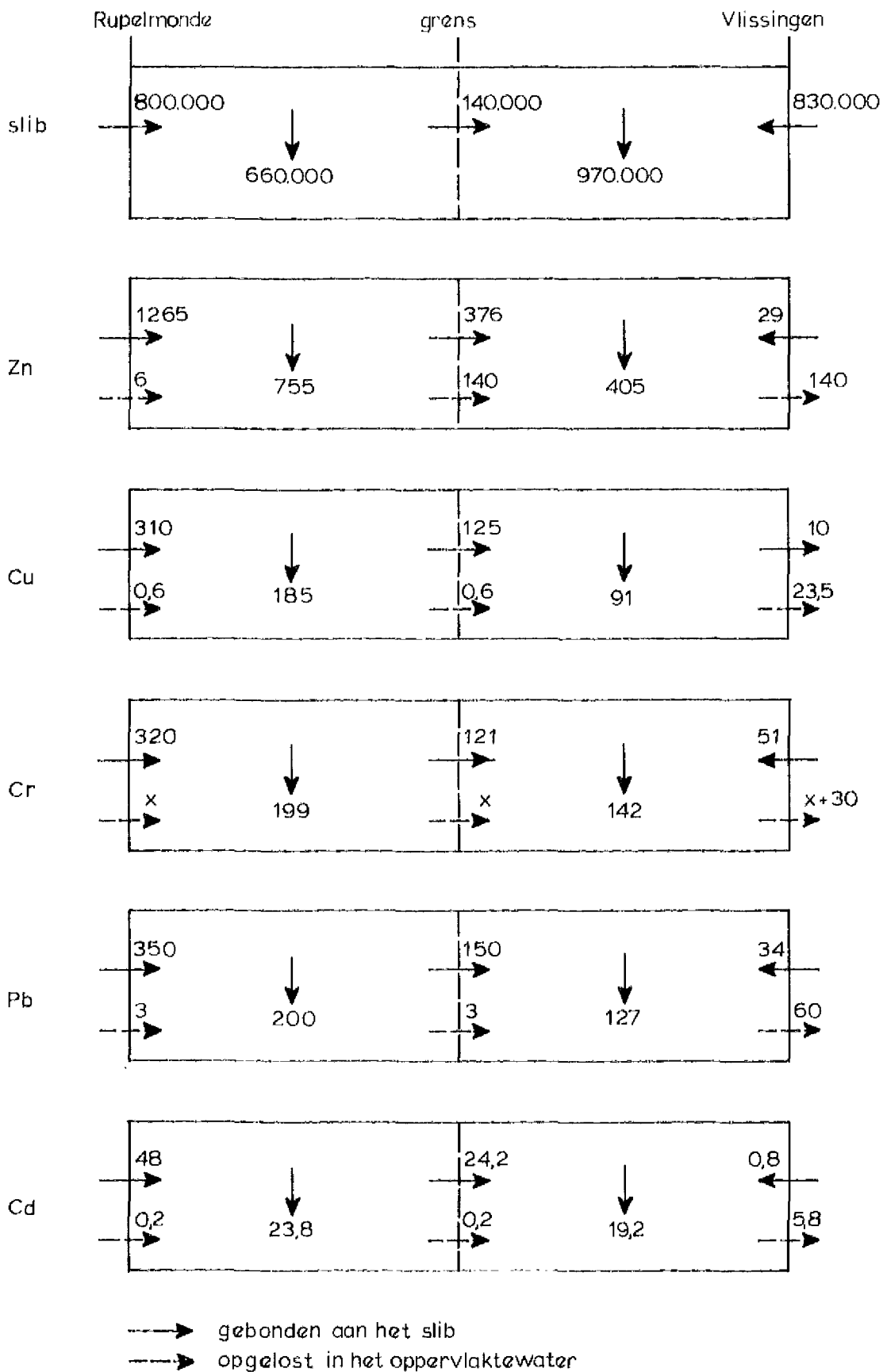
VERBAND TUSSEN HET ZN-, CU-, CR-, EN PB-GEHALTE
IN ZWEVEND SLIB EN DE SALINITEIT



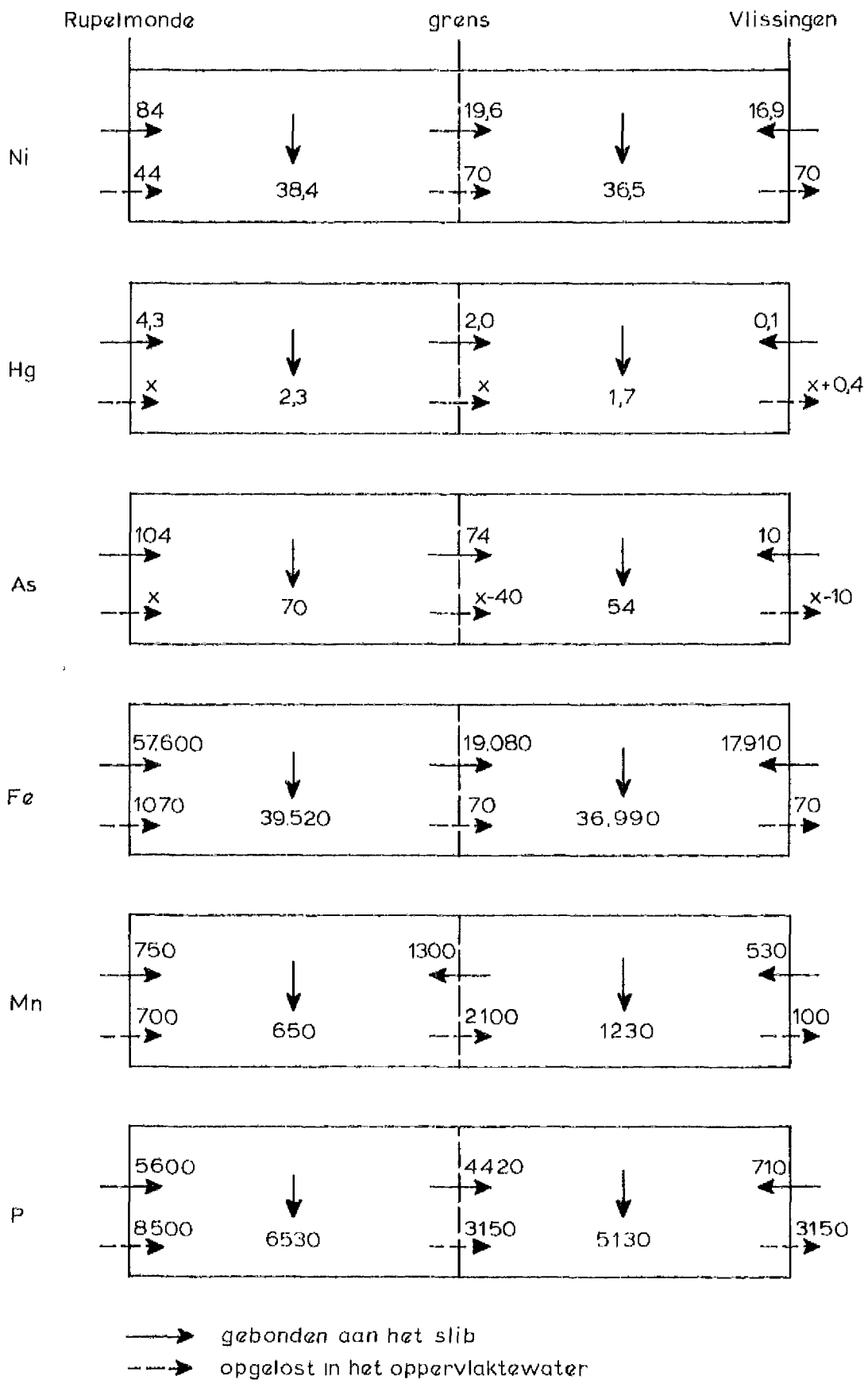
VERBAND TUSSEN HET CD-, NI-, HG- EN AS-GEHALTE
IN ZWEVEND SLIB EN DE SALINITEIT



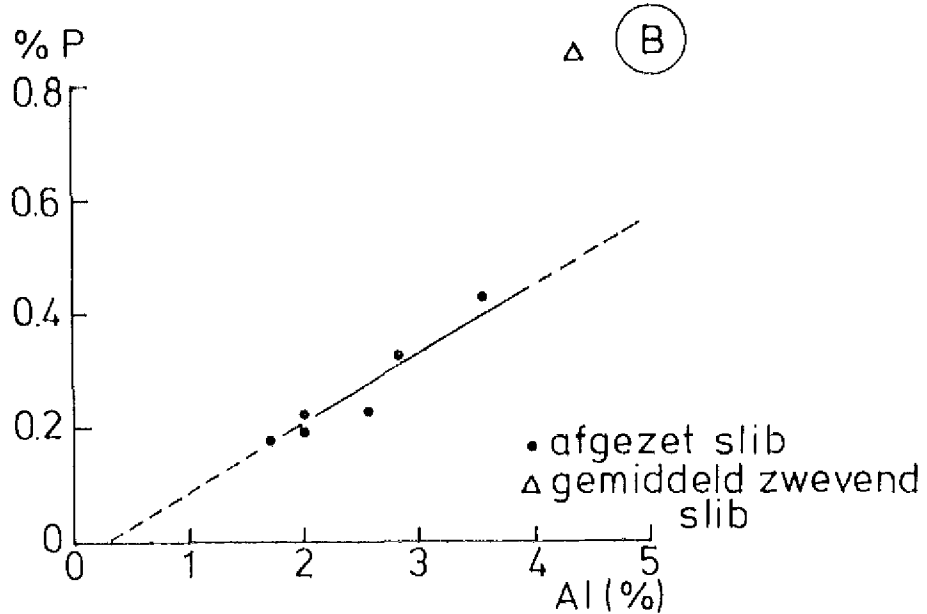
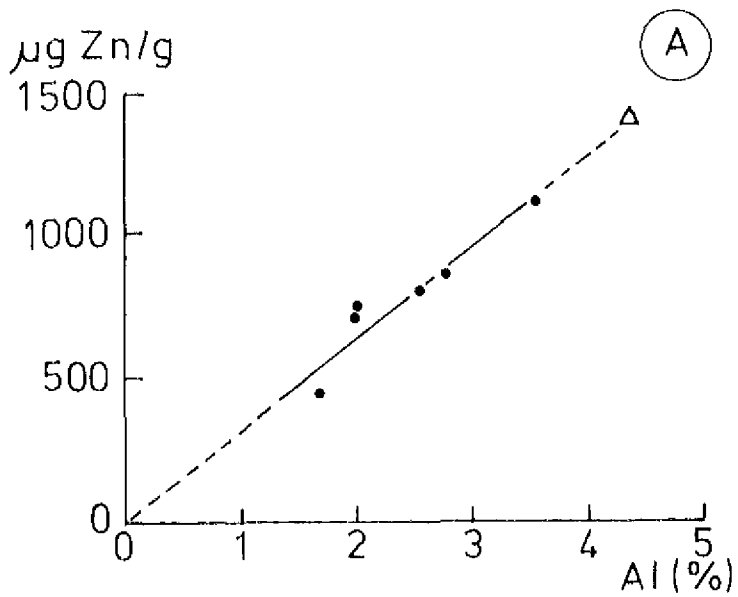
VERBAND TUSSEN HET FE-, MN-, EN AL-GEHALTE IN
ZWEVEND SLIB EN DE SALINITEIT



MASSABALANS IN TONNEN / JAAR



MASSABALANS IN TONNEN / JAAR



VERBAND TUSSEN HET Zn-EN P- GEHALTE EN HET
 Al-GEHALTE IN AFGEZET SLIB IN VERGELUKING
 MET ZWEVEND SLIB (LOKATIE RUPELMONDE)

Analysemethoden

A : Slib

1 % < 16 μm

De bepaling berust op de wet van Stokes. Na oxidatie van de organische stof met 30%-ig H_2O_2 wordt gedestilleerd water toegevoegd en 5 minuten gekookt. Het aanwezige CaCO_3 wordt verwijderd met verdund HCl (1N). Na toevoeging van een peptisatiemiddel, een $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ -oplossing wordt volgens de massa-pipetmethode met inachtneming van de bezinkingstijd de fractie $< 16 \mu\text{m}$ bepaald.

2 CaCO_3

De bepaling berust op de meting van het volume CO_2 dat vrijkomt als een bepaalde hoeveelheid slib in het toestel van Schleiber geschud wordt met een in het proefflesje ingebrachte hoeveelheid HCl . Aangezien het CO_2 -gehalte lager uitvalt door verliezen die o.a. ontstaan door de oplosbaarheid van het CO_2 in de HCl -oplossing is het nodig de bepaling te vergelijken met standaarden van zuiver CaCO_3 .

3 Organische stof

Door koken met een bichromaat-zwavelzuur mengsel wordt de organische stof geoxideerd. Het verbruik van bichromaat wordt vastgesteld door de overmaat ervan terug te titreren met een Mohr's zoutoplossing met o-phenantroline als indicator.

4 Zink, koper en chroom

Het slib wordt ontsloten door destructie met een mengsel van geconcentreerd H_2SO_4 , HNO_3 en HClO_4 . Het destruaat wordt met water opgekookt, om de gevormde nitrosylverbindingen te verdrijven en eventueel gevormde pyrosulfaten te hydrolyseren. Pyrosulfaten vormen stabiele verbindingen, die aanleiding kunnen geven tot storing. Het Zn, Cu en Cr wordt rechtstreeks gemeten met de atoomabsorptiespectrofotometer bij golflengten van respectievelijk 213,9; 325,0 en 359,6 nanometer.

5 Nikkel

De grond wordt ontsloten door destructie met een mengsel van geconcentreerd H_2SO_4 , HNO_3 en $HClO_4$. Het destruaat wordt met water opgekookt. In het destruaat wordt Ni gecomplexeerd met Na-diethyl-dithiocarbamaat bij pH = 7. Het Ni-complex wordt met MIBK uitgeschud. Het storende mee-geëxtraheerde ijzercomplex wordt verwijderd door een extractie met acetylaceton-chloroform. In het MIBK-extract wordt Ni gemeten met de atoomabsorptiespectrofotometer bij een golflengte van 232,0 nm.

6 Lood en cadmium

Door afroken van de grond met geconcentreerd HNO_3 op een waterbad worden Pb en Cd in een oplosbare vorm gebracht. De metalen worden met verdund zoutzuur geëxtraheerd. In het extract wordt het metaal gecomplexeerd met Na-diethyl-dithiocarbamaat bij pH = 7. Het metaalcomplex wordt met MIBK uitgeschud. In het MIBK-extract, waaruit het ijzer is verwijderd, worden Pb en Cd met de atoomabsorptiespectrofotometer gemeten bij een golflengte van respectievelijk 285,2 en 228,8 nm.

7 Fosfor

Na ontsluiting met Fleischmanzuur wordt het fosforgehalte bepaald volgens de spectrofotometrische methode van Murphey en Riley.

8 Kwik en arseen

Voor de analyse van Hg en As wordt gebruik gemaakt van de activeringsanalyse. Het monster wordt in een ampul onderworpen aan een bestraling met thermische neutronen. De ampul wordt gebroken en in een kookkolf met geconcentreerd H_2SO_4 gedaan. De ontsluiting van Hg en As vindt plaats onder opwarming en onder toedruppelen van een 30%-ige H_2O_2 -oplossing. Onder voortdurende bijvoeging van HBr wordt daarna tot een destillatie bij $200^{\circ}C$ overgegaan. Voor Hg wordt de 77 keV gamma emissie van het Hg 197 isotoop gemeten. Voor As wordt gemeten de 559 keV gamma emissie van het As 76 isotoop.

B : Oppervlaktewater

1 Fe

De monsters worden ontsloten door aan te zuren met salpeterzuur tot pH = 1 daarna zachtjes te koken. Na reductie van eventueel aanwezig Fe³⁺ tot Fe²⁺ en complexering met Ferro Zine wordt een weinig EDTA en natriumacetaat toevoegd. De intensiteit van de blauwe kleur wordt spectrofotometrisch gemeten bij een golflengte van 562 m.

2 Mn

De monsters worden ontsloten door aan te zuren met salpeterzuur tot pH = 1 en daarna zachtjes te koken. Het mangaan wordt met behulp van een lucht-acetylenevlam geatomiseerd en met een atoomabsorptiespectrofotometer gemeten bij een golflengte van 279, 5 nm.

3 Zn, Cu, Pb, Cd en Ni

Het diepgevroren tot pH = 1 met HNO₃ aangezuurde monster wordt na ontdooien zachtjes gekookt. Hierna worden de metalen geëxtraheerd met een APDC-NaDCC-MIBK mengsel, waarbij APDC-metaal complexen worden gevormd. Het extract wordt teruggeëxtraheerd met een 1M HNO₃ oplossing. Daarna worden Zn in een luchtacetylenevlam en Cu, Pb, Cd en Ni met behulp van een grafietoven geatomiseerd. Tijdens de atomisatie worden de metalen met een atoomabsorptiespectrofotometer gemeten volgens de standaardadditiemethode. De golflengten, waarbij wordt gemeten zijn:

Zn 213,9 nm

Cu 324,7 nm

Pb 283,3 nm

Cd 228,8 nm

Ni 341,5 nm

4. Silicium

Silicium reageert met ammoniummolybdaat tot een geel complex. Dit complex wordt met een metol-sulfiet gereduceerd tot een beter meetbaar blauw complex. Storing van fosfaat en arsenaat wordt opgeheven door het toevoegen van oxaalzuur. De intensiteit van de blauwe kleur wordt spectrofotometrisch gemeten bij een golflengte van 810 nm.

5. Saliniteit

De saliniteit wordt indirect via een geleidbaarheidsmeting bepaald. De geleidbaarheid wordt opgegeven in mmhO's ($1 \text{ mmhO} = 1 \text{ m}\Omega^{-1}$). Met behulp van een conversietabel of -grafiek wordt de saliniteit afgelezen in ‰ of mg zout per liter.

6. Slibconcentratie

Het slibgehalte wordt indirect bepaald via een turbiditeitsmeting. De turbiditeitsmeter werkt volgens het principe van de lichtverstrooiing. De turbiditeit wordt opgegeven in NTU's (= Nephelometric Turbidity Units). Uit een ijkcurve van het slibgehalte versus de turbiditeit wordt het slibgehalte afgelezen.

Resultaten van de analyses in de afzonderlijke monsters van het afgezette slib

LOKATIE: RUPEL 1

Monsternr.	CaCO ₃ %	org. stof %	<16 µm % (bep.)	<16 µm % (ber.)	Al %	P %	Zn µg/g	Cu µg/g	Cr µg/g	Pb µg/g	Cd µg/g	Ni µg/g	As µg/g	Hg µg/g	Fe %	Mn µg/g
2402	6,00	0,73	4,50	4,80												
2403	1,40	0,70	3,30	3,40												
2404	9,70	3,96	14,10	16,30												
2405	8,20	2,88	11,60	13,10												
2406	10,20	5,07	19,70	23,30	1,98	0,225	701	102	170	190	24,90	40,90	58,4	1,88	2,88	354
2407	10,20	4,75	18,80	22,10												
2408	9,90	6,27	24,50	29,20												
2409	9,40	3,01	14,20	16,20	1,72	0,176	451	72	172	118	10,90	29,00	41,2	1,23	2,26	304
2410	10,90	8,67	37,40	46,50	3,55	0,428	1100	207	290	314	42,30	69,80	87,5	3,18	3,99	617
2411	10,60	9,15	36,30	45,20												
2412	10,70	5,69	24,30	29,10	2,55	0,224	794	116	172	225	18,70	38,60	69,0	2,14	2,77	561
2413	9,90	4,02	18,30	21,30	2,03	0,199	756	102	172	171	15,40	32,50	53,8	2,11	2,46	407
2414	11,70	6,03	28,10	34,20	2,81	0,331	859	148	256	249	27,30	47,00	77,0	3,23	3,29	486

LOKATIE: ANTWERPEN 2

2415	11,90	6,18	27,80	33,90	2,91	0,409	735	134	231	205	27,10	50,30	92,5	2,92	3,52	537
2416	12,60	6,80	31,00	38,50	3,08	0,433	749	134	232	204	26,30	47,80	83,5	3,04	3,75	591
2417	12,30	6,03	27,00	33,10												
2418	12,80	8,84	41,20	52,60	4,02	0,565	1010	187	299	251	36,40	61,80	87,5	3,06	4,72	722
2419	13,00	7,54	36,60	46,10	3,49	0,497	863	152	265	227	30,40	53,40	94,5	2,46	4,17	695
2420	13,20	9,60	45,30	58,70	4,20	0,587	1078	195	318	275	37,60	63,40	102,0	3,46	4,99	778
2421	12,90	8,47	38,20	48,60												
2422	13,00	9,76	41,90	54,30	3,99	0,553	1077	184	309	267	36,50	62,00	101,5	1,96	4,86	777
2423	13,00	8,89	38,70	49,60	3,72	0,537	1012	167	292	243	32,80	57,80	88,5	3,20	4,49	724
2424	11,90	4,76	20,90	25,10	2,09	0,272	562	89	181	147	17,50	38,10	57,0	1,86	2,75	409
2425	12,50	5,40	27,00	32,90	2,66	0,346	624	107	206	165	20,10	38,10	68,5	2,15	3,26	512

LOKATIE: ROYERSLUIJ 3

2390	13,70	10,79	53,00	70,20												
2391	13,60	10,64	50,80	67,10	4,61	0,503	1044	181	296	299	38,50	60,30	114,0	3,67	5,59	976
2392	13,20	10,79	49,50	65,10												
2393	13,40	10,36	51,00	66,90												
2394	14,00	10,93	53,10	70,70	4,69	0,576	1026	187	286	301	40,40	61,20	109,0	3,54	5,87	953
2395	13,20	10,59	50,20	65,90												
2396	13,00	10,91	49,60	65,20	4,56	0,632	1105	204	313	338	44,80	64,60	131,0	3,87	5,88	951
2397	13,00	10,62	50,00	65,50												
2398	12,90	10,60	50,10	65,50												
2399	13,30	10,79	52,70	69,40	4,70	0,637	1029	187	318	306	41,20	61,40	106,0	3,61	5,82	994
2400	13,80	9,87	49,90	65,40												
2401	13,40	10,22	48,40	63,40	4,47	0,633	1029	177	286	294	38,80	58,80	115,0	3,55	5,52	942

Bijlage 2

LOKATIE: KRANKELOONPOLDER 4

Monsternr.	CaCO ₃ %	org. stof %	< 16 µm % (bep.)	< 16 µm % (ber.)	Al %	P %	Zn µg/g	Cu µg/g	Cr µg/g	Pb µg/g	Cd µg/g	Ni µg/g	As µg/g	Hg µg/g	Fe %	Mn µg/g
2377	14,10	9,91	51,80	68,20	4,60	0,550	907	159	306	263	34,10	56,00	104,5	3,00	5,85	1052
2378	14,00	9,04	49,80	65,40												
2379	14,30	9,52	49,80	65,40	4,55	0,532	906	152	286	252	33,40	52,60	106,5	3,33	5,63	997
2380	14,40	9,58	51,80	68,10												
2381	14,40	9,35	48,70	63,90	4,37	0,524	916	150	276	253	33,60	52,50	102,5	3,16	5,55	962
2382	13,70	8,23	40,50	51,90	3,78	0,478	798	129	223	221	28,90	46,20	91,5	2,94	4,99	877
2383	13,80	8,92	47,00	60,80	4,33	0,503	912	147	272	246	31,60	53,40	98,0	3,26	5,40	982
2384	14,00	8,43	42,60	54,90	4,01	0,457	787	137	256	225	29,30	49,50	93,0	2,99	5,15	896
2385	13,90	9,01	47,20	61,30												
2386	13,70	9,61	47,30	61,70												
2387	13,60	8,40	43,20	55,40												
2388	13,70	9,61	50,20	65,50												
2389	14,20	9,98	51,40	67,80												

LOKATIE: BOUDEWIJNSLUZEN 5

2365	14,30	9,67	51,50	67,70												
2366	14,00	9,53	50,70	66,30	4,54	0,510	874	152	261	242	18,70	52,50	99,5	3,74	5,63	1160
2367	14,10	9,97	53,60	70,60												
2368	14,60	9,69	51,90	68,60	4,64	0,513	869	155	294	250	32,20	53,80	102,5	3,94	5,75	1127
2369	14,20	9,77	52,10	68,50												
2370	14,80	9,66	52,90	70,00												
2371	14,50	9,85	53,40	70,60												
2372	14,20	9,87	52,50	69,30												
2373	14,50	9,92	53,60	70,90	4,79	0,591	987	166	312	274	34,90	55,80	105,0	3,95	5,79	1085
2374	14,40	9,75	50,10	66,10												
2375	14,20	9,41	49,90	65,30	4,42	0,539	902	155	259	257	32,90	55,00	116,5	3,55	5,87	1047
2376	14,50	8,96	46,40	60,60	4,23	0,503	816	141	253	235	29,30	50,40	96,5	3,36	5,46	1020

LOKATIE: DOEL 6

2364	14,80	8,31	45,70	59,40												
2365	14,90	8,61	46,70	61,10	4,20	0,443	679	115	227	212	22,80	46,50	68,0	3,20	5,31	1280
2366	12,30	7,13	38,30	47,50	3,52	0,354	588	97	184	166	18,00	39,30	74,5	2,88	4,59	1188
2367	15,00	8,64	46,60	61,00												
2368	15,60	9,40	54,60	72,80	4,70	0,450	772	130	251	222	25,50	49,60	94,3	3,38	5,77	1458
2369	15,40	9,13	52,20	69,20	4,56	0,439	729	131	249	208	14,40	47,60	77,0	3,16	5,64	1485
2360	14,50	8,37	46,40	60,20												
2361	14,50	7,92	43,20	55,70												
2362	14,60	7,68	42,00	54,00	3,72	0,382	633	107	220	171	19,10	40,50	79,0	2,88	4,86	1168
2363	14,60	8,15	43,70	56,60												
2364	14,90	8,09	44,00	57,10	3,99	0,392	671	118	237	188	21,30	42,10	73,5	3,07	4,92	1224

Bijlage 2

LOKATIE: HEDWIGEPOLDER 7

Monsternr.	CaCO ₃ %	org. stof %	< 16 µm % (bep.)	< 16 µm % (ber.)	Al %	P %	Zn µg/g	Cu µg/g	Cr µg/g	Pb µg/g	Cd µg/g	Ni µg/g	As µg/g	Hg µg/g	Fe %	Mn µg/g
2438	15,90	8,51	52,40	69,30	4,13	0,351	543	106	209	178	17,20	42,30	68,5	2,70	6,29	1620
2439	15,60	7,66	46,00	59,90	4,01	0,314	483	88	183	154	15,10	38,20	55,0	2,24	4,79	1449
2440	15,40	7,61	47,00	61,10												
2441	14,80	6,83	38,50	49,10	3,43	0,277	445	74	167	141	12,50	35,40	54,8	1,99	4,32	1285
2442	15,50	6,80	33,60	43,20	3,02	0,277	421	66	174	122	11,50	33,40	52,3	1,88	4,28	1502
2443	15,70	6,99	48,30	62,50												
2444	16,00	8,22	51,90	68,50												
2445	15,80	8,43	42,00	55,40	3,57	0,316	484	85	175	150	14,80	37,10	62,3	2,13	4,56	1617
2446	15,60	7,93	47,60	62,30	4,02	0,347	518	100	177	167	15,90	40,30	62,9	2,28	4,97	1632
2447	15,30	8,50	49,60	65,10	4,12	0,347	557	96	177	171	17,10	40,90	68,0	2,60	4,97	1565
2448	14,90	7,94	42,30	54,80	3,74	0,312	515	89	193	160	13,50	37,30	62,9	1,91	4,58	1524
2449	15,20	8,12	43,40	56,60	3,77	0,302	516	89	193	158	14,40	35,10	60,5	2,27	4,83	1560
2450	14,70	8,26	47,70	61,90	3,87	0,320	526	93	177	169	15,50	39,10	68,5	2,23	4,48	1462

LOKATIE: BAALHOEK 8

2426	13,30	6,09	33,10	41,10	2,90	0,213	295	49	140	97	5,50	30,40	54,5	1,35	3,73	1201
2427	15,00	7,77	37,90	49,10	3,32	0,238	373	59	149	112	6,70	37,20	58,5	1,43	4,15	1564
2428	14,70	7,20	34,20	43,50	3,10	0,208	352	52	164	101	6,30	33,20	48,5	1,27	3,90	1621
2429	14,80	7,33	35,80	46,00												
2430	13,70	6,10	28,60	35,70	2,64	0,175	259	45	141	84	5,60	27,00	42,6	1,00	3,46	1045
2431	13,40	5,90	24,20	30,00	2,41	0,161	267	42	132	75	5,60	26,60	37,6	0,99	3,09	846
2432	14,70	6,09	37,00	46,70	3,30	0,228	365	56	149	109	7,00	34,60	51,6	1,44	4,11	1603
2433	12,90	6,18	36,60	45,20	3,37	0,204	355	53	166	112	4,70	33,50	48,5	1,39	3,88	1474
2434	14,40	7,11	38,10	48,60	3,37	0,240	327	56	149	110	6,30	34,70	55,9	1,54	4,06	1607
2435	13,80	6,47	34,30	43,00	3,11	0,239	337	53	166	108	5,70	31,90	48,3	1,40	3,88	1738
2436	14,40	6,71	34,30	43,50												
2437	13,80	6,37	33,30	41,70	2,99	0,196	278	49	157	97	5,30	30,10	46,5	1,55	3,64	1309

LOKATIE: PERKPOLDER 9

2338	15,50	4,30	25,80	32,20												
2339	17,10	4,71	32,20	41,20	2,89	0,111	302	30	107	61	2,80	25,00	27,9	0,73	2,98	945
2340	18,50	5,28	37,70	49,50												
2341	18,60	5,35	37,80	49,70	2,42	0,127	257	32	138	69	3,30	30,50	28,7	0,92	3,38	1053
2342	19,20	5,87	41,10	54,90	3,67	0,156	281	35	123	73	3,40	31,10	30,4	1,00	3,56	1234
2343	19,70	6,28	45,30	61,20	4,01	0,145	290	36	144	79	3,40	33,70	33,7	1,10	3,83	1359
2344	19,40	6,28	44,60	60,00												
2345	19,10	6,07	42,20	56,40												
2346	18,40	6,34	39,90	53,00												
2347	17,90	6,20	36,90	48,60												
2348	15,20	3,83	25,70	31,70	2,35	0,197	194	22	90	44	2,10	20,90	19,9	0,47	2,58	811
2349	6,20	1,10	6,30	6,80	0,74	0,042	55	6	40	9	0,70	5,50	7,4	0,11	1,16	126

Bijlage 2

LOKATIE: HANSWEERT 10

Monsternr.	CaCO ₃ %	Org. stof %	< 16 µm % (bep.)	< 16 µm % (ber.)	Al %	P %	Zn µg/g	Cu µg/g	Cr µg/g	Pb µg/g	Cd µg/g	Ni µg/g	As µg/g	Hg µg/g	Fe %	Mn µg/g
2326	19,40	6,82	46,20	62,60												
2327	19,40	6,81	47,60	64,50	4,24	0,203	379	53	143	109	6,70	36,20	39,6	1,35	4,04	1358
2328	18,30	6,49	44,60	59,30												
2329	18,50	6,04	43,00	57,00	3,65	0,174	300	42	134	88	5,10	32,10	36,6	1,05	3,67	1222
2330	19,40	6,09	44,40	59,60	3,81	0,179	330	46	146	85	4,80	32,00	31,7	1,10	3,84	1212
2331	19,30	6,18	43,00	57,70												
2332	19,40	6,09	44,00	59,10												
2333	19,60	6,56	46,00	62,30												
2334	19,70	6,37	46,70	63,20												
2335	20,10	6,42	45,50	61,90												
2336	17,20	5,03	33,80	43,50	3,10	0,154	246	36	117	72	4,10	26,00	27,4	0,98	3,23	995
2337	10,50	1,72	12,70	14,50	1,32	0,069	94	11	61	23	1,10	10,60	12,1	0,33	1,70	297

LOKATIE: GRIETE 11

2272	2,80	0,22	3,60	3,70	0,52	0,043	14	3	31	6	0,10	2,70			0,79	115
2273	8,40	0,97	8,80	9,70	1,11	0,072	61	13	82	17	0,50	8,10			1,32	192
2274	8,40	1,06	9,00	9,90	1,08	0,060	60	10	72	16	0,70	8,30			1,30	147
2275	15,00	2,34	24,20	29,30	2,34	0,070	97	13	78	31	0,50	17,30			2,12	372
2276	17,80	2,91	30,20	38,10	2,75	0,057	119	17	82	39	0,40	17,80			2,37	454
2277	16,50	3,05	30,50	37,90	1,69	0,051	134	17	81	43	0,50	17,60			2,42	389
2278	14,80	2,15	18,60	22,40	2,01	0,067	101	17	91	31	0,80	12,90			2,08	362
2279	17,60	4,58	42,90	55,10	3,34	0,128	217	26	134	76	2,00	26,30			3,12	839
2280	13,50	3,70	27,20	32,90	2,61	0,086	114	17	92	42	0,80	17,60			2,35	610
2281	8,10	2,05	13,60	15,10	1,40	0,062	65	10	57	22	0,60	11,30			1,62	271
2282	11,40	2,05	16,70	19,30	1,91	0,086	85	17	91	29	0,80	13,00			1,92	424
2283	13,90	2,55	22,20	26,60	2,23	0,093	110	20	89	37	1,20	17,60			2,25	596

LOKATIE: TERNEUZEN 12

2293	17,40	2,38	28,40	22,90	1,93	0,071	138	14	74	25	1,10	15,50	14,7	0,31	1,77	557
2294	18,70	5,06	26,80	35,20	2,65	0,098	179	17	88	41	1,60	20,40	18,9	0,54	2,24	738
2295	21,00	5,15	38,00	51,50	3,47	0,121	212	24	109	59	2,30	26,60	23,5	0,78	2,71	1098
2296	22,10	5,84	44,90	62,30	4,00	0,131	246	31	116	72	2,80	30,70	24,4	0,79	3,04	1255
2297	21,80	5,58	41,70	57,40	3,75	0,129	246	31	123	66	2,60	28,80	23,5	0,68	2,82	1129
2298	21,40	5,73	41,50	57,00	3,85	0,138	247	31	123	70	2,50	30,10	24,0	0,74	2,88	1156
2299	21,90	6,00	44,00	61,00	3,96	0,144	263	31	130	72	2,90	32,20	26,6	0,79	3,00	1235
2300	22,10	6,20	48,00	67,00	4,31	0,146	263	31	144	72	2,90	32,20	26,2	0,87	3,17	1489
2301	21,90	6,13	45,10	62,70	4,11	0,144	263	31	130	74	2,90	31,50	24,6	0,89	3,11	1387
2302	21,80	6,35	46,80	65,10	4,22	0,146	280	34	137	74	2,90	33,00	24,2	0,88	3,18	1468
2303	21,90	6,26	47,10	65,60	4,18	0,153	272	34	131	74	2,90	33,00	26,8	0,84	3,18	1418
2304	21,30	6,22	46,50	64,20	4,22	0,169	300	38	146	92	3,80	33,30	36,4	0,82	3,24	1302

LOKATIE: ELLEWOUTSDIJK 13

2264	13,60	2,05	14,80	17,60	1,63	0,065	105	14	73	26	1,50	14,20	10,8	0,25	1,88	333
2265	12,20	2,59	17,20	20,20									11,4	0,35		
2266	9,40	1,66	12,60	14,20									9,2	0,23		
2267	11,90	2,40	17,30	20,20	1,79	0,076	120	14	73	33	1,60	13,70	23,5	0,33	2,06	484
2268	10,30	1,63	12,10	13,70	1,40	0,057	91	10	65	24	1,10	9,80	15,9	0,22	1,82	323
2269	9,50	1,54	11,40	12,80												
2270	18,40	5,99	33,30	44,00	2,89	0,060	170	21	74	53	1,30	20,90			2,54	513
2271	17,00	2,89	22,80	28,50	2,26	0,048	146	17	81	36	0,90	15,90			2,12	418

LOKATIE: DOW 14

Monsternr.	CaCO ₃ %	Org. stof %	< 16 µm % (bep.)	< 16 µm % (ber.)	Al %	P %	Zn µg/g	Cu µg/g	Cr µg/g	Pb µg/g	Cd µg/g	Ni µg/g	As µg/g	Hg µg/g	Fe %	Mn µg/g
2284	6,20	0,40	4,50	4,80	0,56	0,019	19	2	38	8	0,20	2,30			1,12	84
2285	11,40	1,12	8,60	9,80	0,86	0,026	54	7	55	12	0,30	5,40			1,10	203
2286	21,70	4,55	34,30	46,50	2,79	0,087	178	20	85	39	1,70	23,50			2,56	829
2287	22,90	5,31	39,30	54,70	3,07	0,121	199	30	98	42	2,00	28,50			2,68	831
2288	22,70	5,19	39,50	54,80	3,03	0,138	206	30	106	46	2,10	27,80			2,85	951
2289	23,10	4,57	36,20	50,10	2,86	0,100	187	24	102	38	1,90	25,60			2,50	772
2290	22,00	5,35	43,90	60,40	3,40	0,144	237	42	135	47	3,20	31,90			3,17	866
2291	21,70	4,55	36,70	49,80	3,03	0,126	210	34	118	53	2,30	28,00			2,87	622
2292	21,70	4,97	44,10	60,10	3,26	0,144	190	35	120	33	2,00	28,90			3,14	698

LOKATIE: SLOEHAVEN 15

2252	11,00	1,91	27,30	25,60	2,22	0,126	49	17	65	16	0,60	15,30	20,1	0,094	2,35	228
2253	10,30	2,34	20,40	23,40	2,02	0,078	97	21	73	26	1,40	14,80	15,7	0,19	2,35	240
2254	10,90	2,37	21,70	25,00	2,12	0,089	109	21	73	32	1,50	16,40	16,1	0,25	2,23	276
2255	15,50	4,19	35,70	44,50	2,43	0,163	166	28	99	54	3,30	28,40	23,9	0,48	3,16	447
2256	20,70	6,35	55,10	75,50	5,10	0,201	286	43	128	85	3,50	45,20	27,0	0,72	3,86	736
2257	21,50	6,47	57,30	79,60	5,19	0,212	278	47	137	87	3,10	47,80	26,6	0,73	3,88	774
2258	18,40	5,03	43,20	56,40	3,97	0,221	230	32	116	75	6,60	35,70	25,6	0,56	3,22	628
2259	22,60	6,22	54,50	76,60	4,89	0,249	282	43	134	88	3,90	39,60	31,8	0,86	3,59	819
2260	23,00	6,15	55,10	77,80	4,96	0,215	242	39	117	83	3,40	38,30	28,3	0,83	3,56	807
2261	23,00	6,27	54,60	77,20	5,06	0,215	279	44	129	93	4,30	38,70	33,1	0,86	3,83	892
2262	23,20	6,43	52,60	74,80	4,84	0,185	267	40	145	87	3,60	39,00	28,7	0,86	3,68	855
2263	22,30	5,78	52,60	73,10	5,17	0,142	233	35	125	75	2,50	46,70	30,4	0,57	3,73	789

LOKATIE: BRESKENS 16

2240	24,40	5,08	41,60	59,00	3,05	0,127	169	24	102	45	1,50	24,10	21,1	0,59	2,77	835
2241	24,40	4,93	38,70	54,80	3,00	0,093	169	28	105	38	1,60	24,10	19,5	0,46	2,76	819
2242	24,80	4,85	38,80	55,20	3,17	0,109	162	24	103	52	1,50	26,00	20,9	0,46	2,76	821
2243	24,90	5,10	39,40	56,30	3,14	0,093	171	24	108	45	1,60	26,10	19,2	0,76	2,86	834
2244	24,40	5,06	38,80	55,00	2,96	0,092	174	24	111	46	1,50	24,80	21,3	0,52	2,85	799
2245	24,70	5,04	38,40	54,70	2,98	0,110	177	27	109	42	1,60	25,40	20,6	0,48	2,79	791
2246	24,40	4,96	37,50	53,10	2,94	0,095	171	28	111	34	1,50	24,00	19,0	0,50	2,71	797
2247	24,20	5,03	37,80	53,40	2,96	0,097	174	28	103	45	1,50	24,00	20,4	0,47	2,71	753
2248	23,90	4,98	36,10	50,80	2,98	0,079	178	30	108	44	1,50	24,50	22,2	0,58	2,68	729
2249	24,00	4,89	35,10	49,40	2,91	0,181	172	28	104	40	1,60	23,40	19,3	0,45	2,68	756
2250	24,40	4,99	36,70	52,00	2,89	0,101	172	27	92	19	1,50	23,60	20,7	0,57	2,58	751
2251	24,20	5,01	34,60	48,90	2,87	0,085	175	30	98	42	1,50	22,20	19,9	0,58	2,63	746

Resultaten berekeningen verband tussen metaal- en fosforgehalten en % < 16 µm
(berekend) in afgezet slib

Rupel, Antwerpen (1979)

N	Me _{min}	Me _{max}	Me 50% < 16 µm	r ²	a	b
P 15	0.176	0.587	0.485	0.94	-0.00976	0.0105
Al 15	1.720	4.200	3.75	0.99	0.694	0.0611
Zn 15	451	1100	993	0.79	321	13.4
Cu 15	72	207	177	0.87	29.1	2.95
Cr 15	170	318	289	0.93	85.0	4.07
Pb 15	118	314	259	0.69	91.7	3.35
Cd 15	10.9	42.3	34.8	0.82	3.36	0.629
Ni 15	29.0	69.8	59.6	0.86	16.1	0.870
Hg 15	1.23	3.46	2.96	0.47	1.22	0.0349
As 15	41.2	102.0	93.8	0.86	28.6	1.30
Mn 15	304	778	706	0.94	141	11.3
Fe 15	2.26	4.99	4.45	0.98	1.09	0.0672

Royerssluizen, Krankeloonpolder (1979)

P 11	0.456	0.637	0.773	0.52	0.377	0.00792
Al 11	3.78	4.70	3.76	0.97	1.32	0.0488
Zn 11	787	1105	768	0.57	103	13.3
Cu 11	129	204	122	0.57	-32.00	3.08
Cr 11	223	318	228	0.77	25.1	4.05
Pb 11	221	338	209	0.53	-22.9	4.64
Cd 11	28.9	44.8	27.0	0.54	-5.54	0.650
Ni 11	46.2	64.6	45.4	0.64	6.40	0.779
Hg 11	2.94	3.87	2.94	0.38	1.26	0.0331
As 11	91.5	131	91.1	0.35	35.1	1.12
Mn 11	877	1052	876	0.58	564	6.25
Fe 11	4.99	5.88	4.91	0.90	2.52	0.0479

Baalhoek (1979)

N	Me _{min}	Me _{max}	Me 50% < 16 µm	r ²	a	b
P 10	0.161	0.240	0.242	0.80	0.033	0.0042
Al 10	2.41	3.37	3.46	0.95	0.76	0.0539
Zn 10	259	373	366	0.68	66	5.99
Cu 10	42	59	58	0.95	14.6	0.866
Cr 10	132	166	160	0.30	104	1.11
Pb 10	75	112	116	0.93	12.7	2.07
Cd 10	4.7	7.0	6.3	0.20	3.66	0.0520
Ni 10	26.6	37.2	36.0	0.91	9.3	0.536
Hg 10	0.99	1.55	1.55	0.71	0.13	0.0284
As 10	37.6	58.5	56.4	0.79	9.2	0.944
Mn 10	846	1738	1728	0.77	-437	43.3
Fe 10	3.09	4.15	4.20	0.96	1.47	0.0547

Perkpolder, Hansweert (1979)

P 11	0.042	0.203	0.147	0.89	0.0266	0.00240
Al 11	0.74	4.24	3.27	0.94	0.425	0.0568
Zn 11	55	379	277	0.91	33.2	4.88
Cu 11	6	53	36	0.91	0.786	0.702
Cr 11	40	146	124	0.96	32.7	1.82
Pb 11	9	109	74	0.94	-0.309	1.48
Cd 11	0.7	6.7	3.9	0.77	-0.129	0.0803
Ni 11	5.5	36.2	28.8	0.99	3.38	0.509
Hg 7	0.11	1.09	0.89	0.98	0.00211	0.0178
As 7	7.40	33.7	29.1	0.98	5.009	0.489
Mn 11	126	1359	1091	0.98	30.6	21.2
Fe 11	1.15	4.04	3.37	0.99	0.965	0.0482

N is aantal monsters r² is correlatiecoëfficiënt

Me_{min} is minimaal gevonden gehalte a is afgesneden stuk van de y-as

Me_{max} is maximaal gevonden gehalte b is helling van de regressie-

Me_{50% < 16 µm} is gehalte bij 50% < 16 µm lijn

Griete, Terneuzen, Ellewoutsdijk, DOW (1979)

N	Me _{min}	Me _{max}	Me 50% < 16 µm	r ²	a	b
P 38	0.019	0.169	0.116	0.81	0.0271	0.00178
Al 38	0.52	4.22	3.22	0.94	0.588	0.0525
Zn 38	14	300	203	0.93	16.2	3.74
Cu 38	2	42	27	0.88	3.32	0.470
Cr 38	31	146	110	0.83	45.2	1.31
Pb 38	6	92	54	0.80	6.61	0.957
Cd 38	0.1	3.8	2.1	0.78	-0.0454	0.0430
Ni 38	2.3	33.3	25.8	0.97	3.16	0.453
Hg 17	0.22	0.89	0.67	0.97	0.0698	0.0120
As 17	9.20	36.4	22.9	0.70	9.18	0.275
Mn 38	84	1489	937	0.84	0.653	18.7
Fe 38	0.79	3.24	2.73	0.94	1.13	0.0321

Breskens (1979)

P 12	0.079	0.181	0.100
Al 12	2.87	3.17	3.0
Zn 12	162	178	165
Cu 12	24	30	26
Cr 12	92	111	100
Pb 12	34	52	40
Cd 12	1.5	1.6	1.44
Ni 12	22.2	26.1	23.5
Hg 12	0.45	0.76	0.50
As 12	19.0	22.2	19.0
Mn 12	729	835	760
Fe 12	2.58	2.86	2.70

Opm. Het berekenen van een regressielijn was voor de lokatie Breskens onmogelijk vanwege een te geringe spreiding in het % < 16 µm van de 12 monsters.
Het Me-gehalte bij 50% < 16 µm is afgelezen uit de figuren 14 t/m 18.

Rupel, Antwerpen (1974)

N		Me _{min}	Me _{max}	Me 50% < 16 µm	r ²	a	b
Zn	6	380	1356	1534	0.89	46.0	29.8
Cu	6	51	184	195	0.96	9.82	4.10
Cr	6	131	471	514	0.90	51.2	9.26
Pb	6	91	269	285	0.95	11.6	5.47
Cd	6	7.2	37.1	37.2	0.97	-6.45	0.873
Ni	6	22.9	66.5	70.9	0.95	8.71	1.24
Hg	6	0.72	3.85	3.76	0.98	-0.535	0.0859
As	6	21	82	84	0.99	-2.28	1.74
P	5	0.181	0.509	0.529	0.98	0.0185	0.0102

Baalhoek (1974)

Zn	30	151	347	385	0.88	49	6.72
Cu	30	31	69	79	0.91	8.5	1.42
Cr	30	101	155	170	0.81	71	1.97
Pb	30	45	102	113	0.84	16	1.93
Cd	30	2.7	6.9	7.5	0.84	0.29	0.145
Ni	30	14.3	27.8	33.6	0.96	4.8	0.577
Hg	29	0.63	1.53	1.85	0.85	0.19	0.0332
As	29	20	42	47	0.89	7.3	0.805
P	15	0.127	0.239	0.27	0.88	0.065	0.0041

Breskens (1974)

Zn	7	51	198	175	0.86	28	2.95
Cu	7	11	33	30	0.95	5.5	0.487
Cr	7	61	109	97	0.87	50	0.949
Pb	7	18	74	62	0.97	4.0	1.17
Cd	7	0.2	1.3	1.1	0.80	0.03	0.040
Ni	7	9.4	25.3	22.3	0.93	4.7	0.352
Hg	6	0.18	0.76	0.67	0.97	0.02	0.013
As	6	6	18	17	0.78	4.5	0.255
P	5	0.041	0.117	0.103	0.93	0.025	0.0016

Resultaten van de analyses in de afzonderlijke monsters van het zwevende slibLokatie: Rupelmonde (boven) 17

Mo. nr.	Zn µg/g	Cu µg/g	Cr µg/g	Pb µg/g	Cd µg/g	Ni µg/g	Fe %	Mn µg/g	P %	Al %	As µg/g	Hg µg/g	zee- slib %
2642	1363	370	332	326	53.8	81.5	5.29	751	0.617	4.47			
2643	1295	300	333	306	48.7	72.9	5.66	830	0.810	4.64			
2644	954	218	249	319	44.2	64.7	6.90	788	1.819	2.42			33
2645	1104	257	317	339	52.4	76.7	6.51	848	1.308	4.56			25
2646	1373	313	343	307	47.3	80.8	5.55	816	0.703	4.74			26
2647	1466	334	371	313	47.5	86.3	5.34	772	0.651	4.58			23
2648	1748	371	416	357	55.3	104.5	5.45	766	0.715	4.90			18
2649	1640	348	371	332	48.2	92.9	5.37	772	0.740	4.61			3
2650	1581	328	448	313	44.1	86.6	5.34	762	0.709	4.55			5
2651	1743	355	421	311	44.1	98.1	5.57	772	0.835	4.83			
2652	1527	315	346	344	51.1	88.9	5.71	775	0.956	4.60			
2653	1550	309	357	337	53.4	91.1	5.88	802	1.002	4.88			9
2654	1351	310	313	323	52.1	73.6	5.43	777	0.733	4.44			

Lokatie: Rupelmonde (onder) 17

2655	855	140	204	187	47.8	58.1	3.60	499	0.369	2.84			
2657	1251	193	286	278	41.4	72.7	5.60	828	0.721	4.60			28
2658	846	172	278	338	51.2	65.3	5.51	857	0.693	4.23			
2659	984	185	271	321	50.1	66.3	4.96	730	0.627	3.84			
2660	1064	203	293	314	45.9	74.6	4.71	706	0.593	3.79			18
2661	1643	318	403	441	70.4	104.5	5.87	878	0.797	5.15			
2662	1582	290	394	443	66.9	98.9	5.79	891	0.731	4.87			8
2663	1359	246	360	393	58.2	86.4	5.23	766	0.681	4.16			
2664	1417	243	334	372	58.3	87.7	4.99	768	0.590	4.17			
2665	1285	229	334	364	54.3	96.3	5.18	753	0.584	3.92			
2666	1306	223	332	349	55.4	89.9	5.18	768	0.555	4.12			19
2667	1236	208	296	324	49.4	84.5	5.24	1007	0.596	3.96			

Lokatie: Hoboken (boven) 18

Mo. nr.	Zn µg/g	Cu µg/g	Cr µg/g	Pb µg/g	Cd µg/g	Ni µg/g	Fe %	Mn µg/g	P %	Al %	As µg/g	Hg µg/g	zee- slib %
2668	1285	360	372	666	55.4	83.8	7.12	1007	1.090	3.13	137.5	4.76	33
2669	1225	555	354	352	44.5	73.2	6.38	989	0.744	5.10	148.0	4.33	29
2670	477	152	164	143	13.5	34.4	3.45	474	0.341	2.16	51.3	1.34	59
2671	799	288		348	29.4	62.2	6.42	744	1.313	2.32			54
2672	1178	385	349	376	48.6	72.7	6.89	1014	1.025	5.44	171.0	4.84	25
2673	1254	373	482	386	51.6	74.8	6.74	989	1.014	4.50	136.8	4.46	18
2674	1450	555	393	407	57.4	91.6	6.84	942	1.094	5.45	141.0	5.11	23
2675	1527	690	370	415	58.1	93.9	6.40	963	0.784	5.39	132.0	5.50	13
2676	1699	589	415	485	71.0	108.5	6.80	837	1.111	2.23	129.5	5.98	17
2677	1456	479	395	433	62.0	91.3	7.09	962	1.249	5.61	130.0	5.54	19
2678	1355	637	363	413	53.9	78.3	7.00	926	1.334	5.42	151.5	5.05	5
2679	1227	417	335	405	50.9	72.5	7.16	966	1.361	5.65	135.0	4.78	30

Lokatie: Hoboken (onder) 18

2680	1322	257	374	440	52.8	67.4	7.67	962	1.503	5.57			36
2681	1164	241	346	396	49.5	65.5	7.25	1045	1.005	6.06			43
2682	1195	222	337	379	50.4	66.3	7.08	1138	0.866	5.97			30
2683	1452	276	403	452	65.6	75.7	7.16	1129	1.008	6.36			39
2684	1160	220	332	404	54.8	64.9	7.27	1070	0.932	5.96			37
2685	1150	217	344	410	53.6	64.7	7.24	1066	0.953	6.04			35
2686	1581	309	433	457	73.9	79.4	7.11	1202	0.977	6.02			33
2687	974	170	275	279	37.2	58.4	5.53	865	0.597	4.14			32
2688	1096	199	284	299	41.5	69.1	4.76	749	0.490	3.78			29
2689	956	176	267	281	39.8	80.7	5.28	768	0.647	4.32			31
2690	829	145	233	253	33.7	68.1	5.20	767	0.722	4.13			42
2691	822	142	241	274	37.6	64.1	5.63	839	0.714	4.47			34

Lokatie: Antwerpen (boven) 19

Mo. nr.	Zn µg/g	Cu µg/g	Cr µg/g	Pb µg/g	Cd µg/g	Ni µg/g	Fe %	Mn µg/g	P %	Al %	As µg/g	Hg µg/g	zee- slib %
2692	777	249	273	281	26.9	54.9	5.93	977	0.724	4.76	94.3	2.58	
2693	804	254	291	274	27.8	55.0	5.93	1003	0.611	4.76	109.5	3.22	
2694	778	247	270	254	26.7	53.2	5.85	1057	0.591	2.66	95.5	2.83	39
2695	779	260	277	260	25.6	50.4	5.78	1020	0.646	4.71	112.5	2.98	
2696													
2697	828	271	286	263	29.0	53.7	5.73	993	0.585	4.67	111.3	3.52	31
2698	817	247	286	282	29.5	54.3	5.96	956	0.699	2.76	125.0	3.38	36
2699	812	257		291	29.5	55.8	5.85	944	0.736	4.18	144.0	3.51	33
2700	805	237	277	311	30.7	57.0	6.22	905	0.868	3.27	151.0	3.48	
2701	775	220	292	315	30.0	58.3	6.37	880	0.966	2.97	134.8	3.34	
2702	755	209	254	319	26.5	53.6	6.28	806	1.108	2.89	132.0	2.92	
2703	783	220	275	311	26.5	55.3	6.36	902	1.000	4.53	123.8	2.99	
2704	803	229	262	287	28.2	55.7	5.94	860	0.768	1.22	113.0	3.26	

Lokatie: Antwerpen (onder) 19

2705	746	138	278	204	24.7	66.7	4.99	847	0.450	3.96			
2706	683	123	242	174	20.8	53.6	4.72	811	0.400	3.73			
2707	824	110	215	167	19.9	43.6	4.54	828	0.385	3.51			50
2708	835	110	301	150	14.6	47.0	5.00	898	0.414	3.74			
2709	794	144	287	213	25.6	56.6	5.79	1077	0.544	4.83			
2710	647	112	246	189	22.5	50.3	4.96	864	0.444	3.89			41
2711	788	135	309	204	25.4	63.8	5.77	973	0.538	4.74			
2712	743	130	285	246	31.1	56.9	5.66	934	0.516	4.59			
2713	914	180	277	243	30.7	56.0	5.74	927	0.600	4.75			34
2714	905	178	267	241	28.9	68.4	6.00	923	0.680	4.94			28
2715	923	182	281	271	32.1	62.0	6.19	970	0.727	5.17			
2716	943	176	275	240	31.1	68.4	5.98	981	0.602	5.12			
2717	908	167	270	250	33.8	60.0	5.90	999	0.594	4.98			28

Lokatie: Bath (hoyen) 20

Mo. nr.	Zn µg/g	Cu µg/g	Cr µg/g	Pb µg/g	Cd µg/g	Ni µg/g	Fe %	Mn µg/g	P %	Al %	As µg/g	Hg µg/g	zee- slib %
2718	614	215	261	208	16.0	46.8	5.75	1928	0.418	4.62	77.7	2.56	40
2719	689	225	248	206	21.1	50.9	5.79	1966	0.464	5.08	48.2	1.58	50
2720	503	157	208	157	10.1	46.0	5.11	2194	0.333	4.65			
2721	446	152	192	154	8.9	40.3	5.14	2040	0.343	4.32	84.5	2.63	
2722													
2723	537	187	215	175	12.9	44.5	5.61	2030	0.393	2.02			45
2724	565	174	235	186	14.3	44.5	5.58	1999	0.402	4.17			44
2725	627	195	231	207	17.4	47.1	5.67	1771	0.448	4.69	82.5	2.63	45
2726	665	206	291	220	20.1	49.2	5.98	1584	0.517	2.76	81.0	2.64	43
2727	675	231	233	243	19.1	57.2	5.72	1196	0.592	4.54	65.5	2.24	48
2728	633	245	283	232	17.5	47.0	5.88	1536	0.566	4.67			43
2729	626	215	229	196	15.8	49.5	5.79	1870	0.432	4.88	30.1	0.95	
2730	544	204	250	182	12.9	45.5	5.91	2118	0.435	4.78			

Lokatie: Baalhoek (boven) 21

2731	430	255	173	131	5.4	36.8	4.28	2089	0.195	3.79	35.3	1.07	
2732													
2733													
2734	551	148	133	183	7.3	49.8	4.89	2590	0.357	3.96	54.0	1.66	
2735	407	190	180			36.2	4.38	2290	0.210	3.90			62
2736	390	203	141	115	4.3	40.0	4.40	2103	0.212	4.10			69
2737	255	208	126	77	3.0	27.1	3.28	1418	0.168	3.04	29.9	0.92	74
2738	282	174	120	80	2.8	32.9	3.28	1361	0.159	3.40	28.4	0.91	78
2739											40.3	1.21	70
2740	358	112	105	105	3.6	43.6	4.23	1897	0.233	4.48			
2741	302	137	152	104	3.5	35.1	4.04	2030	0.215	3.97	39.6	1.25	
2742	232	180	118	77	3.1	27.4	3.24	1495	0.177	2.88	31.1	0.76	
2743	214	180	112	73	2.8	23.0	3.04	1442	0.148	2.24	25.8	0.54	75

Lokatie: Terneuzen (boven) 22

Mo. nr.	Zn µg/g	Cu µg/g	Cr µg/g	Pb µg/g	Cd µg/g	Ni µg/g	Fe %	Mn µg/g	P %	Al %	As µg/g	Hg µg/g	zee- slib %
2744	249	145	125	80	2.4	34.1	3.09	1247	0.162	3.97	23.5	0.59	
2745	261	117	127	79	2.3	34.0	3.14	1272	0.133	3.95	19.0	0.52	
2746	289	105	141	86	2.8	37.1	3.32	1389	0.128	3.90	24.2	0.85	
2747	382	109	220	111	3.0	61.6	3.70	1561	0.194	4.62	13.7	0.52	
2748	337	113	161	98	2.2	44.9	3.64	1687	0.195	4.39			
2749	332	101	135	89	2.0	45.9	3.52	1717	0.181	3.86	14.9	0.60	
2750	336	82	148	89	3.0	41.2	3.64	1546	0.173	4.57			
2751	332	112	132	87	3.0	38.1	3.53	1473	0.159	4.51			
2752	314	137	131	75	2.4	33.3	3.27	1339	0.152	4.10			90
2753	326	106	141	82	3.2	38.2	3.35	1431	0.162	4.35			
2754	311	104	141	82	2.7	28.2	3.32	1418	0.180	4.45			
2755	284	114	115	71	2.4	34.0	3.08	1253	0.151	3.93			90
2756	265	112	128	71	2.3	32.2	3.11	1213	0.131	3.94			91

Lokatie: Ellewoutsdijk (boven) 23

2757	332	210	131	85	3.3	32.3	3.11	1176	0.130	4.01	22.0	0.78	
2758	302	127	135	77	2.9	32.7	3.24	1323	0.136	8.96	24.0	0.68	
2759	298	129	137	86	2.8	34.6	3.29	1297	0.157	4.14	22.9	0.69	
2760	317	104	142	87	2.6	35.8	3.51	1422	0.168	4.39	24.0	0.68	
2761	312	94	146	85	2.7	38.6	3.44	1447	0.194	4.40	26.1	0.82	
2762	417	120	141	89	3.2	43.6	3.60	1637	0.179	3.57			
2763	373	100	157	88	3.2	49.8	3.66	1618	0.130	4.23	27.3	0.87	
2764	272	105	123	95	3.2	41.5	3.47	1552	0.139	4.07	24.0	0.90	
2765	276	132	116	79	3.3	33.3	3.16	1187	0.130	4.11	22.4	1.78	
2766	267	129	120	77	3.4	31.0	3.07	1127	0.134	4.09	22.2	0.70	
2767	297	165	111	73	2.9	32.7	3.02	1223	0.140	3.51	20.5	0.47	
2768	331	115	111	86	3.1	34.9	3.32	1357	0.147	4.08	22.3	0.65	
2769	286	115	122	73	3.2	31.6	3.00	1185	0.139	4.42	24.0	0.60	

Lokatie: Vlissingen (boven) 24

Mo. nr.	Zn µg/g	Cu µg/g	Cr µg/g	Pb µg/g	Cd µg/g	Ni µg/g	Fe %	Mn µg/g	P %	Al %	As µg/g	Hg µg/g	zee- slib %
2770	254	62	101	95	2.2	33.4	3.16	1085	0.139	4.42	17.8	0.48	99
2771	193	45	129	88	2.3	29.7	2.19	1155	0.157	4.34	19.3	0.43	
2772	225	48	97	70	2.0	31.6	2.83	962	0.121	3.86	18.9	0.40	96
2773	217	49	117	80	2.4	26.5	2.92	1047	0.133	3.64	20.1	0.55	
2774	196	48	111	71	2.3	26.6	2.86	1012	0.131	3.51	19.3	0.53	93
2775	175	47	105	73	2.3	28.7	2.85	1015	0.135	3.53	18.9	0.58	94
2776	182	53	106	80	2.5	27.8	3.07	1075	0.164	3.73	18.2	0.42	
2777	250	44	88	67	2.6	32.9	3.06	985	0.158	3.86			
2778	213	42	105	73	2.9	29.8	3.05	1108	0.182	3.80	5.9	0.15	
2779	117	20	52	54	2.1	26.6	2.65	1036	0.201	3.35			
2780	260	31	84	69	2.2	29.5	2.90	1015	0.169	3.61	13.6	0.35	
2781	218	59	122	102	2.0	28.1	3.17	1058	0.148	3.86	19.7	0.46	97
2782				74	1.8						19.6	0.45	

Resultaten van de analyses in de afzonderlijke monsters van het oppervlakte-water

LOKATIE: RUPELMONDE 17

Mo. nr.	Zn µg/l	Cu	Pb	Cd	Ni	Fe mg/l	Mn	Ph	Si mg/l	Alk meq/l	O-PO ₄ mg P/l	Sal ‰	Temp °C	O ₂ mg/l	Si1b
252						0.10	0.31	7.37	7.70	3.99	1.86	2.5		0.10	192
253	12.2	0.3	2.1	0.15	14.2	0.06	0.33	7.31	6.77	4.38	1.38	3.5	17.0	0.10	212
254						0.05	0.33	7.29	6.87	4.39	1.39	3.6	17.2	0.10	65
255	20.0	0.5	0.3	0.28	9.1	0.31	0.32	7.32	6.37	4.59	1.86	3.0	17.3	0.10	129
256						0.42	0.31	7.36	7.62	4.73	2.19	2.6	17.1	0.10	192
257	3.2	0.2	1.1	0.11	11.7	0.50	0.31	7.38	7.75	4.79	2.58	2.1	17.1	0.10	173
258						0.30	0.29	7.40	7.90	4.89	2.24	1.7	16.9	0.10	173
259	6.7	0.2	1.9	0.13	15.0	0.10	0.30	7.41	7.97	4.98	1.95	1.5	16.8	0.10	182
260	4.1	0.4	2.8	0.26	14.6	0.26	0.28	7.42	9.12	4.96	1.95	1.4	16.7	0.10	182
261						0.22	0.29	7.43	7.95	4.89	2.02	1.5	17.0	0.10	195
262	1.6	0.2	1.0	0.06	13.5	0.17	0.28	7.44	8.00	4.89	2.18	1.7	17.0	0.10	131
263	5.9	0.5	0.3	0.08	9.6	0.35	0.30	7.45	9.30	4.83	2.26	1.9	17.1	0.10	131
264						0.14	0.32	7.44	7.13	4.83		2.5	17.4	0.10	202

LOKATIE: HOBOKEN 18

265								7.28		4.65		3.5	20.0	0.10	229
266	15.8	1.4	1.9	0.21	18.5	0.03	0.37	7.26	4.87	4.64	0.81	5.0	20.1	0.10	
267								7.23	4.89	4.40	0.75	6.4	20.1	0.20	170
268	10.4	0.4	0.8	0.11	15.5	0.02	0.37	7.26	7.14	4.09	0.81	6.2	20.2	0.10	65
269	15.8	0.5	0.3	0.11	14.0	0.03	0.35	7.26	6.48	4.08	0.87	5.1	20.1	0.10	99
270	11.9	1.5	0.6	0.08	19.6	0.03	0.35	7.31	8.63	4.33	0.93	4.1	20.1	0.20	209
271								7.32	6.50	4.53	1.40	3.3	20.5	0.10	229
272	6.1	1.7	3.4	0.25	10.0			7.35	6.87	4.77	1.40	2.4	20.3	0.10	
273								7.42	7.32	4.95	1.79	1.9	20.2		249
274								7.42	7.40	4.87	1.95	1.4	20.2	0.11	215
275	2.8	0.4	1.0	0.02	14.1	0.15	0.32	7.37	10.00	4.90	1.81	2.0	20.2	0.12	83
276	3.3	0.4	0.8	0.07	14.6	0.04	0.33	7.35	6.48	5.00	1.27	2.9	20.1	0.18	164
277	8.2	0.4	4.9	0.17	15.8	0.03	0.34	7.33	5.85	4.74	1.01	4.0	20.0	0.25	158

LOKATIE: ANTWERPEN 19

278	18.1	1.7	3.8	0.24	14.9	0.03	0.33	7.21	3.54	3.48	0.65	11.7	20.0	0.20	58
279								7.22		3.24		12.8	20.0	0.47	58
280	29.6	2.8	0.7	0.35	16.5	0.01	0.26	7.20	2.78	3.52	0.58	13.4	20.0	0.64	55
281	21.0	1.5	4.3	0.35	13.8	0.01	0.24	7.21	2.70	3.06	0.57	14.0	20.0	0.75	38
282	21.4	1.0	1.1	0.28	13.6	0.02	0.28	7.20	3.16	3.24	0.57	13.0	20.0	0.62	36
283								7.20		3.38		12.5	20.0	0.23	99
284	19.8	1.0	1.3	0.27	14.6	0.02	0.25	7.20	3.98		0.68	11.0	20.0		
285	18.4	1.5	2.4	0.46	15.6	0.02	0.35	7.23	4.09	3.63	0.72	9.7	20.1	0.19	89
286	13.6	0.9	0.8	0.20	15.2	0.02	0.35	7.25	4.39	3.80	0.73	8.4	20.0		89
287	13.3	0.7	0.5	0.14	14.8	0.02	0.35	7.27	4.91	3.93	0.73	7.3	20.0	0.18	78
288	18.9	0.5	0.3	0.10	19.9	0.02	0.35	7.30	5.56	3.90	0.75	6.8	20.1		55
289	20.8	1.1	0.8	0.40	20.4	0.06	0.35	7.24	4.35	3.70	0.73	8.7	20.2	0.09	53
290	26.8	1.6	0.7	0.50	20.4	0.03	0.34	7.21	3.83	3.52	0.68	9.9	20.2	0.09	62

LOKATIE: BATH 20

Mo. nr.	Zn µg/l	Cu µg/l	Pb µg/l	Cd µg/l	Ni µg/l	Fe mg/l	Mn mg/l	pH	Si mg/l	Alk meq	O-PO ₄ mg P/l	Sal ‰	Temp °C	O ₂ mg/l	Slib
291												16,8		3,4	
292	18.8	1.9	1.3	0.41	10.7	0.01	0.06		1.79	2.99	0.43	17.3	18.9	4.0	38
293	18.7	2.0	2.4	0.71	10.4	0.01	0.02	7.37	1.60	2.81	0.41	18.5	18.8	4.6	36
294								7.44		2.77		19.8	18.6	5.7	26
295	25.1	1.8	1.7	0.42	10.3			7.44		2.78		19.2	18.6	5.8	22
296								7.29		2.82		17.1	19.5	4.4	22
297								7.29		2.82		17.3	19.1	4.3	29
298	18.3	1.5	1.7	0.42	10.4	0.03	0.14	7.27	2.06	2.88	0.51	17.0	19.2	4.1	38
299	18.1	1.3	1.7	0.32	10.6	0.01	0.18	7.21	2.37	2.94	0.54	15.9	19.4	3.1	41
300								7.19		2.94		15.5	19.5	2.7	31
301	17.9	1.0	0.7	0.34	10.8	0.01	0.15	7.18	2.13	2.91	0.53	15.1	19.5	2.3	24
302								7.25		2.87		16.2	19.2	3.3	17
303	21.7	1.7	2.1	1.57	9.9			7.32		2.84		17.2	18.9	4.6	29

LOKATIE: BAALHOEK 21

304													16.9		36
305	18.9	5.7	2.9	0.53	7.1			7.56		2.72		20.0	17.0	7.0	26
306								7.52		2.76		19.2	17.0	6.8	11
307	18.1	4.1	6.3	0.65	13.8	0.04	0.06	7.48	1.06	2.72	0.41	18.7	17.2	6.6	9.5
308								7.52		2.69		18.9	17.1	7.0	12
309	17.7	2.7	1.8	0.50	7.6	0.01	0.02	7.57	1.08	2.70	0.36	19.2	17.0	7.1	38
310								7.63		2.70		20.0	17.0	7.5	46
311								7.68		2.64		21.1	17.0	7.5	36
312	16.5	2.8	1.6	0.49	7.4	0.01	0.02	7.71	0.94	2.64	0.33	21.3	17.0	7.8	26
313	13.8	2.8	1.2	0.51	9.4		0.02	7.73	0.76	2.56	0.31	21.5	17.0	8.0	20
314								7.73		2.56		21.0	16.9	7.7	19
315	11.4	1.5	0.5	0.37	5.5		0.02	7.70	0.95	2.66	0.34	20.3	16.9	7.6	36
316	13.1	0.3	4.5	0.50	0.6	0.01	0.02	7.68	1.08	2.64	0.35	20.2	16.9	7.8	31

LOKATIE: TERNEUZEN 22

317	8.4	2.4	0.8	0.29	4.0			7.87		2.58		25.9	16.9	7.2	81
318								7.88		2.52		25.6	17.0	7.3	50
319	9.9	4.3	4.0	0.40	4.7			7.85		2.50		24.9	17.0	7.4	31
320								7.82		2.46		24.1	16.9	7.5	20
321	11.6	2.5	0.6	0.37	3.7		0.02	7.81	0.44	2.44	0.25	24.1	17.0	7.6	17
322	8.7	0.5	4.0	0.39	0.2		0.02	7.83	0.40	2.46	0.25	24.0	17.0	7.7	18
323	7.7	2.1	0.5	0.30	3.0		0.02	7.85	0.38	2.42	0.23	24.2	17.0	7.7	20
324	9.2	1.8	0.9	0.37	4.0		0.02	7.87	0.35	2.44	0.21	26.2	17.0	7.7	46
325	6.4	0.3	4.5	0.29	0.2		0.02	7.90	0.24	2.40	0.18	26.7	17.0	7.7	18
326								7.92		2.40		26.5	17.0	7.8	20
327	5.0	0.3	1.3	0.25	0.1		0.02	7.90	0.30	2.42	0.20	25.7	17.1	7.7	36
328	11.1	3.6	2.7	0.38	3.4			7.88		2.48		26.2	17.0	7.8	41
329	8.9	1.9	2.8	0.38	3.5			7.87		2.52		25.9	17.0	7.7	27

Bijlage 5

LOKATIE: ELLEWOYSDIJK 23

Mo. nr.	Zn µg/l	Cu	Pb	Cd	Ni	Fe mg/l	Mn	pH	Si mg/l	Alk meq	O-PO ₄ mg P/l	Sal ‰	Temp °C	O ₂ mg/l	S11b
330								7,87		2,48		24,9	16,9	8,0	43
331	13,8	4,1	2,1	0,37	3,7			7,84		2,44		24,5	16,9	7,8	29
332								7,83		2,46		24,2	16,9	7,9	36
333	11,0	2,0	2,2	0,39	2,4			7,82		2,49		24,1	16,9	8,0	26
334								7,83		2,42		24,0	16,9	8,1	16
335	10,0	2,2	6,1	0,38	4,6			7,85		2,40		24,1	16,9	8,2	10
336								7,86		2,40		24,3	16,9	8,1	13
337	8,9	2,0	5,9	0,33	1,9			7,89		2,40		25,0	16,9	8,2	29
338								7,93		2,50		26,1	17,0	8,3	33
339	7,5	2,0	2,2	0,31	3,4	0,02	0,03	7,96	0,21	2,42	0,14	27,8	16,9	8,4	36
340	7,7	1,8	3,4	0,31	2,8		0,02	7,96	0,15	2,36	0,14	27,0	17,0	8,4	18
341								7,93		2,40		26,0	17,0	8,4	21
342	7,9	2,2	6,2	0,31	1,8			7,90		2,40		25,9	17,0	8,3	36

LOKATIE: VLISSINGEN 24

343							0,02	8,00	0,18	2,27	0,08		15,5		53
344	3,5	1,2	0,2	0,15	1,8	0,01	0,02	8,01	0,24	2,24	0,08	29,7	15,5	8,5	36
345	1,9	0,3	0,6	0,07	0,1			8,02		2,32		29,4	15,7	8,4	41
346								8,01		2,41		29,1	15,7	9,1	107
347	6,7	1,7	0,9	0,16	0,1			8,01		2,30		28,9	15,7	9,2	81
348								8,00		2,39		28,6	15,8	9,3	70
349	1,7	0,3	0,2	0,10	0,6		0,02	7,98	0,21	2,38	0,11	28,3	15,7	9,5	36
350								7,97		2,31		28,3	15,8	9,5	17
351	4,7	1,9	5,6	0,21	0,8			7,98		2,26		28,4	15,7	9,6	17
352	4,9	1,2	2,0	0,14	1,8	0,01	0,02	7,99	0,20	2,23	0,10	28,7	15,8	9,7	14
353								7,99		2,33		28,8	15,7	9,8	12
354								8,00		2,31		28,9	15,7	9,9	26
355	3,9	1,4	0,4	0,14	0,1			8,00		2,21		29,1	15,7	10,0	34

Basisformules statistische bewerkingen

In deze bijlage worden de basisformules gegeven van de in hoofdstuk 5 beschreven statistische bewerkingen uitgevoerd op de dataset van de analyses in het zwevend slib en het oppervlaktewater.

Zij n het aantal waarnemingen van een variabele x_j dan is:

$$\text{- het gemiddelde : } \bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{j,i} \quad (1)$$

$$\text{- de variantie : } S_j^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{j,i} - \bar{x}_j)^2}{n-1} \quad (2)$$

Is verder m het aantal paren van waarnemingen van de variabelen x_j en x_k dan geldt:

$$\text{- de covariantie : } C_{j,k} = \frac{\sum_{i=1}^m (x_{j,i} - \bar{x}_j) (x_{k,i} - \bar{x}_k)}{m-1} \quad (3)$$

$$\text{- de correlatie : } r_{j,k} = \frac{\sum_{i=1}^m (x_{j,i} - \bar{x}_j) (x_{k,i} - \bar{x}_k)}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (x_{j,i} - \bar{x}_j)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^m (x_{k,i} - \bar{x}_k)^2}} = \frac{C_{j,k}}{\sqrt{S_j^2} \cdot \sqrt{S_k^2}} \quad (4)$$

De grootheden gemiddelde en variantie hebben betrekking op een enkele variabele. De grootheden covariantie en correlatie zijn een maat voor de lineaire afhankelijkheid van twee variabelen. Indien elke waarneming $x_{j,i}$ aan variabele x_j voorspeld kan worden door de overeenkomstige waarneming $x_{k,i}$ aan variabele x_k met een factor α te vermenigvuldigen, dus als $x_{j,i} = \alpha x_{k,i}$ dan geldt voor de covariantie $C_{j,k} = \alpha S_k^2$ en voor de correlatie $r_{j,k} = \pm 1$. Hoe dichter $r_{j,k}$ derhalve bij 1 ligt, des te meer zijn de twee variabelen lineair afhankelijk.

Door een transformatie van een gegeven set van variabelen in een nieuwe set van hypothetische (niet gemeten) variabelen ook wel factoren genoemd, wordt inzicht verkregen in de onderlinge samenhang tussen alle gemeten variabelen. Door de transformatie kan worden nagegaan in hoeverre de variantie in de afzonderlijke variabelen verklaard kan worden uit de hypothetische variabelen. Uit een aantal mogelijke vormen van de factoranalyse is voor dit onderzoek gekozen voor de klassieke factoranalyse. Daarbij wordt de variabele x_j getransformeerd tot een lineaire combinatie van 1 common of algemene factoren en één unieke factor.

De functie luidt:

$$x_j = a_{j1} F_1 + a_{j2} F_2 + \dots + a_{j1} F_1 + a_j S_j \quad (5)$$

waarin, $F_1, F_2 \dots F_1$ de common factoren

$a_{j1}, a_{j2} \dots a_{j1}$: de factorladingen

S_j : de unieke factor

a_j : de factorlading van de unieke factor

Voor p variabelen ontstaat er aldus een stelsel van p vergelijkingen met dezelfde gedaante als vergelijking (5). Het aantal common factoren l is altijd kleiner dan het aantal variabelen p.

Met het totale aantal hypothetische factoren gelijk aan het aantal oorspronkelijke variabelen kan 100% van de totale variantie in de afzonderlijke variabelen verklaard worden. Een aantal factoren draagt echter nauwelijks bij tot de totale variantie. Daardoor is het vaak zeer wel mogelijk het aantal factoren te beperken tot ongeveer 1/5 van het aantal oorspronkelijke variabelen.

Het verband tussen de correlatie en de factorladingen van twee variabelen

x_j en x_k is:

$$r_{j,k} = a_{j1} \cdot a_{k1} + a_{j2} \cdot a_{k2} + \dots + a_{j1} \cdot a_{k1} \quad (6)$$

De som van de kwadraten van de factorladingen van de common factoren voor één variabele wordt de communaliteit genoemd. In formule:

$$h_j^2 = a_{j1}^2 + a_{j2}^2 + \dots + a_{j1}^2 \quad (7)$$

Het kwadraat van een factorlading, vermenigvuldigd met 100, stelt het percentage van de variantie in een variabele, dat verklaard wordt door betreffende variabele. De communaliteit vermenigvuldigd met 100, is het percentage van de totale variantie in een variabele, dat verklaard wordt door de common factoren.

Het komt voor dat de variantie in een bepaalde variabele grotendeels uit één common factor verklaard kan worden, soms echter ook uit twee of meer factoren.

Indien een variabele geen enkele relatie met de andere variabelen heeft kan de variantie alleen als "ruis" verklaard worden, en wordt een hoge factorlading voor de unieke factor gevonden.

De som van de kwadraten van de factorladingen van een factor wordt de eigenwaarde genoemd. In formule:

$$E_{Fj} = a_{1j}^2 + a_{2j}^2 + \dots + a_{pj}^2 \quad (8)$$

Het uit één factor verklaarde percentage variantie in alle variabelen is dan gelijk aan:

$$100 \left(\frac{E_{Fj}}{E_{F1} + E_{F2} + \dots + E_{F1}} \right) \% \quad (9)$$