

M2-83

waterloopkundig laboratorium
delft hydraulics laboratory

zware metalen in sedimenten van de Waddenzee

verslag onderzoek

M 1839

juli 1983

BIBLIOTHEEK
Waterloopkundig Laboratorium
Postbus 177 - DELFT
NEDERLAND

zware metalen in sedimenten van de Waddenzee

verslag onderzoek

M 1839

juli 1983

INHOUD

1	Inleiding.....	6
1.1	Opdracht.....	6
1.2	Samenvatting en aanbevelingen voor onderzoek.....	7
2	Achtergrondgegevens.....	11
2.1	Morfologie van de Waddenzee.....	11
2.2	Waterbeweging.....	13
2.3	Bodemgesteldheid.....	13
2.4	Sediment in suspensie.....	14
2.5	Aan- en afvoer van sediment.....	17
2.6	Interne sedimentbewegingen.....	18
2.7	Herkomst van de fijnkorrelige sedimenten in de Waddenzee.....	20
2.8	Herkomst van de metalen in de Waddenzee.....	24
2.9	Voorkomen van zware metalen en fosfor in het aquatische milieu.....	26
2.10	Dynamiek van metalen in sedimentaire systemen.....	31
3	Het onderzoek.....	35
3.1	Monstername.....	35
3.2	Analysemethoden.....	35
3.3	Verwerking van de resultaten: correctie voor deeltjesgrootte-effecten.....	37
4	Resultaten van onderzoek.....	40
4.1	Gehalten aan metalen in het zwevende slib.....	41
4.2	Gehalten aan metalen in de afgezette sedimenten.....	45
4.3	Bindingsvormen van de metalen in het sediment en het zwevende slib.....	47
5	Discussie.....	50
5.1	Invloed van rivieren op de metaalgehalten in de Waddenzee.....	50
5.2	Invloed van de atmosfeer op metaalgehalten in de Waddenzee.....	52
5.3	Historische ontwikkeling van de metaalgehalten.....	53
5.4	Metaalgehalten in het Nederlandse deel van de Waddenzee vergeleken met andere mariene sedimenten.....	60
5.4.1	Metaalgehalten in het zwevende slib.....	60
5.4.2	Metaalgehalten in de afgezette sedimenten.....	60
5.5	Metalen in de Waddenzee: Poging tot een balans.....	63

TABELLEN

- A. Gehalten aan metalen (ug/g) in sedimenten van de Waddenzee vergeleken met de voorlopige baseline voor Nederlandse sedimenten
1. Gehalten aan een aantal tracers in sedimenten langs de Nederlandse kust. De gehalten aan de verschillende elementen zijn in ug/g, Dol=dolomiet een carbonaat mineraal, de laatste twee kolommen hebben betrekking op de isotoopsamenstelling van de kalk (koolstof isotoopsamenstelling) en van de klei (zuurstof isotoopsamenstelling)
 2. De isotoopsamenstelling van de kalk en de organische stof in recente slibafzettingen in de Waddenzee.
 3. De koolstof isotoopsamenstelling van organische materiaal in sedimenten.
 4. Metaaltransporten in de richting van de Waddenzee (ton/jaar).
 5. Overzicht van de wijze van voorkomen van metalen in sedimenten en hun biologische beschikbaarheid.
 6. Enkele resultaten naar onderzoek van metaalgehalten in porienwater in de Waddenzee.
 7. Gehalten aan metalen, fosfor en aluminium in zwevend slib. A=afgaand water, B=opkomend water, C=gemiddelde.
 8. Metaalgehalten in het zwevend alib (lokatie onderstreept) vergeleken met die in het afgezette slib bij eenzelfde aluminiumgehalte.
 9. Gehalten aan zware metalen (bij 50 % <16um) in het Nederlandse deel van het Waddengebied in 1980-1981.
 10. Gehalten aan zware metalen (bij 50 % <20um) in sedimenten van de Elbe.
 11. Gehalten aan zware metalen en die van enkele tracers in het Eems-Dollard gebied.
 12. Gehalten aan metalen in de sedimentafzettingen bij Leerort (Eems-estuarium) vergeleken met de berekende waarden uit de sediment-vermenging.
 13. Metaalgehalten in de Eems bij Diele.
 14. Accumulatie aan metalen in de Waddenzee via de sedimenten, vergeleken met de input vanuit de atmosfeer (regenval) in tonnen/jaar.
 15. Metaalgehalten (in ug/g bij 50 % <16um) in sedimenten van de Waddenzee over de periode van 1959 t/m 1981.
 16. Base-line gegevens voor de gehalten aan zware metalen in de sedimenten en verwante afzettingen.
 17. Vergelijking tussen de metaalgehalten in het zwevende slib in de Waddenzee met die op een tweetal lokaties in de Wester-Schelde en met de gehalten in het zwevende slib ter hoogte van de Haringvlietdam en de Afsluitdijk.
 18. Gehalten in mariene afzettingen langs de Nederlandse kust vergeleken met die in de Waddenzee.
 19. Globale schatting van de input aan metalen in de Waddenzee.
 20. Input van metalen in de Waddenzee vergeleken met die in het IJsselmeer en in het Haringvliet (ton/jaar).
 21. Metaalgehalte in afgezet slib van Texel-Haven NIOZ (1980).

22. Metaalgehalten in afgezet slib van Texel-Haven van Oude Schild (1980).
23. Metaalgehalten in afgezet slib van Vlieland (1981).
24. Metaalgehalten in afgezet slib van Ameland (1959).
25. Metaalgehalten in afgezet slib van Schiermonnikoog (1959).
26. Metaalgehalten in afgezet slib van Balgzand (1980).
27. Metaalgehalten in afgezet slib van Balgzand (1981).
28. Metaalgehalten in afgezet slib van Haven van Den Dever (1981).
29. Metaalgehalten in afgezet slin in geulen ter hoogte van de Afsluitdijk (1981).
30. Metaalgehalten in afgezet slib in de haven van Harlingen (1981).
31. Metaalgehalten in afgezet slib in geulen ter hoogte van Harlingen/Zurich (1981).
32. Metaalgehalten in afgezet slib van Noorderleeg (1970).
33. Metaalgehalten in afgezet slib van Noorderleeg (1980).
34. Metaalgehalten in afgezet slib van Noorderleeg (1981).
35. Metaalgehalten in afgezet slib van de Julianapolder (1970).
36. Metaalgehalten in afgezet slib van de Julianapolder/Hornhuizen (1980).
37. Metaalgehalten in afgezet slib van de Julianapolder/Hornhuizen (1981).
38. Metaalgehalten in afgezet slib van de Uithuizerwadpolder (1970).
39. Metaalgehalten in afgezet slib van de Uithuizerwadpolder (1980).
40. Metaalgehalten in afgezet slib van de Emmapolder (1975).
41. Metaalgehalten in afgezet slib van de mosselbanken Vlieland/Terschelling (1981).
42. Metaalgehalten in afgezet slib van de mosselbanken Ameland (1981).
43. Metaalgehalten in afgezet slib van de mosselbanken Schiermonnikoog (1980).
44. Metaalgehalten in afgezet slib van de Nederlandse Dollard (1980).
45. Metaalgehalten in afgezet slib van de Kanalpolder Duitse Dollard (1980).
46. Metaalgehalten in afgezet slib van het Marsdiep (1981).
47. Metaalgehalten in afgezet slib van de Vliestroom (1981).
48. Metaalgehalten in afgezet slib van Borkum (1981).
49. Metaalgehalten in afgezet slib van Ameland/Schiermonnikoog (1981).
50. Monsterlokaties.
51. Statistische gegevens sediment monsters.

FIGUREN

- A. Metaalgehalten langs de Nederlandse kust van west naar oost.
 - 1. Het Nederlandse Waddengebied.
 - 2. De mineralogische samenstelling van de sedimenten uit de Waddenzee als functie van de korrelgrootte.
 - 3. Gemiddelde slibgehalten in de geulen Marsdiep - Malzwin-Amsteldiep.
 - 4. Slibtransportrichtingen langs de kust en gemiddelde slibgehalten
 - 5. Zink en cadmium gehalten in een raai op de Nederlandse kust (Ref. 30).
 - 6. Gehalten aan zink in bodemsedimenten voor de Nederlandse kust .
 - 7. Indeling van metalen in het oppervlaktewater naar deeltjesgrootte .
 - 8. Monsterlokaties en de gehalten aan koper en zink in korrelgroottefracties.
 - 9. De gehalten aan lood, cadmium en nikkel in de korrelgroottefracties, voor de lokaties zie figuur 8.
 - 10. Wijze van voorkomen van zware metalen in rivier sedimenten.
 - 11. Schema van interne metaalcycli in de Waddenzee.
 - 12. Dynamiek van zware metalen in sedimenten .
 - 13. Opgeloste gehalten aan koper en zink tijdens een getijmeting in de Waddenzee.
 - 14. Monsterlokaties van het afgezette sediment.
 - 15. Relatie tussen korrelgroottefracties en de mineralogische opbouw van sedimenten met het 50 % <16 um.
 - 16. De relatie tussen het kopergehalte en het % <16 um in sedimentmonsters van de Waddenzee.
 - 17. De relatie tussen het cadmiumgehalte en het % <16 um in sedimentmonsters van de Waddenzee.
 - 18. De metaalgehalten in het zwevende slib tijdens een 13-uurs meting in het Marsdiep.
 - 19. De metaal/aluminium verhouding in het zwevende slib tijdens een 13-uurs meting in het Marsdiep.
 - 20. De verdeling van Zn, Cu, Cr en Ni over korrelgroottefracties van het zwevende slib.
 - 21. Gradienten in de metaalgehalten in het Nederlandse deel van de Waddenzee.
 - 22. Bindingsvormen van metalen in afgezette slib monsters.
 - 23. Bindingsvormen van metalen in zwevend slib monsters.
 - 24. Gehalten aan metalen in de atmosfeer van de landelijke en stedelijke gebieden vergeleken met die in gebieden veraf van industriële centra .
 - 25. Variatie in de metaalgehalten in sedimenten van de Rijn
 - 26. Verandering in de metaalgehalten in de Waddenzee over de periode van 1960-1980, vergeleken met die in de Rijn over dezelfde periode.
 - 27. Relatieve metaalgehalten langs profielen in de kwelder van Friesland.
 - 28. Metaalgehalten in de Waddenzee vergeleken met die in de base-line.

29. Het verloop in de metaalgehalten in sedimenten van de Waddenzee van West naar Oost.

1 Inleiding

1.1 Opdracht

Tijdens een bespreking tussen ir. J.A.W. de Wit van het Rijksinstituut voor Zuivering van Afvalwater (RIZA) en dr. A.J. de Groot en K.H. Zschuppe van het Instituut van Bodemvruchtbaarheid (IB) op 11 september 1979 werd gevraagd door het Waterloopkundig Laboratorium (WL) offertes te laten uitbrengen over een tweetal in 1980 uit te voeren onderzoeken:

- a. Herscanning van kwik in het Eems-Dollard estuarium (LV 1156),
- b. Onderzoek naar zware metalen in afgezette sedimenten en zwevend slib in de Waddenzee (LV 1185).

Een voorstel voor het onder a. vermelde onderzoek werd op 14 juni 1979 aan het RIZA aangeboden in brief no. V4425/LV1156/Sal/gv. Ir. de Wit gaf op 11 september 1979 te kennen hierin enkele wijzigingen te willen aanbrengen.

Op 8 oktober 1979 werd per brief no. V7363/LV1156/Sal/gv het aangepaste onderzoekvoorstel aangeboden over de herscanning van kwik in het Eems-Dollard estuarium (LV 1156).

Het voorstel van onderzoek naar zware metalen in sedimenten in de Waddenzee werd aangenomen in brief no. V7489/LV1185/Sal/gv van 16 oktober 1979.

De opdracht tot het uitvoeren van zowel het onderzoek in het Eems-Dollard estuarium als in de Waddenzee werd verleend per brief deW/11986 van 4 november 1981. Hierin werd gesteld dat de onderzoeken dienen te worden uitgevoerd conform de in oktober 1979 ingediende onderzoeksvoorstellen, waarbij in overleg tussen ir. de Wit (RIZA) enerzijds en Dr Salomons (WL) en K.H. Zschuppe (IB) anderzijds op 28 juli 1981 overeengekomen wijzigingen zijn aangebracht.

Het onderzoek naar het voorkomen van kwik in slib uit het Eems-Dollard estuarium in 1980 werd uitgevoerd door de vestiging Haren van het Waterloopkundig Laboratorium in nauwe samenwerking met het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid.

Het verslag werd samengesteld door dr. W. Salomons en ir. W. Eysink.

Waterloopkundig Laboratorium
Rapport M 1839

Erratum

pag. 6; 2^e alinea, laatste regel.

-aangenomen- moet zijn -aangeboden-

1.2 Samenvatting en aanbevelingen voor onderzoek

In 1980/1981 zijn monsters van het afgezette sediment en van het zwevende slib verzameld in het Nederlandse deel van de Waddenzee. De afgezette sediment en zwevende slib monsters zijn onderzocht op de gehalten aan zware metalen. In enkele oppervlaktewatermonsters is de verdeling van metalen over korrelgroottefracties onderzocht. De resultaten van dit onderzoek zijn aangevuld met eigen onderzoek van de combinatie IB-WL in het Nederlandse en Duitse deel van het Waddengebied over de periode van 1955-1981.

De gehalten in de afgezette sedimenten (na correctie voor deeltjesgrootte verschillen) vertonen duidelijke gradienten. De hoogste metaalgehalten worden aangetroffen in het Westelijk deel van de Waddenzee, in de Dollard worden de laagste gehalten gevonden (tabel A).

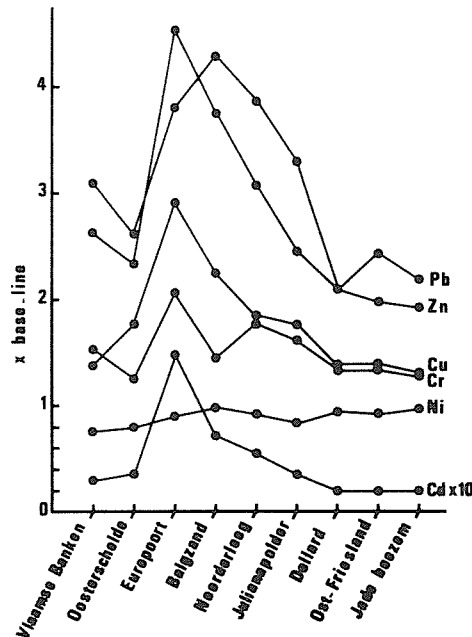
	Zink	Koper	Chroom	Nikkel	Lood	Cadmium
Base line	68	13	72	29	21	0.25
Balgzand	256	29	103	29	90	1.8
Friesland	218	25	118	29	77	1.4
Groningen	160	20	114	28	58	0.8
Dollard	143	18	96	27	44	0.5

Tabel A. Gehalten aan metalen (in ug/g) in sedimenten van de Waddenzee vergeleken met de voorlopige baseline voor Nederlandse sedimenten.

Worden de metaalgehalten vergeleken met die in niet-gecontamineerde sedimenten (base-line) dan blijkt dat de gehalten duidelijk verhoogd zijn.

De grootste toename in de gehalten wordt gevonden voor cadmium, dat ook in de rivier de Rijn van alle metalen het meeste is gestegen t.o.v de base line. In figuur A zijn de gradienten voor zink, koper, chroom, nikkel, lood en cadmium (in toenames t.o.v. de baseline weergegeven) langs de Nederlandse kust, het Nederlandse en het Duitse Waddengebied weergegeven.

De resultaten laten duidelijk de variatie in de gehalten langs de Nederlandse kust zien. De invloed van de Schelde blijkt vrij gering te zijn, de verschillen in gehalten tussen de Oosterschelde en de Vlaamse Banken zijn vrij gering, een toename in de gehalten wordt gevonden in de Europoort, een duidelijk invloed van de Rijn op de samenstelling van de sedimenten die hier tot afzetting komen. De gehalten in het Westelijk deel van de Waddenzee zijn voor de meeste elementen, met uitzondering van lood en arseen, lager dan in de Europoort. Regionale variaties binnen de Westelijke Waddenzee zijn vrij gering. Vanuit de Westelijke Waddenzee in oostelijke richting nemen de gehalten aan metalen in de sedimenten af, deze afname zet zich voort in het Duitse deel van de Waddenzee, in de Jade worden de laagste metaalgehalten aangetroffen. Opvallend is de sterke afname van cadmium, in tegenstelling tot lood. Lood is echter een metaal dat meer dan cadmium in de atmosfeer voorkomt.



Figuur A. Metaalgehalten langs de Nederlandse kust van west naar oost.

De afnemende rivierinvloed van west naar oost uit zich in dalende cadmiumgehalten, terwijl de continue input vanuit de atmosfeer aan lood, zorgt voor een mindere grote daling voor dit metaal.

Over de onderzochte periode van 1960 tot 1980 zijn de variaties in de gehalten in de Westelijke Waddenzee het spiegelbeeld van de variaties in de Rijn over dezelfde periode: dalingen voor Zn, Cu en Pb en toenames voor Cr, Cd en Ni. De metaalgehalten in het oostelijk deel van de Waddenzee over de bovengenoemde periode vertonen geen relatie met die in de Rijn. De verschillen tussen 1960 en 1980 zijn vrij gering met toenames/dalingen in de orde van grootte van 10-20 %.

De gehalten aan metalen in het zwevende slib vertonen duidelijke afhankelijkheid met het getij, na correctie voor korrelgrootteverschillen, tenderen de gehalten in het zwevende slib dat de Waddenzee binnenkomt naar hogere waarden dan in het zwevende slib dat de Waddenzee verlaat. Verdeling van de metalen over de korrelgroottefracties van het zwevende slib verzameld ter hoogte van het Marsdiep en Borkum laten vrij grote verschillen zien. De verdeling van het monster uit het Marsdiep vertoont overeenkomst met die van gecontamineerd zwevend slib uit het Keteldiep. Terwijl nikkel en chroom in het Marsdiep vooral in de fractie < 0.4 um voorkomen, zijn deze twee elementen het hoogste in de fractie 12-3 um in het Borkum monster. Koper is in beide gevallen vooral geassocieerd met de fijne fractie.

De gehalten in het zwevend slib vertonen, na correctie voor korrelgrootteverschillen, vrij grote overeenkomst met de gehalten in het afgezette sediment van nabijgelegen sedimentatiegebieden.

In de Waddenzee zijn de metalen onderhevig aan interne cycli, waarbij het poriënwater een belangrijke rol speelt. Op basis uit gegevens van de literatuur en eigen metingen, in het kader van andere onderzoeken, blijkt dat na de afzetting metalen en nutriënten aan het poriënwater wordt afgegeven. Verhoogde gehalten aan metalen worden vooral aangetroffen in de toplagen van de afgezette sedimenten. Voor een aantal metalen treedt op het grensvlak sediment/water precipitatie op (ijzer en mangaan en tevens fosfaat), het is echter niet bekend in welke mate de sedimenten als een bron fungeren voor de opgeloste metalen in de Waddenzee. Wel is bekend dat tijdens erosie de metaalgehalten in het oppervlaktewater stijgen. Een proces van afwisselende sedimentatie (loskoppeling metalen) en erosie zou tijdens transport over de Waddenzee, naast de afnemende rivierinvloed, mede aanleiding kunnen geven tot een daling in de metaalgehalten van de sedimenten.

Op grond van de nu bekende gegevens is het mogelijk om een schatting te maken van de diverse bronnen voor metaalaccumulatie in de Waddenzee.

De belangrijkste bronnen voor metalen in de Waddenzee zijn:

- metalen in de watermassa die langs de Noord-Hollandse Kust in noordelijke richting wordt getransporteerd
- atmosferische input van metalen
- voor het Westelijk deel van de Waddenzee, de uitwateringssluizen in de Afsluitdijk, en
- de rivier de Eems in het Dollard gebied

Onderzoekingen in de Eems hebben laten zien, dat de invloed van deze rivier op de samenstelling van de sedimenten in de Dollard niet aantoonbaar is. In tegenstelling de samenstelling van de sedimenten in het Eems-estuarium (Duits gebied) worden in sterke mate beïnvloed door sedimenten die door de eb-vloed beweging het estuarium naar binnen worden getransporteerd. Voor deze grove balans is de Eems danook buiten beschouwing gelaten.

De bijdrage van de Noordzee kan worden afgeschat door aan te nemen dat het slib dat in de Waddenzee accumuleert van de Noordzee afkomstig is. De schatting over deze accumulatie variëren echter sterk, afhankelijk van de uitgangspunten gekozen voor de berekening. In tabel B is gebruik gemaakt van een hoge schatting (sedimentatie 3×10^6 ton/jaar) en een lage schatting (1×10^6 ton/jaar). Uit de gehalten aan metalen in het zwevende slib kan vervolgens de input vanuit de Noordzee berekend worden. De atmosferische bijdrage is afgeschat aan de hand van gehalten in het regenwater (hierbij kan de droge depositie zijn onderschat), terwijl de bijdrage van het IJsselmeer uit het ZMAS onderzoek bekend is.

METAAL	INPUT VIA			TOTAAL		
	Noordzee hoog	Noordzee laag	Atmosfeer	IJsselmeer	hoog	laag
Zink	738	246	273	229	1240	748
Koper	84	28	25	41	150	94
Chroom	369	123	3.1	47	419	173
Cadmium	4.5	1.5	1.5	2.3	8.3	5.3
Nikkel	84	28	10	73	167	111
Lood	240	80	32	38	310	150
Arseen	66	22	2.1	18	86	42
Kwik	2.1	0.7	0.2	0.35	2.65	1.25

Tabel 19. Globale schatting van de input aan metalen in de Waddenzee

De gegevens in tabel B hebben betrekking op de totale input via de atmosfeer en het IJsselmeer (opgelost + particulier), een gedeelte zal de Waddenzee echter weer verlaten in opgeloste vorm.

De resultaten laten echter zien, dat bij een beschouwingen over de accumulatie van metalen in Waddenzee deze twee bronnen niet buiten beschouwing kunnen worden gelaten, ze liggen waarschijnlijk in dezelfde orde van grootte als de input via de Rijn (noordelijk gerichte slibstroom langs de kust).

AANBEVELINGEN:

- monitoring van sedimenten geeft de gelegenheid tot het vervolgen van de vervuiling van de sedimenten in de tijd. De frequentie van de monitoring wordt bepaald door de veranderingen waar de bronnen voor de metalen in de tijd aan onderhevig zijn. Voor de westelijke Waddenzee dat onder invloed staat van sterk variabele bronnen als de Rijn (en het IJsselmeer) is een hogere frequentie nodig dan voor de rest van de Waddenzee. Een vervolg onderzoek naar de veranderingen in de tijd zou over een periode van 3-4 jaar dienen plaats te vinden voor de Westelijke Waddenzee.
- over de interne processen waaraan metalen onderhevig zijn, en die van invloed zijn op de lotgevallen van de metalen (afgifte aan oppervlaktewater) zijn nog weinig gegevens bekend
- de zware metalen zijn niet gelijkelijk over korrelgroottefracties verdeeld; tevens treden regionale verschillen. Inzicht in de verdeling van metalen over korrelgroottefracties is noodzakelijk teneinde inzicht in het transportgedrag van de metalen te verkrijgen.
- het IJsselmeer fungeert als een belangrijke bron voor metalen in het westelijk deel van de Waddenzee. De processen die optreden bij de vermenging van zoet IJsselmeerwater met Waddenzeewater dienen nader onderzocht te worden.
- de processen die een rol spelen bij het gedrag van zware metalen in de Waddenzee zijn in principe dezelfde als die welke optreden bij het dumpen van baggerspecie. Het verdient danook aanbeveling om bij een vervolgonderzoek met dit aspect rekening te houden.

2 Achtergrondgegevens

2.1 Morfologie van de Waddenzee

Het Nederlandse waddengebied sterkt zich uit over een lengte van 150 km van Den Helder tot Rottumeroog. Aan de zeezijde wordt het gebied begrensd door een zestal waddeneilanden, die zijn ontstaan uit een strandwal, die in het jongste geologische tijdvak, het Subatlanticum, door de rijzende zee werd doorbroken (figuur 1).

Doordat met elke getijcyclus grote hoeveelheden water en sediment dit gebied in- en uitstromen heeft zich in de loop der tijden een stelsel van geulen en platen ontwikkeld.

Aan de zeezijde is onder invloed van sedimenttransport langs de kust en het in- en uittrekkende transport door het zeegat een aantal buitendelta's ontstaan. De geulen in de buitendelta's kunnen worden onderscheiden in ebscharen, relatief diep en gering in aantal, en vloedscharen, met een drempel aan de landwaartse uitloop van de geul.

In de zeegaten zelf vindt men soms slechts één grote geul (b.v. Borndiep) soms twee of meer grote geulen al dan niet gescheiden door boven G.H.W. uitstekende platen (b.v. Pinkegat en Zoutkamperlaag). Landinwaarts vertakken deze hoofdgeulen of zeearmen zich in kleinere geulen en prielen. De omvang van het geulenstelsel en de grootte van het zeegat wordt bepaald door het getijvolume; de hoeveelheid water die door het zeegat tijdens een getijperiode in en uitstroomt. Voor de grootste zeegaten; het Zeegat van Texel (Marsdiep), het Vlie (Vliestroom) en de Westereems bedraagt het getijvolume ca één miljard m³.

Een vloedkom wordt in het algemeen, behalve door de eilanden en de kust, begrensd door twee wantijen; waar de getijgolven die vanuit de Noordzee door de opeenvolgende zeegaten de Waddenzee binnendringen, elkaar ontmoeten.

In het gebied tussen GLW en GHW kan onderscheid gemaakt worden tussen (ref. 1).

- laag gelegen, kale moddervlaktes, met vrijwel altijd een duidelijk stelsel van ondiepe geulen of prielen. Langs of dwars door deze geulen en prielen worden mosselbanken aangetroffen.

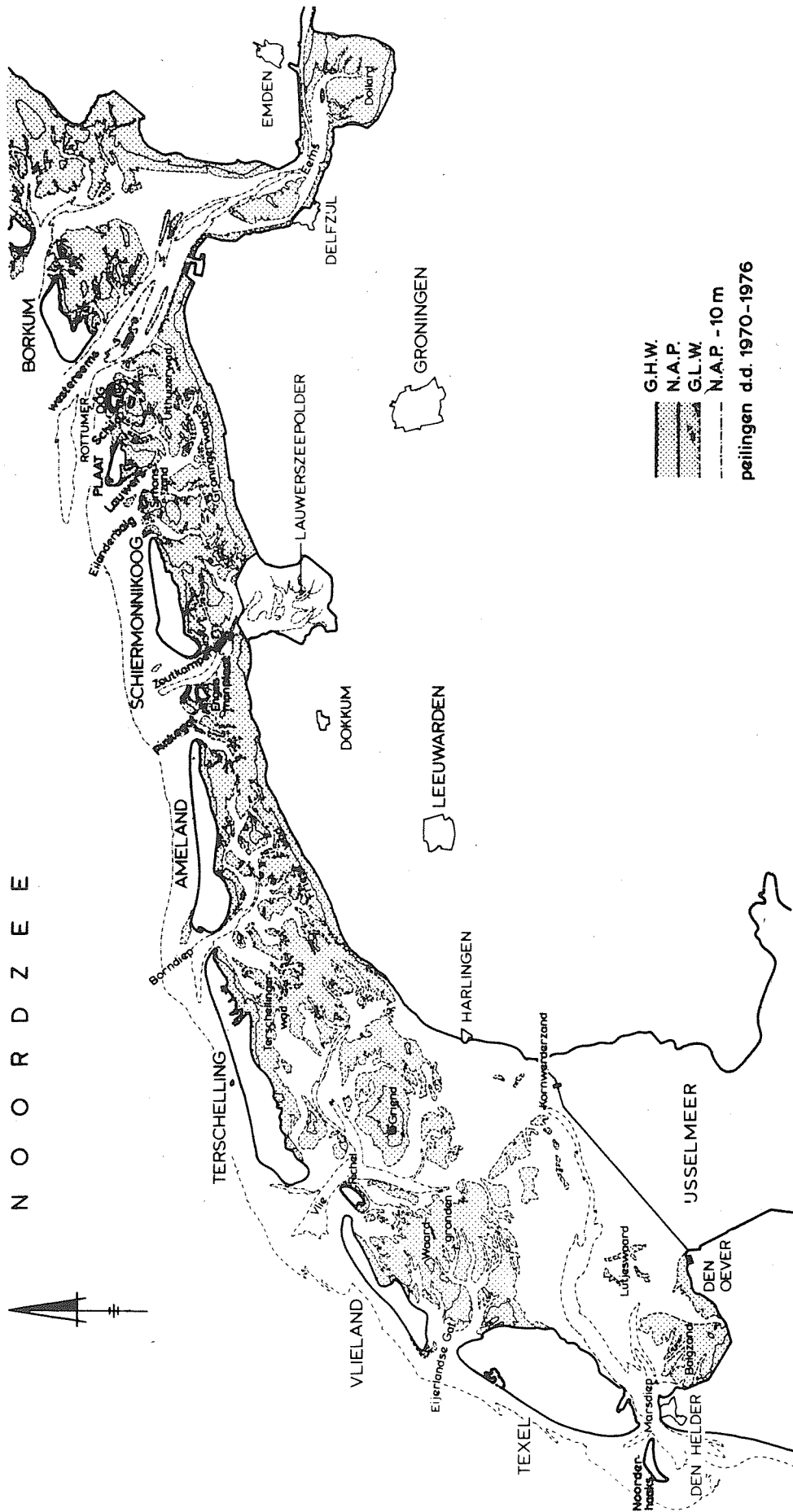
- arenicola zandplaten, bestaande uit een vlakke, beweeglijke zandbodem. Waterafvoer vindt plaats door zeer ondiepe geulen met steeds veranderende bedvormen.

- hoog liggende, min of meer modderige gebieden, behoudens algen, niet bedekt door macrovegetatie. Door de geringe stroomsnelheden vertonen deze gebieden geen duidelijke waterlopen.

- hooggelegen begroeide gebieden, komen voor langs de boven G.H.W. gelegen kwelders en op de hoogste delen van platen in het midden van de Waddenzee.

De boven G.H.W. gelegen kwelders zijn met gras begroeide en door meanderende krekens doorsneden buitendijkse gronden, die nog slechts incidenteel onderlopen. Langs de kust van Groningen en Friesland is de vorming van kwelders sterk bevorderd door de aanleg van een fijn vertakt stelsel van sloten en greppels, waarmee wel het water maar niet het sediment wordt afgevoerd.

Figuur 1. Het Nederlandse Waddengebied



2.2 Waterbeweging

De waterbeweging in het Waddengebied wordt overwegend bepaald door het getij op de Noordzee. De getijgolf, met een gemiddelde periode van 12 uur en 25 minuten loopt van zuidwest naar noordoost langs de Nederlandse kust. Het getijverschil bij Den Helder bedraagt ca 1.5 m en bij Rottumeroog ruim 2 m. Het tijdsverschil tussen optreden van HW in Den Helder en Rottumeroog bedraagt ca 4 uur.

De langs de waddenkust lopende getijgolf dringt via de zeegaten de Waddenzee binnen, waar hij reflecteert tegen de kust van het vaste land, de Afsluitdijk of op een wantij. Ondanks de demping ten gevolge van weerstand in de ondiepe Waddenzee is het getijverschil langs het vaste land door genoemde reflectie groter dan langs de eilandenkust.

Ter plaatse van een wantij, gedefinieerd als de plaats waar twee getijstromen elkaar ontmoeten, zijn de stroomsnelheden gering en kan gemakkelijk sedimentatie optreden. De plaatsen der wantijen komen dan ook goed overeen met het hoogste punt van de geografische scheiding tussen twee vloedkommen.

De verschillende vloedkommen in het Waddengebied worden tweemaal per dag door het getij gevuld en geledigd.

2.3 Bodemgesteldheid

De sedimenten die in het waddengebied worden aangetroffen zijn grotendeels in het laat-Pleistoceen en het Holoceen afgezet. Een veel gebruikte klassificatie van jonge mariene sedimenten is gebaseerd op het lutumgehalte (% < 2 μ m) en de mediaan van de zandfractie (zand > 63 μ m).

Het gebied boven G.L.W. blijkt voor 85 % uit middelfijn zand te bestaan met minder dan 3 % lutum. Grover zand ($D_{50} > 140 \mu$ m) wordt slechts in de directe omgeving van de zeegaten aangetroffen. De zwaardere gronden (ca 10 %), met een lutumgehalte van meer dan 8 % worden voornamelijk aangetroffen in een 0.5 tot 1.5 km brede strook langs de Fries-Groningse noordkust en in de voormalige Lauwerszee en de Dollard (ref. 2). De overige plekken met een kleihoudende bovengrond hangen meestal samen met de aanwezigheid van mosselbanken. Naar de diepte, althans tot ca 2 m diepte, vertonen de meeste bodem-profielen weinig of geen variatie in lutumgehalte of grofheid van de zandfractie.

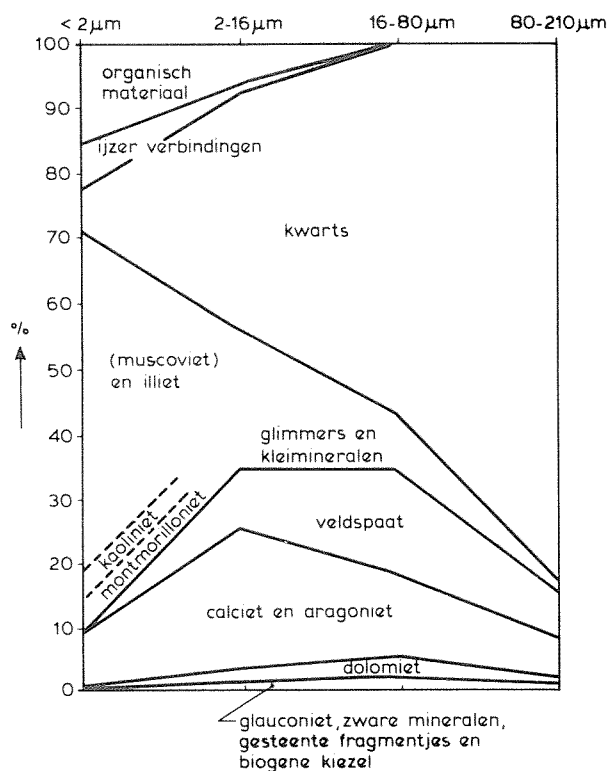
In het algemeen geldt dat de sedimenten zowel in de geulen als op de platen, vanaf de zeegaten in de richting van de wantijen en de kust fijner worden. In de westelijke Waddenzee is dit verschijnsel minder uitgesproken. In vergelijkbare delen neemt de gemiddelde diameter van het sediment af van west naar oost. Ook kan een afnemende grofheid van het sediment worden waargenomen van de diepliggende bodem in de zeegaten naar de ondieper liggende geulbodems en de nog hoger liggende wadplaten en kwelders. Op de geultaluds en in de binnenbochten van geulen kan het sediment echter fijner zijn dan op de plaat.

Het zand van de buitendelta's is fijner dan dat in de zeegaten en vertoont grote overeenkomst met zanden uit de kuststrook. Ook hier geldt dat het zand in de geulen grover is dan op de banken en dat de gemiddelde korreldiameter afneemt van de LW-lijn naar de HW-lijn.

Op grond van bovenstaande worden wadzanden onderverdeeld in (ref. 3):

- geulzanden: $D_{50} > 190 \mu$ m slecht gesorteerd
- wad- of plaatzanden: D_{50} : 120 à 190 μ m vrij goed gesorteerd
- wadsliek: D_{50} : 50 à 120 μ m slecht gesorteerd

De zandfractie van het wadsediment bestaat voor meer dan 80 % uit kwarts. Het kwartsaandeel in de lutumfractie is minder dan 10 %. In deze fractie vormen kleimineralen (voornamelijk) illiet, en organisch materiaal de belangrijkste bestanddelen (figuur 2). Andere belangrijke mineralen zijn kalk en dolomiet.



Figuur 2. De mineralogische samenstelling van sedimenten uit de Waddenzee als functie van de korrelgrootte (ref. 4).

2.4 Sediment in suspensie

Er zijn in het Nederlandse kustgebied veel onderzoeken verricht naar de gehalten aan gesuspendeerd materiaal in het water. Omdat de gegevens niet simultaan en onder uiteenlopende omstandigheden zijn bepaald, kan hieruit slechts een globaal beeld worden afgeleid, waarin echter een aantal karakteristieke tendensen zijn aan te geven.

Langs de Noordzeekust is voortdurend materiaal, vrijwel uitsluitend slib, in suspensie. De concentratiegradient is langs de kust vrij zwak, loodrecht op de kust vrij sterk. De hoogste sedimentconcentraties worden aangetroffen voor de mond van de Westerschelde; bij het Marsdiep zijn de concentraties nog slechts gering (ref. 5). Op 20 à 25 km uit de kust, lijkt de sedimentconcentratie te variëren tussen 2 en 10 mg/l, naar het zeegat toe loopt ze op tot 5 à 25 mg/l (ref. 6). De concentraties vertonen een zwakke relatie met de zeekondities en nemen met ruw weer toe.

In de Waddenzee neemt de gemiddelde concentratie van de slibfractie toe vanaf de zeegaten naar de kust en de wantijen. De concentratie van de zandfractie, die duidelijk gerelateerd lijkt aan de stroomsnelheden, verloopt omgekeerd, de hoogste concentraties worden gevonden in de zeegaten. Naast de variaties in

sedimentgehalte naar plaats, treden door het getij en weersinvloeden ook variaties in de tijd op. De belangrijkste mechanismen voor het in suspensie houden van sediment zijn:

- getijstromen, resulterend in een in de stroomrichting vrij geringe concentratieverschillen, en
- door wind opgewekte stroming en golven; door de sterke variatie in intensiteit kunnen horizontale gradienten in de sedimentconcentratie ontstaan (ref. 7, 8, 9). Indien de concentratiegradienten door stroming verplaatsen, ontstaan op een vast punt concentratieveranderingen in de tijd, die niet aan de stroomsnelheid zijn gerelateerd.

Het eerste mechanisme overheerst in de zeegaten en de grote geulen; het sedimentgehalte varieert er sterk met de stroomsnelheid. Op de platen speelt het tweede mechanisme de belangrijkste rol en variëren alle korrelfracties in min of meer dezelfde mate zonder relatie met de stroomsnelheid. In de kleine geulen spelen beide mechanismen een rol in het verloop van het sedimentgehalte over het getij.

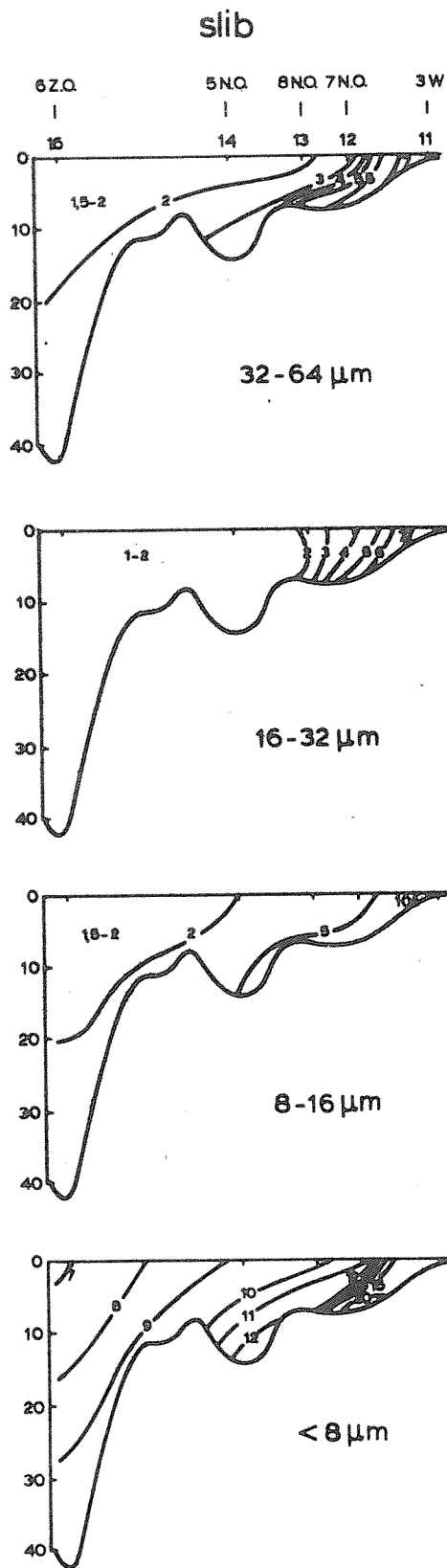
Bij toenemende wind nemen de waterbeweging en de turbulentie in het water toe door driftstromen en (brekende) golven. Het sedimentgehalte in de Waddenzee kan hierdoor hoog worden. Voor de haven van Den Helder werd tijdens zware storm een gehalte van 447 mg/l gemeten, terwijl over de jaren 1949 en 1950 de maandgemiddelden varieerden tussen 15 en 45 mg/l (ref. 8). Uit metingen voor de rand van de landaanwinningswerken bij de Julianapolder en de Westpolder (ref. 8) blijkt dat het slibgehalte gemiddeld over het getij varieert van 30 tot ca 1000 mg/l. De extremen kunnen 4 à 5 maal groter zijn.

Uit metingen van het sedimentgehalte en de verdeling daarvan over zeven fracties in het Marsdiep (figuur 3) en het Borndiep (ref. 9) kan het volgende geconcludeerd worden:

- de gehalten aan gesuspenseerd materiaal vertonen in de beide vloedkommen een vergelijkbaar beeld, zij het dat de sedimentgehalten bij Ameland, door het grotere areaal van platen en kleine geulen, aanmerkelijk groter zijn dan bij Texel.
- de vier onderscheiden korrelfracties die kleiner zijn dan 64 μm (< 64, 32, 16 en 8 μm) akkumeleren elk in dezelfde mate in de Waddenzee. Van de fractie < 8 μm dient dan het fijnste deel, dat steeds in suspensie blijft buiten beschouwing te blijven.
- de zandfractie tussen 64 en 128 μm vertoont nog een toenemende concentratie naar binnen toe, de grovere fracties tonen afwijkende concentratieverdelingen.
- elke fractie heeft een lokatie waar het over de diepte gemiddelde, sedimentgehalte maximaal is. Deze lokaties zijn meer naar binnen gelegen naarmate het sediment in de betreffende fractie fijner wordt.

Uit het voorgaande blijkt duidelijk dat van het zeegat naar de kust gaande het gesuspenseerd materiaal fijner wordt en de concentratie toeneemt. Er blijken parallellen te bestaan tussen de concentratieverdeling van het slibgehalte in de Waddenzee en de verdeling van het lutumgehalte in de toplaag van de bodem.

Figuur 3. Gemiddelde slibgehalten in de geulen Marsdiep-Malzwin-Amsteldiep (ref. 9)



2.5 Aan- en afvoer van sediment

Sedimenttransport naar en uit de Waddenzee vindt hoofdzakelijk plaats via de getijstromen door de zeegaten. Aan de hand van metingen (o.a. ref 6, 9) is aangetoond dat ook onder normale weersomstandigheden met elk getij zeer grote hoeveelheden sediment door de zeegaten de Waddenzee in- en uittrekken. Bij springtij kan het transport door de Vliestroom, volgens metingen van Rijkswaterstaat, oplopen tot 25.000 à 35.000 ton zand en 25.000 à 40.000 ton slib per halve getijdencyclus.

De aanvoer via de rivieren is daarbij vergeleken gering: ca 100.000 ton/jaar via de Eems (ref. 10) en 200.000 à 250.000 ton ton/jaar via de Afsluitdijk (ref. 6, 11).

Uit geologisch onderzoek en de aanzienlijke landwinst langs de kust, kan geconcludeerd worden dat het waddengebied een sedimentatiegebied is waar in de loop der tijden grote hoeveelheden sediment zijn afgezet. Aangetoond is, dat al het holocene zand, dat in de Waddenzee is afgezet van mariene herkomst is. Van de slib- en lutumfractie is 10 à 20 % afkomstig van de Maas en de Rijn, aangevoerd via slibtransport langs de kust; de overige 80 à 90 % is eveneens van mariene herkomst (ref. 12, 13). Wordt het fijne materiaal aangevoerd uit het zuiden, het zand dat in de Waddenzee wordt afgezet is grotendeels afkomstig van afslag van de Noordzeekust van de kop van Noord Holland en de Waddeneilanden.

Een belangrijke oorzaak voor het optreden van sedimentatie in de Waddenzee is de relatieve zeespiegelrijzing. Om het evenwicht in het systeem te handhaven zal de bodem met de zeespiegel meerrijzen. Bij een zeespiegelrijzing van 17 cm per eeuw (ref. 4) bedraagt de sedimentvang voor het gebied, met een oppervlakte van 2800 km², ca 5.10⁶ m³ sediment per jaar.

De tweede oorzaak voor de optredende sedimentatie is de verkleining van de vloedkommen door landaanwinning. Doordat zich een evenwicht instelt tussen de afmeting van de geulen en het volume van de vloedkom, resulteert verkleining van een vloedkom in een relatief te diep geulenstelsel. De grootste ingrepen in dit verband zijn de afsluiting van de Zuiderzee en de Lauwerszee. De jaarlijkse sedimentbehoefte voor een aanpassing van het geulenstelsel bedraagt naar schatting resp. 10.10⁶ en 5.10⁶ m³. De sedimentbehoefte door komverkleining als gevolg van de overige landaanwinning wordt geschat op 4.10⁶ m³/jaar.

Tenslotte wordt in de Waddenzee en de Westereems jaarlijks 3.10⁶ resp. 5.10⁶ m³ zand gewonnen. Omdat het systeem ook hier zal proberen de verstoring van de natuurlijke toestand, die het gevolg is van zandwinning, te compenseren, bedraagt de sedimentbehoefte tengevolge hiervan resp. 3.10⁶ en 5.10⁶ m³/jaar. Door het lokale karakter van de verstoring, zal er geruime tijd verlopen voordat in deze sedimentbehoefte kan worden voorzien middels aanvoer door de zeegaten.

De totale sedimentbehoefte, waarin hoofdzakelijk door aanvoer van zand via de zeegaten wordt voorzien, bedraagt ca 32.10⁶ m³/jaar, waarvan 8.10⁶ voor compensatie van zandwinning. Van de genoemde 32.10⁶ m³/jaar aanzanding draagt ca. 19.10⁶ m³/jaar bij tot verkleining van de inhoud van de Waddenzee; hetgeen overeenkomt met 0.25 à 0.3 % van de totale inhoud. Na aanpassing van de vloedkommen aan de afsluiting van de Lauwerszee en de Zuiderzee bedraagt de jaarlijkse inhoudsverkleining nog slechts ca. 0.07 %.

De aanslibbing langs de kust, hoofdzakelijk slib en lutum in de boven NAP gelegen zone, is in deze getallen nog niet begrepen. Op grond van historische gegevens over de aanslibbing (gemiddeld over de afgelopen 600 jaar) en een schatting over het gehalte aan slib in de zandafzettingen kan de volgende

schatting worden gemaakt van de totale sedimentatie aan slib in de Wadden zee:
- via slikafzettingen in de westelijke Waddenzee 0.9×10^6 ton/jaar en in de oostelijke Waddenzee 1.5×10^6 ton/jaar. De schatting voor de Oost-friese Waddenzee (Duitsland) bedraagt 0.4×10^6 ton/jaar.
- via de zandafzettingen (slibgehalte van de zandafzettingen geschat op 3 %) geeft dit voor de Westelijke Waddenzee een sedimentatie van 0.7×10^6 ton/jaar, voor de Oostelijke Waddenzee 0.55×10^6 ton/jaar.

Globaal komt dit neer op een totale slibafzetting in de Waddenzee van 3 à 4 x 10^6 ton/jaar (Nederlandse deel).

Vergelijking van de jaarlijkse sedimentbehoefte met de aan het begin van deze paragraaf gegeven schatting voor het sedimenttransport door de Vliestroom, toont dat een aanzienlijk deel van het zand en een klein deel van het slib sedimenteert. Het is overigens niet duidelijk in hoeverre de genoemde metingen representatief geacht kunnen worden.

Bovengenoemde kwantitatieve schattingen zijn gebaseerd op gegevens uit ref. 15 en geven een zo goed mogelijk een orde van grootte van de verschillende sedimentatiehoeveelheden. Andere bronnen kunnen via andere uitgangspunten tot afwijkende waarden komen, die lager liggen (1.3×10^6 voor het Nederlands deel (ref. 21)).

2.6 Interne sedimentbewegingen

Zoals in 2.2 werd beschreven, wordt de waterbeweging in de Waddenzee gekenmerkt door heen en weer gaande stromingen, veroorzaakt door de getijbeweging en de orbitaalbeweging van de golven. Hierdoor wordt voortdurend sediment losgewoeld en weer afgezet, waarbij gemakkelijk sedimenteerbaar materiaal op de energierijke plaatsen achterblijft en het fijnere sediment met lagere dichtheid wordt meegevoerd naar de meer naar binnen gelegen energiearme plaatsen. Op deze wijze werkt de waterbeweging in de Waddenzee als een hydraulische sorteermachine.

Het sediment dat via de zeegaten de Waddenzee binnenkomt, wordt door de geulen naar de platen gevoerd, waardoor deze in hoogte kunnen toenemen. Doordat de hoogte van de platen als gevolg van erosie door windgolven overal minder dan 0.3 à 0.4 m beneden GHW is, blijft begroeiing gevolgd door verlanding uit.

Opvallend aan het transport van fijn materiaal op de Waddenzee is dat het tegen de slibgehaltegradiënt in gaat. Dit wordt veroorzaakt door een drietal mechanismen:

- dichtheidsstromen ten gevolge van saliniteitsverschillen
- vervorming van het getij
- "settling lag" en "scour lag"

In een gebied met een zoete bovenafvoer stroomt het zoete water door de bovenste laag zeewaarts en treedt compensatie op via een landwaartse bodemstroom. Doordat de sedimentconcentraties aan de bodem hoger zijn dan aan het wateroppervlak, ontstaat een resulterend sedimenttransport naar binnen.

Langs mathematische weg kan aangetoond worden dat vervorming van het getij kan leiden tot een resulterend landwaarts sedimenttransport. Postma (ref. 9) signaleerde reeds dat door de vervorming van het getij de periode met lage stroomsnelheden rond HW kentering langer duurt dan rond de L.W. kentering, waardoor er bij H.W. wanneer zich relatief veel slibrijk water in de Waddenzee bevindt, meer gelegenheid is voor het sedimenteren van slib dan bij L.W. Het effect is het sterkst in de ondiepe geulen en prielen doordat daar, tengevolge van bodemwrijving, de vervorming van het getij het grootst is.

Onder "scour lag" wordt verstaan het verschijnsel dat sediment pas erodeert bij een iets hogere snelheid dan die waarbij het sedimenteert. "Settling lag" duidt op de tijd, die het sediment, na onderschrijding van de kritieke snelheid, nodig heeft om de bodem te bereiken. Doordat in de Waddenzee zowel de stroomsnelheid als de diepte afneemt in de richting van de wantijen en de kust, zullen "settling lag" en "scour lag" tot gevolg hebben dat de vloedweg van een geërodeerd deeltje steeds wat langer is dan de ebweg, waardoor een binnenwaartse beweging resulteert (ref. 16). Op dezelfde manier kan het verschijnsel van de selectieve sedimentatie worden verklaard: een deeltje zal zover naar binnen worden verplaatst totdat de snelheden onvoldoende zijn voor erosie.

Een ander mechanisme waardoor met name het zeer fijne slib, dat een belangrijk deel van het bodemmateriaal langs de kust vormt, tot bezinking komt is de verbetering van sedimentatiekondities door:

- flocculatie van kleimineralen
- produktie van slibpropjes door mosselen en kokkels
- hechten van slib aan de bodem via slijm van diatomeeën
- verminderen van stroomsnelheid en erosie door plantengroei
- uitvoering van landaanwinningswerken

Flocculatie van kleimineralen kan in de Waddenzee en het Eems-Dollard estuarium optreden dankzij de toename van het zoutgehalte en door plaatselijk hoge slibconcentraties, waardoor de kans op botsingen van deeltjes relatief groot is.

Om in hun voedselbehoefte te voorzien nemen mosselen en kokkels water met slib in, waar het slib wordt uitgezeefd. De grovere fractie van dit slib wordt aaneen gekit door slijm als pseudofaeces uitgeworpen. Schattingen van de jaarlijkse produktie van pseudofaeces bedragen: 2.5 à 3.10⁶ ton voor de Groninger Wadden (ref. 2) en 0.3 à 0.7.10⁶ ton voor de westelijke Waddenzee (ref. 17).

Diatomeeën leven aan het bodemoppervlak en werken zich wegens hun lichtbehoefte steeds weer door gesedimenteerd materiaal naar boven. Hierbij wordt slijm afgescheiden waardoor bij rustig weer dunne laagjes diatomeeën slik worden gevormd die bij ruw weer worden stukgeslagen en verder getransporteerd.

Plantengroei is alleen van belang in een smalle zone langs de kust waar het bodempeil voldoende hoog is.

Een laatste mechanisme dat een aanzienlijk intern sedimenttransport veroorzaakt is verplaatsen van geulen, prielen en kreken, ook wel aangeduid als laterale sedimentatie. In een stelsel van geulen dat in dynamisch evenwicht is, vinden voortdurend wijzigingen plaats door meanderen, verleggen van geulen, dichtslaan van geulen bij storm etc. Doordat de benodigde geulinhoud niet verandert, is er geen sprake van resulterend sedimenttransport. Laterale sedimentatie kan worden bevorderd door mosselbanken die aan de golfzijde eroderen en in de luwte van de banken groeien, door afzetten van sediment en nieuwe mosselen. Een verplaatsingssnelheid van 4.5 m per jaar is waargenomen (ref. 18)

2.7 Herkomst van de fijnkorrelige sedimenten in de Waddenzee

Op grond van de overheersende waterbewegingen is het duidelijk dat materiaal vanuit het zuiden in de richting van de Waddenzee wordt getransporteerd. (figuur 4).

Gesuperponeerd op deze slibstroom wordt de bijdrage van de rivieren Rijn en Maas.

Deze slibstroom vanuit het zuiden is aanzienlijk, in het Rotterdamse havengebied omvatten de onderhoudsbaggerwerkzaamheden ongeveer 10×10^6 ton per jaar terwijl de totale afvoer van de Rijn slechts 1/3 hiervan bedraagt.

Met behulp van natuurlijke tracers, natuurlijke verschillen in samenstelling tussen bijvoorbeeld river- en zeeslib, is het mogelijk om de herkomst van slib te bepalen. Afhankelijk van de geochemische omstandigheden kunnen in principe een groot aantal verschillen in samenstelling als tracer worden gebruikt, een overzicht hiervan is gegeven in ref 19.

Voor het Nederlandse kustgebied en de estuaria is gebruik gemaakt van de isotopengeochemie, de mineralogische samenstelling en de multi elementen methode (ref. 20).

De isotopengeochemie is gebaseerd op natuurlijke verschillen in de verhouding van stabiele isotopen van zuurstof (^{16}O en ^{18}O) en van koolstof (^{12}C en ^{13}C) in de individuele bestanddelen waaruit het slib is opgebouwd. Op deze wijze is het mogelijk om de herkomst van de kalk, de organische stof, kleimineralen en kwarts na te gaan.

De mineralogie is gebaseerd op verschillen in mineralogische samenstelling tussen slib van verschillende bronnen. In principe komen in aanmerking verschillen in kleimineralogie. Voor het Nederlands kustgebied was vooral het verschil in dolomietgehalte tussen Rijnslib en Noordzeeslib van belang.

De multi-elementen methode is gebaseerd op natuurlijke verschillen in elementgehalten tussen sedimenten van verschillende herkomst. Bij deze methode wordt vooral gebruik gemaakt van elementen die met behulp van de neutronenactiveringsanalyse worden bepaald. Door toepassing van statistische technieken is het mogelijk om vervolgens de relatieve bijdrage van verschillende bronnen tot de sedimentatie in een bepaald gebied vast te stellen.

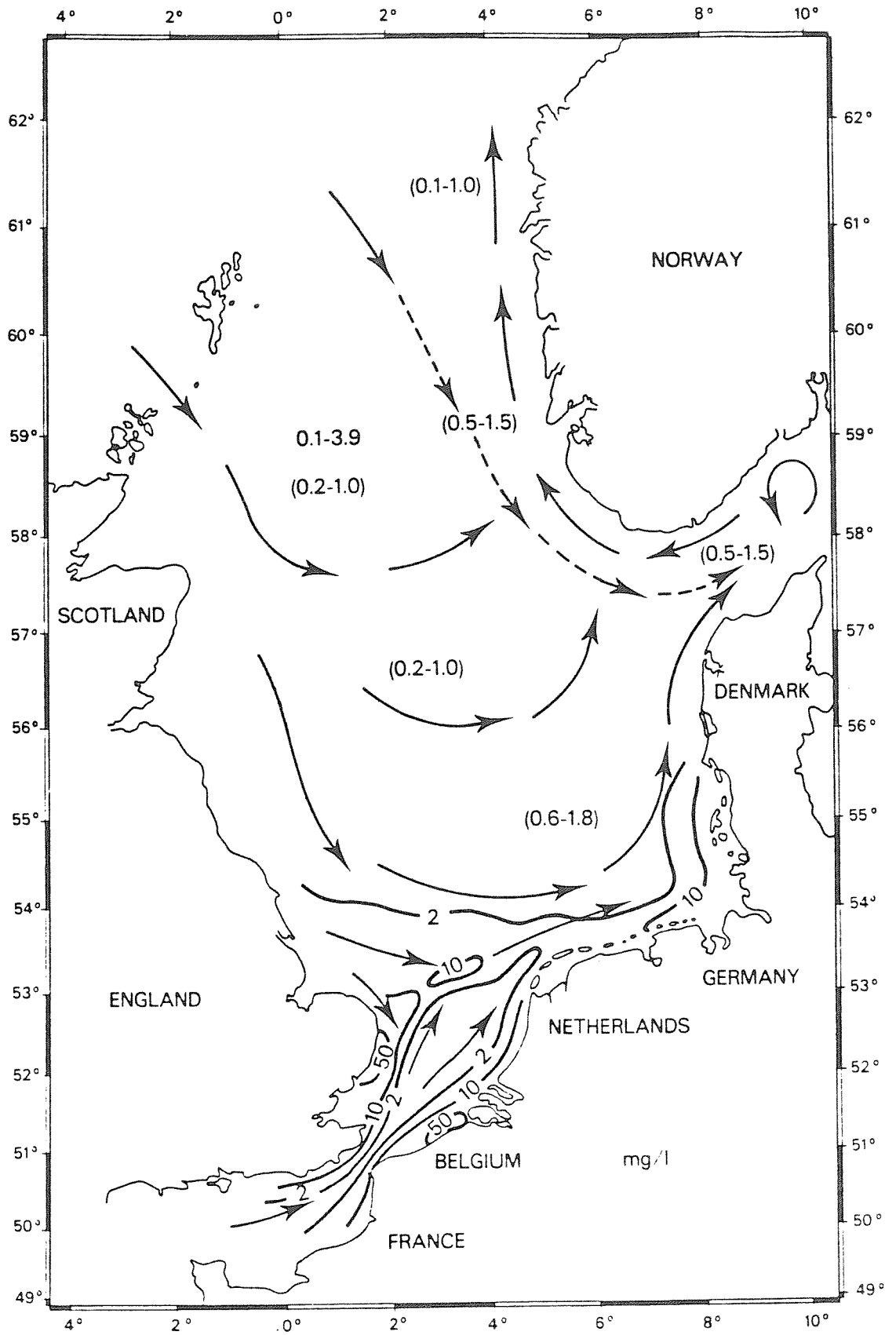
Overzichten over de toepassing van de methoden zijn weergegeven in ref. 13, 22, 23)

Enkele resultaten van onderzoeken die betrekking hebben op het Nederlandse kustgebied zijn weergegeven in tabel 1.

	Ce	Cs	Eu	La	Sc	Ta	Th	Yb	Tb	kalk	Dol	Sr	kalk δ^{13}	klei δ^{18}
Vlaamse Banken	61.7	5.29	0.83	26.3	6.62	0.90	7.48	1.72	0.68	25.7	0.7	1300	+0.3	+20.0
Oosterschelde	57.3	6.04	0.65	24.4	6.93	0.75	6.30	1.45	--	20.5	--	--	+0.2	
Maas	104	8.94	1.83	47.9	11.2	1.09	11.5	2.70	1.26	5.8	0.9	850	-3.3	+15.8
Rijn	86.2	10.7	0.89	37.0	9.00	1.32	8.44	2.04	0.94	16.0	2.1	850	-3.6	+16.6
Friese kust	69.5	6.3	0.75	29.8	7.74	1.03	8.16	1.82	0.81	16.9	1.3	1100	-0.5	+19.8
Groningse kust	72.2	6.68	0.79	29.9	8.21	0.99	8.46	1.87	0.77	11.7	1.3	1100	-0.1	+19.2
Eems	87.8	6.06	1.23	32.0	7.36	0.83	7.21	2.25	--	2.5	0.4	5600	-5.0	+19.8

Tabel 1. Gehalten aan een aantal tracers in sedimenten langs de Nederlandse kust. De gehalten aan de verschillende elementen zijn in ug/g, Dol=dolomiet een carbonaat mineraal, de laatste twee kolommen hebben betrekking op de isotoopsamenstelling van de kalk (koolstof isotoopsamenstelling) en van de klei (zuurstofisotoopsamenstelling) (ref. 20).

Figuur 4. Slibtransportrichtingen langs de kust en gemiddelde slibgehalten (ref 21).



Op grond van beperkt onderzoek naar de herkomst van baggerspecie uit de Rotterdamse haven, bedraagt de bijdrage van de rivier slechts 10 % van de hoeveelheid slib die in een gebied als de Europoort tot afzetting komt, dit laat de grote invloed van de zuidelijke slibstroom op de sedimenttransporten langs de kust zien.

De conclusie van de verschillende traceronderzoekingen was dat de bijdrage van rivierslib aan de slibafzettingen in het Waddengebied varieert tussen 10 en 20 %. Deze conclusie heeft betrekking op de situatie omstreeks 1960, aangezien monstermateriaal uit die periode was onderzocht.

In het kader van dit onderzoekprogramma is een onderzoek uitgevoerd naar de isotoopsamenstelling van de kalk en de organische stof teneinde voor de recente afzettingen inzicht te verkrijgen in de herkomst. De resultaten van de isotoopanalyses staan vermeld in tabel 2.

	Carbonaten		Organische stof	
	%	$\delta^{13}C$	%	$\delta^{13}C$
ZWEVEND SLIB				
Vliestroom	9.6	+0.3	4.3	-21.2
Amel/Schiermon.	9.8	+0.3	8.9	-20.7
Borkum	10.0	+0.2	6.4	-21.6
AFGEZET SLIB				
Balgzand	18.0	+0.1	3.3	-24.7
Afsluitdijk	15.0	+0.2	3.9	-25.0
Vlieland	11.7	+0.3	2.3	-22.2
Harlingen/Zürich	11.0	-0.2	1.0	-24.4
Noorderleeg	16.4	+0.1	3.7	-24.8
Juliana polder	12.3	-0.1	2.7	-22.8
Nederl. Dollard	10.2	-0.1	3.7	-25.2
Schiermonnikoog	9.1	+0.1	1.5	-22.8

Tabel 2. De isotoopsamenstelling van de kalk en de organische stof in recente slibafzettingen in de Waddenzee.

De regionale verschillen in de isotoopsamenstelling van de kalk zijn vrij gering. Vergeleken met de toestand van 1960 (tabel 1) is de isotoopsamenstelling van de kalk verschoven naar meer mariene waarden (geringere rivierbijdrage). Dit kan veroorzaakt zijn doordat het Haringvliet is afgesloten, waardoor minder rivier (land) materiaal de Noordzee bereikt, dit zou ook kunnen impliceren, dat de bijdrage van de Rijn tot de slibafzettingen in de Waddenzee over deze periode is afgenomen. Om dit te kunnen bevestigen is echter een uitvoerig onderzoek, waarbij het oude materiaal en nieuw te nemen monsters in het gehele kustgebied wordt opgenomen, noodzakelijk.

Wel zijn er grote regionale verschillen in de isotoopsamenstelling van de organische stof. In tabel 3 is een overzicht opgenomen van de isotoopsamenstelling van de organische stof in een aantal sedimenten.

	Sources	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$
Organische stof in riviersedimenten	Autochtoon organisch materiaal (bijv. algen productie in de rivier)	-31 +/- 2
	Detritisch organisch materiaal (bijv. erosie van bodems)	-27.5 +/- 1
Organisch materiaal in mariene sedimenten	Rivier organisch materiaal	-27 +/- 2
	Geërodeerd veen	-27.5 +/- 1
	Autochtoon marien organische materiaal (bijv. algen)	-19 +/- 2

Tabel 3. De koolstofisotopensamenstelling van organische materiaal in sedimenten.

De, absoluut, hogere waarden voor het zwevende slib laten een grotere bijdrage van marien organisch materiaal zien dan voor het afgezette slib (tabel 2). Ook zijn de absolute gehalten aan organische stof in het zwevende slib meer dan een factor 2 hoger. De isotoopsamenstelling van marien organische materiaal bedraagt - 20 ‰ of iets lager, de waarden van -21 laten zien dat het zwevende slib nog een bijdrage van land organisch materiaal bevat. Het marien organisch materiaal in het zwevende slib zal overwegend recent marien plankton zijn. Dit recent marien organisch materiaal is niet stabiel en ontleedt na de afzetting van het zwevende slib, waarbij het meer resistente land-organische materiaal overblijft. Dateringen van de organische stof in sedimenten heeft aangetoond dat het afgezette slib inderdaad relatief oude bestanddelen kan bevatten, tevens waren er aanwijzingen dat met een toename in de bijmenging van marien organisch materiaal aan het afgezette slib, de ouderdom afnam. In het afgezette slib wordt bij Vlieland en ter hoogte van Groningen relatief meer marien organisch materiaal aangetroffen.

2.8 Herkomst van metalen in de Waddenzee

Een groot aantal bronnen dragen bij tot een metaaltransport in de richting van de Waddenzee. Vanuit het zuiden worden opgeloste en aan het zwevende slib gebonden metalen in de richting van de Waddenzee getransporteerd. De bronnen die hieraan bijdragen (de atmosfeer wordt behandeld in paragraaf 5.2) zijn:

- materiaal afkomstig vanuit het zuiden (van de kust van België),
- de Schelde
- het Haringvliet
- de Nieuwe Waterweg
- baggerspecie stortingen op loswal Noord
- baggerspecie van IJmuiden
- de afwateringssluizen in de Afsluitdijk
- lokale lozingen, zoals die hebben plaatsgevonden in de Dollard (kwik) en,
- de rivier de Eems.

In tabel 4 is een overzicht opgenomen van deze diverse bronnen.

	Zn	Cu	Cr	Ni	Pb	Cd	As	Hg
Schelde	1270	310	320	128	350	48	104	4.3
Haringvlietsluizen	1381	151	221	214	187	13	62	1.8
Nieuwe Waterweg*	3770	540	890	440	510	40.4	--	5.8
Baggerspecie:								
Loswal Noord *	3150	420	880	280	1080	49.6	--	7.4
Specie IJmuiden (1981)*	1040	110	105	36	300	5.7	--	4.2
Noordzeekanaal*	90	16	16	16	13	0.6	--	0.9
Afsluitdijk	229	41	47	73	38	2.3	18	0.35
Eems/Waddenzee*	130	40	17	37	33	3.8	--	0.3

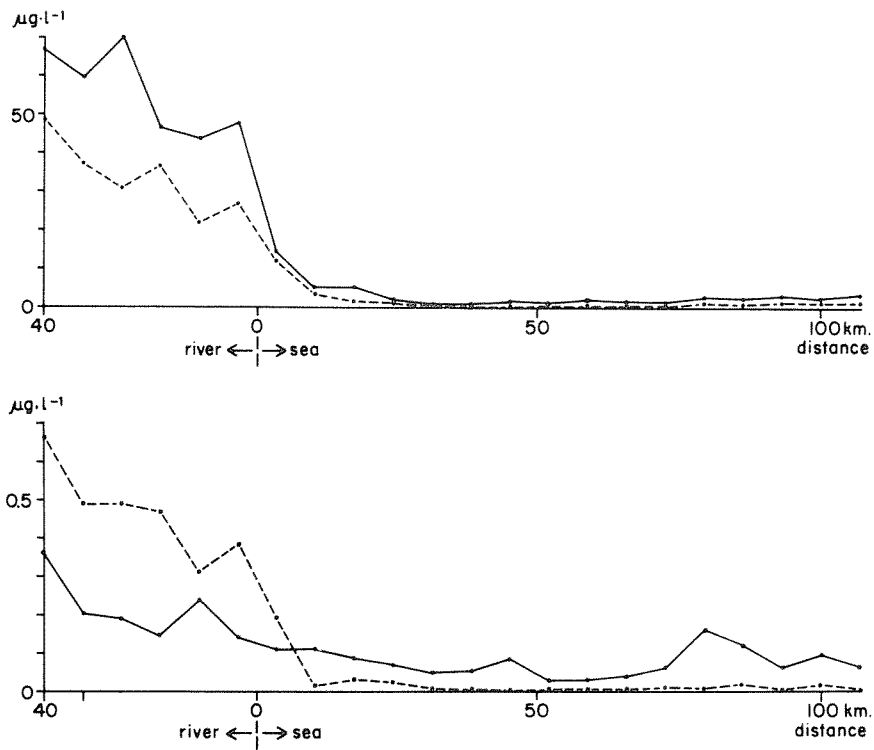
Tabel 4. Metaaltransporten in de richting van de Waddenzee (ton/jaar).

* Gegevens RIZA

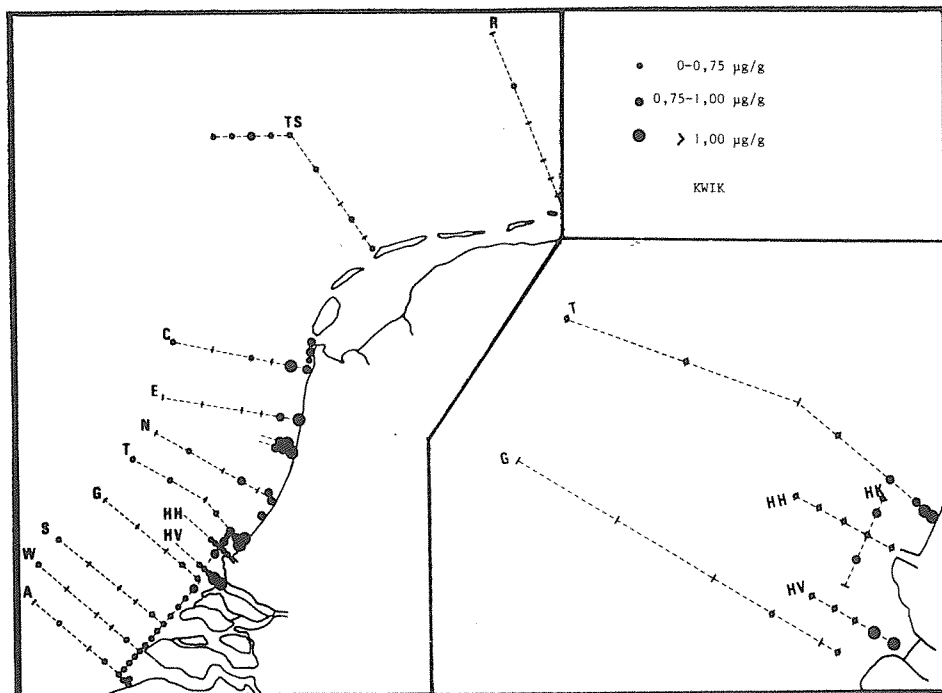
De gegevens over de rivieren in tabel 4 hebben betrekking op totale metaaltransporten, echter in estuaria vindt een belangrijke retentie van zware metalen plaats, de werkelijke transporten in richting van de Noordzee, zullen voor de rivieren lager zijn. Voor de Rijn wordt geschat dat 30 % tot 50 % via de Nieuwe Waterweg de Noordzee bereikt. De gegevens over de baggerstortingen hebben betrekking op de totale hoeveelheid, echter de baggerspecie is voor een deel afkomstig van de Noordzee, van de hoeveelheid metaal die wordt gestort was een deel reeds aanwezig op de Noordzee, hiervoor is niet gecorrigeerd.

Het transport van de metalen zowel in opgeloste vorm als gebonden aan het slib vindt plaats in een nauwe zone langs de Nederlandse kust. Dit blijkt zeer duidelijk uit het verloop van de opgeloste zinkgehalten in een raai op de Nederlandse kust, die loopt van de Nieuwe Waterweg tot midden op de Noordzee (figuur 5).

Dit transport in een nauwe zone uit de kust blijkt ook uit de metaalgehalten in de afgezette sedimenten (figuur 6). De metaalgehalten, waarvoor als voorbeeld zink is genomen, zijn tot een afstand van ongeveer 50 km uit de kust verhoogd, op grotere afstanden zijn de gehalten gelijk aan sedimenten die ten zuiden van de Rijn en de Maas tot afzetting komen. Deze figuur laat ook de geringe invloed van een rivier als de Schelde op de sedimentsamenstelling in het Zuid-Westelijk deltagebied zien.



Figuur 5. Zink en cadmium gehalten in een raai op de Nederlandse kust (Ref. 30)
 De getrokken lijn zijn de opgeloste gehalten, de gestippelde lijn de gehalten gebonden aan het zwevende slib.

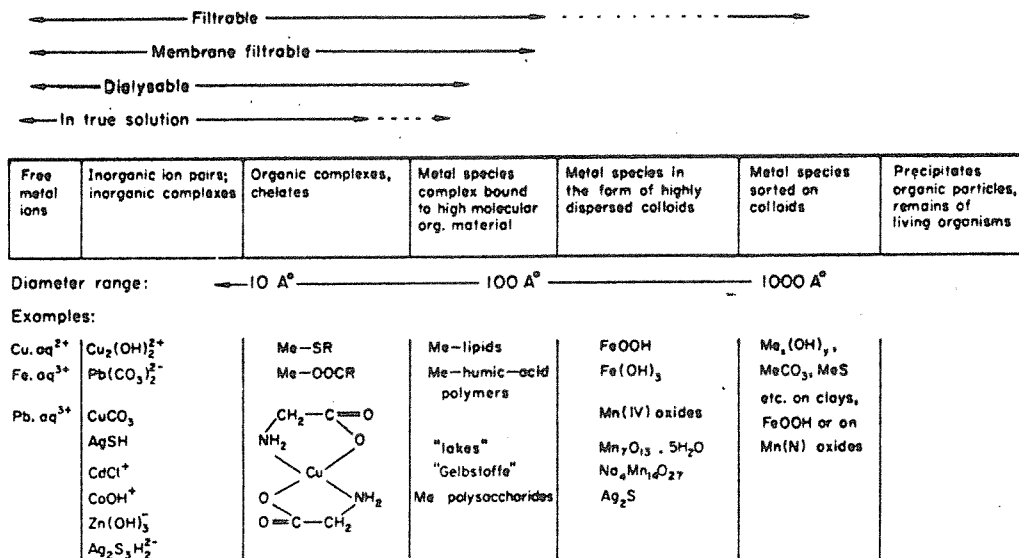


Figuur 6. Gehalten aan zink in bodemsedimenten voor de Nederlandse kust (ref. 25)

Op grond van de slib- en waterbewegingen langs de kust (zie figuur 4) kan worden geconcludeerd dat vooral het westelijk deel van de Waddenzee onder de directe invloed staat van materiaal dat langs de kust wordt getransporteerd. Een tweede bron voor de Westelijke Waddenzee zijn de uitwateringssluizen in de Afsluitdijk. Hoewel in bekkens gevoed door rivieren een belangrijke retentie aan metalen optreedt, is het IJsselmeer desondanks een niet onaanzienlijke (lokale) bron voor metalen in de Westelijke Waddenzee. Tijdens transport in oostelijke richting over de Waddenzee zal in toenemende mate minder verontreinigd marien slib worden toegevoegd. Drie rivieren, de Eems, Weser en Elbe, komen direct in het Waddengebied uit en kunnen de metaalgehalten beïnvloeden.

2.9 Voorkomen van zware metalen en fosfor in het aquatische milieu

Zware metalen komen op een groot aantal manieren gebonden aan het slib en in het oppervlaktewater voor. Een indeling naar deeltjesgrootte is weergegeven in figuur 7.

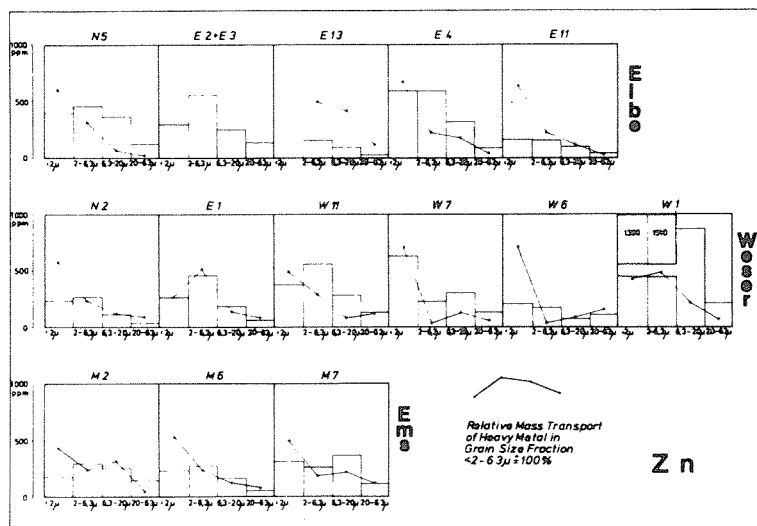
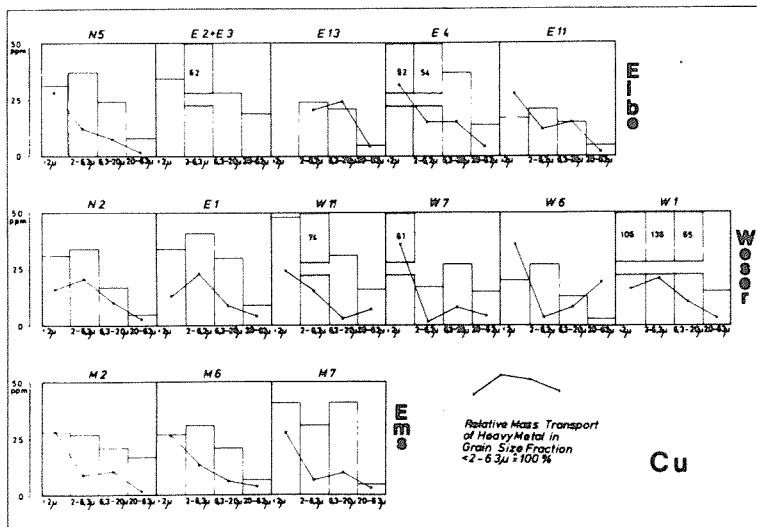
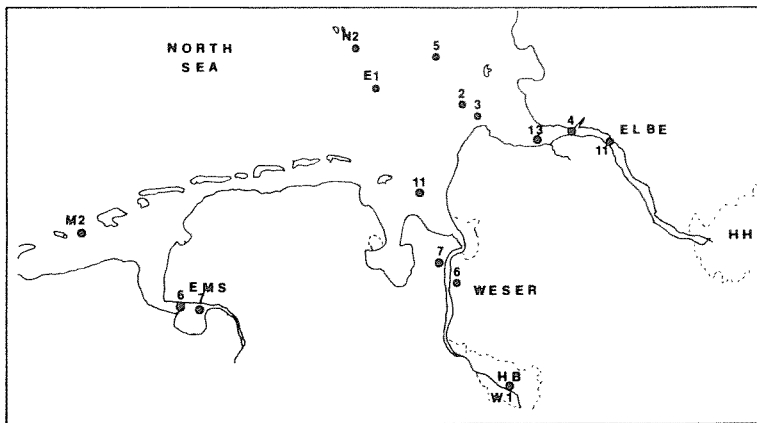


Figuur 7. Indeling van metalen in het oppervlaktewater naar deeltjesgrootte (ref. 26)

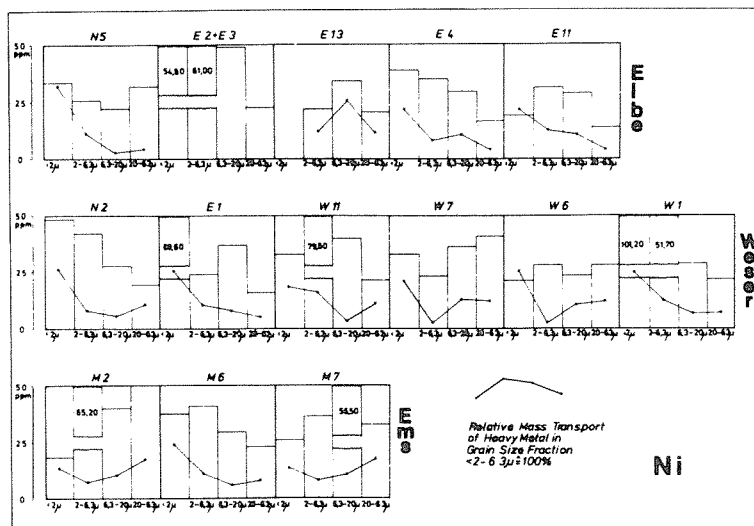
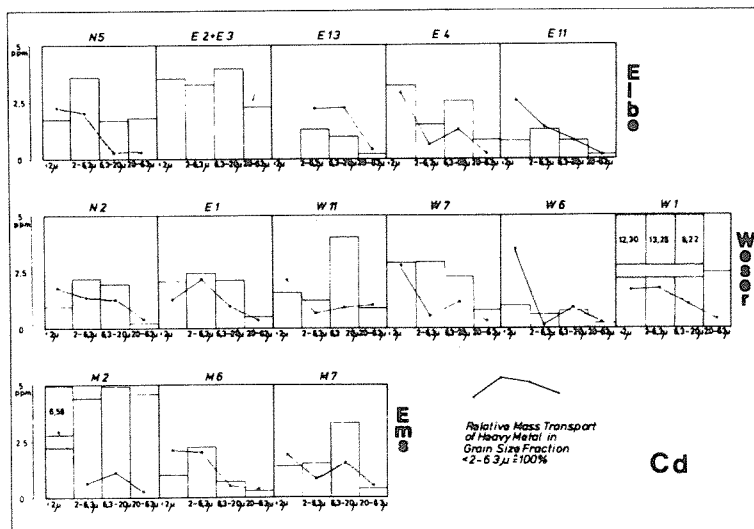
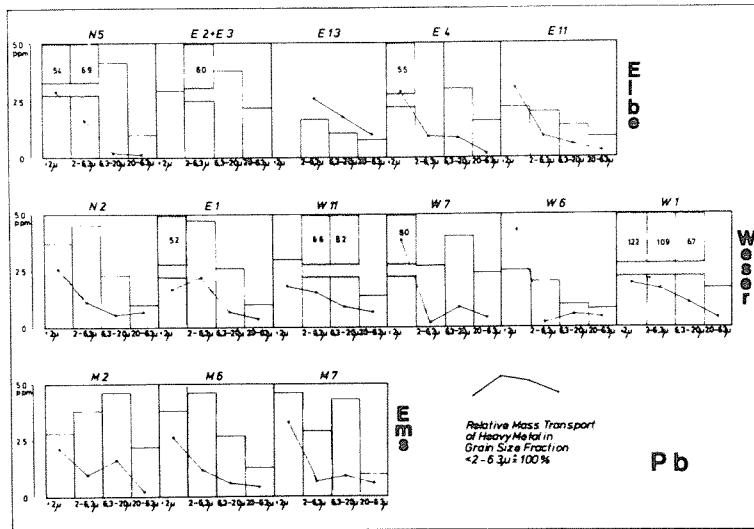
Tussen de verschillende fracties bestaan interacties, die bij wijzigingen in de chemische parameters (bijv. na afzetting van sedimenten) aanleiding geven tot sterke verschuivingen van de metalen over de deeltjesgrootteklassen; de aangegeven grenzen in figuur 7 zijn dan ook vloeïend.

Ook in de sedimentfractie ($> 0.45 \mu m$), zijn de metalen niet homogeen verdeeld over de korrelgroottefracties. Recentelijk is een uitvoerig onderzoek uitgevoerd naar het voorkomen van een aantal zware metalen in deeltjesgrootte fracties van sedimenten in het Duitse Waddengebied (Eems, Weser, Elbe estuaria en de Duitse Bocht (ref. 27). Enkele resultaten van dit onderzoek zijn weergegeven in figuur 8 en 9, samen met een overzichtskaart van de bemonsterde lokaties. De absolute gehalten in de onderscheiden korrelgroottefracties zijn weergegeven als staafdiagrammen, terwijl met een getrokken lijn de bijdrage van de fracties (het gehalte in de fractie X het gehalte aan de fractie in het sedimentmonster) aan het totale sedimentmonster is aangegeven.

Figuur 8. Monsterlokaties en de gehalten aan koper en zink in korrelgroottefracties van afgezette sedimenten (ref 27)



Figuur 9. De gehalten aan lood, cadmium en nikkel in korrelgroottefracties van afgezette sedimenten. Voor de lokaties zie figuur 8.



De hoogste metaalgehalten worden gevonden in de fractie van 2-6.3 μm , terwijl de grootste bijdrage aan de gehalten in het sediment worden geleverd door de fractie $< 2 \mu\text{m}$. Gemiddeld zijn de gehalten in de fractie $< 2 \mu\text{m}$ een factor 3 tot 10 hoger dan in de grove siltfractie (20-63 μm).

Binnen deze korrelgroottefracties en in het sediment als geheel zijn de metalen op een aantal manieren chemisch gebonden aan de slibdeeltjes.

In principe zijn metalen aanwezig in alle minerale componenten weergegeven in figuur 2; ingebouwd in de minerale roosters danwel geadsorbeerd/geprecipiteerd aan de buitenkant van de deeltjes. Niet al deze metaalfracties nemen deel aan geochemische processen en/of zijn biologisch beschikbaar. Een indeling van sedimentfracties naar hun biologische beschikbaarheid is weergegeven in tabel 5.

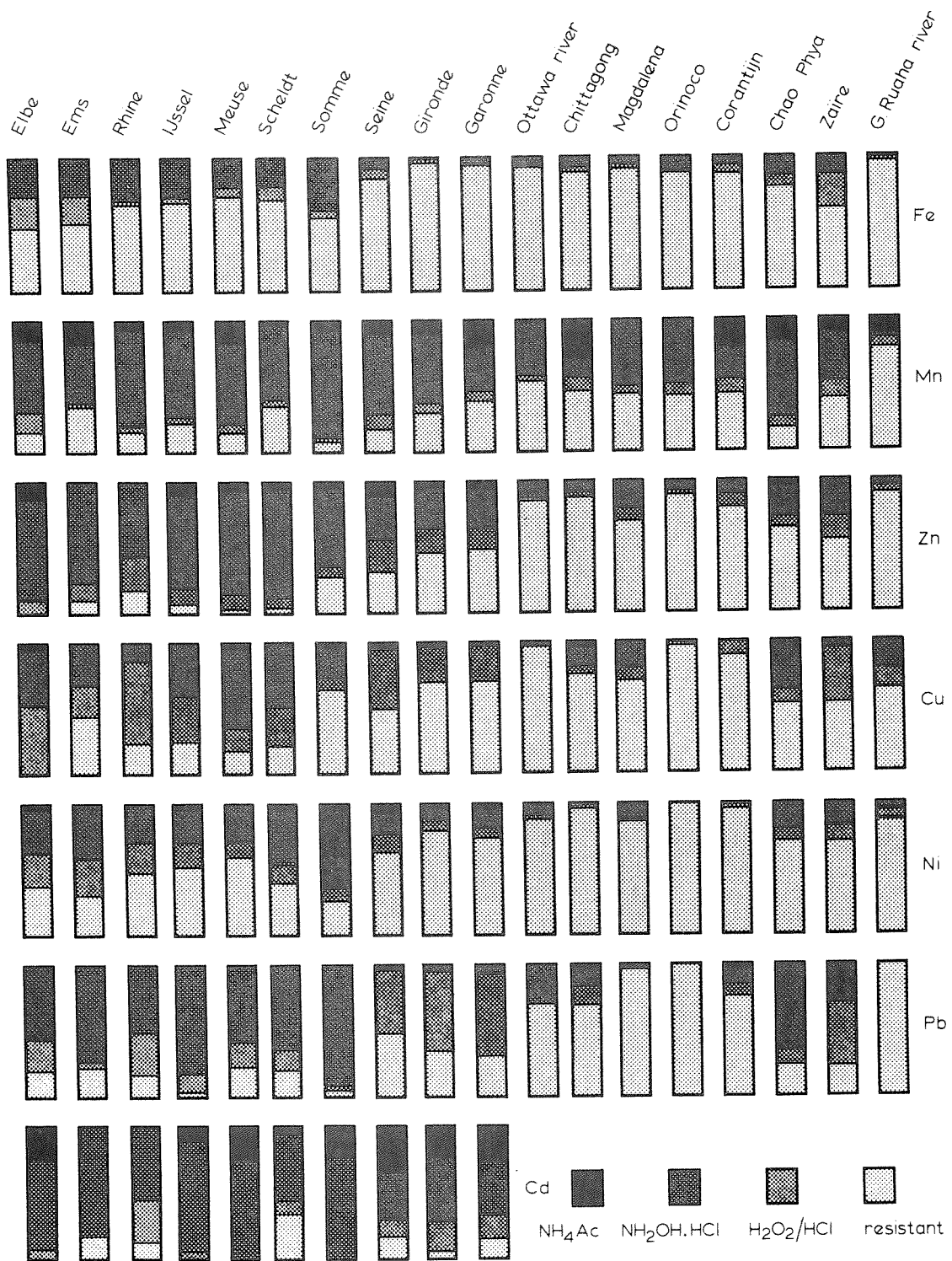
BINDINGSVORM	BESCHIKBAARHEID	OPNAME DOOR ORGANISMEN
Vrije ionen en/of anorganische verbindingen in oppervlakte/poriënwater	-----gemakkelijk beschikbaar----->	Passieve/actieve binding aan celwanden/oppervlakten/
Uitwisselbare ionen in anorganische of organische uitwisselcomplexen	-----beschikbaar----->	translocatie in het lichaam of cel
Complexen of chelaten met organisch materiaal	-----minder beschikbaar----->	
Metaalprecipitaten en co-precipitaten met ijzer- mangaanhydroxiden en carbonaten	----beschikbaar na wijzingen in de -----> in de chemische omgeving	Opname als voedsel, via vertering
Metalen in vast organisch materiaal	-----beschikbaar na ontleding----->	adsorptie en binding aan weefsels en organen
Metalen in mineraalroosters	-----beschikbaar na verwerking----->	

Tabel 5. Overzicht van de wijze van voorkomen van metalen in sedimenten en hun biologische beschikbaarheid (ref 28).

Om de geochemische processen die optreden na de sedimentatie en die van invloed zijn op de biologische beschikbaarheid van de metalen te kunnen beschrijven is het gewenst om over inzicht te beschikken in hun wijze van voorkomen.

De lage concentraties aan metalen in de sedimenten maken het niet mogelijk om direct technieken als röntgendiffractie toe te passen. Men is aangewezen op indirecte technieken, waaronder chemische extractiemethoden momenteel een belangrijke rol spelen. Hierbij wordt door extractie met een min of meer selectief extractiemiddel één van de klassen van verbindingen die bijdragen tot de binding van metalen geëxtraheerd. Bij het onderzoek aan sedimenten is vooral gebruik gemaakt van het volgende sequentiële extractieschema:

- Metalen, die geëxtraheerd worden met ammoniumacetaat (pH=7). Met dit extractiemiddel komen metalen vrij, die grotendeels op adsorptieve wijze zijn gebonden aan het slib (uitwisselbare fractie).



Figuur 10. Wijze van voorkomen van zware metalen in riviersedimenten (ref. 29).

- Metalen, die geëxtraheerd worden met hydroxylamine-HCL bij een pH van ongeveer 2. In deze klasse komen metalen voor die geassocieerd zijn met mangaanhydroxiden, carbonaten en tendele met ijzerhydroxiden (gemakkelijke reduceerbare fractie).

- Metalen, die geëxtraheerd worden met een waterstofperoxide oplossing (30 %) bij een pH van ongeveer 2.5. Door de waterstofperoxide wordt de in het sediment aanwezige organische stof gedestruëerd. In deze klasse komen metalen voor, die geassocieerd zijn met de organische stof (organische fractie)

- Metalen die geëxtraheerd worden met het sterke reductie middel natrium-dithioniet (matig reduceerbare fractie).

- Metalen, die niet met bovengenoemde extractiemiddelen worden geëxtraheerd. Deze fractie van de metalen is zeer stevig aan het slib gebonden (restfractie).

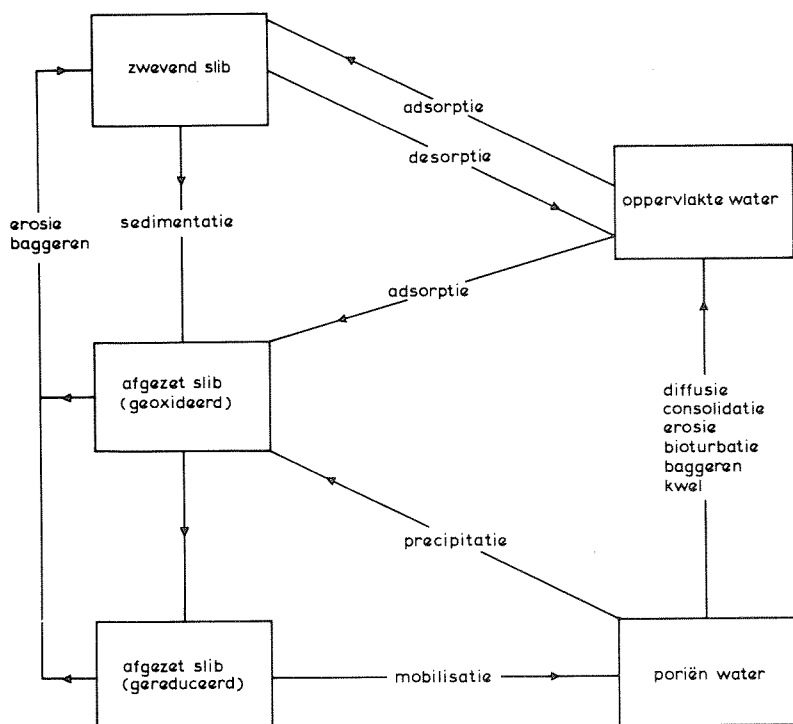
In een aantal gevallen wordt de matig reduceerbare fractie uit het schema weggelaten, aangezien maar een gering deel van de metalen hierin gebonden is. De 2^e, 3^e en de 5^e extractie zijn het recent voorgestelde "standaard extractie schema" (ref. 29).

Enkele resultaten van dit type onderzoek voor een aantal riviersystemen is weergegeven in figuur 10.

In riviersedimenten draagt vooral de gemakkelijk reduceerbare fase bij tot de binding van Zn, Cd, Ni en in een aantal gevallen voor lood. De organische fractie is vooral van belang voor koper en bij een aantal rivieren voor lood. Tevens blijkt dat in de minder vervuilde rivieren uit de tropen de restfractie belangrijk is.

2.10 Dynamiek van metalen in sedimentaire systemen

In het Waddengebied nemen de metalen deel aan interne cycli. Hierbij spelen de afgezette sedimenten een belangrijke rol.



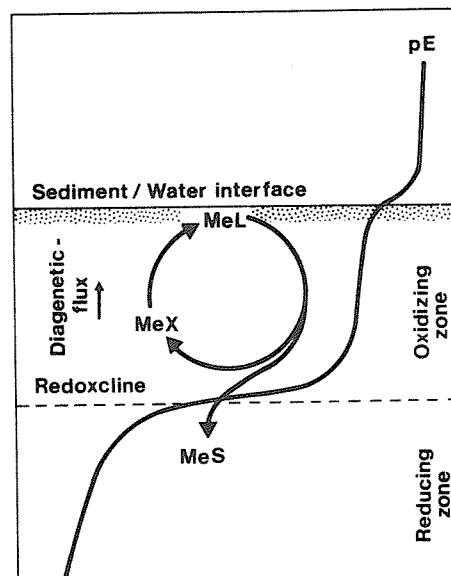
Figuur 11. Schema van interne metaalcycli in de Waddenzee.

Na de afzetting van sedimenten treden reducerende omstandigheden op, die gepaard gaan met een afgifte van metalen aan het porienwater. Door diffusie, bioturbatie en erosie kunnen deze vrijgemaakte metalen in het oppervlaktewater terecht komen. Schattingen over dit proces zijn moeilijk te maken door de afwezigheid van gepubliceerde gegevens over de metaal-samenstelling van porienwater in de Waddenzee. Op beperkte schaal is in het verleden onderzoek verricht in de Dollard door het Waterloopkundig Laboratorium. Dit onderzoek had vooral tot doel de dynamiek van fosfaat onder mariene omstandigheden te bestuderen. Enkele resultaten staan weergegeven in tabel 6.

	ammonia mg/l	Zn ug/l	Cu ug/l	Mn mg/l	Fe mg/l
Duitse Dollard					
2-10 cm	3.3	130	3	1.71	1.71
10-18 cm	6.2	88	3	1.41	0.66
18-26 cm	7.5	52	10	1.89	0.06
26-35 cm	10.5	20	9	2.35	0.05

Tabel 6. Enkele resultaten naar onderzoek van metaalgehalten in porienwater in de Waddenzee.

De resultaten laten zien dat de gehalten in het porienwater verhoogd kunnen zijn t.o.v het oppervlaktewater, met name in de top laag. Dit verschijnsel is ook gevonden voor mariene sedimenten in de V.S. (Narrangansett Bay) (ref. 30). Ter verklaring van metaalgehalten in porienwater is door Hallberg (ref. 31, 32) een dynamische theorie opgesteld. De essentie van deze theorie is weergegeven in figuur 12.



Figuur 12. Dynamiek van zware metalen in sedimenten (Ref. 32).

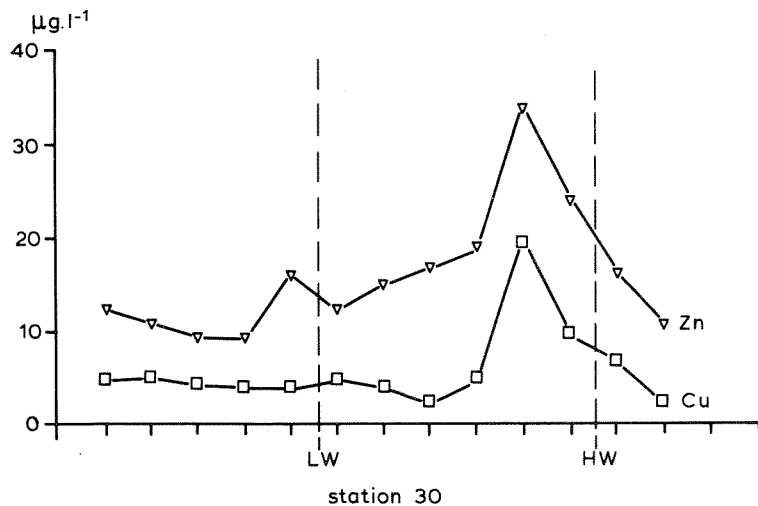
De theorie berust op competitie tussen de productie van H_2S (door sulfaat-reductie) en de ontledings producten van de organische stof. In het eerste geval worden ze als onoplosbare sulfiden vastgelegd in het tweede geval als oplosbare metaalcomplexen in oplossing gehouden. De productie van H_2S en van organische componenten verloopt niet gelijk op, zoals ook gebleken is uit het Oost-Voornse Meer onderzoek (ref. 33), de sulfaatreductie komt pas na enige tijd op gang, terwijl de ontleding van de organische stof vrij snel na de afzetting optreedt. Beide diffunderen vanuit de gereduceerde laag naar de geoxideerde laag. Deze opwaartse stroom wordt nog versterkt door de consolidatie van het slib, waarbij poriënwater wordt uitgedreven. Is de diffusiesnelheid van de organische complexerende stoffen groter dan die van H_2S dan kan gecomplexerd metaal vanuit de gereduceerde zone in de geoxideerde zone terechtkomen. Bij hernieuwde sedimentatie en loskoppeling van metalen in de toplaag worden ze vrij snel gecomplexerd door de opgeloste organische stof die vanuit de gereduceerde laag naar boven diffundeert en tevens in de toplaag bij de ontleding van de meegesedimenteerde organische stof ontstaat. Op deze wijze groeit de met opgeloste metalen verrijkte toplaag met de sedimentatie naar boven.

In de gereduceerde sedimentlaag komen hoge gehalten aan ijzer en mangaan in de tweewaardige vorm voor. Door het opwaartse transport (diffusie en consolidatie) komen deze in de zuurstofrijke bovenlaag, waar een gedeeltelijke precipitatie optreedt. De oxidatie van gereduceerd mangaan verloopt langzamer dan voor ijzer, en het is niet uitgesloten dat een deel van het mangaan uit het sediment naar het bovenstaande water ontsnapt. Op deze wijze ontstaat een sterk in mangaan en ijzer verrijkte bovenlaag. Deze vers geprecipiteerde ijzer en mangaanhydroxiden zijn in staat om andere zware metalen door adsorptie en/of coprecipitatie vast te leggen. Voor fosfaat is dit onder mariene omstandigheden een belangrijk proces (ref. 34). Ook kan de geoxideerde toplaag van sedimenten fungeren als een chemische barrière voor sommige metalen tegen het vrijkomen van metalen uit de afgezette sedimenten en verhinderen dat (althans tendele) de samenstelling van het oppervlaktewater hierdoor wordt beïnvloed.

Bij hernieuwde sedimentatie komt deze verrijkte bovenlaag onder reducerende omstandigheden, waardoor weer een afgifte aan het poriënwater optreedt, de vrijgekomen elementen verplaatsen zich weer in opwaartse richting en precipiteren in de nieuwe toplaag van het sediment. Op deze wijze "groeit" de verrijkte bovenlaag tijdens de sedimentatie mee omhoog.

Verhoogde gehalten aan metalen in poriënwater van afgezette sedimenten impliceren niet dat in alle gevallen een beïnvloeding van het oppervlaktewater op zal treden. Er zijn sterke aanwijzingen dat dit wel kan optreden als het metaal complexgebonden in het poriënwater voorkomt. In het veld is een afgifte van koper uit sedimenten gevonden voor oceaansedimenten en voor de Oostzee (ref. 19, 35).

Naast deze langzame processen (diffusie, bioturbatie, consolidatie) waarbij poriënwater vrijkomt, kan het ook vrijkomen bij snelle processen. Onder deze snelle processen valt de erosie van afgezette sedimenten tijdens storm. In een ondiep bekken als de Waddenzee blijkt dit aanleiding te kunnen geven tot tijdelijk verhoogde gehalten aan metalen (ref. 36). Als voorbeeld is in figuur 13, het resultaat van een getijmeting in de Waddenzee zien. Hoge concentraties aan opgelost koper en zink worden gevonden bij maximale stroomsterkte, deze worden toegeschreven aan erosie van bodemsedimenten en het hierbij vrijkomen van poriënwater.



Figuur 13. Opgeloste gehalten aan koper en zink tijdens een getijmeting in de Waddenzee.

Ook bij de snelle processen, de erosie van afgezette sedimenten en het plotseling vrijkomen van poriënwater is het niet uitgesloten dat de verhoging tijdelijk is. Immers de vrijgekomen metalen zullen niet stabiel zijn in het zuurstofrijke oppervlaktewater, en na verloop van tijd zullen deze (althans tendele) weer aan het sediment adsorberen. Een element als cadmium vormt echter met chloride ionen vrij sterke complexen, tevens zullen de metalen in het poriënwater tendele als organische complexen voorkomen, het valt dan ook niet uit te sluiten, dat deze metaal-complexen niet weer aan het slib adsorberen. Een dergelijk mechanisme, van sedimentatie afgewisseld met erosie, kan aanleiding geven tot een daling in de metaalgehalten van sedimenten tijdens transport over de Waddenzee. Onderzoekingen over de afgifte van metalen uit gereduceerde sedimenten aan zeewater hebben laten zien, dat voor cadmium een blijvende mobilisatie kan optreden (ref. 37).

Over het algemeen kan worden gesteld dat niet alleen in de Waddenzee maar ook voor andere kustgebieden de sedimenten een belangrijke rol spelen als een permanent reservoir aan metalen, dat niet alleen van invloed is op benthische organismen maar ook de kwaliteit van het oppervlaktewater kan beïnvloeden. Echter, kwantitatieve kennis over de processen waaraan zware metalen na de afzetting onderhevig zijn en de beïnvloeding van het oppervlaktewater door deze processen is nog een grotendeels onbekend terrein.

3 Het Onderzoek

In 1980 werd aansluitend op het Hg-onderzoek (ref. 38) in de Dollard, in overleg met het RIZA, een begin gemaakt met de bemonstering langs de Waddenkust. Na opdrachtverlening in 1981 is op verzoek van het RIZA deze tendele bemonstering herhaald. De monsters genomen in 1980 zijn voor eigen rekening geanalyseerd op zware metalen. De resultaten van deze bemonstering zijn ook in dit rapport opgenomen. Tevens zijn in dit rapport opgenomen resultaten van eigen onderzoek naar de sedimentsamenstelling op een tweetal lokaties bij Texel en tevens de resultaten van het ijzer, mangaan en fosfor onderzoek. Resultaten van een lopend onderzoek naar de metaalgehalten in de Eems en langs een deel van de Duitse Waddenkust zijn voor zover beschikbaar en/of relevant ook in dit rapport opgenomen.

3.1 Monstername

De monstername van het afgezette slib werd in de periode van augustus t/m september 1981 uitgevoerd. Op de lokaties die vanaf de wal waren te bereiken zijn boven de laagwaterlijn per lokatie 16 monsters genomen. Aangezien in de toplaag verrijkingen voor bepaalde elementen kunnen optreden (zie paragraaf 2.10 werd de laag van 0.5-1.5 cm bemonsterd. Op de overige lokaties is de bemonstering vanaf een schip uitgevoerd. Sedimentmonsters zijn met een van Veen grijper verzameld, waarbij ook de laag van 0.5 tot 1.5 cm werd bemonsterd.

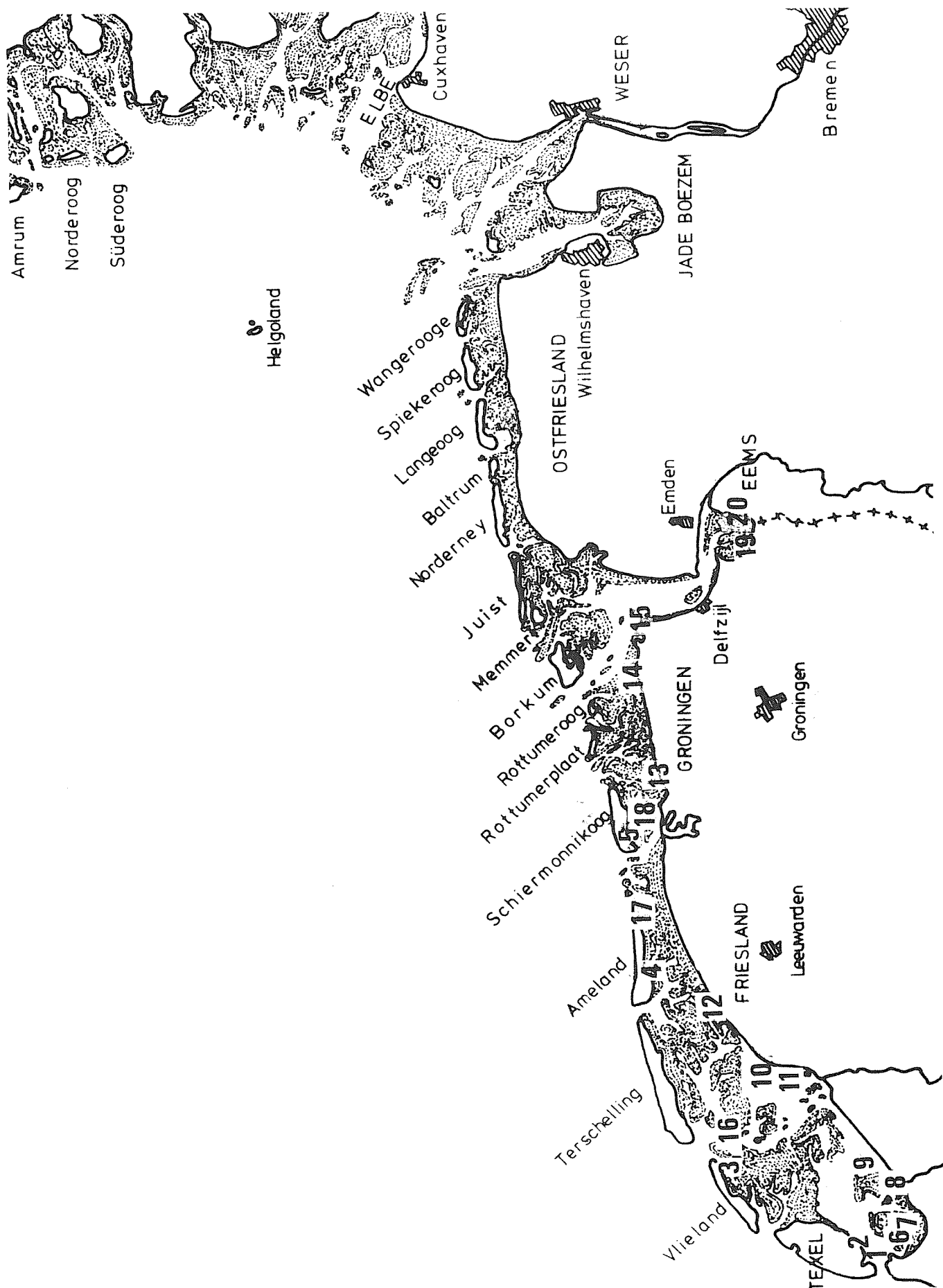
Zwevend slib werd verzameld met een doorstroom centrifuge (gecoat met teflon) gedurende een periode van 13 uur (bemonsteringen elk uur) in het Marsdiep op 25-8-1981. In de Vliestroom (27-8-1981), ter hoogte van Borkum (8-9-1981) en tussen Ameland en Schiermonnikoog (10-9-1981) werden gedurende 4 1/2 uur bij opkomend en afgaand water een mengmonster van het zwevende slib verzameld. Alle monsters werden direkt ingevroren en na vriesdrogen geanalyseerd op Zn, Cu, Cr, Ni, Pb, Cd, Hg, As, en Al. Watermonsters zijn genomen op 24 augustus in het Marsdiep en op 16 februari 1982 ter hoogte van Borkum. Deze monsters zijn in het laboratorium in 6 fracties verdeeld en geanalyseerd op Zn, Cu, Pb, Cd en Ni.

3.2 Analysemethoden

Voor de bepaling van Zn, Cu, Cr en Ni wordt het monster ontsloten door destructie met geconcentreerd H_2SO_4 , HNO_3 en $HClO_4$. Zink, koper en chroom worden in deze extracten met vlam-AAS bepaald (analyselijnen resp. 213.6; 325.0 en 359.6 nm). Nikkel wordt gecomplexeerd met NaDDC (pH 7) en geëxtraheerd met MIBK. Nikkel wordt met vlam-AAS in het MIBK-extract bepaald (analyselijne 232.0 nm).

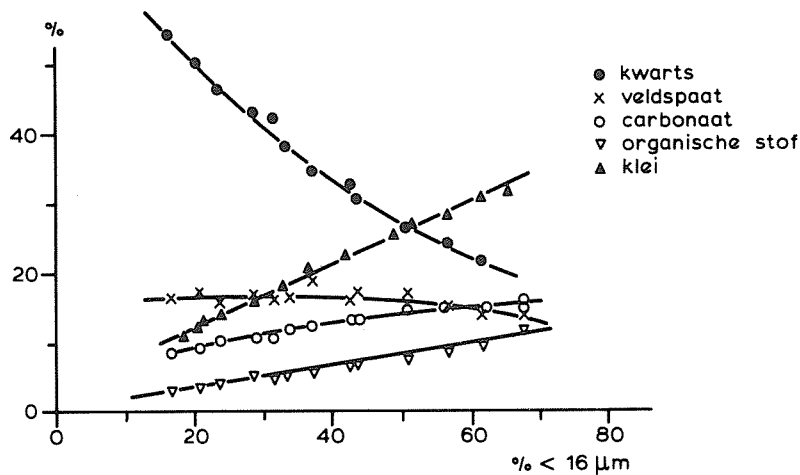
Lood, cadmium, worden vrijgemaakt door destructie met geconcentreerd HNO_3 op een waterbad. Het destruaat wordt vervolgens opgenomen in HCL. Lood en cadmium worden gecomplexeerd met Na-DDC (pH 7) en geëxtraheerd met MIBK. De metalen worden met vlam-AAS in het MIBK-extract bepaald (Analyselijnen resp. 283.3 en 228.8 nm).

Figuur 14. Monsterlokaties van het afgezette sediment.
 (voor de lokaties zie tabel 50)



3.3 Verwerking van de resultaten: correctie voor deeltjesgrootte-effecten.

Het metaalgehalte van sedimenten en zwevend slib wordt in sterke mate bepaald door de deeltjesgrootte opbouw (ref 19). Teneinde trends in de vervuiling aan te kunnen geven en/of gebieden qua belasting met elkaar te vergelijken is het noodzakelijk hiervoor te corrigeren. Een groot aantal methoden worden gebruikt voor deze correctie (ref. 19, 39). In het verleden is bij het sediment-onderzoek gebruik gemaakt van de lineaire correlatie tussen metaalgehalten en het % < 16 μm in sedimentmonsters van één lokatie. Hierbij worden op één lokatie een 10-15 monsters genomen die alle worden geanalyseerd op metalen en het % aan deeltjes kleiner dan 16 μm . Het % aan deeltjes < 16 μm is voor de Nederlandse sedimenten een vrij goede maat voor de korrelgrootteverdeling, aangezien de verschillende componenten in het sediment nauw correleren met het % < 16 μm (zie figuur 15).

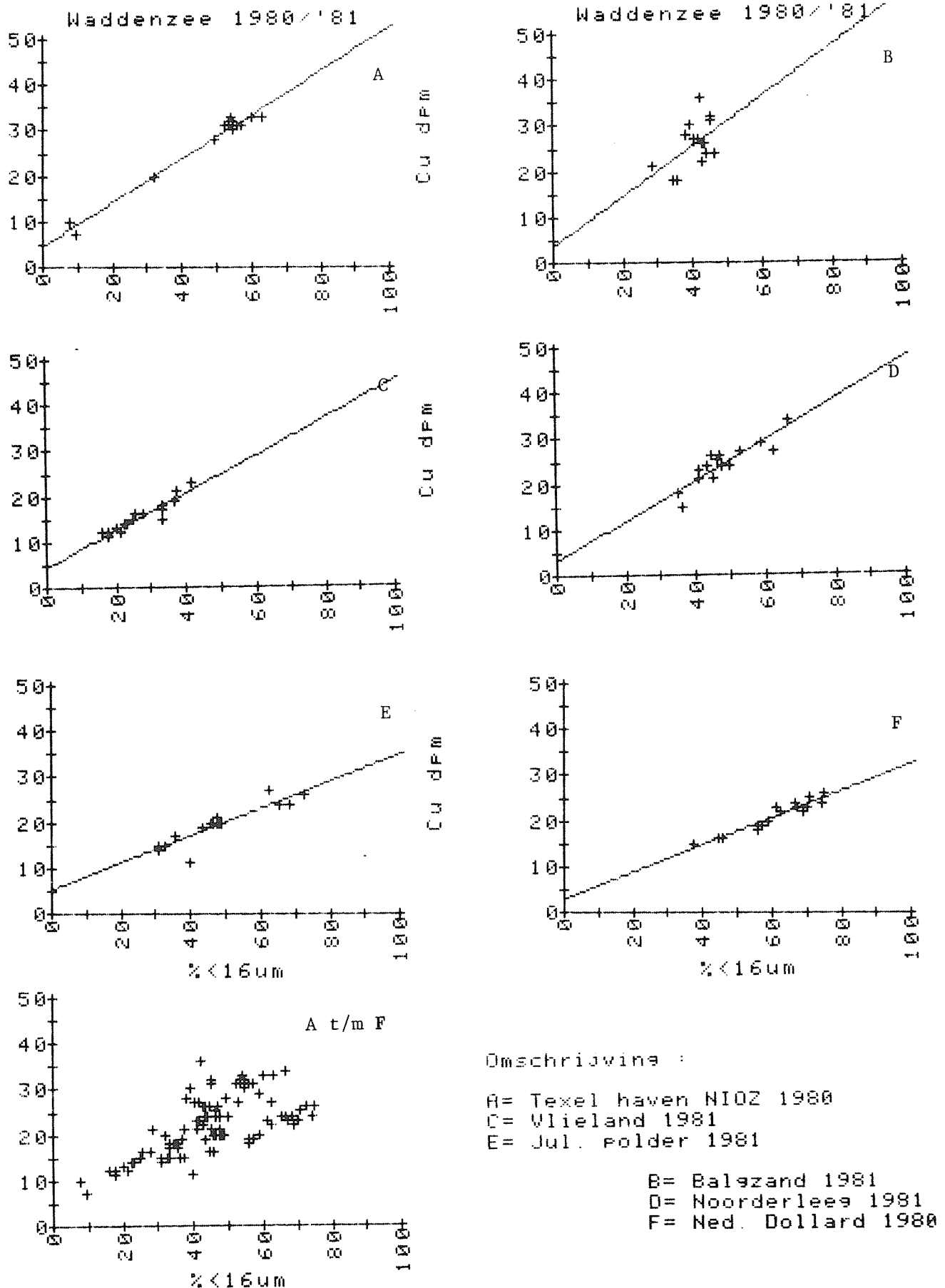


Figuur 15. Relatie tussen korrelgroottefracties en de mineralogische opbouw van sedimenten met het % < 16 μm .

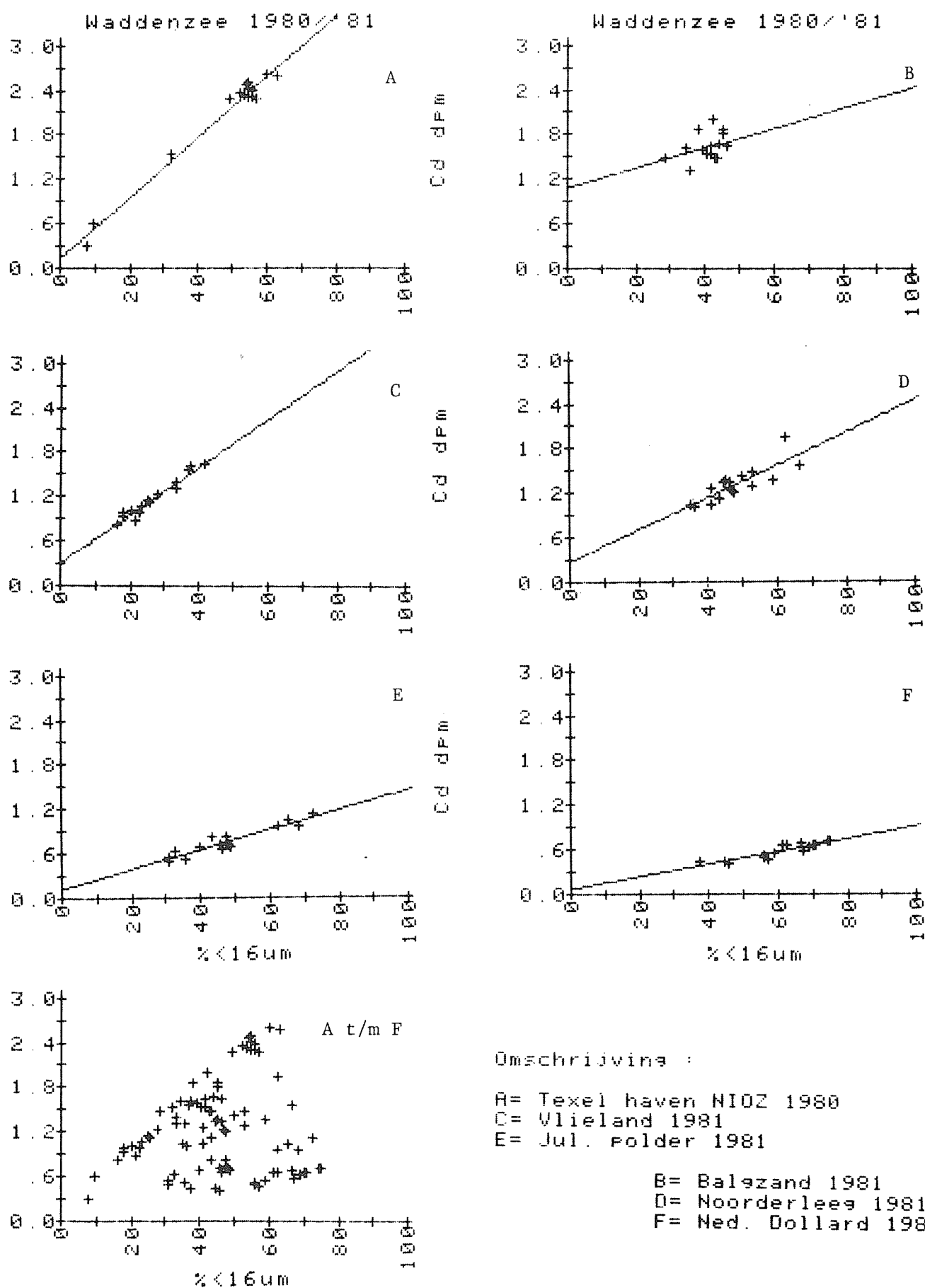
Als voorbeeld van de toepassing van dergelijke correlaties zijn in de figuren 16 en 17 dergelijke correlaties voor koper (kleine regionale verschillen) en cadmium (grote regionale verschillen) in de Waddenzee weergegeven. Worden alle monsters uit het Waddengebied samengenomen, dan wordt een zeer diffuus beeld gevonden voor koper maar nog in sterkere mate voor cadmium, waarvoor de regionale verschillen aanzienlijk groter zijn. Per gebied worden echter duidelijke verbanden gevonden. Dit valt zeer goed af te lezen uit de veranderende hellingshoek voor cadmium.

Om de gebieden onderling te kunnen vergelijken, danwel trends in de tijd te kunnen waarnemen is het gehalte aan metaal bij 50 % < 16 μm gebruikt.

Figuur 16. De relatie tussen het kopergehalte en het % < 16 um in sedimentmonsters van de Waddenzee



Figuur 17. De relatie tussen het cadmiumgehalte en het % < 16 um in sedimentmonsters van de Waddenzee.



4 Resultaten van het onderzoek

4.1 Gehalten aan metalen in het zwevende slib

Op een viertal lokaties zijn monsters van het zwevende slib genomen:

- tussen Den Helder en Texel
- Tussen Vlieland en Terschelling
- Tussen Ameland en Schiermonnikoog
- Tussen Rottum en Borkum

Op de lokatie tussen Den Helder en Texel is een 13-uurs meting uitgevoerd, terwijl op de andere lokaties een mengmonster werd genomen bij opgaand en afgaand tij (een monster werd verzameld over een period van 4 1/2 uur).

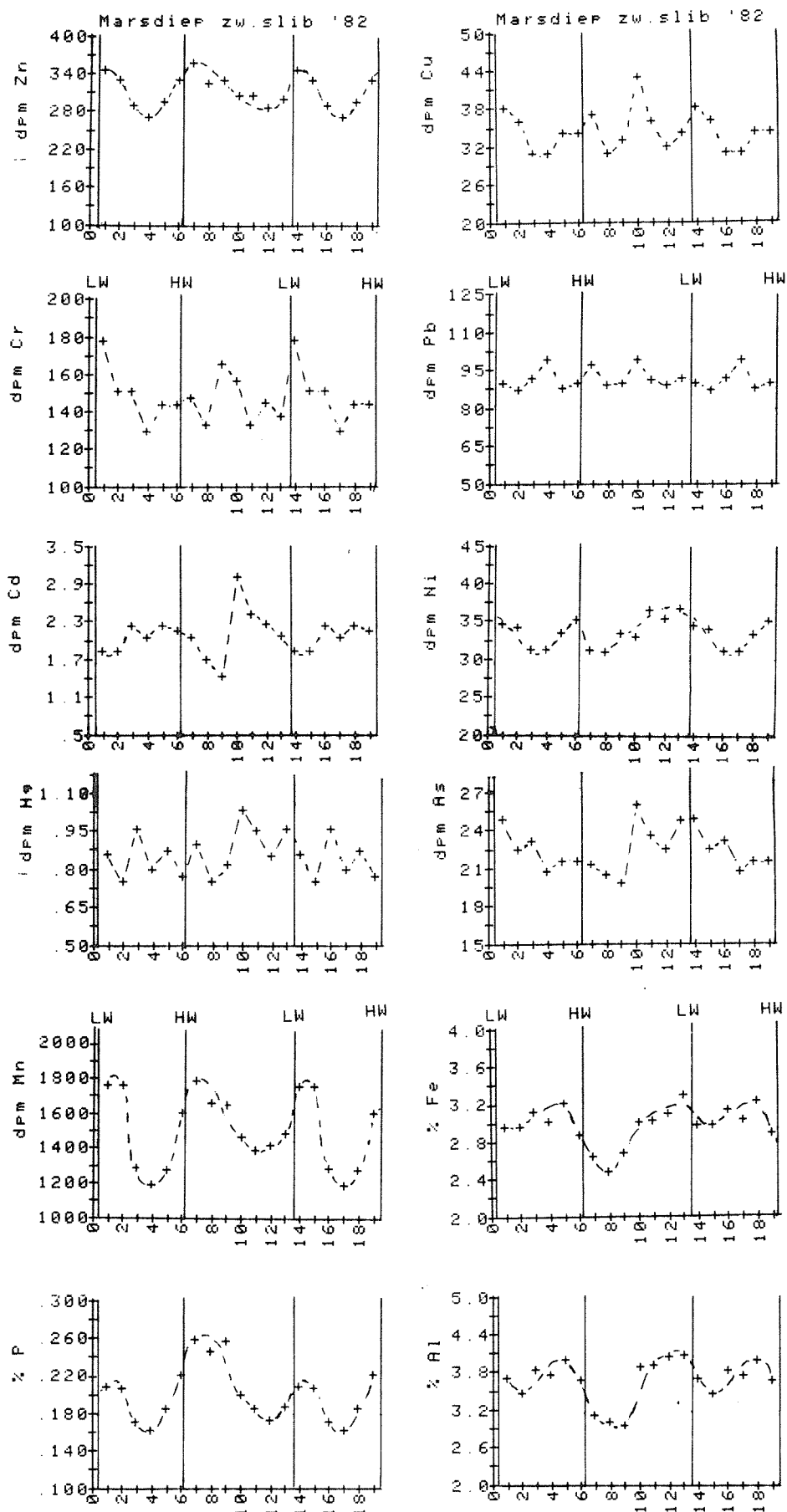
De resultaten voor het opkomend en afgaand water zijn weergegeven in tabel 7. In vrijwel alle gevallen tenderen de gehalten in het afgaande water naar hogere waarden dan in het opkomende water. Ook zijn de aluminiumgehalten bij afgaand water in het zwevende slib hoger dan bij opkomend water. Dit suggereert dat tijdens de onderzoek periode het uit de Waddenzee naar de Noordzee getransporteerde water een hoger gehalte aan fijne bestanddelen bezit en tevens hogere metaalgehalten. In hoeverre dit een verschijnsel is dat onder alle omstandigheden optreedt is niet bekend. Wel kan worden opgemerkt dat het optrad zowel in de periode van 25 tot 27 augustus (bemonstering van de eerste twee lokaties) als bij de andere twee bemonsteringen die twee weken later werden uitgevoerd.

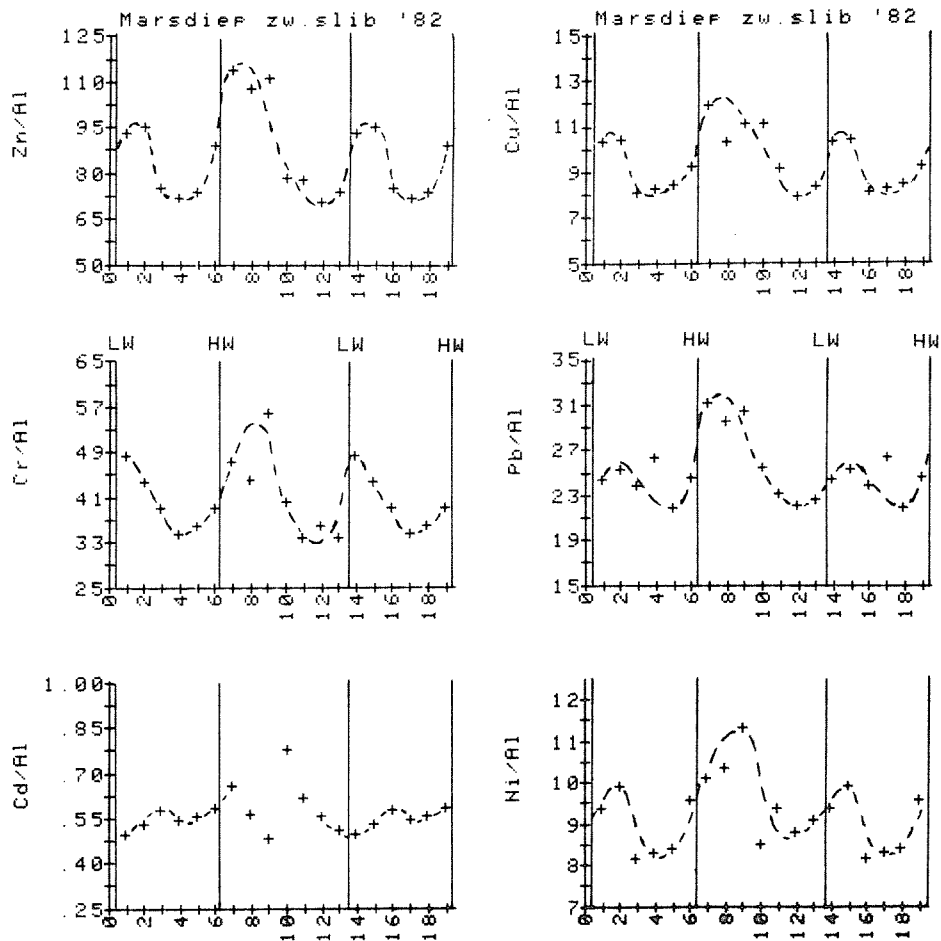
	Den Helder- Texel			Vlieland-Terschelling			Ameland-Schiermon- nikoog			Rottum-Borkum		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Zink	315	309	312	173	162	168	234	223	229	205	156	181
Koper	35	34	35	27	17	22	25	41	33	25	17	21
Chroom	145	150	147	102	80	91	138	98	118	103	97	100
Lood	92	91	92	54	45	50	66	56	66	66	68	67
Cadmium	2.1	2.1	2.1	1.1	0.9	1.0	1.3	1.1	1.2	1.0	0.6	0.8
Nikkel	34	33.4	33.7	21.3	16.5	18.9	23.9	23.4	23.7	25.6	20.8	23.2
Kwik	0.89	0.84	0.87	0.50	0.37	0.44	0.70	0.59	0.65	0.47	0.48	0.48
Arseen	22.6	22.4	22.5	16.4	13.0	14.7	25.2	25	25.1	21.2	22.0	21.6
Mangaan	1555	1482	1521	858	984	924	1458	1406	1432	1428	1113	1271
Fosfor	0.22	0.19	0.20	0.14	0.14	0.14	0.24	0.27	0.25	0.19	0.17	0.18
IJzer	2.88	3.02	2.94	2.05	1.83	1.94	2.66	2.40	2.53	2.75	2.22	2.49
Aluminium	3.57	3.74	3.65	2.48	2.25	2.37	3.39	3.03	3.21	3.68	2.92	3.30

Tabel 7. Gehalten aan metalen (ug/g, Fe in %), fosfor (%) en aluminium (%) in zwevend slib.

A= afgaand water, B= opkomend water, C=gemiddelde.

Figuur 18. De metaalgehalten in het zwevende slib tijdens een 13-uurs meting in het Marsdiep.





Figuur 19. De metaal/aluminium verhouding in het zwevende slib tijdens een 13-uurs meting in het Marsdiep.

De 13-uurs metingen ter hoogte van Texel laten nog duidelijker deze verschillen tussen opkomend en afgaand tij zien (figuur 18 en 19). Voor de metalen mangaan, ijzer, fosfor, aluminium, zink en nikkel worden min of meer vloeiende curven gevonden met duidelijke maxima en minima. De laagste gehalten in de metalen worden gevonden ongeveer 2-3 uur voor het hoogwater, hierna stijgen de gehalten, 1-2 uur na hoogwater worden de hoogste gehalten aan metalen gevonden. Voor een vijftal metalen, cadmium, chroom, kwik, arseen en koper wordt tussen hoog- en laagwater een tweede maximum gevonden. Deze verschillen worden niet veroorzaakt door variaties in korrelgroottesamenstelling (bijmenging van zandig materiaal); de metaal/aluminium verhouding vertoont hetzelfde beeld (figuur 19).

Net als bij de afgezette sedimenten wordt weer een duidelijke west-oost gradient gevonden (na correctie voor deeltjesgrootte variatie). De hoogste gehalten aan metalen in het zwevende slib worden gevonden ter hoogte van Texel. Wel is het opvallend dat de gehalten in het zwevende slib tussen Ameland en Schiermonnikoog hoger zijn vergeleken met nabijgelegen lokaties. Dit verschil wordt veroorzaakt door een verschil in korrelgrootte, het aluminiumgehalte is aanzienlijk hoger dan in de nabijgelegen lokaties.

Dit effect van deeltjesgrootte verschillen moet ook in rekening worden gebracht bij de vergelijking van afgezet met zwevend slib. In tabel 8 zijn de gehalten in het zwevende slib vergeleken met die in het afgezette slib bij hetzelfde aluminiumgehalte. Hierbij is uitgegaan van het aluminiumgehalte van het zwevende slib monsters, uit de correlatie tussen het aluminiumgehalte en het metaalgehalte bij afgezet slib werd het corresponderende metaalgehalte berekend.

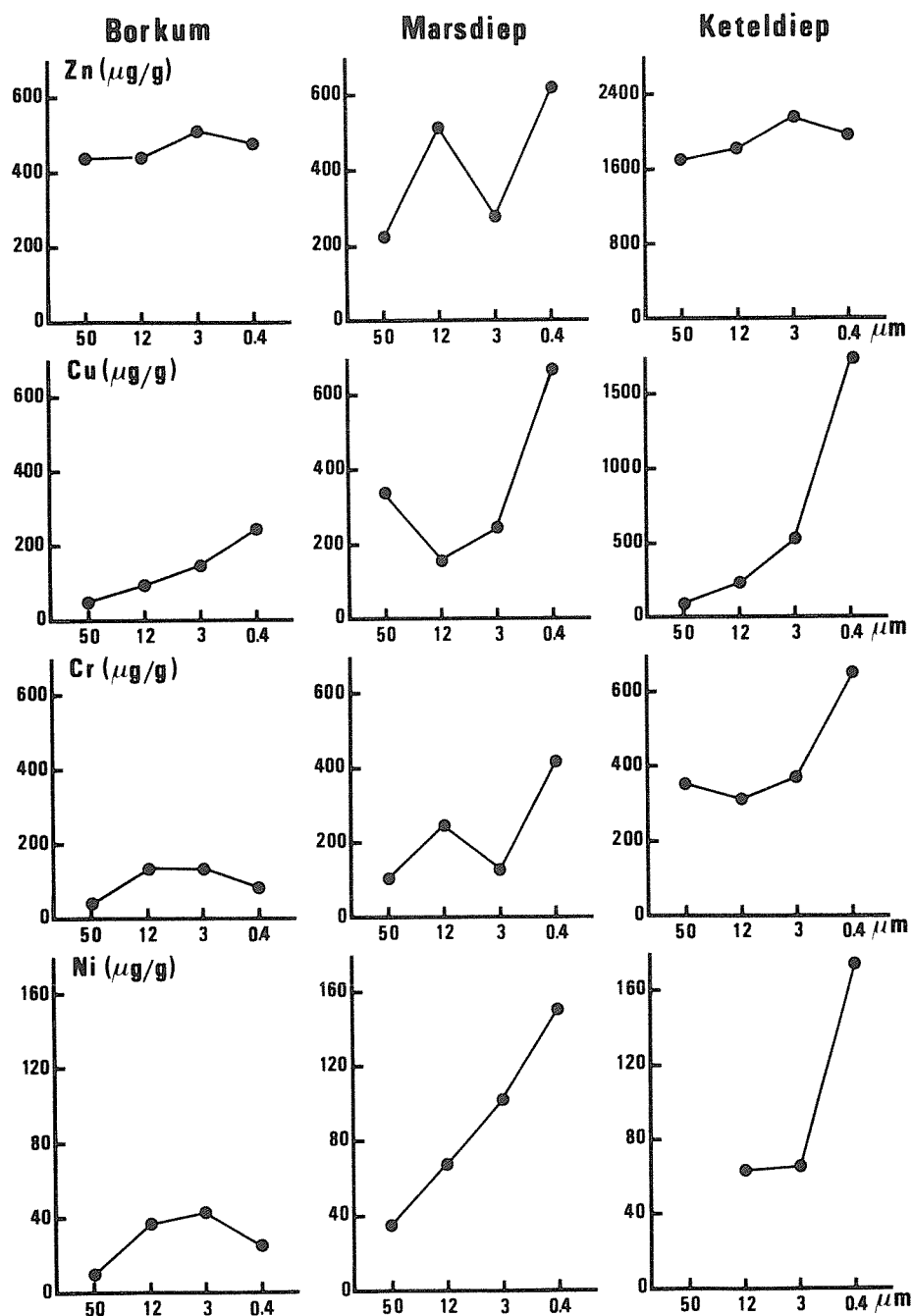
	Zn	Cu	Cr	Pb	Cd	Ni	Hg	As
	ug/g							
<u>Marsdiep (1981)</u>	312	35	147	92	2.10	34	0.87	23
<u>Haven NIOZ (1981)</u>	280	33	137	98	2.58	31	0.77	21
Balgzand	347	38	148	93	2.58	36	0.96	24
<u>Vlieland-Terschelling</u>	168	22	91	50	0.98	19	0.44	15
<u>Haven NIOZ (1981)</u>	175	21	94	61	1.56	20	0.48	15
<u>Noorderleeg (1981)</u>	167	16	99	53	0.90	22	0.39	20
<u>Rottum-Borkum</u>	181	21	100	67	0.82	23	0.48	22
<u>Julianapolder (1981)</u>	147	19	110	52	0.71	26	0.43	24

Tabel 8. Metaalgehalten in het zwevende slib (gemiddeld over het getij, lokaties onderstreept) vergeleken met die in het afgezette slib bij éénzelfde aluminiumgehalte.

De verschillen in de gehalten aan metalen tussen de afgezette sedimenten en het zwevende slib, mede in aanmerking genomen dat de lokaties waarvoor de vergelijking is gemaakt op vrij grote afstand van elkaar liggen, zijn niet groot. Hoewel in enkele gevallen de gehalten aan enkele metalen in het zwevende slib hoger zijn dan die in het afgezette sediment, valt niet te concluderen dat voor alle metalen per geval of voor één specifiek metaal in alle gevallen er systematische verschillen optreden.

Naast de bepaling van de metaalgehalten in de zwevende slibmonsters, is in een tweetal monsters (genomen bij Borkum en in het Marsdiep) de verdeling van de metalen over een aantal korrelgroottefracties bepaald. Hiertoe zijn de watermonsters over filters met poriëngroottes van 50, 12, 3 en 0.4 um gefiltreerd. De resultaten van de analyses staan weergegeven in figuur 20. Door de beperkte hoeveelheid materiaal was het niet mogelijk om alle bepalingen uit te voeren (Pb en Cd die in een aparte analysegang worden bepaald, zijn hierdoor uitgevallen). Ter vergelijking zijn tevens enkele resultaten van de fractionering van zwevend slib in het Keteldiep in de figuur opgenomen.

Zink is in alle fracties van het slib bij Borkum en het Keteldiep gelijkelijk over de fracties verdeeld. In het Marsdiep worden grote variaties in de gehalten aangetroffen. Chroom, nikkel en koper komen, met uitzondering van Borkum, in hoge concentraties voor in de 0.4 um fractie. Bij het monster ter hoogte van Borkum komt chroom en nikkel vooral in de fractie 12 en 3 um voor. De metaalverdeling voor de monsters van het Marsdiep en het Ketelmeer vertonen (afgezien van de absolute concentraties) grote overeenkomsten. De verdeling voor Borkum is echter sterk afwijkend voor de elementen chroom en nikkel (twee elementen die in dit gebied in mindere mate dan de andere antropogeen zijn beïnvloed).



Figuur 20. De verdeling van Zn, Cu, Cr en Ni over korrelgroottefracties van het zwevende slib.

Bij het monster uit het Marsdiep vertoont zink sterkere variaties in zijn gehalten tussen de korrelgroottefracties, terwijl die voor de andere lokaties min of meer gelijkelijk over de fracties is verdeeld.

De sedimentatie van slib, en hieraan gekoppeld de accumulatie van metalen in de Waddenzee en de accumulatie van aan slib gebonden metalen worden in sterke mate bepaald door de korrelgrootteverdeling. Dit oriënterende onderzoek laat de grote verschillen in de korrelgrootteverdeling van de metalen tussen de lokaties onderling en voor de verschillende metalen zien. Teneinde tot een beter inzicht te komen in de accumulatie van metalen in het Waddengebied verdient nader, diepgaander onderzoek naar deze aspecten sterke overweging.

4.2 Gehalten aan metalen in de afgezette sedimenten

De gehalten aan metalen in sedimenten van het bemonsterde gebied (bij 50 % < 16 µm) zijn weergegeven in tabel 9. Tevens zijn in deze tabel de resultaten van de bemonsteringen die in 1980 zijn uitgevoerd opgenomen. Niet in alle gevallen was het mogelijk om voldoende monsters met een variatie in korrelgrootte te verzamelen, in een aantal gevallen was hierdoor de correlatie tussen deeltjesgrootte verdeling en metaalgehalte niet significant, dit is met een * in de tabel aangegeven. De verschillen tussen de bemonstering van 1980 en 1981 zijn vrij gering, en laten zien dat voor een systeem als de Waddenzee een jaarlijkse bemonstering van de sedimenten niet noodzakelijk is. Dit in tegenstelling tot estuaria, waar wel grote jaarlijkse verschillen kunnen optreden (zie paragraaf 5.2)

LOKATIE	JAAR	Zn	Cu	Cr	Pb	Cd	Ni	Hg	As	P	Al	Mn	Fe
		ug/g										%	ug/g
Texel-Haven NIOZ	1980	237	29	120	83	2.16	26.2	0.65	18.6	0.128	3.13	697	2.41
Texel-Oude Schild	1980	266	32	116	80	1.97	25.6	0.64	23.0	0.128	3.13	662	2.49
Vlieland	1981	208	25	124	68	1.92	32.9	0.67	19.5	0.139	3.41	413	2.74
Balgzand	1980	256	29	103	90	1.78	28.6	0.92	20.5	0.155	3.48	*	3.07
Balgzand	1981	252	31	*	75	*	*	0.73	20.4	0.151	3.15	1155	2.85
Afsluitdijk	1981	277	34	147	89	2.25	28.2	0.74	20.9	0.122	3.17	654	2.80
Harlingen-Zürich	1981	259	35	154	87	1.81	38.0	0.80	22.2	0.101	3.94	516	3.22
Noorderleeg	1980	209	24	128	81	1.43	27.1	0.74	25.6	0.147	3.34	*	2.88
Noorderleeg	1981	218	25	118	77	1.35	28.8	0.66	27	0.158	3.27	*	2.87
Julianapolder	1980	167	23	117	69	0.90	24.9	0.55	22.9	0.131	3.62	983	2.80
Julianapolder	1981	160	20	114	58	0.77	28.1	0.48	25.3	0.178	3.56	*	3.03
Uithuizerwadpolder	1980	165	22	106	64	0.72	24.2	0.51	21.1	0.150	3.50	673	2.82
Schiermonnikoog	1981	181	25	104	74	1.11	26.2	0.93	25.8	0.149	3.34	859	2.81
Nederl. Dollard	1980	143	18	96	44	0.48	27.3	0.57	19.0	0.157	3.62	1127	3.16
Kanalpolder	1980	153	21	97	48	*	28.3	0.60	16.8	0.127	3.70	754	3.20

Tabel 9. Gehalten aan zware metalen (bij 50 % < 16µm) in het Nederlands deel van het Waddengebied in 1980-1981

De resultaten van de analyses van het Nederlands deel van de Waddenzee zijn weergegeven in figuur 21.

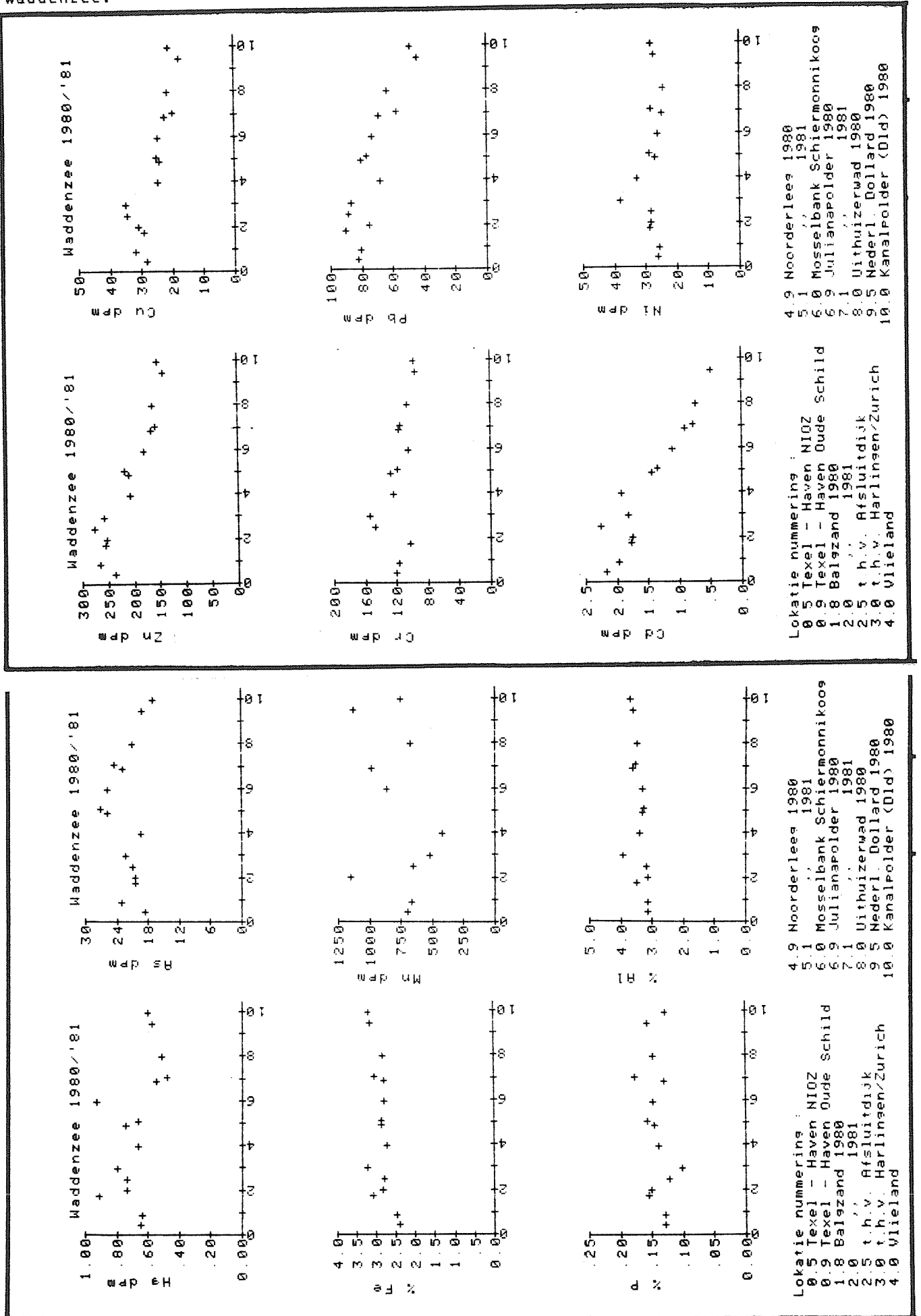
Voor een aantal metalen is er sprake van duidelijke gradienten, dit betreft vooral die metalen die sterk verhoogd zijn t.o.v. de baseline (cadmium, zink en lood). De gehalten van cadmium nemen van rond de 2 µg/g in de Westelijke Waddenzee af tot ongeveer 0.5 µg/g in de Dollard. Voor chroom en zink zijn de gradienten veel minder uitgesproken. Voor arseen is er een tendens naar iets hogere waarden aan de kust van Friesland en Groningen.

Op grond van de gradienten kan de Waddenzee globaal in twee gebieden worden ingedeeld:

- de westelijke Waddenzee; een gebied waar de variaties in de gehalten relatief gering zijn, en
- de rest van de Waddenzee, waar er sprake is van een afname van west naar oost.

Deze afname is het sterkste voor die elementen, die het meeste zijn verhoogd t.o.v. de base-line (cadmium) en gering voor die elementen (Ni) die weinig zijn verhoogd t.o.v de base-line (zie ook figuur 28).

Figuur 21. Gradienten in de metaalgehalten in het Nederlands deel van de Waddenzee.



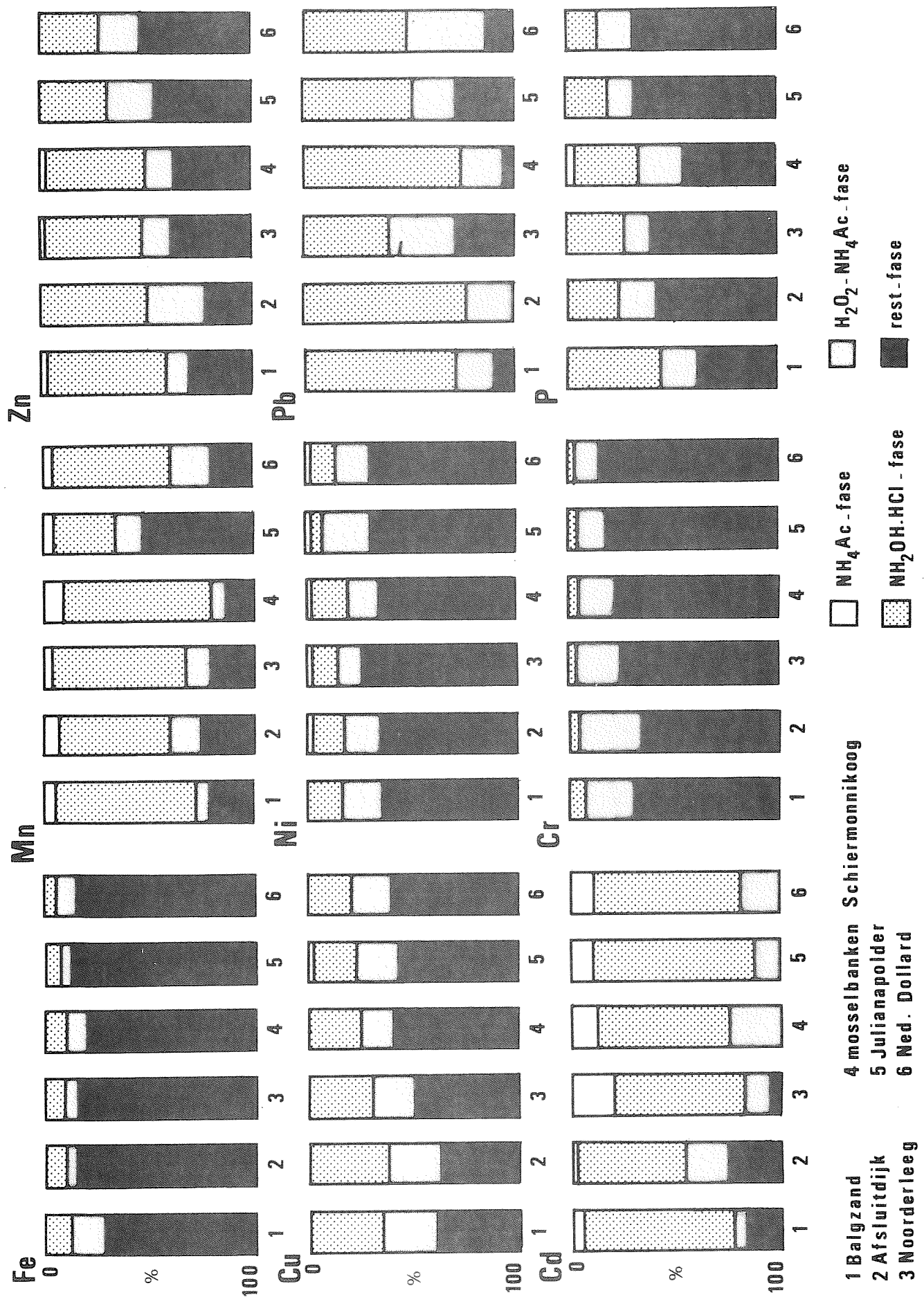
4.3 Bindingsvormen van de metalen in het sediment en het zwevende slib.

In een aantal sedimentmonsters zijn de bindingsvormen van de metalen bepaald volgens de standaardprocedure genoemd in paragraaf 2.7. De analyses zijn uitgevoerd aan mengmonsters van de lokaties Balgzand, Afsluitdijk, Vlieland, Harlingen-Zürich, Noorderleeg, Julianapolder, Nederlandse en Duitse Dollard en de mosselbanken bij Schiermonnikoog. Tevens zijn drie monsters van het zwevende slib onderzocht: Vlieland/Terschelling, Ameland/Schiermonnikoog en Borkum.

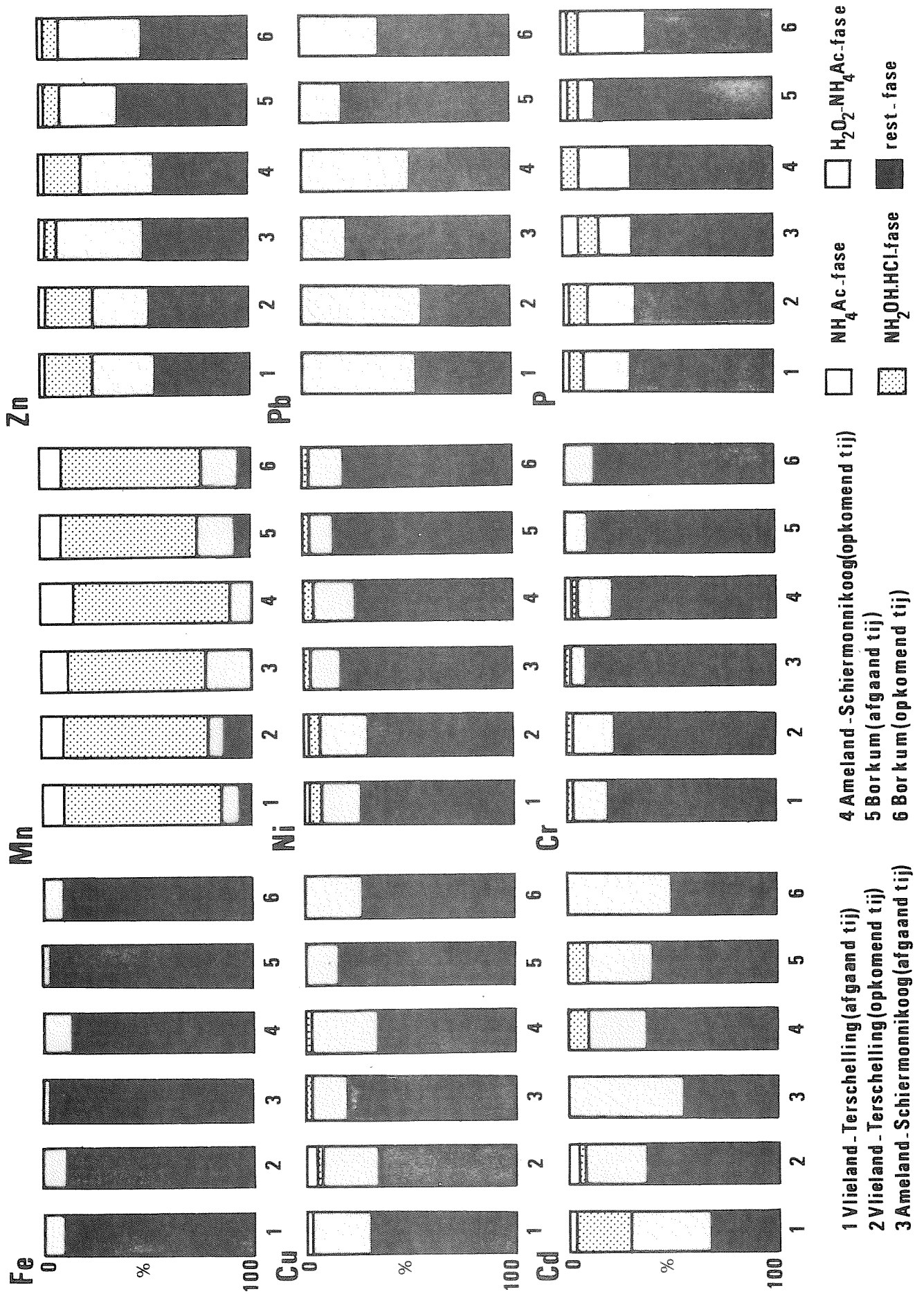
De resultaten van het onderzoek staan vermeld in in de figuren 22 en 23.

De inerte fractie is vooral van belang voor die elementen die het minst verhoogd zijn t.o.v. de baseline (nikkel en chroom). Voor een element als lood, en in nog sterkere mate voor cadmium, is de inerte fractie de minst belangrijke. Deze resultaten, net als die voor niet-vervuilde rivieren (figuur 10), laten zien, dat de "extra" metalen vooral in de meer labiele fracties van het sediment gaan zitten. Voor cadmium is vergeleken met andere elementen die uitwisselbare fractie belangrijk. De matig reduceerbare fractie is vooral van belang voor de elementen zink, cadmium en lood. De organische fractie draagt, net als bij andere sedimenten, vooral bij tot de binding van chroom en koper. De verschillen tussen lokaties onderling is vrij gering en er is geen duidelijke trend in een verandering in de bindingsvormen van west naar oost over de Waddenzee.

Figuur 22. Bindingsvormen van metalen in afgezette slibmonsters.



Figuur 23. Bindingsvormen van metalen in zwevend slib monsters.



5. Discussie

5.1 Invloed van rivieren op de metaalgehalten in de Waddenzee

Een drietal rivieren kunnen door hun ligging een directe invloed uitoefenen op de sediment samenstelling van de Waddenzee: de Eems, de Weser en de Elbe. In estuaria langs de West-Europese kust zijn de vermengingsprocessen van gecontamineerd rivierslib met minder gecontamineerd zeeslib de belangrijkste die in de estuaria de metaalgehalten in de sedimenten bepalen. Gesuperponeerd op deze processen kunnen adsorptie/precipitatie en mobilisatie processen optreden. In alle drie estuaria nemen de metaalgehalten in zeewaartse richting af. Als voorbeeld zijn in tabel 10 een aantal resultaten voor het Elbe-estuarium weergegeven. De naar verhouding grote bijdrage van marien slib tot de sedimentatie in West-Europese estuaria veroorzaakt een sterk verdunnings-effect op de metaalgehalten, hierdoor is ook de invloed van de rivieren op de nabijgelegen kustgebieden geringer dan mag worden aangenomen op grond van de metaaltransportcijfers alleen.

GEBIED	Zn	Cu	Cr	Pb	Cd	Ni	Hg	As
	ug/g							
Zoetwater zone	1864	325	269	247	14.2	80	12.1	128
Oligohaliene zone	490	58	101	79	5.7	42	2.1	45
Mesohaliene zone	258	36	80	68	4.0	29	0.6	32

Tabel 10. Gehalten aan zware metalen (bij 50 % < 20 um) in sedimenten van de Elbe (ref. 40)

Voor de Eems is het mogelijk gebleken om deze vermengingsprocessen aan de hand van natuurlijke tracers te bestuderen. Voor dit estuarium was met name, naast de isotoopsamenstelling van de kalk en de kleimineralen, vooral het strontium-gehalte van de kalk een goede tracer om de mengprocessen te bestuderen. Enkele resultaten voor het Eems-estuarium zijn weergegeven in tabel 11.

	kalk	dolomiet	Sr	Cu	Zn	Ni	Pb	Cr	Cd
	%	%		ug/g					
Diele	2.5	0.4	5600	77	586	42	82	107	3
Leerort	7.9	1.2	1350	23	220	33	59	97	0.8
Ditzum	10.0	1.4	1100	11	153	27	45	84	0.5

Tabel 11. Gehalten aan zware metalen en die van enkele tracers in het Eems-Dollard gebied (ref. 41).

Een berekening aan de hand van de natuurlijke tracers laat zien, dat het mengproces in hoofdzaak de gehalten bij Leerort bepaalt, echter de berekende gehalten tenderen naar iets hogere waarden, hetgeen veroorzaakt kan worden door adsorptie/precipitatie processen zoals die voor een aantal estuaria zijn vastgesteld (ref. 42).

Gehalte (ug/g)		
	Berekend	Gemeten
Cadmium	0.7	0.8
Chroom	86	97
Koper	17.1	22.6
Nikkel	28	33
Lood	49	59
Zink	196	220

Tabel 12. Gehalten aan metalen in sedimentafzettingen bij Leerort (Eems-estuarium) vergeleken met de berekende waarden uit de sediment-vermenging (ref. 41).

De gehalten bij Diele in het zoetwatergetijdegebied van de Eems vertonen grote verschillen tussen de bemonsteringen. Deze verschillen worden mede bepaald door de afvoer. Bij hoge afvoeren dringt het mariene slib minder ver naar binnen dan bij lage afvoeren.

JAAR	Zn	Cu	Cr	Pb	Cd	Ni	Hg	As	Mn	Ca/Al
ug/g										
1971	586	77	107	82	3.0	41.7	3.46	23	2950	0.36
1974	396	60	94	70	2.2	39.1	2.43	21	1578	0.59
1976	174	25	88	48	0.8	33.5	0.81	--	2012	0.95

Tabel 13. Metaalgehalten in de Eems bij Diele.

Deze binnendringing van marien slib valt af te lezen aan de Ca/Al verhouding in het sediment. Het rivierslib bevat namelijk lage kalkgehalten (2 %) en de mariene sedimenten van de Dollard ongeveer 10-12 %. Uit tabel 13 blijkt dat de metaalgehalten vrijwel parallel lopen met de Ca/Al verhouding. In 1982 is dit effect in detail door WL/IB onderzocht, door maandelijkse bemonsteringen uit te voeren, ook hierbij bleek weer dat de recente sedimenten in het zoetwatergetijdegebied sterk in samenstelling verschillen en dat de metaalgehalten parallel verlopen met het kalkgehalte: hoge kalkgehalten komen overeen met lage metaalgehalten en vice versa.

De resultaten van de Eems laten zien, dat de invloed van deze rivier op de gehalten in de Waddenzee vrij gering is; eerder het omgekeerde treedt op, de mariene sedimenten beïnvloeden in sterke mate de gehalten aan metalen in het Eems-estuarium tot in het zoetwatergetijdegebied toe.

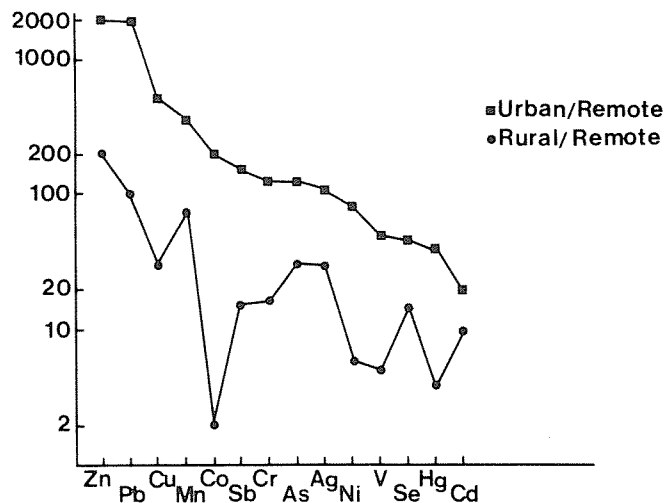
Ook voor een invloed van de Weser op de nabijgelegen Jade zijn geen aanwijzingen gevonden, in dit gebied worden zelfs de laagste metaalgehalten in het gehele onderzochte gebied vastgesteld.

Alleen in de monding van de Weser zijn er duidelijke aanwijzingen voor een rivierinvloed (figuur 29).

Van meer belang dan de in het Waddengebied gelegen rivieren is de invloed van de Rijn en het IJsselmeer. De afname van west naar oost in de metaalgehalten laat duidelijk de invloed van de Rijn zien.

5.2 Invloed van de atmosfeer op de metaalgehalten in de Waddenzee

Voor een aantal ecosystemen is de atmosfeer, een belangrijke, diffuse, bron van metalen. De metaalgehalten in de atmosfeer zijn voor een aantal metalen sterk verhoogd. Dit blijkt duidelijk uit figuur 24 waar een vergelijking is gemaakt tussen de gehalten in landelijke en stedelijke gebieden met die in gebieden veraf van industriële centra.



Figuur 24. Verhoudingsgehalten aan metalen in de atmosfeer van landelijke en stedelijke gebieden vergeleken met die in gebieden veraf van industriële centra. (ref 19).

Vooraf de gehalten aan lood en zink zijn sterk verhoogd, de gehalten aan cadmium echter het geringst. Dit is in tegenstelling tot riviersystemen, waar in de meeste gevallen cadmium het sterkst is verhoogd t.o.v. niet-vervuilde systemen.

Door middel van het landelijk meetnet naar de samenstelling van de regenval in Nederland zijn gegevens beschikbaar die gebruikt kunnen worden om de toevoer aan metalen naar de Waddenzee te kunnen afschatten. In tabel 14 is deze input vergeleken met de totale accumulatie aan metalen in de Waddenzee t.g.v van sedimentatie van zwevend slib. Bij deze berekening is van de volgende veronderstellingen uitgegaan (zie ook paragraaf 5.5):

- de sedimentatie van slib in de Waddenzee bedraagt 3×10^4 ton per jaar
- de samenstelling van het gesedimenteerde slib is gelijk aan die van het gemiddelde van het zwevende slib in het Marsdiep en ter hoogte van Borkum (tabel 7).

Deze balans is niet meer dan een grove benadering, gezien de onnauwkeurigheid in de aannamen. Er is geen onderscheid gemaakt tussen de sedimentatiesnelheid en de sedimentsamenstelling voor de verschillende deelgebieden van de Waddenzee. De atmosferische input heeft alleen betrekking op de metalen in de regen, ook via de droge depositie vindt een toevoer vanuit de atmosfeer plaats (uit de literatuur blijkt dat deze even groot kan zijn als de natte depositie (ref 19). De werkelijke bijdrage van de atmosfeer zal dus hoger zijn, dan aangegeven in tabel 14.

	Sediment	Atmosfeer
Zink	738	273
Koper	28	25
Chroom	369	3.1
Nikkel	84	10
Lood	240	32
Cadmium	4.5	1.5
Arseen	66	2.1
Kwik	2.1	0.2

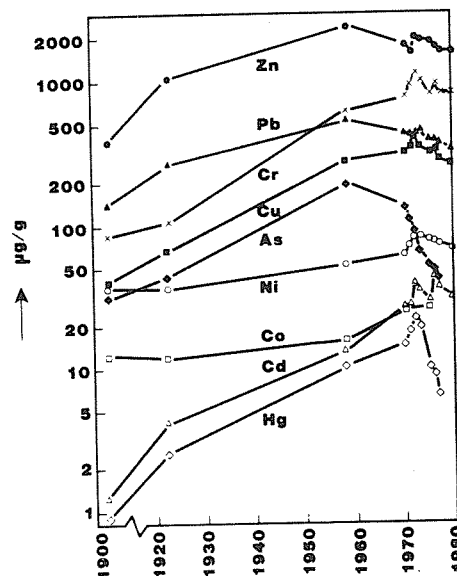
Tabel 14. Accumulatie aan metalen in Waddenzee via de sedimenten, vergeleken met de input vanuit de atmosfeer (regenval) in tonnen/jaar.

Naast deze directe input van atmosferische metalen, moet rekening worden gehouden met een indirecte: tijdens transport op de Noordzee van het zwevende slib vindt een continue depositie van atmosferische metalen plaats, die voor een deel aan het zwevende slib zullen adsorberen en op deze wijze in de Waddenzee terecht komen.

De samenstelling van de sedimenten in het oostelijk deel van de Waddenzee, waar de lood en zinkgehalten meer zijn toegenomen dan de cadmiumgehalten (een typisch "riviermetaal") (figuur 28) kan mede een aanwijzing zijn voor het belang van de atmosferische depositie voor de metaalaccumulatie in de Waddenzee.

5.3 Historische ontwikkeling in de metaalgehalten

Uit de voorgaande paragrafen is gebleken, dat de rivier de Rijn een belangrijke bron voor metalen in de Waddenzee is. De metaalgehalten in de Rijn zijn t.o.v. de niveaus van ongeveer 60 jaar geleden zeer sterk toegenomen (figuur 25)



Figuur 25. Variatie in de metaalgehalten in sedimenten van de Rijn (ref. 43).

	+/-1959	1970	1975	1980	1981
ZINK					
Vlieland					208
Noord-Friesland	234	247	---	208	219
Ameland	219	---	---	---	---
Noord-Groningen	176	182	159	167	160
Schiermonnikoog	165	---	---	---	---
Dollard	147	---	135	145	---
KOPER					
Vlieland	--	--	--	--	25
Noord-Friesland	29	32	--	24	25
Ameland	25	--	--	--	--
Noord-Groningen	25	17	22	22	20
Schiermonnikoog	19	--	--	--	--
Dollard	24	--	19	20	--
CHROOM					
Vlieland	--	--	--	--	124
Noord-Friesland	80	86	--	81	77
Ameland	71	--	--	--	--
Noord-Groningen	65	68	67	66	58
Schiermonnikoog	57	--	--	--	--
Dollard	47	--	45	46	--
CADMIUM					
Vlieland	--	--	--	--	1.9
Noord-Friesland	0.8	0.9	--	1.4	1.4
Ameland	0.7	--	--	--	--
Noord-Groningen	0.6	0.9	0.9	0.8	0.8
Schiermonnikoog	--	--	--	--	--
Dollard	0.7	--	0.5	0.5	--
NIKKEL					
Vlieland	--	--	--	--	32.9
Noord-Friesland	21.9	29.4	--	27.1	28.8
Ameland	26.3	--	--	--	--
Noord-Groningen	21.0	22.5	25.4	24.4	28.1
Schiermonnikoog	23.5	--	--	--	--
Dollard	27.4	--	27.1	27.8	--
KWIK					
Vlieland	--	--	--	--	0.67
Noord-Friesland	0.74	1.04	--	0.74	0.66
Ameland	0.79	--	--	--	--
Noord-Groningen	0.52	0.62	0.62	0.53	0.48
Schiermonnikoog	--	--	--	--	--
Dollard	--	--	0.85	0.59	--
ARSEEN					
Vlieland	--	--	--	--	19.5
Noord-Friesland	24.2	22.6	--	25.6	27.0
Ameland	23.0	--	--	--	--
Noord-Groningen	20.8	19.4	--	22.0	25.2
Dollard	--	--	--	18.0	--

Tabel 15. Metaalgehalten (in ug/g bij 50 % < 16 um) in sedimenten van de Waddenzee over de periode van 1959 t/m 1981

Echter, de afgelopen 30 jaar zijn de gehalten in de Rijn aan sterke veranderingen onderhevig, sinds het midden van vijftiger jaren zijn de gehalten aan arseen aan het dalen, die van kwik sinds 1975 en die van de andere metalen bewegen zich op een min of meer constant niveau en/of tenderen naar lagere waarden.

Voor de Waddenzee beschikt de combinatie WL/IB niet over even gedetailleerde gegevens als voor de Rijn, echter ook voor de Waddenzee is het mogelijk inzicht te verkrijgen in de metaalontwikkeling aan de hand van bemonsteringen die in het verleden zijn uitgevoerd.

In tabel 15 is een overzicht opgenomen van de beschikbare metaalgehalten in sedimenten van de Waddenzee verzameld over de periode van 1960 t/m 1981.

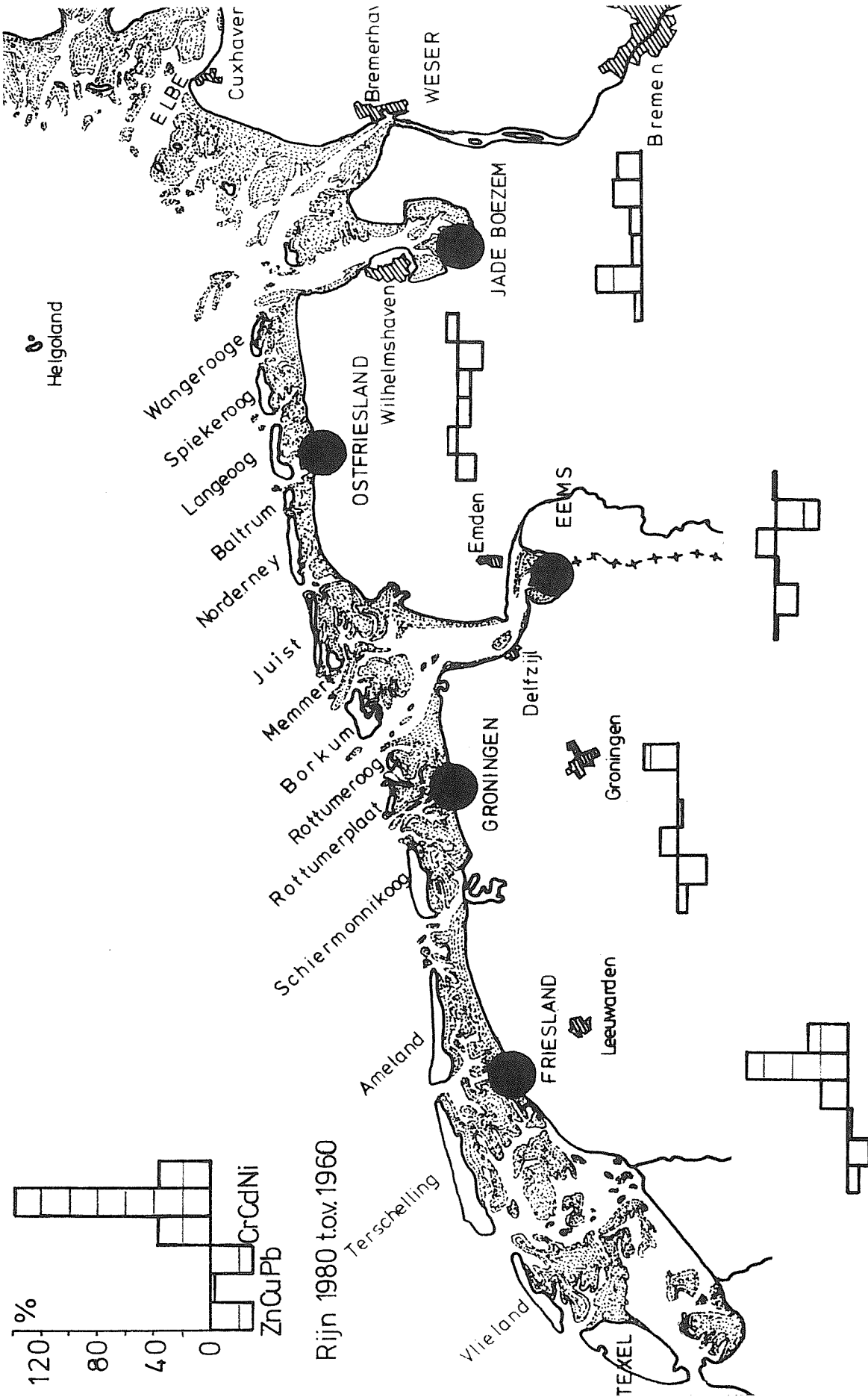
De meest complete gegevens zijn beschikbaar voor de lokaties: Friesland, Groningen en de Dollard.

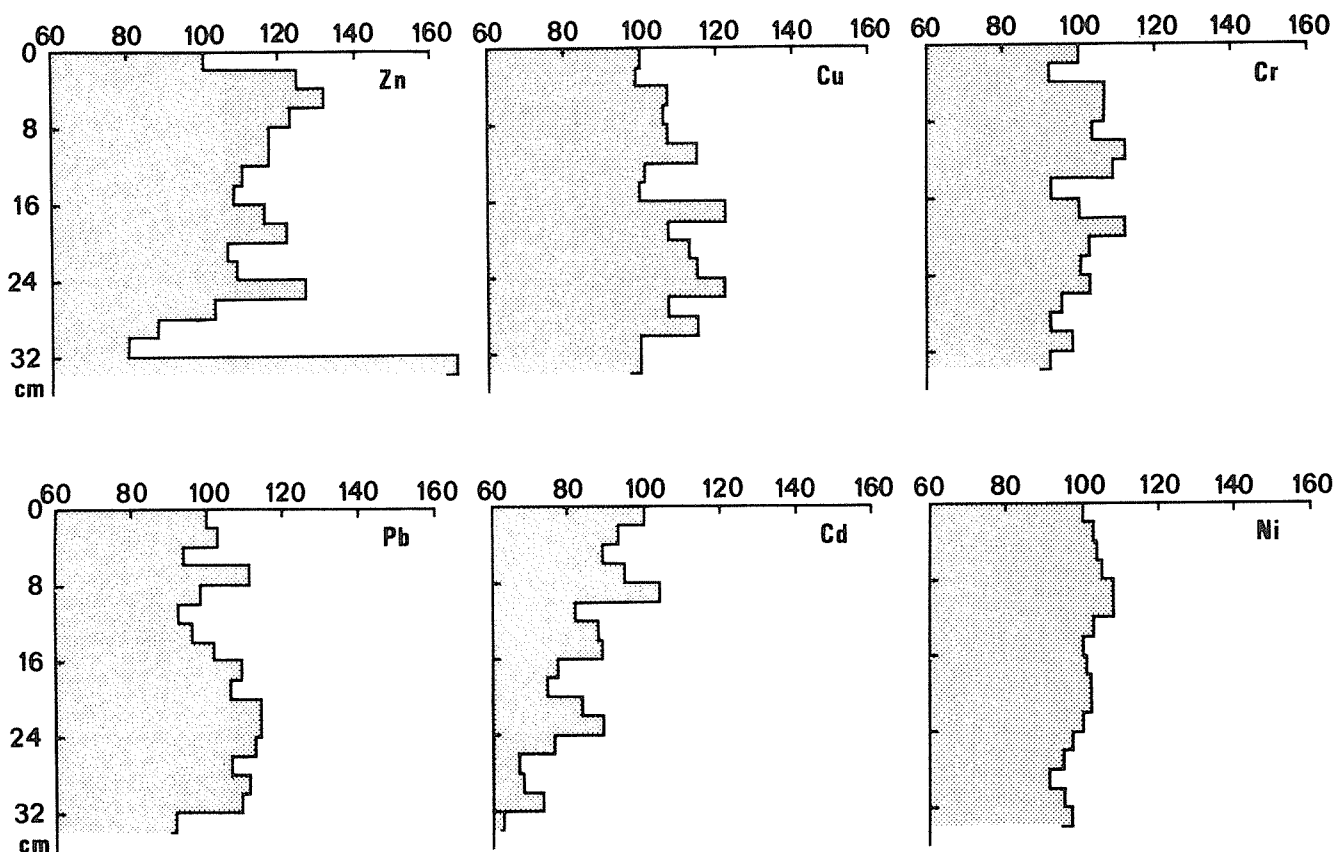
De gehalten aan metalen in de sedimenten van Friesland en Groningen stijgen voor vrijwel alle metalen over de periode van 1960 tot 1970, een uitzondering hierop is het arseen gehalte en het koper gehalte in Groningen, deze dalen. Over de periode van 1970 tot 1981 dalen de gehalten aan zink, koper, chroom en vooral kwik, de gehalten aan cadmium daarentegen stijgen (Friesland), terwijl ook de gehalten aan arseen naar iets hogere waarden tenderen. In figuur 26 zijn deze trends in de metaalgehalten tussen 1960 en 1980 vergeleken met die in de Rijn.

Hieruit blijkt dat de sedimenten die aan de Friese kust tot afzetting komen de trends in de Rijn weerspiegelen, een duidelijke toename voor cadmium en iets minder voor chroom en nikkel, terwijl de gehalten voor zink, koper en lood (en ook die voor kwik, zie tabel 15) naar lagere waarden tenderen. Voor de andere gebieden is niet sprake van een duidelijke weerspiegeling van de gehalten in de Rijn. Wel zijn over de periode van 1960-1980 de gehalten aan cadmium in Groningen toegenomen van 0.6 tot 0.8 ug/g, echter over de periode van 1970-1981 is er sprake van een constant niveau.

Door de Rijksdienst IJsselmeerpolders zijn in het verleden aanslibbingsveldjes op de kwelders in Groningen en Friesland ingericht, het doel hiervan was om de opslibbing te meten. In samenwerking met de RIJP zijn enkele van deze veldjes enkele jaren geleden bemonsterd en geanalyseerd op zware metalen. Hierbij deed zich ook weer het probleem van variaties in korrelgrootte in de bemonsterde lagen voor. Om inzicht te verkrijgen in de relatieve veranderingen in de metaalgehalten is gebruik gemaakt van de Me/Aluminium verhouding, en teneinde de verschillen goed in beeld te brengen is in figuur 27, de metaal/aluminium verhouding in de toplaag op 100 gesteld. De resultaten bevestigen het beeld als weergegeven in figuur 25, relatief geringe veranderingen in de metaalgehalten in de tijd, met een uitzondering voor de gehalten aan cadmium, deze laten over de periode van 1962 tot 1979 een relatieve toename zien van 60 tot 100 %.

Figuur 26. Veranderingen in de metaalgehalten in de Waddenzee over de periode van 1960-1980, vergeleken met die in de Rijn over dezelfde periode.





Figuur 27. Relatieve metaalgehalten (metaal/aluminium gehalte in de toplaag is gesteld op 100 %) langs profielen in de kwelder van Friesland.

Een meer absolute methode om de toename in de metaalgehalten in de Waddenzee weer te geven is om deze te vergelijken met die in niet-gecontamineerde sedimenten.

Gegevens over niet gecontamineerde Waddenzee sedimenten zijn beschikbaar d.m.v. van bemonsteringen die het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid in de 1921 in de Dollard uitvoerde (t.b.v. de inpoldering van de Carel Coenraad Polder), deze monsters zijn bewaard gebleven in de monsterarchieven van het I.B. en zijn samen met andere monsters gebruikt om een voorlopige baseline voor de metaalgehalten in de mariene sedimenten op te stellen (ref. 44).

Deze baseline is weergegeven in tabel 16, ter illustratie zijn tevens gegevens over gehalten aan metalen in niet gecontamineerde sedimenten van andere lokaties opgenomen.

BASE LINE	Zn	Cu	Cr	Ni	Pb	Cd
ug/g						
Nederlandse Sedimenten (ref 44)	68	13	72	29	21	0.25
Noord-Duitse sedimenten (ref 45)	117	18	67	24	35	0.5
Fossiel Rijn-sediment (ref 39)	115	51	47	46	30	0.3
Shales (ref. 46)	95	45	90	68	20	0.8
Gemiddelde bodems (ref. 47)	59.8	25.8	84	33.7	29.2	0.62

Tabel 16. Base-line gegevens voor de gehalten aan zware metalen in sedimenten en verwante afzettingen.

De voorlopige base line voor de Nederlandse sedimenten (gehalten bij 50 % < 16 um) is qua orde van grootte vergelijkbaar met die voor de bodems en voor de Noord-Duitse sedimenten. Verschillen zijn met name de hogere waarden voor zink, lood en cadmium voor de Noord-Duitse sedimenten. Het lijkt niet onaannemelijk, aangezien deze drie elementen sterk antropogeen zijn beïnvloed, dat de monsterselectie waarop deze base-line is gebaseerd, toch enigszins gecontamineerde monsters omvatte. Vergeleken met de bodems vallen de hogere gehalten aan koper in de laatste op, terwijl voor de andere elementen de gehalten vrijwel identiek zijn.

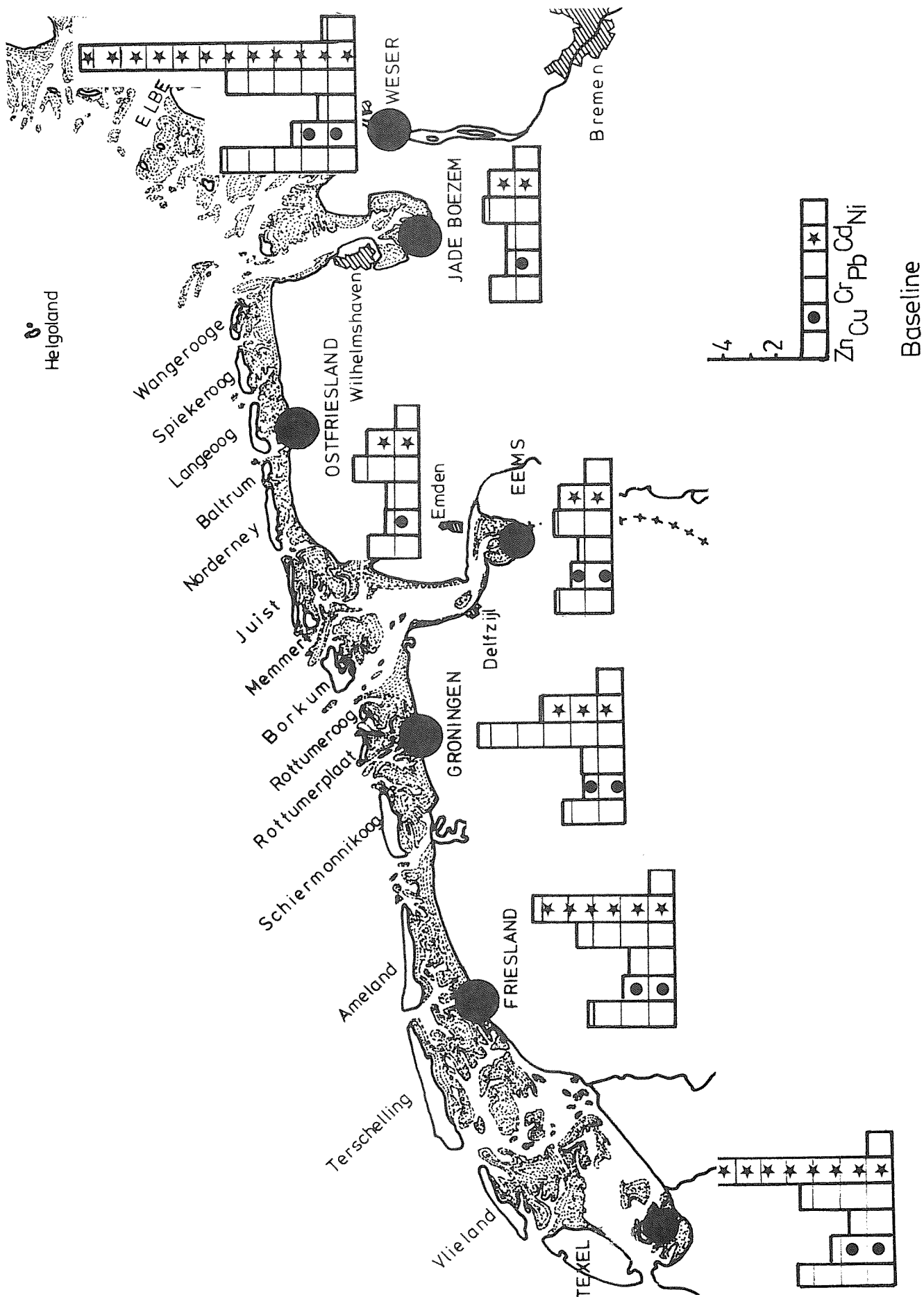
In figuur 28 zijn de gehalten in de sedimenten van de Waddenzee in 1980/1981 vergeleken met de base-line. In het Westelijk deel van de Waddenzee zijn vooral de cadmiumgehalten verhoogd (meer dan 5 X).

In het gebied ten oosten van de Groninger Waddenkust zijn de gehalten voor de metalen slechts een factor twee verhoogd, hieruit blijkt ook weer de afnemende invloed van de Rijn/Maas op deze gebieden. Opvallend is dat in deze gebieden niet meer cadmium het element is met de grootste toename, maar lood. Twee verklaringen kunnen hiervoor worden gegeven:

- cadmium is onderhevig aan desorptie processen tijdens, met name de afwisselende sedimentatie en erosie en kan net als bij baggerspecie (ref 37) aanleiding geven tot een afgifte van dit metaal aan het omringende water.
- lood is niet in hoofdzaak afkomstig van de rivieren, maar voor dit element is de atmosfeer voor het oostelijk Waddengebied relatief de belangrijkste bron (zie ook paragraaf 5.2).

Overigens behoeven deze twee verklaringen elkaar niet uit te sluiten, ook een combinatie van beide processen is mogelijk.

Figuur 28. Metaalgehalten in Waddenzee vergeleken met die in de base-line.



5.4 Metaalgehalten in het Nederlands deel van de Waddenzee vergeleken met die in andere mariene sedimenten

5.4.1 Metaalgehalten in het zwevende slib

In tabel 17 is een vergelijking opgenomen tussen de gehalten aan metalen in het zwevende slib van de Waddenzee met die ter hoogte van de Afsluitdijk in het IJsselmeer, de Haringvlietdam in het Haringvliet en op een tweetal lokaties in het Schelde-estuarium.

LOKATIE	Zn	Cu	Cr	Ni	Pb	Cd	Hg	As	P
	ug/g								%
WADDENZEE									
Den Helder-Texel	312	35	102	33.7	92	2.1	0.87	22.5	0.20
Rottum-Borkum	181	21	100	23.2	67	0.8	0.48	21.6	0.18
SCHELDE-ESTUARIUM									
Bath	594	201	240	47.4	197	15.5	2.2	67.1	0.45
Vlissingen	208	46	101	29.3	77	2.3	0.44	17.4	0.15
BEKKENS									
Haringvlietdam	1828	163	496	72.0	440	21.6	5.3	40.8	0.66
Afsluitdijk	583	50	145	46.6	132	4.3	1.2	20.4	0.58

Tabel 17. Vergelijking tussen de metaalgehalten in het zwevende slib in de Waddenzee met die op een tweetal lokaties in de Wester-Schelde en met de gehalten in het zwevende slib ter hoogte van de Haringvlietdam en de Afsluitdijk.

De gehalten in Waddenzee, ter hoogte van Den Helder-Texel komen overeen met die in Wester-Schelde ter hoogte van Vlissingen, die ter hoogte van Borkum zijn de laagste. De gehalten in het IJsselmeer bij de Afsluitdijk zijn tot een factor twee hoger dan die van het zwevende slib ter hoogte van Den Helder-Texel.

5.4.2 Metaalgehalten in de afgezette sedimenten

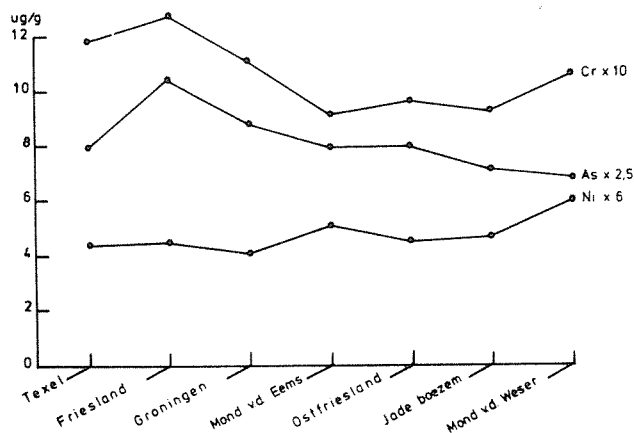
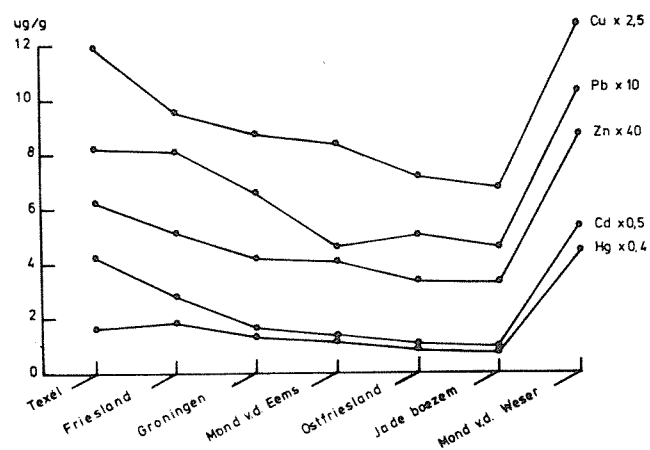
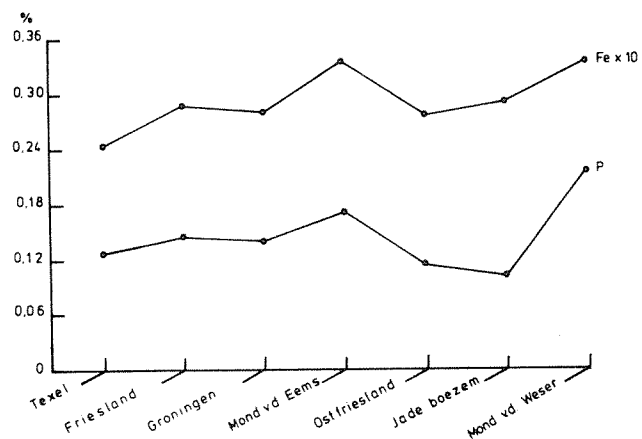
De gehalten in de Wester-Schelde (Baalhoek en Perkpolder) liggen hoger dan de gehalten in de Waddenzee. Echter, de gehalten bij Breskens liggen vrijwel (met uitzondering van Cadmium) op eenzelfde niveau met die ter hoogte van de Vlaamse Banken en de Oosterschelde. Deze gehalten zijn waarschijnlijk karakteristiek voor materiaal dat vanuit het zuiden langs de kust wordt getransporteerd en dat in deze gebieden tot bezinking komt. De gehalten in Europoort zijn hoger dan dit materiaal vanuit het zuiden en laten duidelijk de invloed van de Rijn zien, die ongeveer voor 10 % bijdraagt tot de metaalgehalten in de sedimenten die in het Europoort gebied tot bezinking komen.

GEBIED	Zn	Cu	Cr	Ni	Pb	Cd	Hg	As
ug/g								
Vlaamse Banken 1978	180	18	110	22	65	0.8	0.51	22.0
Baalhoek 1979	366	58	160	36	116	6.3	1.55	56.4
Perkpolder 1979	277	36	124	28.8	74	3.9	0.89	29.1
Breskens 1979	165	26	100	23.5	40	1.4	0.50	19.0
Oosterschelde 1975	160	23	90	23	55	0.9	----	----
Europoort	308	38	148	26.5	80	3.7	0.90	18.0
Balgzand 1980	256	29	103	28.6	90	1.8	0.67	19.5
Noorderleeg 1980	209	24	128	27.1	81	1.4	0.74	25.6
Julianapolder 1980	167	23	117	24.9	69	0.9	0.55	22.9
Dollard 1980	143	18	96	27.3	44	0.5	0.57	19.0
Ost-Friesland	134	18	96	27.0	51	0.5	0.37	20.0
Jade boezem	131	17	93	28.2	46	0.5	0.37	18.0

Tabel 18. Gehalten in mariene afzettingen langs de Nederlandse kust vergeleken met die in de Waddenzee. Alle gehalten bij 50 % < 16 um.

Deze invloed van de grote rivieren blijkt ook duidelijk uit de samenstelling van het slib dat in het Westelijk deel van de Waddenzee tot bezinking komt, de gehalten hiervan zijn voor een groot aantal metalen verhoogd t.o.v. het zuidelijke materiaal. De gehalten in de Dollard zijn even hoog of lager dan die in het zuidelijke materiaal. Tijdens transport langs de kust vindt in toenemende mate een bijmenging van minder gecontamineerd materiaal van het Noordelijk deel van de Noordzee plaats.

Deze afname zet zich voort in het Duitse deel van de Waddenzee. In de Jade boezem worden de laagste gehalten aan zware metalen aangetroffen. Ter hoogte van de Weser monding stijgen de gehalten weer. In figuur 29 is het verloop in de gehalten van west naar oost over de Waddenzee weergegeven.



Figuur 29. Het verloop in de metaalgehalten in sedimenten van de Waddenzee van West naar Oost.

5.5 Metalen in de Waddenzee: Poging tot een eerste balans.

De bronnen die bijdragen tot een toevoer aan metalen naar de Waddenzee zijn:

- de Noordzee (waaronder begrepen de rivieren Rijn en Maas (via de slibstroom langs de kust) en de baggerspecie storingen vanuit de haven van IJmuiden)
- de uitwateringssluizen in de Afsluitdijk
- de rivier de Eems
- de atmosferische input aan metalen

Het is mogelijk om een globale afschatting te maken over de relatieve bijdrage van een aantal van deze bronnen.

De onderzoekingen in de Eems hebben laten zien (paragraaf 5.1) dat de invloed hiervan op de samenstelling van de sedimenten in de Dollard niet aantoonbaar is. Voor deze grove balans kan de Eems dan ook buiten beschouwing worden gelaten.

De atmosferische input valt af te schatten via analysecijfers van regenwater (paragraaf 5.2). De input vanuit het IJsselmeer is bekend uit gegevens van het ZMAS onderzoek (paragraaf 2.8).

De bijdrage van de Noordzee kan indirect worden afgeschat via de slibbalans. De totale accumulatie aan slib in de Waddenzee bedraagt 3×10^6 ton/jaar (hoge schatting) danwel 1×10^6 (lage schatting). Indien vervolgens wordt aangenomen dat het Noordzee materiaal een samenstelling heeft die overeenkomt met het gemiddelde van het zwevende slib verzameld in het Marsdiep en ter hoogte van Borkum, dan kan berekend worden hoeveel metalen via de Noordzee het Waddengebied bereiken.

In tabel 19 wordt een overzicht gegeven van deze globale schattingen.

METAAL	INPUT VIA			TOTAAL		
	Noordzee hoog	laag	Atmosfeer	IJsselmeer	hoog	laag
Zink	738	246	273	229	1240	748
Koper	84	28	25	41	150	94
Chroom	369	123	3,1	47	419	173
Cadmium	4.5	1.5	1.5	2.3	8.3	5.3
Nikkel	84	28	10	73	167	111
Lood	240	80	32	38	310	150
Arseen	66	22	2.1	18	86	42
Kwik	2.1	0.7	0.2	0.35	2.65	1.25

Tabel 19. Globale schatting van de input aan metalen in de Waddenzee

De input aan metalen in tabel 20 heeft betrekking op de totale input, een gedeelte van de input in opgeloste vorm (atmosfeer en IJsselmeer) zal via de eb-vloed beweging het Waddengebied weer verlaten, terwijl een ander deel waarschijnlijk aan de sedimenten adsorbeert. Daarnaast kan via de processen in de Waddenzee zelf het afgezette sediment een deel van zijn metalen verliezen. Niettegenstaande de grote onnauwkeurigheden in deze eerste balans voor de Waddenzee toont deze de relatief grote bijdrage van het IJsselmeer en de atmosfeer tot de accumulatie van metalen aan.

Ter vergelijking is in tabel 20 tevens de input van metalen in zoetwaterbekkens IJsselmeer en Haringvliet weergegeven.

METAAL	WADDENZEE		IJSSELMEER	HARINGVLIET
	hoog	laag		
Zink	1240	748	1232	5098
Koper	150	94	142	540
Chroom	419	173	237	1070
Cadmium	8.3	5.3	20	77
Lood	167	111	141	934
Nikkel	310	150	98	358
Arseen	86	42	22	128
Kwik	2.65	1.25	1.8	11.5

Tabel 20. Input van metalen in de Waddenzee vergeleken met die in het IJsselmeer en in het Haringvliet (ton/jaar). De gegevens van het IJsselmeer en het Haringvliet zijn afkomstig van het ZMAS onderzoek (ref 48).

Deze ruwe balans laat zien dat de input aan metalen (absolute grootte) in de Waddenzee vergelijkbaar is met die in het IJsselmeer.

1. Anonymus,
De positie van het Eems-Dollard-estuarium met betrekking tot de zandwinning ten behoeve van Onderzoek Zandwinning Waddenzee c.a., RWS. Dir Friesland, Notitie werkgroep I
2. Gloppe, R.J. de,
Over de bodemgesteldheid van het Waddengebied,
Serie: Van Zee tot Land, 43, 1967, Tjeenk Willink, Zwolle, 67 pp.
3. Veenstra, H.J.,
Onderzoek gevolgen zandwinning Blauwe Slenk,
Rapport van het Geologisch Instituut van de Rijksuniversiteit Groningen, maart 1979, pp. 1-11
4. Straaten, L.M.J.U. van,
De bodem der Waddenzee,
Het Waddenboek, Thieme, Zutphen, 1964, pp. 75-151
5. Allersma, E. e.a.,
Milieu-onderzoek Noordzee-eiland, Verspreiding van stoffen en warmte,
Waterloopkundig Laboratorium Delft, verslag R 1275, juni 1978, pp. 1-68
6. 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. Néerlandaise Zoöl., X, 4e livr., 1954, pp. 405-512
7. Christiansen, H.,
Über den Transport suspendierter Feststoffe in Astuariën am Beispiel der Elbemündung bei Neuwerk,
Hamb. Küstenforsch., H. 28, 1974
8. Kamps, L.F.,
Mud distributions and land reclamation in the eastern Wadden shallows,
Int. Inst. Land Recl. and Impr., Publ. 9, 1963
Ook in: RWS Communications no. 4, 1962
9. Postma, K.,
Transport and accumulation of suspended matter in the Dutch Wadden Sea,
Neth. J. Sea Res., 1, 1961, pp. 148-190
10. Hinrich, H.,
Schwebstoffgehalt, Gebietsniederschlag, Abfluss und Schwebstofffracht der Ems bei Rheine und Versen in den Jahren 1965 bis 1971,
Deutsche Gewässerkundl. Mitt. 18, Heft 4, August 1974, pp. 85-95
11. Rietveld, C.F.W.,
Natural development of the Wadden Sea after the enclosure of the Zuidersea,
Proc. 8th Conf. Coastal Eng., Mexico City, Nov. 1962, Publ. 1963, pp. 765-781

12. Salomons, W.,
De toepassing van de multi-elementenanalyse voor het bepalen van de
herkomst van slib in de Noordzee,
Waterloopkundig Laboratorium, Verslag R 1036, jan. 1978, 26 pp.
13. Salomons, W., Hofman, P., Boelens, R. and Mook, W.G.,
The oxygen isotopic composition of the fraction less than 2 microns (clay
fraction) in recent sediments from western Europe,
Marine Geology, 18, 1975, pp. M23-M28
14. Veenstra, H.J.,
De zeespiegelstijging in Noord-Nederland,
Waddenbulletin, Jg. 3, nr. 1, 1968, pp. 1-6
15. Morfologie van de Waddenzee.
Waterloopkundig Laboratorium, Rapport R 1336, mei 1979
16. Straaten, L.M.J.U. van, and Kuenen, Ph.H.,
Accumulation of fine grained sediments in the Dutch Wadden Sea,
Geol. Mijnb., 19, Aug. 1957, pp 329-354
17. Verwey, J.,
On the ecology of distribution of cockle and mussel in the Dutch Wadden
Sea, their role in sedimentation and the source of their food supply,
Arch Néerlandaise de Zoöl., Tome 10, 1951-1954, 2e livr., 1952, pp. 171-
240
18. Straaten L.M.J.U. van,
Texture and genesis of Dutch Wadden Sea sediments,
Proc. 3rd Int. Congr. Sedimentology, Groningen-Wageningen, 1951, pp. 225-
244
19. Salomons, W. and Förstner, U.,
Metals in the hydrological cycle,
Springer, 1983, in press
20. De toepassing van de multi-elementen analyse voor het bepalen van de
herkomst van slib in de Noordzee,
Waterloopkundig Laboratorium, 1978, R1036
21. Eisma, D.,
Supply and deposition of suspended matter in the North Sea.
In: Nio, S.p., Schüttenhelm and van Weering, Tj.C.E. (eds), Holocene
marine sedimentation in the North Sea Basin, Blackwell Science Publ, 1981
22. Salomons W., Bruin, M. de, Duin, R.P.W. and Mook, W.G.,
Mixing of marine and fluvial sediments in estuaries,
Extended abstract 16th Coastal Engineering Conf., 1978, Hamburg, W-Germany
23. Salomons, W. and Mook, W.G.,
Field observations on the isotopic composition of particulate organic
carbon in the Southern North Sea and adjacent estuaries,
Mar. Geol., 41, M11-M20

24. Duinker, J.C.,
Effects of particle size and density on the transport of metals to the oceans,
In: Wong, C.S., Boyle, E., Bruland, K.W., Burton, J.D. and Goldberg, E.D. (eds.). Trace metals in sea water. Plenum Press, New York and London, pp. 209-227
25. Metalen in boorkernen en oppervlakesedimenten van de Noordzee,
Waterloopkundig Laboratorium, M 1676, 1983
26. Stumm, W. and Bilinski, H.,
Trace metals in natural waters: difficulties of interpretation arising from our ignorance on their speciation,
In: Jenkins, S.H. (ed) Adv. in Water Pollut Res., Proc 6th Int Conf. Jerusalem, 1972.
Pergamon, Oxford 1973
27. Schoer, J., Nagel, U., Eggersgluess, D. and Förstner, U.,
Metal contents in sediments from the Elbe, Weser and Ems estuaries and from the German Bight (southeastern North Sea): Grain size effects,
Mitt. Geol.-Paläont. Inst., Univ. Hamburg, 1982, 52: 687-702
28. Baudo, R.,
The role of the speciation in the transfer of heavy metals along the aquatic food web. In: Ravera, D. (ed.) Ecological effects on heavy metals speciation in aquatic ecosystems.
ISPRA-Courses, Ispra/Italy. Unpublished Manuscript, 1982, 31 pp
29. Salomons, W. and Förstner, U.,
Trace metal analysis on polluted sediments. Part II, Assessment of sources and intensities.
Environ. Technol. Lett. 1, 1980, pp. 506-517
30. Elderfield, H.,
Metal-organic associations in interstitial waters of Narraganset Bay sediments,
Am. J. Sci., 1981, 281: pp. 1184-1196
31. Hallberg, R.O.,
Paleoredox conditions in the eastern Gotland Basin during the recent centuries,
Merentutkimuslait Julk./Havsforskningsinst. Skr. 238, 1974, pp. 3-16
32. Hallberg, R.O.,
Metal-organic interaction at the redox-cline. In: Krumbein, W.E. (ed.), Environmental Biogeochemistry and Geomicrobiology,
Ann Arbor Sci. Publ. 3, 1978, pp. 947-954
33. Milieuhygiënische aspecten van het sorten van baggerslib uit de Maasmond, de Botlek- en de Waalhaven in het Oost-voornse Meer,
en:
Waterkwaliteitsaspecten tijdens en na het sorten van baggerspecie uit de

Maasmond, Botlek- en Waalhaven in het Oost-voornse Meer,
Waterloopkundig Laboratorium, Haren, M1501/M1549

34. Salomons, W. and Gerritse, R.A.,
Some observations on the occurrence of phosphorus in sediments from
Western Europe,
Sci. Total Env. 17, 1981, pp. 34-49
35. Halberg, R.O.,
Diagenetic and environmental effects upon heavy metal distribution in
sediments,
in press
36. Duinker, J.C., Eck, G.T.M. van and Nolting, R.F.,
On the behaviour of Cu, Zn, Fe and Mn and evidence for mobilization
processes in the Dutch Wadden Sea,
Neth. J. Sea Res., 8, 1974, 214-239
37. Decontaminatie van anaeroob slib in zeewater,
Waterloopkundig Laboratorium, R 1024
38. Voorkomen van kwik in slib uit het Eems-Dollard estuarium,
Waterloopkundig Laboratorium, M 1838
39. Förstner, U. and Salomons, W.,
Trace metal analysis on polluted sediments, Part I. Assessment of sources
and intensities,
Env. Technol. Lett 1, 1980, pp. 494-505
40. Lichtfuss, R. and Brümmer, G.,
Schwermetallbelastung von Elbe-Sedimenten,
Naturwissenschaften 64, 1977, pp. 122-125
41. Salomons, W. and Mook, W.G.,
Trace metal concentrations in estuarine sediments: mobilization, mixing or
precipitation,
Neth. J. Sea Res., 11, 1977, pp. 199-209
42. Salomons, W.,
Adsorption processes and hydrodynamic conditions in estuaries,
Environ. Technol. Lett., 1, 1980, pp. 356-365
43. Salomons, W. and de Groot, A.J.,
Pollution history of trace metals in sediments, as effected by the Rhine
River. In: Krumbein, W.E. (ed) Environmental Biogeochemistry and
Geomicrobiology,
Volume I, Ann Arbor Sci, 1978, pp. 140-164
44. Voorlopige base line voor Cd, Zn, N, Pb, Cu, en Cr in Nederlandse
sedimenten,
Waterloopkundig Laboratorium, R1703

45. Lichtfuss, R. and Brümmer, G.,
Natürlicher Gehalt und antropogene Anreicherung von Schwermetallen in den
Sedimenten von Elbe, Trave und Schwentine,
Catena 8, 1981, pp. 251-264
46. Wedepohl, K.H.,
Environmental influences on the chemical composition of shales and clays,
Phys. Chem Earth 88, 1970, pp. 305-333
47. Ure, A.M. and Berrow, M.L.,
The elemental constituents of soils,
In: Bowen, H.J.M. (ed.) Environmental Chemistry, Vol. 2,
The Royal Society of Chemistry, London, 1982
48. Zware metalen in de Nederlandse wateren (ZMAS)
Waterloopkundig Laboratorium, Rapport M 1468, 1983

Nr IB-WL	CaCO	org.	16um	16um	Zn	Cu	Cr	Pb	Cd	Ni	Hg	As	Mn	Fe	P	Al
	%	stof	1)	2)												
					mg/kg										%	
803496	18.9	8.04	46.3	63.4	276	33	134	95	2.59	30.0	0.76	18.75	645	2.72	0.148	3.57
803497	19.1	8.37	43.7	60.3	282	33	133	95	2.5	30.8	0.74	16.85	683	2.76	0.145	3.57
803498	18.5	7.96	40.7	55.3	264	32	132	92	2.5	29.5	0.78	18.7	620	2.62	0.137	3.46
803499	18.8	7.95	40.2	54.9	254	30	138	89	2.3	29.6	0.75	18.8	760	2.65	0.137	3.41
803500	19.1	7.81	39.9	54.6	260	33	124	90	2.5	29.6	0.73	30.9	719	2.60	0.139	3.41
803501	18.9	7.72	40.6	55.3	262	31	130	87	2.4	28.7	0.73	19.05	732	2.58	0.137	3.31
803502	18.7	7.93	41.4	56.4	261	31	130	92	2.4	28.5	0.72	17.85	844	2.67	0.145	3.46
803503	18.5	7.79	39.7	53.9	251	31	122	91	2.3	27.5	0.62	15.6	793	2.58	0.139	3.31
803504	18.8	7.76	39.6	53.9	257	32	126	92	2.3	26.8	0.69	17.05	769	2.58	0.139	3.36
803505	18.8	7.97	41.2	56.3	252	31	130	93	2.3	28.0	0.71	25.7	894	2.61	0.143	3.42
803506	18.7	8.09	42.1	57.5	261	31	129	94	2.3	29.2	0.66	21.6	949	2.73	0.148	3.58
803507	18.9	7.47	38.6	52.4	265	31	126	89	2.4	27.7	0.77	18.0	648	2.55	0.139	3.35
803508	18.1	7.23	37.1	49.7	247	28	130	84	2.3	26.7	0.65	20.1	816	2.45	0.133	3.19
803509	14.7	5.17	26.2	32.7	174	20	97	59	1.5	20.3	0.44	17.9	552	1.87	0.099	2.40
803510	8.8	1.67	8.9	9.9	67	7	49	22	0.6	8.9	0.16	6.65	264	0.88	0.045	1.07
803511	7.9	1.26	7.5	8.3	56	10	42	20	0.3	6.8	0.20	7.1	189	0.74	0.028	0.86

Tabel 21. Metaalgehalten in afgezet slib van Texel-Haven NIDZ (1980)

Nr IB-WL	CaCO	org.	16um	16um	Zn	Cu	Cr	Pb	Cd	Ni	Hg	As	Mn	Fe	P	Al
	%	stof	1)	2)												
					mg/kg										%	
803512	16.8	7.94	40.1	53.3	317	35	122	88	2.3	26.5	0.69	24.3	553	2.59	0.133	3.25
803513	16.6	7.91	39.6	52.5	317	37	128	84	2.3	26.4	0.66	22.5	585	2.59	0.133	3.24
803514	17.4	7.73	38.7	51.7	259	32	115	84	2.3	27.6	0.62	23.7	701	2.50	0.133	3.14
803515	17.4	6.77	37.9	50.0	251	30	117	89	1.8	26.0	0.64	26.5	695	2.54	0.125	3.14
803516	16.5	7.60	40.6	53.5	285	33	109	83	2.2	27.9	0.68	22.8	743	2.55	0.134	3.25
803517	7.3	3.51	17.1	19.2	145	16	55	63	1.1	14.3	0.33	11.2	321	1.29	0.056	1.63
803518	7.2	3.84	18.9	21.2	161	19	71	47	0.9	13.1	0.30	11.4	260	1.24	0.059	1.73
803519	8.3	4.12	22.3	25.5	186	24	73	45	1.0	15.3	0.34	14.0	285	1.44	0.056	1.84
803520	12.1	4.51	30.6	36.7	199	26	92	60	1.0	17.6	0.53	18.5	384	1.88	0.076	2.50
803521	15.0	5.70	39.9	50.3	241	31	103	79	1.4	22.2	0.61	25.0	501	2.41	0.099	3.13
803522	11.8	4.37	30.2	36.0	186	24	90	60	1.2	21.7	0.52	14.6	446	1.91	0.096	2.56
803523	15.9	7.28	35.1	45.7	256	32	109	81	2.0	24.9	0.68	23.8	716	2.42	0.136	3.09
803524	17.1	7.59	39.6	52.6	256	30	130	78	2.0	26.4	0.65	20.5	801	2.54	0.142	3.19
803525	16.0	6.72	31.6	40.9	225	28	117	68	1.8	23.6	0.60	22.4	791	2.29	0.128	2.72
803526	18.7	5.22	23.3	30.6	188	21	94	51	1.4	19.1	0.35	11.92	842	1.78	0.096	2.04
803527	17.0	6.55	28.8	37.7	213	27	105	64	1.7	22.1	0.49	18.4	666	2.21	0.119	2.57
803528	11.2	3.36	15.9	18.6	119	17	77	36	0.9	13.6	0.36	12.8	711	1.38	0.070	1.52

Tabel 22. Metaalgehalten in afgezet slib van Texel-Haven van Dude Schild (1980)

Nr IB-WL	CaCO	org.	16um	16um	Zn	Cu	Cr	Pb	Cd	Ni	Hg	As	Mn	Fe	P	Al
	%	stof	1)	2)												
813792	10.9	3.23	17.6	20.5	122	13	77	36	1.0	14.7	-	12.1	240	1.53	0.072	1.62
813793	9.6	2.87	16.1	18.4	112	12	75	33	1.0	13.5	0.35	10.05	215	1.39	0.067	1.42
813794	12.8	4.53	23.6	28.6	148	16	84	46	1.2	19.3	0.51	14.1	290	1.88	0.098	2.04
813795	9.4	2.72	14.6	16.6	101	12	65	31	0.8	12.8	0.31	10.25	215	1.33	0.064	1.37
813796	12.6	4.05	19.7	23.6	127	14	89	39	1.1	16.8	0.43	11.4	276	1.68	0.084	1.88
813797	12.8	4.15	21.6	26.0	142	16	88	41	1.1	18.5	0.44	13.3	281	1.85	0.089	1.99
813798	11.8	4.03	21.3	25.3	144	15	85	43	1.1	18.7	-	13.0	265	1.75	0.086	1.93
813799	11.9	3.81	19.5	23.1	129	14	91	40	1.0	17.0	-	11.7	240	1.64	0.083	1.83
813800	14.8	5.32	26.7	33.4	161	18	102	51	1.3	23.6	0.52	15.4	303	2.12	0.106	2.45
813801	11.8	3.71	18.5	21.9	110	12	85	34	0.9	18.1	0.34	11.1	276	1.69	0.083	1.83
813802	15.2	5.57	29.7	37.5	161	19	113	55	1.6	24.7	-	16.9	270	2.23	0.112	2.71
813803	15.0	4.98	26.9	33.6	142	17	104	50	1.4	21.7	0.50	14.0	249	2.04	0.104	2.50
813804	16.0	5.13	26.3	33.4	134	15	94	49	1.3	22.2	-	14.7	311	2.13	0.106	2.40
813805	16.7	6.26	32.4	42.1	195	23	111	56	1.6	28.8	0.56	17.1	414	2.39	0.121	2.87
813806	15.4	5.75	29.8	37.8	178	21	96	55	1.6	26.8	0.53	15.3	410	2.23	0.112	2.67
813807	11.1	3.08	15.6	18.2	101	11	79	30	0.9	14.2	-	10.1	243	1.54	0.081	1.57

Tabel 23. Metaalgehalten in afgezet slib van Vlieland (1981)

Nr IB-WL	CaCO	org.	16um	16um	Zn	Cu	Cr	Pb	Cd	Ni	Hg	As	Mn	Fe	P	Al
	%	stof	1)	2)												
597866	14.0	5.75	35.6	44.0	203	23	101	66	1.0	23.1	0.68	19.7	861	2.49	0.101	3.04
597867	13.7	6.23	37.7	47.1	212	26	108	71	1.0	25.2	0.73	20.7	954	2.63	0.116	3.21
597868	13.4	6.81	40.6	50.9	225	26	112	75	0.8	26.7	0.85	27.8	1028	2.75	0.095	3.42
597869	13.2	5.95	39.1	48.4	206	25	111	70	0.7	24.5	0.75	18.4	873	2.56	0.093	3.20
597870	13.1	5.96	37.8	46.7	209	25	103	72	0.8	24.6	0.64	19.8	916	2.62	0.095	3.15
597871	13.2	6.43	38.0	47.3	211	25	99	72	0.9	25.1	0.73	19.8	1003	2.76	0.093	3.25
597872	13.4	6.16	39.8	49.5	223	25	108	71	0.2	25.2	0.80	21.2	918	2.58	0.113	3.21
597873	12.9	6.42	39.9	49.5	226	25	101	74	0.4	25.9	0.95	25.7	1072	2.58	0.095	3.31
597874	13.8	4.88	29.7	36.5	178	21	97	57	0.2	20.3	0.60	18.9	537	2.08	0.141	2.62
597875	14.0	6.07	38.3	48.0	217	25	97	68	0.5	26.5	0.72	18.1	929	2.57	0.121	3.21
597876	13.8	6.30	41.0	51.3	224	24	103	70	0.6	26.7	0.78	24.5	824	2.59	0.110	3.31
597877	13.6	6.26	42.5	53.1	232	26	112	74	0.6	27.6	0.75	21.3	673	2.82	0.124	3.52
597878	13.5	5.36	36.3	44.8	193	22	97	61	0.7	24.1	0.78	26.5	760	2.41	0.104	3.04
597879	13.3	6.99	40.8	51.2	217	25	99	71	0.9	26.9	0.90	27.5	821	2.67	0.127	3.36
597880	13.5	6.39	39.3	49.1	213	23	105	70	0.6	26.3	0.67	19.8	827	2.61	0.113	3.26
597881	13.5	6.36	38.0	47.4	210	23	99	69	0.7	26.5	0.73	27.1	1013	2.55	0.119	3.20
597882	13.7	6.52	39.8	49.9	210	23	97	67	0.7	26.6	0.81	22.4	1043	2.52	0.101	3.21
597883	13.9	5.87	41.1	51.3	-	-	-	-	-	-	-	-	993	-	-	-

Tabel 24. Metaalgehalten in afgezet slib van Ameland (1959)

Nr IB-WL	CaCO	org.	16um	16um	Zn	Cu	Cr	Pb	Cd	Ni	Hg	As	Mn	Fe	P	Al
	%	stof	1)	2)												
					mg/kg											%
597943	9.8	8.49	39.1	47.9	157	17	76	54	0.3	20.9	0.53	28.8	1566	2.41	0.119	2.76
597944	10.8	9.09	42.7	53.3	170	20	94	55	0.5	25.9	0.58	28.1	909	2.71	0.147	3.25
597945	7.8	6.56	37.6	43.9	168	21	97	64	0.5	22.3	0.60	20.7	2789	2.20	0.102	2.96
597946	11.2	8.28	42.7	53.0	167	19	92	57	0.6	24.2	0.58	30.7	742	2.68	0.150	3.04
597947	9.3	5.65	29.3	34.5	130	15	76	46	0.6	19.1	0.62	21.6	369	2.07	0.104	2.27

Tabel 25. Metaalgehalten in afgezet slib van Schiermonnikoog (1959)

Nr IB-WL	CaCO	org.	16um	16um	Zn	Cu	Cr	Pb	Cd	Ni	Hg	As	Mn	Fe	P	Al
	%	stof	1)	2)												
					mg/kg											%
803529	16.9	2.93	18.7	23.3	126	15	75	40	1.0	16.5	0.49	13.5	750	1.83	0.106	1.98
803530	15.4	2.57	14.9	18.2	112	14	79	37	0.8	15.1	0.36	13.2	908	1.69	0.101	1.72
803531	15.8	2.83	16.2	19.9	124	15	79	39	0.9	16.2	0.39	13.4	621	1.77	0.107	1.78
803532	16.1	3.67	21.6	26.9	148	19	96	51	1.2	18.9	0.67	15.5	635	2.07	0.129	2.24
803533	15.8	2.78	15.9	19.5	121	14	83	41	0.9	16.1	0.41	13.2	633	1.74	0.106	1.83
803534	17.2	2.19	11.8	14.6	89	10	75	28	0.6	13.2	0.28	9.75	553	1.48	0.101	1.46
803535	16.2	3.55	21.7	27.0	150	18	85	50	1.1	19.1	0.55	15.5	602	2.04	0.129	2.24
803536	16.5	4.14	24.7	31.1	173	20	79	58	1.3	20.7	0.54	14.7	606	2.14	0.121	2.34
803537	15.6	3.46	21.3	26.3	149	17	77	50	1.0	18.7	0.49	14.3	610	2.02	0.126	2.13
803538	15.8	3.57	22.3	27.7	147	17	87	51	1.1	19.5	0.55	15.9	724	2.07	0.129	2.19
803539	16.2	3.73	23.6	29.5	154	18	85	54	1.2	21.2	0.52	16.2	789	2.22	0.140	2.39
803540	16.0	3.45	21.8	27.1	145	17	81	51	1.2	18.7	0.58	15.2	818	2.07	0.124	2.24
803541	16.2	3.22	20.4	25.3	134	16	83	46	1.1	18.2	0.42	13.9	756	1.98	0.121	2.13
803542	15.6	3.22	20.9	25.8	132	15	81	48	1.2	18.5	0.41	14.2	736	1.99	0.121	2.13
803543	15.2	3.12	19.7	24.1	143	16	93	44	0.6	16.4	0.50	15.4	784	2.03	0.107	2.08
803544	18.2	4.43	27.0	34.9	192	21	96	65	1.1	21.3	0.66	16.0	702	2.40	0.116	2.60
803545	16.3	4.08	23.3	29.3	171	19	94	57	1.0	19.5	0.53	13.7	497	2.25	0.113	2.39

Tabel 26. Metaalgehalten in afgezet slib van Balgzand (1980)

Nr IB-WL	CaCO	org.	16um	16um	Zn	Cu	Cr	Pb	Cd	Ni	Hg	As	Mn	Fe	P	Al
	%	stof	1)	2)												
					mg/kg										%	
814636	17.1	4.91	31.4	40.3	260	29	132	70	1.2	24.1	0.62	15.2	478	2.52	0.092	2.93
814637	11.1	2.37	11.6	13.4	115	13	65	29	0.8	12.3	0.30	8.75	262	1.14	0.045	1.34
814638	5.3	1.23	6.3	6.7	51	6	28	16	0.4	5.5	0.14	3.37	141	0.51	0.030	0.55
814639	16.8	4.87	27.8	35.5	215	26	110	63	1.6	21.1	0.55	18.0	528	2.25	0.117	2.58
814640	17.7	6.51	35.7	47.1	256	30	116	77	1.8	24.6	-	17.9	949	2.54	0.103	2.96
814641	16.9	4.77	26.2	33.4	214	25	110	62	1.6	20.7	0.55	14.5	579	2.25	0.138	2.52
814642	15.6	3.95	19.4	24.1	163	21	99	68	1.3	17.6	0.46	14.6	516	1.84	0.085	1.90
814643	17.8	5.51	30.2	39.4	240	30	122	72	1.9	24.3	-	15.3	529	2.46	0.098	2.71
814644	18.5	7.50	37.4	50.5	337	38	157	90	2.4	28.0	0.69	19.2	552	2.79	0.109	3.16
814645	17.1	6.16	26.9	35.1	241	29	130	70	1.9	24.6	-	23.3	489	2.15	0.096	2.61
814646	18.0	6.81	35.1	46.7	276	35	145	85	2.3	26.7	-	20.0	449	2.54	0.106	3.03
814647	13.9	3.61	18.3	22.2	131	17	91	45	1.0	16.0	-	14.4	607	1.67	0.097	1.71
814648	17.6	6.85	35.0	46.3	245	34	153	86	2.2	28.5	0.70	20.6	777	2.64	0.141	2.90
814649	19.3	7.61	41.6	56.9	276	37	162	100	2.3	30.0	0.84	24.6	749	3.02	0.139	3.37
814650	18.8	6.76	39.6	53.2	254	31	143	91	2.2	28.5	0.76	22.5	706	2.87	0.135	3.17
814651	19.4	7.65	40.3	55.2	278	35	148	99	2.6	30.9	-	20.1	482	2.91	0.105	3.28

Tabel 29. Metaalgehalten in afgezet slib in geulen ter hoogte van de Afsluitdijk (1981)

Nr IB-WL	CaCO	org.	16um	16um	Zn	Cu	Cr	Pb	Cd	Ni	Hg	As	Mn	Fe	P	Al
	%	stof	1)	2)												
					mg/kg										%	
813297	17.6	8.30	46.4	62.6	306	39	144	87	1.9	35.6	0.89	25.6	1476	3.20	0.173	3.92
813298	16.5	8.88	46.1	61.8	278	32	126	85	2.0	36.7	0.81	26.6	1243	3.15	0.168	3.72

Tabel 30. Metaalgehalten in afgezet slib in de haven van Harlingen (1981)

Nr IB-WL	CaCO	org.	16um	16um	Zn	Cu	Cr	Pb	Cd	Ni	Hg	As	Mn	Fe	P	Al
	%	stof	1)	2)												
					mg/kg										%	
813299	32.2	1.82	7.8	11.8	75	15	34	18	0.5	8.46	-	-	254	0.63	0.033	0.76
813300	7.2	1.72	10.2	11.2	59	8.5	58	22	0.5	11.6	-	-	226	1.09	0.038	1.16
813301	11.5	2.68	11.9	13.9	84	12	77	32	0.7	15.3	0.31	8.70	271	1.45	0.052	1.62
813302	13.1	2.85	15.7	18.7	102	14	83	39	0.7	15.6	0.36	9.95	259	1.55	0.049	1.82
813303	16.6	4.54	19.7	25.0	149	18	85	44	0.9	21.4	0.41	14.5	297	1.73	0.055	2.03
813304	10.6	2.62	13.8	15.9	109	12	57	30	0.7	15.5	0.23	7.20	242	1.29	0.054	1.41
813305	15.1	4.11	24.8	30.7	177	21	87	53	1.1	22.5	0.45	11.4	308	1.82	0.058	2.33
813306	11.0	1.64	8.2	9.4	66	7.9	46	20	0.4	9.34	0.15	5.05	189	0.79	0.030	1.01
813307	10.4	2.99	9.9	11.4	85	9.9	46	23	0.5	11.0	0.22	6.20	201	0.89	0.033	1.06
813308	11.2	2.48	12.1	14.0	87	11	48	27	0.5	13.6	-	-	226	1.03	0.041	1.21
813309	2.2	0.68	3.1	3.2	27	3.4	22	8.6	0.1	5.38	-	-	96	0.36	0.016	0.40
813310	3.1	0.54	2.6	2.7	20	1.8	12	6.8	0.1	4.09	0.03	1.97	88	0.27	0.016	0.30
813311	3.6	0.76	4.6	4.8	33	4.0	26	11	0.2	4.89	0.07	2.50	92	0.44	0.016	0.50
813312	5.7	1.90	11.5	12.4	79	9.7	42	24	0.5	12.1	0.23	6.35	161	0.98	0.043	1.14

Tabel 31. Metaalgehalten in afgezet slib in geulen ter hoogte van Harlingen-

/Zurich (1981)

Nr IB-WL	CaCO	org.	16um	16um	Zn	Cu	Cr	Pb	Cd	Ni	Hg	As	Mn	Fe	P	Al
	%	stof %	1) %	2) %												
701075	13.1	3.82	20.2	24.3	152	19	82	51	0.5	19.0	0.484	16.9	-	1.64	0.073	2.01
701076	15.5	7.52	39.0	50.6	257	35	116	88	1.0	30.7	1.07	22.3	-	2.56	0.114	3.18
701077	16.1	8.25	45.6	60.2	294	37	112	97	1.1	33.5	-	-	-	2.85	0.125	3.72
701079	16.8	8.34	46.9	62.6	288	37	126	-	-	-	-	-	-	3.03	0.125	3.81
701080	16.2	7.44	40.4	52.9	251	35	114	-	-	-	-	-	-	2.58	0.117	3.27
701081	16.3	8.83	48.7	65.1	301	42	133	106	1.2	35.9	-	-	-	2.98	0.129	3.93
701082	16.8	8.32	45.2	60.4	281	38	131	99	1.1	34.0	1.19	24.6	-	2.86	0.122	3.78
701083	16.0	8.65	47.9	63.6	288	40	143	104	1.1	34.6	1.36	22.3	-	2.94	0.130	3.90
701084	15.6	7.66	39.8	51.9	249	35	121	85	1.0	29.2	1.10	21.6	-	2.60	0.117	3.36
701085	16.3	10.01	52.1	70.7	320	44	143	-	-	-	-	-	-	3.14	0.142	4.32
701089	15.9	9.56	50.5	67.8	316	36	143	114	1.1	36.7	1.46	30.0	-	3.12	0.140	4.17
701090	16.1	9.05	48.6	65.0	300	35	132	-	-	-	-	-	-	2.96	0.137	3.93
701091	16.1	10.12	52.7	71.4	319	43	143	-	-	-	-	-	-	-	-	-
701094	15.3	9.39	50.1	66.5	308	40	145	117	1.1	36.5	1.22	25.4	-	3.14	0.141	4.17
701097	16.2	10.70	56.4	77.3	333	45	150	129	1.1	38.7	1.37	29.3	-	3.33	0.155	4.53
701099	16.5	10.13	55.3	75.5	340	47	154	132	1.1	40.3	1.73	28.5	-	3.39	0.152	4.59
701107	15.7	11.68	55.0	75.8	344	48	145	-	-	-	-	-	-	3.37	0.161	4.59
701109	15.5	12.12	54.0	74.6	341	47	150	129	1.1	39.1	1.63	33.9	-	3.36	0.171	4.50
701114	14.7	9.34	43.2	56.9	277	36	126	95	0.9	30.7	1.30	25.4	-	2.87	0.142	3.54
701118	14.8	10.18	43.2	57.6	290	34	117	99	0.9	32.9	-	-	-	2.96	0.145	3.54
701119	16.7	11.91	50.5	70.7	332	40	127	117	1.3	39.0	1.41	32.3	-	3.28	0.167	3.96
701120	17.1	11.43	58.2	81.4	370	48	159	138	1.4	43.8	1.77	36.2	-	3.55	0.166	4.71
701121	17.2	11.98	56.2	79.4	363	47	146	133	1.3	42.2	1.69	35.4	-	3.51	0.165	4.62
701122	16.7	11.85	60.8	85.2	382	53	155	152	1.4	44.0	1.95	33.9	-	3.77	0.174	5.10
701123	16.3	11.76	57.5	80.0	359	43	135	134	1.2	40.8	-	-	-	3.54	0.172	4.53

Tabel 32. Metaalgehalten in afgezet slib van Noorderleeg (1970)

Nr IB-WL	CaCO	org.	16um	16um	Zn	Cu	Cr	Pb	Cd	Ni	Hg	As	Mn	Fe	P	Al	
	%	stof %	1) %	2) %													
														mg/kg		%	
701127	8.2	2.06	10.6	11.8	65	11	69	21	0.2	10.8	-	-	488	1.08	0.047	1.26	
701129	8.7	3.07	15.3	17.3	94	13	70	30	0.3	13.5	0.306	12.3	518	1.38	0.059	1.68	
701132	10.0	3.97	20.4	23.7	121	15	81	40	-	-	-	-	-	1.69	0.075	2.04	
701136	10.1	5.69	27.7	32.9	137	8	84	49	-	-	-	-	-	1.96	0.095	2.46	
701137	10.4	4.14	21.7	25.4	122	7	82	40	0.4	16.2	0.333	13.1	622	1.71	0.076	2.10	
701143	10.1	5.04	24.4	28.8	132	7	80	44	-	-	-	-	-	1.86	0.087	2.16	
701144	10.3	4.81	26.9	31.7	139	8	92	47	0.4	17.9	-	-	1055	2.01	0.089	2.43	
701148	9.3	3.40	18.6	21.3	95	3	86	35	0.3	14.0	-	-	586	1.54	0.075	1.86	
701149	8.9	2.84	15.7	17.8	87	3	82	31	-	-	-	-	-	1.42	0.072	1.62	
701150	11.6	6.12	30.4	36.9	154	10	97	54	0.5	20.8	0.502	-	826	2.20	0.112	2.70	
701151	11.6	5.05	28.0	33.6	153	10	84	50	0.5	18.8	-	-	942	2.05	0.087	2.55	
701152	12.1	5.22	30.9	37.4	155	10	86	53	0.5	19.7	0.605	-	1096	2.12	0.089	2.55	
701153	11.6	4.91	27.4	32.8	150	10	84	49	-	-	-	-	-	2.07	0.088	2.49	
701159	12.8	6.78	35.6	44.3	163	13	93	61	-	-	-	-	-	2.44	0.116	2.97	
701161	12.9	6.50	35.0	43.4	169	12	95	63	-	-	-	-	-	2.37	0.106	2.88	
701163	14.2	7.08	40.4	51.3	193	15	96	69	-	-	-	-	-	2.62	0.114	3.30	
701165	14.2	11.35	50.4	67.7	230	20	106	78	0.9	27.8	0.747	23.1	1557	2.95	0.158	3.87	
701166	13.4	8.29	39.7	50.7	184	19	98	70	0.8	23.4	0.661	19.3	1296	2.61	0.130	3.18	
701168	14.4	10.65	45.1	60.2	203	22	111	74	0.9	23.8	0.634	18.1	1038	2.87	0.122	3.69	
701169	14.6	7.88	44.4	57.3	200	18	107	76	-	-	-	-	-	2.88	0.140	3.63	
701170	14.5	9.15	47.5	62.2	215	20	109	79	0.8	28.6	0.743	-	1316	2.90	0.142	3.75	
701171	13.9	7.57	41.8	53.2	190	18	99	71	-	-	-	-	-	2.66	0.118	3.42	
701172	14.9	7.31	42.7	54.9	202	20	105	76	0.8	29.7	0.657	24.6	1156	2.80	0.122	3.60	
701173	13.8	8.51	46.7	60.1	217	20	109	76	-	-	-	-	-	2.90	0.129	3.72	
701174	13.2	8.17	41.1	52.3	195	20	101	71	-	-	-	-	-	2.66	0.122	3.45	

Tabel 35. Metaalgehalten in afgezet slib van de Julianapolder (1970)

Nr IB-WL	CaCO	org.	16um	16um	Zn	Cu	Cr	Pb	Cd	Ni	Hg	As	Mn	Fe	P	Al
	%	stof %	1) %	2) %												
mg/kg														%		
803003	15.3	6.93	52.0	66.9	206	28	134	86	1.1	30.2	0.63	29.4	1854	3.35	0.163	4.42
803004	12.4	3.82	27.2	32.5	129	17	98	54	0.7	18.2	0.43	16.9	683	2.15	0.099	2.74
803005	14.4	5.73	42.5	53.2	176	24	110	76	1.0	25.8	0.60	25.0	1530	2.88	0.145	3.78
803006	13.1	3.67	29.5	35.4	138	20	110	58	0.8	20.2	0.49	20.5	668	2.37	0.103	3.06
803007	13.3	4.45	34.3	41.7	144	20	114	60	0.8	21.3	0.52	17.6	564	2.42	0.095	3.22
803008	14.8	5.15	42.0	52.5	175	22	135	79	0.9	26.6	0.64	26.7	779	3.09	0.148	3.80
803009	13.4	4.38	33.8	41.1	141	20	110	60	0.8	22.0	0.42	15.0	514	2.40	0.092	3.21
803010	14.1	4.60	34.5	42.4	142	21	110	59	0.8	21.5	0.49	18.1	519	2.53	0.112	3.22
803011	10.6	2.85	20.6	23.8	99	14	87	37	0.5	14.5	0.39	13.6	337	1.52	0.055	2.13
803012	11.7	3.87	28.5	33.8	128	18	96	50	0.7	19.1	0.42	15.0	423	2.21	0.103	2.80
803013	8.4	2.27	15.3	17.1	80	11	71	29	0.4	11.6	0.28	13.0	275	1.19	0.047	1.62
803014	13.0	4.26	31.3	37.8	134	19	94	53	0.7	21.0	0.44	17.1	420	2.28	0.075	3.01
803015	10.8	2.92	23.2	26.9	106	14	89	41	0.5	15.4	0.38	13.4	317	1.65	0.072	2.28
803016	13.7	4.38	33.4	40.8	142	21	110	58	0.8	22.7	0.53	18.1	446	2.42	0.106	3.12
803017	9.9	2.35	20.1	22.9	94	11	75	36	0.5	13.5	0.32	11.9	332	1.63	0.089	1.93
803018	15.5	6.39	46.5	59.5	198	25	119	74	1.0	28.3	0.54	28.3	1166	3.16	0.172	4.02

Tabel 36. Metaalgehalten in afgezet slib van in Julianapolder/Hornhuizen (1980)

Nr IB-WL	CaCO	org.	16um	16um	Zn	Cu	Cr	Pb	Cd	Ni	Hg	As	Mn	Fe	P	Al
	%	stof %	1) %	2) %												
mg/kg														%		
813147	11.2	4.20	26.2	31.0	115	14	100	42	0.5	22.3	0.31	18.0	599	2.39	0.101	2.62
813148	12.3	4.41	33.2	39.9	131	11	130	54	0.7	-	-	-	560	2.86	0.137	3.05
813149	13.7	5.35	39.0	48.2	161	21	120	61	0.8	28.8	-	-	490	3.33	0.147	3.67
813150	14.5	4.84	38.6	47.9	168	20	122	62	0.7	27.7	-	-	490	3.35	0.160	3.60
813151	14.9	6.43	54.0	68.6	207	24	130	74	1.0	34.3	0.56	28.9	617	3.91	0.212	4.50
813152	10.4	4.32	28.3	33.2	134	15	81	27	0.6	21.7	0.35	22.8	813	2.58	0.115	2.60
813153	13.5	4.64	38.0	46.4	163	20	115	58	0.7	27.9	0.49	23.9	450	3.23	0.163	3.52
813154	13.5	4.22	25.9	31.5	109	15	94	41	0.5	20.5	-	-	449	2.08	0.109	2.43
813155	13.1	6.00	39.2	48.5	151	20	102	44	0.7	28.7	-	-	870	2.86	0.156	3.59
813156	13.2	4.94	40.0	48.9	153	20	115	61	0.7	28.2	0.45	25.9	502	2.99	0.182	3.70
813157	12.4	5.28	29.7	36.1	114	17	96	25	0.5	21.6	0.36	25.2	918	2.46	0.158	2.73
813158	15.4	5.88	49.5	62.9	188	27	136	78	1.0	33.1	0.59	31.9	484	3.52	0.226	4.51
813159	13.4	5.06	38.3	47.0	154	20	109	63	0.7	27.1	-	-	481	3.11	0.238	3.57
813160	16.8	5.88	33.6	43.5	135	19	101	54	0.8	25.7	0.45	20.5	585	2.58	0.174	2.78
813161	16.0	8.24	50.0	66.0	182	24	130	71	1.1	35.4	0.64	27.2	750	3.21	0.214	4.38
813162	18.8	8.68	52.8	72.8	222	26	122	78	1.1	32.7	0.65	21.8	856	3.25	0.262	4.28

Tabel 37. Metaalgehalten in afgezet slib van de Julianapolder/Hornhuizen (1981)

Nr IB-WL	CaCO	org.	16um	16um	Zn	Cu	Cr	Pb	Cd	Ni	Hg	As	Mn	Fe	P	Al
	%	stof %	1) %	2) %												
mg/kg														%		
700903	9.5	2.36	16.9	19.2	82	7	54	31	0.3	11.0	0.213	9.2	-	1.32	0.058	1.59
700905	11.7	4.08	28.0	33.3	127	10	83	52	-	-	-	-	-	1.93	0.081	2.61
700906	11.2	3.68	24.9	29.3	115	8	93	44	-	-	-	-	-	1.83	0.079	2.22
700907	10.7	3.34	22.7	26.4	110	8	82	38	0.4	12.5	0.388	12.7	-	1.70	0.072	2.10
700911	12.5	4.73	32.4	39.2	145	13	100	53	0.6	18.1	0.485	-	-	2.13	0.089	2.82
700915	12.0	4.05	27.4	32.6	132	12	89	45	0.6	16.5	0.447	14.6	-	1.90	0.082	2.52
700921	13.8	5.75	37.6	46.7	159	17	106	62	0.8	20.7	-	-	-	2.40	0.104	3.30
700922	14.8	7.04	44.5	56.9	195	20	125	73	0.9	24.5	-	-	-	2.73	0.117	3.81
700926	13.7	6.18	40.9	51.0	181	19	112	68	0.8	23.8	-	-	-	2.53	0.114	3.48
700931	7.8	1.77	12.7	14.0	68	5	69	23	0.3	9.2	-	-	-	1.11	0.055	1.38
700932	7.4	1.63	11.4	12.5	62	3	65	22	0.2	9.8	0.153	7.3	-	1.07	0.054	1.32
700935	8.7	2.46	17.1	19.3	89	3	82	34	-	-	-	-	-	1.40	0.067	1.74
700938	13.3	5.45	36.1	44.4	170	13	109	63	0.6	21.6	0.516	18.1	-	2.46	0.108	3.15
700939	12.8	5.38	32.9	40.2	163	15	99	61	0.7	20.0	-	-	-	2.29	0.102	2.97
700942	14.7	6.57	40.6	51.6	167	17	111	71	-	-	0.716	21.6	-	2.71	0.139	3.51
700944	15.4	7.84	48.7	63.5	205	24	115	85	-	-	-	-	-	3.30	0.147	4.02
700945	15.1	7.73	48.5	62.8	217	22	122	84	0.9	26.7	-	-	-	3.25	0.157	3.96
700947	14.7	7.79	50.7	65.3	223	22	123	89	0.9	27.7	0.683	23.9	-	3.14	0.138	4.32
700949	16.1	8.01	54.9	72.3	250	27	137	104	1.1	30.7	1.003	26.2	-	3.38	0.140	4.74
700951	15.3	7.58	54.0	70.0	241	25	130	94	-	29.3	-	-	-	3.30	0.137	4.59

Tabel 38. Metaalgehalten in afgezet slib van de Uithuizerwadpolder (1970)

Nr IB-WL	CaCO	org.	16um	16um	Zn	Cu	Cr	Pb	Cd	Ni	Hg	As	Mn	Fe	P	Al
	%	stof %	1) %	2) %												
mg/kg														%		
803041	9.6	2.96	24.2	27.7	100	12	67	43	0.2	15.9	-	17.2	374	1.94	0.093	2.24
803042	8.4	1.99	17.0	19.0	81	9.1	71	34	0.2	13.1	0.28	10.4	279	1.51	0.071	1.77
803043	9.2	2.15	19.0	21.4	86	11	65	36	0.2	14.0	-	15.5	264	1.72	0.077	1.88
803044	12.8	4.38	35.7	43.1	144	19	86	61	0.5	23.6	0.53	21.2	475	2.78	0.150	3.23
803045	10.0	2.62	21.8	24.9	90	11	79	39	0.3	16.2	0.31	12.85	292	1.79	0.077	2.18
803046	10.4	3.08	24.0	27.7	108	14	81	43	0.5	16.9	0.37	12.7	354	1.86	0.085	2.39
803047	13.3	4.57	39.7	48.3	156	20	90	59	0.7	24.6	-	22.95	639	2.77	0.155	3.33
803048	10.8	2.97	26.3	30.5	117	15	79	42	0.4	18.2	0.37	12.9	419	2.07	0.102	2.54
803049	14.1	5.95	41.6	52.0	184	26	123	72	0.9	26.6	0.49	26.8	760	3.17	0.179	3.90
803050	13.8	7.76	55.4	70.6	216	29	137	83	1.0	30.4	0.68	28.1	787	3.51	0.215	4.56
803051	14.3	6.21	50.6	63.7	206	27	130	75	0.9	28.2	0.61	23.7	733	3.25	0.152	4.22
803052	14.3	5.77	46.5	58.2	194	25	118	71	0.9	27.5	0.56	15.2	915	3.19	0.172	3.92
803053	14.9	6.52	52.2	66.4	206	26	128	77	1.0	28.7	-	22.1	908	3.35	0.189	4.28
803054	14.0	4.99	40.0	49.4	172	21	109	60	0.8	24.3	0.47	22.4	930	2.80	0.140	3.48
803055	14.2	6.35	48.0	60.4	189	26	121	78	1.0	26.9	-	28.2	790	3.20	0.177	4.06
803056	14.9	6.72	49.8	63.5	199	26	120	80	1.0	27.5	-	25.25	891	3.30	0.177	4.12

Tabel 39. Metaalgehalten in afgezet slib van de Uithuizerwadpolder (1980)

Nr IB-WL	CaCO %	org. stof %	16µm 1) %	16µm 2) %	Zn	Cu	Cr	Pb	Cd	Ni	Hg	As	Mn	Fe	P	Al
752950	9.6	4.23	28.6	33.2	116	14	85	50	0.6	18.6	0.408	-	-	-	-	-
752951	9.9	4.11	25.4	29.5	112	14	77	45	0.6	17.7	0.415	-	-	-	-	-
752952	15.9	6.35	41.2	53.0	160	22	86	67	0.9	26.1	0.636	-	-	-	-	-
752953	11.7	4.74	31.5	37.7	129	19	81	53	0.7	21.1	0.473	-	-	-	-	-
752954	12.6	5.30	33.5	40.8	134	20	90	56	0.8	21.5	0.521	-	-	-	-	-
752955	12.7	2.37	14.8	17.4	67	10	65	26	0.4	10.9	0.218	-	-	-	-	-
752956	10.4	1.63	11.6	13.2	58	7	49	20	0.5	10.2	0.166	-	-	-	-	-
752957	5.7	1.54	10.3	11.1	49	7	48	17	0.2	9.4	0.153	-	-	-	-	-
752958	6.5	1.87	11.5	12.6	57	7	81	20	0.3	9.8	0.160	-	-	-	-	-
752959	10.4	1.75	10.2	11.6	58	7	52	19	0.3	11.1	0.164	-	-	-	-	-

Tabel 40. Metaalgehalten in afgezet slib van de Emmapolder (1975)

Nr IB-WL	CaCO %	org. stof %	16µm 1) %	16µm 2) %	Zn	Cu	Cr	Pb	Cd	Ni	Hg	As	Mn	Fe	P	Al
813633	3.3	0.37	2.2	2.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
813634	2.4	0.26	1.3	1.3	19	5.8	22	3.0	0.1	1.6	0.03	2.64	50	0.25	0.015	0.25
813635	2.1	0.30	1.1	1.1	14	1.8	18	2.8	0.1	7.3	-	-	40	0.15	0.014	0.25
813636	2.0	0.28	1.2	1.2	15	4.6	22	3.0	0.1	6.4	-	-	40	0.16	0.013	0.24
813637	2.4	0.36	1.5	1.5	18	5.0	16	4.0	0.1	7.2	-	-	50	0.22	0.014	0.30
813638	4.6	0.73	3.8	4.0	22	2.2	32	6.6	0.1	5.1	0.06	3.46	133	0.50	0.025	0.60
813639	4.2	0.90	4.5	4.7	26	2.8	26	7.8	0.1	5.5	0.08	3.96	108	0.52	0.022	0.60
813640	2.6	0.42	1.7	1.8	13	1.0	14	3.4	0.1	3.1	0.02	2.40	60	0.29	0.008	0.35
813641	1.8	0.38	1.4	1.4	11	0.8	14	3.0	0.1	2.2	0.02	2.90	56	0.25	0.014	0.30
813642	4.0	0.55	2.8	2.9	18	1.8	28	5.4	0.1	3.2	0.04	2.42	80	0.39	0.014	0.40
813643	4.4	0.68	3.8	4.0	23	2.6	30	7.0	0.2	4.1	0.06	3.16	112	0.48	0.022	0.50
813644	4.0	0.70	3.1	3.3	20	2.4	26	5.8	0.1	3.1	0.05	2.87	80	0.42	0.019	0.50
813645	2.8	0.58	2.4	2.5	17	1.4	16	5.0	0.1	3.0	0.04	2.63	60	0.33	0.014	0.35
813646	1.9	0.41	1.6	1.6	13	1.0	14	3.4	0.1	3.1	0.02	2.45	60	0.27	0.017	0.25

Tabel 41. Metaalgehalten in afgezet slib van de Mosselbanken Vlieland/Terschelling (1981)

Nr	CaCO	org.	16µm	16µm	Zn	Cu	Cr	Pb	Cd	Ni	Hg	As	Mn	Fe	P	Al
813827	2.6	0.28	1.8	1.9	13	2.6	20	2.4	0.02	4.3	0.02	1.57	50	0.24	0.012	0.33
813828	3.4	0.39	2.4	2.5	19	2.8	22	3.8	0.04	5.0	0.05	1.81	90	0.30	0.017	0.36
813829	3.3	0.22	1.3	1.4	12	1.6	20	2.0	0.02	3.2	0.02	1.45	60	0.21	0.013	0.25
813830	5.2	0.21	1.1	1.2	11	4.6	20	2.0	0.02	2.6	0.02	1.39	50	0.20	0.013	0.25

Tabel 42. Metaalgehalten in afgezet slib van de Mosselbanken Ameland (1981)

Nr IB-WL	CaCO	org.	16um	16um	Zn	Cu	Cr	Pb	Cd	Ni	Hg	As	Mn	Fe	P	Al
	%	stof	1)	2)												
										mg/kg						
										%						
813808	11.0	3.42	20.7	24.2	81	12	53	37	0.5	16.1	0.51	13.0	497	1.47	0.081	1.77
813809	2.9	0.47	3.1	3.2	15	2.6	12	6.2	0.1	5.5	0.09	3.07	140	0.37	0.025	0.41
813810	11.9	3.70	22.7	26.9	91	13	57	39	0.6	16.8	0.57	14.9	569	1.59	0.089	1.89
813811	3.0	0.46	2.6	2.7	16	2.0	15	5.6	0.04	4.5	0.09	2.75	171	0.40	0.026	0.39
813812	6.0	1.44	9.0	9.7	37	6.2	30	16	0.2	10.5	0.78	6.10	211	0.73	0.044	0.82
813813	6.8	1.78	11.2	12.3	46	7.1	32	20	0.3	9.4	0.44	7.50	232	0.87	0.047	0.99
813814	9.8	3.07	19.1	21.9	93	13	55	32	0.5	14.7	1.78	11.3	426	1.34	0.077	1.53
813815	6.4	1.75	11.4	12.4	51	6.7	38	19	0.3	10.4	0.27	7.25	252	0.89	0.049	1.01
813816	3.2	0.61	3.1	3.2	18	2.4	26	6.0	0.1	7.0	0.04	2.82	151	0.41	0.025	0.42
813817	6.8	2.03	13.1	14.4	67	9.5	44	24	0.4	11.5	0.24	8.55	293	1.03	0.056	1.15
813818	6.0	1.55	9.8	10.6	49	5.4	40	16	0.3	6.1	0.23	6.93	226	0.79	0.041	0.86
813819	3.4	0.44	2.6	2.7	16	1.8	20	4.2	0.04	1.9	0.10	3.09	116	0.36	0.019	0.35
813820	8.2	2.72	16.8	18.9	85	9.1	59	29	0.4	7.7	0.24	12.7	296	1.31	0.066	1.57
813821	3.1	0.37	2.2	2.3	15	1.2	22	3.2	0.04	3.2	0.01	2.81	156	0.39	0.019	0.35
813822	7.9	2.51	15.8	17.6	68	7.7	51	26	0.4	11.5	0.22	8.95	340	1.15	0.058	1.32
813823	4.7	0.94	6.0	6.4	28	3.0	32	9.1	0.1	5.2	0.09	4.33	169	0.55	0.030	0.55

Tabel 43. Metaalgehalten in afgezet slib van de Mosselbanken Schiemonnikoog (1981)

Nr IB-WL	CaCO	org.	16um	16um	Zn	Cu	Cr	Pb	Cd	Ni	Hg	As	Mn	Fe	P	Al
	%	stof	1)	2)												
										mg/kg						
										%						
803057	11.1	6.94	58.2	71.0	187	25	116	63	0.7	35.1	0.79	21.7	1441	3.94	0.183	4.87
803058	11.8	5.28	46.8	56.4	148	18	94	41	0.5	28.3	-	-	1363	3.36	0.173	4.00
803059	11.2	6.49	55.7	67.7	183	23	103	55	0.6	33.7	-	-	1551	3.96	0.203	4.76
803060	11.4	7.02	61.4	75.3	207	26	118	66	0.7	39.9	0.87	21.5	1191	4.28	0.204	5.26
803061	10.9	6.08	49.1	59.1	165	20	107	48	0.5	31.7	0.67	23.3	1204	3.62	0.177	4.33
803062	10.8	6.54	58.2	70.4	187	23	110	59	0.7	35.1	-	-	1602	4.15	0.218	4.93
803063	11.1	7.43	60.8	74.6	198	24	119	63	0.7	37.1	-	-	1931	4.23	0.205	5.16
803064	11.5	6.41	56.8	69.2	181	22	110	55	0.6	34.5	0.77	25.4	1694	4.00	0.203	4.81
803065	11.0	6.77	55.2	67.1	187	24	111	60	0.7	36.8	0.75	21.4	1461	3.96	0.185	4.75
803066	10.7	5.38	47.4	56.5	159	19	104	52	0.5	31.1	0.64	21.6	1466	3.44	0.165	4.01
803067	10.9	5.32	48.1	57.4	155	19	97	51	0.5	28.5	-	-	1306	3.37	0.176	3.95
803068	11.2	4.34	38.2	45.2	133	16	96	40	0.4	26.4	0.54	19.2	1052	2.98	0.149	3.27
803069	11.4	4.38	38.9	46.2	129	16	92	40	0.4	24.0	0.51	17.1	1055	2.96	0.155	3.32
803070	10.6	4.07	32.2	37.7	124	15	91	38	0.4	24.1	0.45	14.4	738	2.66	0.117	2.96
803071	11.2	6.29	50.9	61.7	175	23	101	58	0.7	32.0	-	-	1139	3.72	0.191	4.44
803072	11.6	6.14	51.4	62.5	168	22	101	55	0.7	30.9	0.69	23.3	1499	3.64	0.189	4.35

Tabel 44. Metaalgehalten in afgezet slib van de Nederlandse Dollard (1980)

Nr IB-WL	CaCO %	org. stof %	16um 1) %	16um 2) %	Zn	Cu	Cr	Pb	Cd	Ni	Hg	As	Mn	Fe	P	Al
8002852	7.7	1.80	14.3	15.8	59	6.1	63	19	0.28	11.8	0.23	8.00	379	1.46	0.066	1.51
8002853	8.5	2.74	19.2	21.6	75	7.7	75	23	0.34	15.2	0.33	10.6	446	1.84	0.092	1.87
8002854	9.3	4.68	34.1	39.6	127	18	79	37	0.24	24.0	0.52	14.0	556	2.67	0.103	3.00
8002855	7.8	2.25	13.9	15.5	68	8.3	67	19	0.21	12.3	0.28	9.00	335	1.51	0.075	1.52
8002856	9.2	2.51	18.8	21.3	81	11	69	23	0.40	15.6	0.30	9.90	397	1.85	0.089	1.92
8002857	9.4	3.22	23.4	26.8	94	13	75	29	0.39	18.3	0.31	10.3	421	2.06	0.094	2.23
8002858	8.8	3.48	24.2	27.6	110	14	87	29	0.34	19.6	0.40	11.4	486	2.19	0.092	2.48
8002859	9.9	3.58	26.4	30.5	106	15	81	33	0.28	21.0	0.48	11.8	434	2.29	0.103	2.54
8002860	10.1	3.69	30.4	35.3	113	16	85	34	0.20	21.5	0.45	15.7	617	2.45	0.117	2.74
8002861	9.7	2.49	18.8	21.4	69	9.3	73	22	0.16	15.5	0.26	10.1	408	1.77	0.091	1.87
8002862	9.5	5.30	35.4	41.6	133	18	92	44	0.39	24.1	0.47	15.2	681	2.84	0.120	3.26
8002863	8.7	2.65	17.1	19.3	76	8.7	71	23	0.45	12.8	0.30	10.6	405	1.75	0.089	1.87
8002864	9.3	2.82	21.3	24.2	85	10	67	25	0.12	15.1	0.31	10.2	421	1.86	0.089	1.97
8002865	9.9	5.44	37.9	44.8	140	18	96	45	0.04	25.0	0.56	14.5	708	2.92	0.109	3.32
8002866	8.8	2.77	19.8	22.4	81	9.9	57	25	0.26	15.1	0.33	10.3	417	1.78	0.086	1.82
8002867	9.9	4.10	31.4	36.5	106	14	79	35	0.36	20.9	0.44	14.2	659	2.47	0.114	2.80

Tabel 45. Metaalgehalten in afgezet slib van de Kanalpolder Duitse Dollard (1980)

Nr IB-WL	CaCO %	org. stof %	16um 1) %	16um 2) %	Zn	Cu	Cr	Pb	Cd	Ni	Hg	As	Mn	Fe	P	Al
813999					306	43	156	99	3.02	33.1	1.03	25.9	1474	3.00	0.199	3.89
814000					304	36	133	91	2.43	36.7	0.95	23.5	1390	3.01	0.185	3.92
814001					286	32	145	89	2.26	35.5	0.85	22.4	1424	3.08	0.173	4.05
814002					300	34	137	92	2.08	36.9	0.96	24.7	1489	3.28	0.186	4.07
814003					344	38	178	90	1.83	34.6	0.86	24.9	1761	2.96	0.208	3.69
814004					328	36	151	87	1.83	34.2	0.75	22.5	1762	2.96	0.206	3.45
814005					288	31	151	92	2.23	31.3	0.96	23.1	1290	3.12	0.171	3.85
814006					270	31	129	99	2.04	31.3	0.80	20.7	1194	3.01	0.161	3.76
814007					295	34	144	88	2.23	33.6	0.87	21.5	1277	3.21	0.185	4.01
814008					328	34	144	90	2.15	35.3	0.77	21.5	1609	2.87	0.220	3.68
814009					355	37	147	97	2.05	31.4	0.90	21.3	1788	2.63	0.259	3.11
814010					325	31	133	89	1.69	31.1	0.75	20.5	1663	2.47	0.246	3.01
814011					330	33	165	90	1.42	33.6	0.82	19.7	1655	2.67	0.257	2.96

Tabel 46. Metaalgehalten in zwevend slib in het Marsdiep

Nr IB-WL	CaCO %	org. stof %	16um 1) %	16um 2) %	Zn	Cu	Cr	Pb	Cd	Ni	Hg	As	Mn	Fe	P	Al
814012					173	27	102	54	1.06	21.3	0.50	16.4	858	2.05	0.141	2.48
814013					162	17	80	45	0.90	16.5	0.37	13.0	989	1.83	0.138	2.25

Tabel 47. Metaalgehalten in zwevend slib in de Vliestroom

Nr IB-WL	CaCO %	org. stof %	16um 1) %	16um 2) %	Zn	Cu	Cr	Pb	Cd	Ni	Hg	As	Mn	Fe	P	Al
814014					205	25	103	66	1.03	25.6	0.47	21.2	1428	2.75	0.194	3.68
814015					156	17	97	68	0.60	20.8	0.48	22.0	1113	2.22	0.169	2.92

Tabel 48. Metaalgehalten in zwevend slib van Borkum

Nr IB-WL	CaCO %	org. stof %	16um 1) %	16um 2) %	Zn	Cu	Cr	Pb	Cd	Ni	Hg	As	Mn	Fe	P	Al
814016					234	25	138	66	1.28	23.9	0.70	25.2	1458	2.66	0.236	3.39
814017					223	41	98	65	1.09	23.4	0.59	25.0	1406	2.40	0.266	3.30

Tabel 49. Metaalgehalten in zwevend slib van Ameland-Schiermonnikoog

 No. Geografische posities van de monsterlokaties

1	Texel-Haven NIOZ (1980)	53°00'24''N ; 4°47'30''O
2	Texel-Haven van Oude Schild (1980)	53°02'24''N ; 4°51'12''O
3	Vlieland (1981)	53°17'36''N ; 5°04'00''O
4	Ameland (1959)	53°26'30''N ; 5°43'30''O
5	Schiermonnikoog (1959)	53°29'00''N ; 6°16'00''O
6	Balgzand (1980)	52°53'30''N ; 4°52'36''O
7	Balgzand (1981)	52°53'24''N ; 4°54'24''O
8	Haven van Den Oever (1981)	52°56'30''N ; 5°12'06''O
9	Geulen ter hoogte van de Afsluitdijk (1981)	52°56'42''N ; 5°26'18''O
10	Haven van Harlingen (1981)	53°10'30''N ; 5°24'36''O
11	Geulen ter hoogte van Harlingen/Zurich (1981)	53°10'30''N ; 5°23'36''O tot 53°06'36''N ; 5°22'12''O
12	Noorderleeg (1970, 1980, 1981)	53°20'36''N ; 5°43'42''O
13	Julianapolder/Hornhuizen (1970, 1980, 1981)	53°25'00''N ; 6°20'48''O
14	Uithuizerwadpolder (1970, 1980)	53°27'12''N ; 6°37'12''O
15	Emmaapolder (1975)	53°28'00''N ; 6°44'00''O
16	Mosselbanken Vlieland/Terschelling (1981)	53°17'18''N ; 5°18'48''O + 53°20'18''N ; 5°17'54''O
17	Mosselbanken Ameland (1981)	53°25'42''N ; 5°56'18''O
18	Mosselbanken Schiermonnikoog (1981)	53°25'54''N ; 6°09'18''O
19	Nederlandse Dollard (1980)	53°15'42''N ; 7°06'18''O
20	Kanalpolder Duitse Dollard (1980)	53°16'36''N ; 7°14'06''O
21	Zwevend slib tussen Den Helder en Texel (1981)	53°00'00''N ; 4°48'24''O
22	Zwevend slib tussen Vlieland en Terschelling (1981)	53°18'06''N ; 5°11'24''O
23	Zwevend slib tussen Ameland en Schiermonnikoog (1981)	53°26'42''N ; 6°05'18''O
24	Zwevend slib tussen Rottum en Borkum	53°33'48''N ; 6°39'00''O

Tabel 50. Monsterlokaties

Lokatie	Element	a	b	r
Balgzand 1980	Zn	24.0	4.651	0.96
	Cu	3.66	0.5071	0.94
	Cr	64.4	0.7750	0.56
	Pb	3.77	1.733	0.98
	Cd	0.205	0.03148	0.74
	Ni	7.35	0.4249	0.97
	Hg	0.055	0.01721	0.84
	As	8.02	0.2488	0.80
	P	0.079	0.001525	0.67
	Al	0.705	0.05547	0.99
	Mn	710	-0.7891	0.04
	Fe	0.878	0.04382	0.98
Balgzand 1981	Zn	65.5	3.737	0.56
	Cu	3.36	0.5523	0.53
	Cr	123	-0.140	0.06
	Pb	25.1	1.000	0.66
	Cd	1.07	0.01353	0.35
	Ni	19.0	0.1882	0.29
	Hg	0.550	0.003643	0.24
	As	10.4	0.2003	0.47
	P	0.036	0.0023	0.56
	Al	0.710	0.04885	0.80
	Mn	-336	28.83	0.62
	Fe	1.40	0.02906	0.75
t.h.v. Afsluitdijk 1981	Zn	49.2	4.563	0.93
	Cu	5.26	0.5806	0.96
	Cr	33.2	2.276	0.94
	Pb	11.9	1.540	0.97
	Cd	0.230	0.04042	0.97
	Ni	5.49	0.4547	0.98
	Hg	0.111	0.0124	0.99
	As	4.99	0.3177	0.87
	P	0.0402	0.001637	0.79
	Al	0.598	0.05139	0.98
	Mn	220	8.683	0.67
	Fe	0.573	0.0444	0.98
Harlingen - Zurich 1981	Zn	9.12	5.534	0.99
	Cu	1.82	0.6629	0.95
	Cr	14.9	2.779	0.89
	Pb	3.44	1.676	0.98
	Cd	0.067	0.03478	0.97
	Ni	2.92	0.7019	0.97
	Hg	0.022	0.01547	0.96
	As	1.32	0.4182	0.92
	P	0.016	0.001704	0.89
	Al	0.210	0.07463	0.96
	Mn	97.2	8.372	0.88
	Fe	0.232	0.05983	0.93

Lokatie	Element	a	b	r
Noorderleeg 1980	Zn	52.4	3.131	0.94
	Cu	10.8	0.2730	0.71
	Cr	61.0	1.345	0.84
	Pb	9.71	1.423	0.97
	Cd	0.133	0.02586	0.94
	Ni	8.82	0.3657	0.94
	Hg	0.105	0.01277	0.95
	As	3.46	0.4438	0.83
	P	0.032	0.002316	0.80
	Al	0.792	0.05086	0.99
	Mn	132	24.10	0.47
	Fe	0.817	0.04132	0.96
Noorderleeg 1981	Zn	93.5	2.500	0.86
	Cu	2.85	0.4450	0.89
	Cr	72.7	0.9028	0.84
	Pb	18.7	1.160	0.94
	Cd	0.285	0.02179	0.82
	Ni	11.2	0.3518	0.89
	Hg	0.004	0.01317	0.90
	As	11.0	0.3213	0.91
	P	0.0379	0.002395	0.95
	Al	1.065	0.04417	0.96
	Mn	947	0.9517	0.07
	Fe	1.33	0.03071	0.98
Juliana- polder 1980	Zn	37.7	2.592	0.99
	Cu	5.70	0.3403	0.97
	Cr	56.0	1.218	0.91
	Pb	11.4	1.159	0.98
	Cd	0.170	0.01452	0.98
	Ni	5.60	0.3857	0.99
	Hg	0.196	0.006984	0.91
	As	3.60	0.3850	0.93
	P	0.0084	0.002455	0.92
	Al	0.838	0.05563	0.99
	Mn	-446	28.58	0.85
	Fe	0.604	0.04390	0.98
Juliana- polder 1981	Zn	39.9	2.393	0.96
	Cu	5.04	0.3009	0.90
	Cr	69.0	0.9042	0.75
	Pb	3.52	1.083	0.87
	Cd	0.113	0.01323	0.94
	Ni	11.0	0.3415	0.96
	Hg	0.096	0.0076	0.97
	As	13.2	0.2407	0.81
	P	0.0217	0.003117	0.87
	Al	0.996	0.05126	0.95
	Mn	546	1.518	0.12
	Fe	1.55	0.02975	0.82

Lokatie	Element	a	b	r
Mosselbanken Schiermonnik- oog 1981	Zn	7.53	3.461	0.98
	Cu	0.705	0.4827	0.98
	Cr	15.8	1.757	0.94
	Pb	1.06	1.454	0.997
	Cd	0.0125	0.02191	0.98
	Ni	3.90	0.4478	0.85
	Hg	0.024	0.01812	0.88
	As	1.49	0.4866	0.99
	P	0.0156	0.002675	0.99
	Al	0.274	0.06130	0.92
	Mn	81.1	15.56	0.96
	Fe	0.245	0.05138	0.997
Vlieland 1981	Zn	51.8	3.134	0.93
	Cu	4.22	0.4101	0.95
	Cr	48.4	1.510	0.91
	Pb	12.7	1.105	0.98
	Cd	0.290	0.03258	0.97
	Ni	3.05	0.5968	0.98
	Hg	0.168	0.009978	0.94
	As	5.34	0.2841	0.97
	P	0.033	0.0021	0.98
	Al	0.424	0.05979	0.99
	Mn	120	5.873	0.80
	Fe	0.732	0.04023	0.99
Uithuizerwad- polder 1980	Zn	28.4	2.740	0.99
	Cu	2.58	0.3796	0.98
	Cr	38.6	1.357	0.96
	Pb	15.3	0.9744	0.99
	Cd	-0.143	0.01723	0.95
	Ni	7.79	0.3275	0.99
	Hg	0.149	0.007251	0.97
	As	7.15	0.2795	0.83
	P	0.0228	0.002541	0.96
	Al	0.843	0.05312	0.99
	Mn	15.1	13.17	0.92
	Fe	0.880	0.03872	0.99
Ned. Dollard 1980	Zn	31.9	2.225	0.98
	Cu	2.64	0.2994	0.95
	Cr	59.2	0.7397	0.89
	Pb	5.82	0.7678	0.93
	Cd	0.055	0.008513	0.89
	Ni	7.11	0.4044	0.95
	Hg	0.037	0.01070	0.99
	As	8.86	0.2040	0.79
	P	0.0480	0.002174	0.93
	Al	0.482	0.06285	0.99
	Mn	98.7	20.57	0.78
	Fe	0.972	0.04368	0.99

Lokatie	Element	a	b	r
Kanalpolder (Duitse Dollard) 1980	Zn	23.2	2.592	0.97
	Cu	1.05	0.4055	0.95
	Cr	49.8	0.9434	0.83
	Pb	4.86	0.8719	0.98
	Cd	0.351	-0.0026	0.21
	Ni	5.07	0.4644	0.98
	Hg	0.090	0.0102	0.94
	As	5.05	0.2365	0.93
	P	0.0562	0.001418	0.89
	Al	0.540	0.06322	0.99
	Mn	150	12.08	0.94
Fe	0.749	0.04892	0.99	

Tabel 51. Statistische gegevens sediment monsters.

p.o. box 177

2600 mh delft

the netherlands