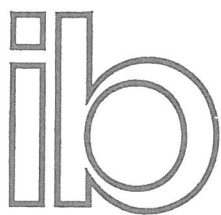
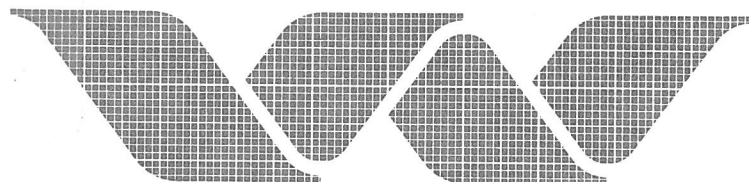


M 1838



waterloopkundig laboratorium

instituut voor bodemvruchtbaarheid

voorkomen van kwik in slib uit het
Eems-Dollard estuarium in 1980

AFGEHANDELD

verslag onderzoek

M 1838

september 1982

BIBLIOTHEEK
Waterloopkundig Laboratorium
Postbus 177 - DELFT

16 DEC. 1982

voorkomen van kwik in slib uit het
Eems-Dollard estuarium in 1980

verslag onderzoek

M 1838

september 1982

INHOUD

	blz.
1 <u>Inleiding</u>	1
1.1 Opdracht.....	1
1.2 Doel van het onderzoek.....	2
1.3 Verloop van het onderzoek.....	3
1.4 Samenvatting.....	4
2. <u>Het onderzoek</u>	6
2.1 Monstername.....	6
2.2 Eigenschappen waarop de monsters zijn geanalyseerd.....	6
2.2.1 Analysemethoden ter bepaling van de granulometrische samenstel- ling.....	7
2.2.2 Analysemethoden kwik.....	7
2.3 Verwerking van de analyseresultaten.....	8
3. <u>Resultaten van het onderzoek</u>	10
3.1 Bovenste sliblagen.....	10
3.1.1 Kwikgehalten van de bovenste sliblagen.....	10
3.1.2 Vergelijking met de situatie in 1975.....	11
3.1.3 Vergelijking met waarnemingen RIZA.....	13
3.2 Profielen.....	13
3.2.1 Verdeling van kwik in de profielen.....	13
3.2.2 Vergelijking met de situatie in 1975.....	15
4. <u>Kwikbelasting van het sediment onder invloed van een puntlozing</u> ..	16
5. <u>Conclusies en aanbevelingen</u>	22
5.1 Conclusies.....	22
5.2 Aanbevelingen.....	23

LITERATUUR

FIGUREN

BIJLAGEN

TABELLEN

- 1 Overzicht van de in 1980 en in 1975 bemonsterde lokaties, met vermelding van de aantallen op kwik geanalyseerde bovenlagen
- 2 Resultaten berekeningen verband tussen kwikgehalte en % < 16 μm (berekend) in bovenlagen afgezet slib
- 3 Kwikgehalten bij 50% < 16 μm in afgezet slib van verschillende lokaties in het Eems-Dollard estuarium in 1980 en 1975
- 4 Kwikgehalten in de verschillende lagen van profielen uit Nederlandse en Duitse Dollard in 1981
- 5 Berekende opgeloste kwikgehalten onder invloed van een puntlozing van kwik
- 6 Hoeveelheid gesedimenteerd kwik, afkomstig van de lozing in 1975
- 7 Hoeveelheid in het water aanwezige kwik (opgelost + zwevend)

FIGUREN

- 1 Overzicht van het bemonsterde gebied
- 2 Overzicht van de bemonsterde lokaties
- 3 Verband tussen de kwikgehalten van slib bepaald met destructieve activeringsanalyse en met vlamloze atomaire absorptie
- 4 Verband tussen het kwikgehalte en de fractie $< 16 \mu\text{m}$ van slib van de lokatie 8000
- 5 Verband tussen het kwikgehalte en de fractie $< 16 \mu\text{m}$ van slib van de lokatie 8002a
- 6 Verband tussen het kwikgehalte en de fractie $< 16 \mu\text{m}$ van slib van de lokatie 8002b
- 7 Verband tussen het kwikgehalte en de fractie $< 16 \mu\text{m}$ van slib van de lokatie 8003/7503
- 8 Verband tussen het kwikgehalte en de fractie $< 16 \mu\text{m}$ van slib van de lokatie 8010
- 9 Verband tussen het kwikgehalte en de fractie $< 16 \mu\text{m}$ van slib van de lokatie 8005
- 10 Verband tussen het kwikgehalte en de fractie $< 16 \mu\text{m}$ van slib van de lokatie 8006b
- 11 Verband tussen het kwikgehalte en de fractie $< 16 \mu\text{m}$ van slib van de lokatie 8006e
- 12 Verband tussen het kwikgehalte en de fractie $< 16 \mu\text{m}$ van slib van de lokatie 8007
- 13 Verband tussen het kwikgehalte en de fractie $< 16 \mu\text{m}$ van slib van de lokaties 8002a + 8002b + 8010 + 8005
- 14 Verband gehalten aan CaCO_3 en fractie $< 16 \mu\text{m}$ van slib van de lokaties 8002a + 8002b + 8010 + 8005 en de lokatie 8003
- 15 Verband gehalten aan organische stof en fractie $< 16 \mu\text{m}$ van slib van de lokaties 8002a + 8002b + 8010 + 8005 en de lokatie 8003
- 16 Kwikgehalten bij 50% $< 16 \mu\text{m}$
- 17 Gemiddelde gehalten aan opgelost kwik ($\mu\text{g/l}$)
- 18 Gemiddelde kwikgehalten van zwevend slib ($\mu\text{g/g}$)
- 19 Verband tussen het kwikgehalte en de fractie $< 16 \mu\text{m}$ in de verschillende lagen van profiel 8006b (Nederlandse Dollard)
- 20 Verband tussen het kwikgehalte en de fractie $< 16 \mu\text{m}$ in de verschillende lagen van profiel 8006e (Duitse Dollard)

FIGUREN (vervolg)

- 21 Kwikgehalten bij 50% < 16 μm in de verschillende lagen van profiel 8006b (Nederlandse Dollard)
- 22 Kwikgehalten bij 50% < 16 μm in de verschillende lagen van profiel 8006e (Duitse Dollard)
- 23 Schematische verdeling van kwik in 3 profielen uit Nederlandse Dollard (1981) en Duitse Dollard (1975 en 1981)

BIJLAGEN

- 1 Geografische posities van de monsterlokaties
- 2 Analyseresultaten afzonderlijke monsters bovenlagen afgezet slib
- 3 Analyseresultaten profielen

VOORKOMEN VAN KWIK IN SLIB UIT HET EEMS-DOLLARD ESTUARUM IN 1980

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 voor 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 onderzoeksvoorstel 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 aangeboden in brief no. V7489/LV1185/Sal/gv van 16 oktober 1979.

In de periode 30 september - 9 oktober 1980 werden de in het onderzoeksvoorstel over de herscanning van kwik in het Eems-Dollard estuarium genoemde locaties bemonsterd. De monsternamen van recent gesedimenteerd slib dient n.l. bij voorkeur na een periode van rustige weersomstandigheden te geschieden.

De verzamelde sedimentmonsters werden na het verlenen van de opdracht geanalyseerd.

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.

De overeengekomen wijzigingen die de herscanning van kwik in het Eems-Dollard estuarium betreffen hebben betrekking op het onderzoek van 5 cm segmenten van een tweetal in 1981 te verzamelen sedimentprofielen in de Dollard, terwijl het aanvankelijk geplande onderzoek van bovenlagen in het Duitse deel van de Dollard komt te vervallen. Tevens werd op 28 juli 1981 overeengekomen dat bij het onderzoek gebruik kan worden gemaakt van de in het najaar van 1980 verzamelde bovenlagen van het afgezette slib.

Inhoudelijk zullen in de rapportage de volgende punten aan de orde worden gesteld: weergave onderzoeksresultaten, vergelijking met de resultaten van het onderzoek in 1975, discussie en kwantitatieve onderbouwing van de mogelijke oorzaken van geconstateerde verschillen in de kwikbelasting van het sediment in 1980 en in het verleden, discussie over het te verwachten tempo van afname van het kwikgehalte (in de toplaag van het sediment) in de toekomst en aanbevelingen voor in de toekomst te entameren onderzoek t.a.v. onopgeloste vragen m.b.t. de kwikbelasting van het sediment in het Eems-Dollard estuarium.

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 K.H. Zschuppe en ir. H.N. Kerdijs.

1.2 Doel van het onderzoek

Via industrieel en huishoudelijk afvalwater wordt bij Delfzijl kwik rechtstreeks geloosd op het Eems-Dollard estuarium. Gedurende de jaren 1960 en 1975 bedroegen de direct geloosde hoeveelheden 4 tot 6 ton per jaar. Na 1975 werden deze lozingen drastisch gereduceerd tot ongeveer 1, 0.33, 0.15, 0.07 en 0.06 ton in de jaren 1976, 1977, 1978, 1979 en 1980 (1).

Genoemde hoeveelheden kwik bereikten het Eems-Dollard estuarium overwegend via persleidingen direct ten noorden van Delfzijl en via lozingspunten in en vlak voor de buitenhaven van Delfzijl (figuur 1). Sinds de ingebruikneming van de rioolzuiveringsinstallatie bij Garmerwolde in november 1979, waar huishoudelijk en industrieel afvalwater van o.a. de stad Groningen wordt gezuiverd, wordt geen ongezuiverd afvalwater meer geloosd via de Groninger persleiding. De voor het jaar 1980 genoemde hoeveelheid van 60 kg kwik komt door zoetwaterspui uit het Eemskanaal op het estuarium. De totale kwikbelasting van het Eems-Dollard

estuarium vanuit Nederland bedroeg in 1980 130-140 kg. Naast de reeds genoemde zoetwaterspui vanuit het Eemskanaal (60 kg Hg) was 70 kg afkomstig uit de Westerwoldse A, terwijl 5-10 kg wordt toegeschreven aan overige directe lozingen (1).

Teneinde de kwikbelasting van de sedimenten in het Eems-Dollard estuarium vast te leggen werd in het late najaar van 1975, vlak voor de reductie van de kwiklozingen van 4-6 ton/jaar in het jaren 1960-1975 naar 1 ton/jaar in 1976, door het WL en het IB een scanning uitgevoerd naar het voorkomen van kwik in slib uit het Eems-Dollard estuarium. Over de resultaten van dit in opdracht van het RIZA uitgevoerde onderzoek werd in 1978 verslag uitgebracht (2).

Om de verwachte positieve gevolgen van het terugdringen van de kwiklozingen op het estuarium sinds 1976 te kwantificeren werd in het najaar van 1980, d.w.z. ruim een jaar na de ingebruikneming van de zuiveringsinstallatie bij Garmerwolde, in opdracht van het RIZA een nieuwe scanning uitgevoerd naar de kwikbelasting van de sedimenten in het estuarium.

1.3 Opzet van het onderzoek

Bij de opzet van de herscanning van kwik in de bovenlagen van het afgezette slib in 1980 werd, in overleg met het RIZA, zo goed mogelijk aansluiting gezocht bij een deel van de lokaties die ook in 1975 werden onderzocht. Als nieuwe lokatie werd de zuidkant van de Paap toegevoegd (figuur 1).

In tegenstelling tot de monsternamen in 1975, toen op een aantal lokaties in de Bocht van Watum slechts één monster en bij Termunterzijl slechts 2 monsters werden onderzocht, zijn in 1980 op iedere lokatie 15 of 16 monsters verzameld om per lokatie een zo groot mogelijke spreiding in de gehalten aan de fractie $< 16 \mu\text{m}$ te bereiken. Voor de bepaling van de kwikgehalten werden per lokatie, op grond van de intussen reeds bepaalde gehalten aan de fractie $< 16 \mu\text{m}$, 10 monsters geselecteerd. Alle bij de Persleiding vlak ten noorden van Delfzijl genomen monsters zijn op kwik onderzocht.

Bij de 2 profielbemonsteringen in de Dollard in 1981 werden dezelfde lokaties aangehouden als die van de in 1980 bemonsterde bovenlagen.

Een overzicht van het bemonsterde gebied is weergegeven in figuur 1, terwijl de bemonsterde lokaties zijn vermeld in figuur 2 en in tabel 1. Voor de geografische posities van de monsterlokaties wordt verwezen naar bijlage 1.

1980			1975		
Lokatie nr.	Lokatie	aantal monsters	Lokatie nr.	Lokatie	aantal monsters
8000	Noord Groninger Waddenkust	10	7500	Noord Groninger Waddenkust	10
8002a	Bocht van Watum - Noord	10	7502a	Bocht van Watum - Noord	1
8002b	Bocht van Watum - Midden	10	7502b	Bocht van Watum - Midden	1
			7502c	Bocht van Watum - Midden	1
			7502d	Bocht van Watum - Zuid	1
8003	Persleidingen bij Delfzijl	15	7502e	Bocht van Watum - Zuid	1
			7502f	Bocht van Watum - Zuid	1
			7503	Persleidingen bij Delfzijl	10
8010	Zuidkant Paap	10			
8005	Termunterzijl	10	7505	Termunterzijl	2
8006b	Nederlandse Dollard	10	7506b	Nederlandse Dollard	15
8006e	Duitse Dollard	16	7506e	Duitse Dollard	15
8007	Eems bij Petkum	10	7507	Eems bij Petkum	8

Tabel 1 Overzicht van de in 1980 en in 1975 bemonsterde lokaties, met vermelding van de aantallen op kwik geanalyseerde bovenlagen

1.4 Samenvatting

Nadat in 1975 was vastgesteld dat de kwikbelasting van de sedimenten in het Eems-Dollard estuarium in belangrijke mate werd bepaald door de lozing van kwik op het estuarium bij Delfzijl, werd in 1980 een hernieuwde scanning uitgevoerd. Dit onderzoek werd ingesteld om na te gaan in hoeverre de sinds 1975 verwezenlijkte reductie van de kwiklozingen positieve gevolgen heeft gehad voor de belasting van de sedimenten met kwik.

De bemonsteringen werden, voor zover het de bovenlagen van het afgezette slib betreft, uitgevoerd in september en oktober 1980. De monsternamen van de 2 profielen tot 70 cm diepte in de Dollard vond plaats in september 1981.

Op 9 verschillende lokaties werden in totaal 139 monsters van de bovenlagen van het afgezette slib verzameld. In deze 139 monsters zijn in eerste instantie de gehalten aan de fractie $< 16 \mu\text{m}$, CaCO_3 en organische stof bepaald. Vervolgens zijn op basis van de fractie $< 16 \mu\text{m}$ 101 monsters geselecteerd, waarin de gehalten aan totaal kwik zijn bepaald.

In alle 26 submonsters uit de 2 profielen is naast de granulometrische samenstelling totaal kwik bepaald.

Uit de resultaten van het onderzoek van de bovenlagen van het afgezette slib blijkt dat sinds 1975 een gunstige verandering van de kwikbelasting is ingetreden. Weliswaar worden voor de Persleidingen bij Delfzijl nog erg hoge kwikgehalten aangetroffen, gehalten die vergelijkbaar zijn met die in 1975, maar van een verspreiding van deze hoge concentraties over de rest van het estuarium is in 1980 geen sprake meer. Zulks in tegenstelling tot de situatie in 1975 toen de invloed van de kwiklozingen bij Delfzijl nog tot in de Dollard merkbaar was.

Op de 4 monsterlokaties, gelegen tussen het noordelijke deel van de Bocht van Watum en Termunterzijl, wordt in 1980 éénzelfde kwikniveau in de bovenlagen waargenomen. Het gemiddelde kwikniveau op genoemde 4 lokaties ligt ongeveer 50% lager dan in 1975. Ook in de Dollard en in de Eems bij Petkum werden in de bovenlagen verlagingen waargenomen. Op het Noord Groninger Wad is eveneens een daling van het kwikgehalte opgetreden. Laatstgenoemde daling wordt toegeschreven aan een daling van het kwikgehalte in slib van mariene herkomst sinds 1975. In dezelfde periode werden ook in het oppervlaktewater dalingen tot 50% waargenomen.

Er is berekend dat ongeveer 1/3 deel (1,8 ton in 1975 en 0,02 ton in 1980) van het geloosde kwik door adsorptie aan het zwevende slib na bezinking van dit slib in het Eems-Dollard estuarium is geaccumuleerd. Tweederde deel is in opgeloste vorm naar de Noordzee afgevoerd.

Ook in het profiel uit de Nederlandse Dollard komt het afnemen van de kwikbelasting in het Eems-Dollard estuarium sinds 1975 tot uiting. Op -25 cm is hier sprake van een maximum, waarbij de kwikgehalten naar de oppervlakte vrijwel rechtlijnig afnemen.

In het uit de Duitse Dollard afkomstige profiel wordt daarentegen vanaf de bovenste laag een afnemen van de kwikgehalten naar de diepte waargenomen. Een hiermee vergelijkbare situatie werd ook reeds in 1975 aangetroffen.

Gezien de ontwikkelingen van de kwiklozingen, gepaard gaande met een aanzienlijke daling in de belasting van het sediment met kwik is het te verwachten dat binnen enkele jaren het kwikgehalte in de bovenlaag van het sediment tot het natuurlijke achtergrondgehalte van kwik in mariene sedimenten zal zijn gereduceerd.

2. Het onderzoek

2.1 Monstername

Bij het verzamelen van de bovenlagen van het afgezette slib werd gebruik gemaakt van 2 bemonsteringstechnieken.

Op de lokaties 8002a en 8002b (Bocht van Watum), 8003 (Persleiding 3 ten noorden van Delfzijl), 8005 (Termunterzijl) en 8010 (Zuidkant Paap) werd van de met een grijper volgens Van Veen opgehaalde sedimenten steeds het bovenste laagje genomen (voor monsterlokaties zie figuur 2 en bijlage 1). Deze zgn. onderwaterbemonsteringen werden uitgevoerd op 9 oktober 1980, waarbij assistentie werd verleend door de "Antaris" van de Meet- en Adviesdienst van Rijkswaterstaat Delfzijl.

Op de lokaties 8000 (Noord Groninger Waddenkust), 8006b en 8006e (Nederlandse en Duitse deel van de Dollard) en 8007 (Eems bij Petkum) vond de monstername boven de laagwaterlijn plaats. Hierbij werden de recente afzettingen met een PVC-plamuurmes over een oppervlak van $\pm 10 \text{ m}^2$ afgeschraapt (1-2 mm). Laatstgenoemde bemonsteringen werden uitgevoerd op 30 september en 7 oktober 1980.

De op 21 september 1981 in de Dollard genomen profielmonsters (lokaties 8006b en e) werden verkregen door een $1\frac{1}{2}$ meter lange open PVC-buis met een diameter van 12 cm zo diep mogelijk in het drooggevalen slib te brengen. Na afsluiten met een zuiger werd de buis uitgegraven en de buisinhoud verdeld in lagen van 5 cm dikte. Op deze manier was het mogelijk ongestoorde profielen ter lengte van 70 resp. 60 cm te bemonsteren.

Alle genomen monsters zijn direct aansluitend aan de monstername gedroogd bij 40°C . Gebleken is dat bij droogtemperaturen tot maximaal 40°C geen kwikverliezen optreden (3).

In de gedroogde en gemalen sedimentmonsters zijn in eerste instantie de gehalten aan de fractie $< 16 \mu\text{m}$ bepaald, waarna in een geselecteerd aantal van iedere lokatie de gehalten aan totaal kwik zijn bepaald.

2.2 Eigenschappen waarop de monsters zijn geanalyseerd

In alle slibmonsters zijn de volgende parameters bepaald: fractie $< 16 \mu\text{m}$, calciumcarbonaat en organische stof.

In een geselecteerd aantal monsters (minimaal 10 per lokatie) zijn de kwikgehalten bepaald.

2.2.1 Analysemethoden ter bepaling van de granulometrische samenstelling

a. Fractie < 16 μm .

De bepaling berust op de Wet van Stokes. Na oxidatie van de organische stof met H_2O_2 30% wordt gedestilleerd water toegevoegd en 5 minuten gekookt. De aanwezige CaCO_3 wordt daarna verwijderd met verdund HCl . Na toevoeging van een peptisatiemiddel, $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, wordt de fractie < 16 μm bepaald volgens de massa-pipetmethode met inachtneming van de bezinkingstijd (4).

b. CaCO_3 .

De bepaling berust op de meting van het volume CO_2 dat vrijkomt als een bepaalde hoeveelheid slib in het toestel van Scheibler wordt geschud met een hoeveelheid HCl . Aangezien het CO_2 -gehalte lager uitvalt door verliezen die o.a. ontstaan door de oplosbaarheid van CO_2 in de HCl -oplossing is een vergelijking met standaarden van zuiver CaCO_3 nodig (5).

c. Organische stof.

Door koken met een bichroomaat-zwavelzuur mengsel wordt de organische stof geoxideerd. Het verbruik van bichroomaat wordt vastgesteld door de overmaat ervan terug te titreren met een Mohr's zoutoplossing met o-phenanthroline als indicator (6).

2.2.2 Analysemethoden kwik

Bij vroegere onderzoeken werd voor de analyse van kwik gebruik gemaakt van de destructieve activeringsanalytische bepalingsmethode (2). Het monster wordt hierbij in een ampul onderworpen aan een bestraling met thermische neutronen. Na bestraling wordt de ampul gebroken en in een kookkolf met geconcentreerd H_2SO_4 gedaan. De ontsluiting van Hg vindt plaats onder opwarming en onder toevoeging van H_2O_2 30%. Onder voortdurende bijvoeging van HBr wordt daarna tot destillatie bij 200°C overgegaan. Voor Hg wordt de 77 keV gamma emissie van het Hg 197 isotoop gemeten.

Vanaf medio 1981 worden de kwikbepalingen in sedimenten verricht met vlamloze atomaire absorptie. Bij de ontwikkelde methode, die gebaseerd is op de ervaringen van Melton, Hoover en Howard (7) en van Hatch en Ott (8), wordt het kwik in het monster door een krachtige oxidatie met verzadigde kaliumpersulfaat in sterk zuur milieu in ionogene vorm gebracht. Na reductie tot metallisch kwik

met tin(II)chloride en het voeren van de kwikdamp met een stikstofstroom door een kwartscuvet wordt de kwikconcentratie met vlamloze atomaire absorptie bepaald bij 253,6 nm.

In vrijwel alle in 1980 verzamelde bovenlagen van het afgezette slib uit het Eems-Dollard estuarium en in de monsters van de 2 profielen zijn de kwikgehalten bepaald volgens laatstgenoemde methode met gebruikmaking van vlamloze atomaire absorptie. Een uitzondering vormen de bovenlagen van lokatie 8006e in de Duitse Dollard, waarin kwik is bepaald met de destructieve activeringsanalytische methode.

Vergelijking van de 2 analysemethoden voor de bepaling van kwik

Om de kwikniveaus van de in 1980 in het Eems-Dollard estuarium bemonsterde afzettingen op verantwoorde wijze te kunnen vergelijken met de in 1975 vastgestelde niveaus werd aan de hand van 26 monsters, afkomstig van diverse afzettingsgebieden en waarin in de periode 1972-1980 kwik is bepaald via de destructieve activeringsanalyse, een vergelijkend onderzoek gedaan naar de mate van overeenstemming tussen de analyseresultaten verkregen met de 2 verschillende bepalingsmethoden van kwik. Het verband tussen de met de 2 methoden verkregen gehalten is weergegeven in figuur 3. Uit de figuur blijkt dat in het onderzochte bereik (0-12 $\mu\text{g/g}$ Hg) de met atomaire absorptie gevonden gehalten goed overeenkomen met de met neutronen activeringsanalyse bepaalde gehalten. De correlatiecoëfficiënt van de regressielijn die het verband tussen de met 2 methoden bepaalde gehalten weergeeft bedraagt 0,99. Uit toetsing van de regressiecoëfficiënt blijkt de regressielijn niet significant te verschillen van de 45°-lijn (t-toets, $P < 0,01$).

Een onderlinge niveauvergelijking van de in 1975 met activeringsanalyse bepaalde gehalten met die van de momenteel in gebruik zijnde bepalingsmethode moet derhalve toelaatbaar worden geacht.

2.3 Verwerking van de analyseresultaten

De granulometrische samenstelling van slibmonsters kan grote verschillen te zien geven. Omdat metalen en fosfor overwegend zijn gebonden aan de fijnere delen (9) kunnen er derhalve per lokatie grote verschillen in de absolute gehalten optreden. De metaal- en fosforgehalten, evenals de mineralogische bestanddelen, in slibmonsters van één lokatie blijken te correleren met de

korrelgrootteverdeling. Om de korrelgrootteverdeling weer te geven wordt gebruik gemaakt van het percentage aan deeltjes $< 16 \mu\text{m}$ van het gedestrueerde monster d.w.z. vrij van calciumcarbonaat en organische stof. Dit wordt genoemd het $\% < 16 \mu\text{m}$ berekend. In formule:

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

Het $\% < 16 \mu\text{m}$ bepaald is het percentage bepaald met de massa-pipetmethode (zie 2.2.1). Voor de metalen, in dit geval kwik, wordt voor monsters genomen op éénzelfde lokatie (mits er sprake is van een homogeen sedimentatiegebied) een lineaire betrekking gevonden tussen het kwikgehalte en het $\% < 16 \mu\text{m}$ berekend. De lijn voldoet aan de vergelijking

$y = ax + b$, waarin

y is gehalte in $\mu\text{g/g Hg}$

x is percentage $< 16 \mu\text{m}$ berekend

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

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

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

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

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

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

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

3. Resultaten van het onderzoek

3.1 Bovenste sliedlagen

3.1.1 Kwikgehalten in de bovenste sliedlagen

Zoals in paragraaf 1.3 is uiteengezet zijn op de meeste lokaties niet in alle monsters van de bovenlagen van het afgezette slied de kwikgehalten bepaald. Op grond van de gehalten aan de fractie $< 16 \mu\text{m}$ zijn per lokatie minimaal 10 monsters geselecteerd. Alle 15 bij de Persleidingen ten noorden van Delfzijl verzamelde bovenlagen zijn daarentegen op kwik geanalyseerd.

De analysegegevens van de in 1980 verzamelde bovenlagen zijn weergegeven in bijlage 2. Uit de bijlage blijkt dat per lokatie aanmerkelijke verschillen in de kwikgehalten optreden, verschillen die worden veroorzaakt door variaties in de gehalten aan de fractie $< 16 \mu\text{m}$.

Per lokatie zijn de kwikgehalten in afhankelijkheid van de percentages aan de fractie $< 16 \mu\text{m}$ weergegeven in de figuren 4 t/m 12. In de figuren zijn tevens ingetekend de berekende regressielijnen, weergevend het verband tussen de kwikgehalten en het $\% < 16 \mu\text{m}$. De resultaten van deze berekeningen zijn vermeld in tabel 2.

Uit de figuren en uit de in tabel 2 vermelde correlatiecoëfficiënten van de regressielijnen blijkt dat in de meeste gevallen sprake is van een duidelijk verband tussen de kwikgehalten en de gehalten aan de fractie $< 16 \mu\text{m}$. Bij de bovenlagen genomen aan de zuidkant van de Paap waren de variaties in de gehalten aan de fractie $< 16 \mu\text{m}$ te gering om een betrouwbare regressielijn te kunnen berekenen. De in tabel 2 voor genoemde lokatie vermelde Hg-waarde bij 50% $< 16 \mu\text{m}$ is geschat.

Uit tabel 2 blijkt dat de kwikgehalten op de lokaties 8002a en 8002b (Bocht van Watum Noord en Midden), 8010 (Zuidkant Paap) en 8005 (Termunterzijl) identiek zijn. Ook uit figuur 13, waarin de kwikgehalten van alle op de 4 lokaties geanalyseerde sedimenten zijn weergegeven in afhankelijkheid van de fractie $< 16 \mu\text{m}$, valt dit af te lezen.

Bij de monsters genomen vlak voor de Persleidingen bij Delfzijl (lokatie 8003) is er geen sprake van enig verband tussen de kwikgehalten en de gehalten aan

Lokatie nr.	Lokatie	n	Hg _{min}	Hg _{max}	Hg _{50%} < 16 µm	r ²	a	b
8000	Noord Groninger Wad	10	0,28	0,68	0,51 (0,49-0,54)	0,94	0,0073	0,149
8002a	Bocht van Watum - N	10	0,18	0,41	0,63 (0,45-0,82)	0,63	0,0137	-0,054
8002b	Bocht van Watum - M	10	0,34	0,56	0,65 (0,54-0,75)	0,69	0,0119	0,051
8003	Persleidingen	15	0,89	52,9	(15,8)			
8010	Zuidkant Paap	10	0,24	0,35	(0,65)			
8005	Termunterzijl	10	0,08	0,36	0,66 (0,45-0,87)	0,77	0,0129	0,016
8002a + 8002b + 8010 + 8005		40	0,08	0,56	0,63 (0,59-0,68)	0,85	0,0123	0,016
8006b	Nederlandse Dollard	10	0,45	0,87	0,57 (0,56-0,59)	0,99	0,0107	0,037
8006e	Duitse Dollard	16	0,23	0,56	0,60 (0,55-0,65)	0,88	0,0102	0,090
8007	Eems bij Petkum	10	0,41	0,72	0,52 (0,48-0,57)	0,90	0,0063	0,210
n = aantal monsters r ² = correlatiecoëfficiënt Hg _{min} = minimaal gevonden gehalte a = helling van de regressielijn Hg _{max} = maximaal gevonden gehalte b = afgesneden stuk van de y-as Hg _{50%} < 16 µm = gehalte bij 50% < 16 µm, met betrouwbaarheidsintervallen (T=5%)								

Tabel 2 Resultaten berekeningen verband tussen kwikgehalte en % < 16 µm (berekend) in bovenlagen afgezet slib

de fractie $< 16 \mu\text{m}$ (figuur 7). In 11 van de 15 op deze lokatie genomen monsters liggen de kwikgehalten op een niveau dat gemiddeld ruim 2x zo hoog is als dat van de monsters afkomstig van de lokaties Bocht van Watum Noord en Midden, Zuidkant Paap en Termunterzijl (1,2 - 4,8 x zo hoog). De overige 4 bij de persleidingen genomen monsters bevatten zelfs 30-130 x zoveel kwik als de "referentiemonsters".

Opvallend is dat de CaCO_3 -gehalten van de monsters met extreem hoge kwikgehalten duidelijk lager zijn dan die van de "referentiemonsters" (figuur 14). Ook de overige 11 monsters tenderen naar lagere CaCO_3 -gehalten. De organische stofgehalten van de bij de Persleidingen genomen monsters geven daarentegen een verhoogd niveau te zien, waarbij opnieuw de monsters met extreem hoge kwikgehalten het sterkst afwijken van het niveau van de "referentiemonsters" (figuur 15).

Duidelijk is dat bij de uitmonding van de Persleidingen materiaal van een afwijkende granulometrische samenstelling (met verhoogde kwikgehalten) wordt aangetroffen. Deze afwijkende samenstelling kan er op wijzen dat kort voor de monsternamen in 1980 nog kwikrijk materiaal met hoge gehalten aan organische stof en relatief lage CaCO_3 -gehalten door de Persleidingen is aangevoerd. Te denken valt in dit verband aan restanten uit de Groninger leiding of aan loszinken van kwikhoudend materiaal via de persleiding van Appingedam of via die van Delfzijl. Ook kan worden gedacht aan het aan de oppervlakte komen van oudere lagen afgezet in een periode toen de kwikuitstoot nog groot was.

Ofschoon de kwikuitstoot sinds 1975 drastisch is verminderd, is bij de uitmonding van de Persleidingen toch materiaal aanwezig met verhoogde tot sterk verhoogde kwikgehalten. Deze verhogingen blijven echter beperkt tot een eng begreemd gebied. In tegenstelling met de situatie in 1975, toen vanaf de Persleidingen bij Delfzijl zowel in noordelijke richting (Bocht van Watum Noord) als in zuidelijke richting (Termunterzijl) de kwikgehalten van de bovenste sliblagen nog duidelijk werden beïnvloed door de hoge kwikbelasting bij de Persleidingen, wordt in 1980 in het gehele gebied tussen Bocht van Watum en Termunterzijl eenzelfde (laag) kwikniveau in de afgezette bovenlagen aangetroffen. Laatstgenoemde niveaus zijn overigens wel iets hoger dan die langs de Noord Groninger Waddenkust en in de Dollard (tabel 2).

3.1.2 Vergelijking met de situatie in 1975

De in 1980 en in 1975 waargenomen kwikgehalten bij 50% < 16 μm zijn, in afhankelijkheid van de geografische posities van de groepen monsters, weergegeven in figuur 16 en in tabel 3.

Ofschoon in 1980 bij de Persleidingen in 11 van de 15 onderzochte monsters kwikgehalten worden waargenomen die gemiddeld slechts 2x zo hoog zijn als in de rest van het estuarium, vertonen de overige 4 monsters gehalten die vergelijkbaar zijn met de in 1975 bij de Persleidingen waargenomen hoge gehalten (figuur 7).

Bij een vergelijking van de situatie in het gehele estuarium in 1980 met die in 1975, komen 2 duidelijke verschillen naar voren.

In de eerste plaats blijkt dat de afname van de kwikgehalten gaande in beide richtingen vanaf de Persleidingen bij Delfzijl, waarvan in 1975 sprake was, in 1980 niet meer wordt waargenomen. Terwijl in 1975 de kwikgehalten in de bovenlagen van het afgezette slib tot in de Dollard nog werden beïnvloed door de kwiklozingen bij Delfzijl, was dit in 1980 niet meer het geval.

Bovendien is, afgezien van de situatie bij de Persleidingen, de kwikbelasting op de meeste lokaties in het estuarium met ongeveer de helft afgenomen. Alleen op de beide uiterste lokaties in het estuarium (Noord Groninger Waddenkust en Eems bij Petkum) is deze afname minder groot. De afname van de kwikgehalten langs de Noord Groninger Waddenkust moet hoogstwaarschijnlijk worden toegeschreven aan de afname van de kwikbelasting in de afgelopen 10 jaren van door de Rijn naar zee getransporteerd sediment. Het uit Rijn, Maas en Schelde afkomstige zwevende materiaal wordt met het Continentale Kustwater in een smalle strook langs de Nederlandse kust noordwaarts getransporteerd en bereikt langs deze weg ten dele de Waddenzee. De resultaten van het in 1981 uitgevoerde onderzoek naar de metaalsamenstelling van afgezet en zwevend slib in de Waddenzee (M 1839) zullen dit mogelijk bevestigen.

Voor de verlaging van het kwikniveau in de langs de Eems bij Petkum onderzochte sedimenten zijn zowel het lagere kwikniveau van rechtstreeks uit de Noordzee aangevoerd materiaal, als de door de Bundesanstalt für Gewässerkunde in Koblenz (BfG) waargenomen afname van de kwikbelasting van Eemssedimenten (ongepubliceerde gegevens van Dr. Ackermann van de BfG) van belang. In dit verband kan worden vermeld dat in 1975 ter hoogte van Petkum een betrekkelijk geringe invloed ($\pm 10\%$) van de Eems op de kwikgehalten ter plaatse merkbaar was (2).

1980			1975		
Lokatie nr.	Lokatie	Hg _{50%} < 16 µm	Lokatie nr.	Lokatie	Hg _{50%} < 16 µm
8000	Noord Groninger Waddenkust	0,51	7500	Noord Groninger Waddenkust	0,62
8002a	Bocht van Watum - Noord	0,63	7502a	Bocht van Watum - Noord	0,71
8002b	Bocht van Watum - Midden	0,65	7502b	Bocht van Watum - Midden	1,68
			7502c	Bocht van Watum - Midden	1,41
8003	Persleidingen bij Delfzijl	15,8	7502d	Bocht van Watum - Zuid	1,62
			7502e	Bocht van Watum - Zuid	2,19
			7502f	Bocht van Watum - Zuid	2,70
			7503	Persleidingen bij Delfzijl	16,4 (78,8)
8010	Zuidkant Paap	0,65	7505	Termunterzijl	1,18
8005	Termunterzijl	0,66		Nederlandse Dollard	0,93
8006b	Nederlandse Dollard	0,57		Duitse Dollard	0,87
8006e	Duitse Dollard	0,60		Eems bij Petkum	0,78
8007	Eems bij Petkum	0,52	7507		

Tabel 3 Kwikgehalten bij 50% < 16 µm in afgezet slib van verschillende lokaties in het Eems-Dollard estuarium in 1980 en 1975

3.1.3 Vergelijking met waarnemingen RIZA

Sinds 1976 is kwik opgenomen in het routinematige RIZA-meetprogramma gericht op het inventariseren van o.a. zware metalen in het Eems-Dollard estuarium. Hiertoe worden enkele keren per jaar op een aantal lokaties watermonsters verzameld en hierin de metaalgehalten bepaald, zowel in het ongefiltreerde als in het gefiltreerde water. Uit de ons door de Hoofdafdeling Oppervlaktewater, District Noord van het RIZA ter beschikking gestelde bewerkte analysegegevens, zijn een tweetal figuren samengesteld met de kwikconcentraties die gemiddeld in de afgelopen 5 resp. 3 jaren werden gemeten in gefiltreerd water (opgelost kwik) en in het uit de betreffende watermonsters afkomstige zwevende slib (figuren 17 en 18).

In figuur 18 zijn voor de jaren 1976 en 1977 geen waarnemingen vermeld vanwege de toen nog geldende hoge detectielimiet van de bepaling. Naast RIZA-waarnemingen op een vijftal lokaties is ter hoogte van Borkum opgenomen het gemiddelde kwikgehalte van door het WL en IB in het najaar van 1981, in het kader van het onderzoek naar de belasting van slib in de Waddenzee met zware metalen (M 1839), gedurende een getijcyclus van 13 uren door centrifugeren verzameld zwevend slib.

De in figuur 17 vermelde gehalten aan opgelost kwik geven over de hele linie een afnemen van de gehalten in de periode 1976-1980 te zien. Ook de kwikconcentraties in het zwevende slib vertonen sinds 1978 een teruggang (figuur 18). Opvallend is wel dat de gehalten in het zwevende slib op de monsterlokatie 985 in de Dollard relatief hoog zijn. Mogelijk zijn de relatief hoge gehalten het gevolg van de aanwezigheid van veel fijn materiaal met hoge kwikgehalten op dit in de kom van de Dollard gelegen monsterpunt.

De afnemende trend, die blijkt uit de waarnemingen van het RIZA, sluit nauw aan bij de door ons geconstateerde teruggang in de kwikbelasting van de bovenste lagen afgezet slib van 1975 naar 1980.

3.2 Profielen

3.2.1 Verdeling van kwik in de profielen

De analysegegevens van de verschillende 5 cm segmenten uit de in 1981 in de Nederlandse en in de Duitse Dollard bemonsterde profielen zijn weergegeven in bijlage 3. Per lokatie zijn de kwikgehalten van de segmenten, in afhankelijk-

heid van de percentages aan de fractie $< 16 \mu\text{m}$, weergegeven in de figuren 19 en 20.

Uit figuur 19 blijkt dat in de bovenste 3 bemonsterde lagen van 5 cm van het profiel uit de Nederlandse Dollard de laagste kwikgehalten voorkomen ($0,8 \text{ à } 0,9 \mu\text{g/g}$). Verder naar de diepte nemen de gehalten toe tot de laag 25-30 cm. In deze laag wordt het hoogste niveau waargenomen ($1,7 \mu\text{g/g}$). In de dieper gelegen lagen worden weer iets lagere gehalten aangetroffen ($1,2 \text{ à } 1,4 \mu\text{g/g}$). In het profiel uit de Duitse Dollard zien we vanaf de bovenste 5 cm een regelmatig afnemen van de kwikgehalten van ca. 0,70 naar $0,05 \mu\text{g/g}$ (figuur 20).

De gehalten aan de fractie $< 16 \mu\text{m}$ bevinden zich in het gehele profiel uit de Nederlandse Dollard ongeveer op eenzelfde niveau. In het profiel uit de Duitse Dollard nemen daarentegen de gehalten aan deze fractie in de diepte globaal genomen toe. Om de kwikgehalten in de segmenten van beide profielen onafhankelijk van de gehalten aan de fractie $< 16 \mu\text{m}$ onderling met elkaar te kunnen vergelijken, zijn van ieder submonster de absolute kwikgehalten herleid tot de gehalten overeenkomend met $50\% < 16 \mu\text{m}$. De resultaten van deze berekeningen zijn vermeld in tabel 4.

Voor beide lokaties zijn de met $50\% < 16 \mu\text{m}$ corresponderende kwikgehalten, in afhankelijkheid van de bemonsteringsdiepte, weergegeven in de figuren 21 en 22. Ter vergelijking zijn in deze figuren ook ingetekend de kwikniveaus bij $50\% < 16 \mu\text{m}$ van de bovenlagen uit 1980 en 1975 die qua geografische ligging overeenkomen met de betreffende profielen.

Uit figuur 21 blijkt dat in het profiel uit de Nederlandse Dollard het kwikniveau in de laag 0-5 cm vergelijkbaar is met het niveau van de in 1980 bemonsterde bovenlagen. De in 1975 ter plaatse in de bovenlagen aangetroffen 2x zo hoge kwikgehalten corresponderen ten naaste bij met de gehalten in de lagen dieper dan 20 cm. De laag 25-30 cm gaat zelfs nog duidelijk boven het niveau van de bovenlagen van 1975 uit.

Er van uitgaande dat het in 1981 in de Nederlandse Dollard bemonsterde profiel representatief is voor dat deel van de Dollard, mag worden geconcludeerd dat in de Nederlandse Dollard tot ± 1975 duidelijk sprake is geweest van een aanvoer van sterk met kwik verontreinigd sediment. Na 1975 is de kwikbelasting van de aangevoerde sedimenten sterk afgenomen, hetgeen enerzijds blijkt uit

de 50% lagere gehalten van de bovenlagen in 1980 vergeleken met 1975, terwijl anderzijds de gehalten in het profiel vanaf -30 cm naar de oppervlakte een vrijwel rechtlijnig afnemen van de gehalten te zien geven.

In het Duitse gedeelte van de Dollard is de situatie wezenlijk anders dan in het Nederlandse gedeelte. In het profiel uit de Duitse Dollard wordt vanaf de bovenste laag een duidelijk afnemen van de kwikgehalten in de diepte waargenomen (figuur 22). Daar ook in dit gedeelte van de Dollard de kwikgehalten in de bovenlagen zijn teruggelopen, moet weliswaar worden geconcludeerd dat tot 1975 hier ook sprake is geweest van enige aanvoer van met kwik verontreinigde sedimenten, maar dat dit als gevolg van een geringere sedimentatiesnelheid slechts in beperkte mate tot uiting komt in de opbouw van het in 1981 ter plaatse bemonsterde profiel.

3.2.2 Vergelijking met de situatie in 1975

In het kader van het in 1975 uitgevoerde onderzoek naar het voorkomen van kwik in slib uit het Eems-Dollard estuarium, werd in de Duitse Dollard ongeveer op dezelfde lokatie als in 1981 eveneens een profielbemonstering uitgevoerd. Ook toen werd aldaar een afnemen van de kwikgehalten naar de diepte (tot 45 cm) waargenomen (2).

Een schematische vergelijking van het kwikverloop in de profielen uit de Nederlandse Dollard (1981) en uit de Duitse Dollard (1975 en 1981) is weergegeven in figuur 23. Uit deze figuur blijkt enerzijds het grote verschil in profielopbouw in Nederlandse en Duitse Dollard in 1981, terwijl anderzijds de gelijkvormige afname van de kwikgehalten naar de diepte in beide profielen (1975 en 1981) uit de Duitse Dollard opvalt. Wel werden in 1981 in het hele profiel hogere kwikgehalten aangetroffen dan in 1975, hetgeen er op wijst dat binnen een beperkt gebied verschillen op kunnen treden in de kwikopbouw van de profielen. Te denken valt hierbij aan de monsternamen in een dichtgeslibde priel in vergelijking met de monsternamen op een oorspronkelijk hoger gelegen plaats, waar sprake is van een geringere sedimentatie.

Bem. diepte (cm)	Lokatie 8006b = Nederlandse Dollard (1981)				Lokatie 8006e = Duitse Dollard (1981)		
	% < 16 µm	µg/g Hg (absoluut)	µg/g Hg (50% < 16 µm)		% < 16 µm	µg/g Hg (absoluut)	µg/g Hg (50% < 16 µm)
0 - 5	78,3	0,78	0,51		45,2	0,66	0,72
5 - 10	76,9	0,88	0,58		51,7	0,56	0,54
10 - 15	79,3	0,92	0,59		49,2	0,48	0,49
15 - 20	74,9	1,19	0,81		53,3	0,44	0,42
20 - 25	65,1	1,25	0,98		55,4	0,32	0,29
25 - 30	70,1	1,71	1,24		71,8	0,26	0,19
30 - 35	77,0	1,56	1,04		65,1	0,29	0,23
35 - 40	72,5	1,35	0,95		63,4	0,17	0,14
40 - 45	71,3	1,41	1,01		70,6	0,11	0,08
45 - 50	77,6	1,39	0,91		81,3	0,14	0,09
50 - 55	77,4	1,41	0,93		61,6	0,08	0,07
55 - 60	73,3	1,21	0,84		54,2	0,06	0,06
60 - 65	70,0	1,27	0,92				
65 - 70	78,9	1,48	0,96				

Tabel 4 Kwikgehalten in de verschillende lagen van profielen uit Nederlandse en Duitse Dollard in 1981

4. Kwikbelasting van het sediment onder invloed van een puntlozing

In het vorige hoofdstuk is aangegeven dat, onder invloed van de vermindering van de hoeveelheid geloosd kwik, de belasting van het sediment met kwik sterk is afgenomen. In dit hoofdstuk zal een semi-kwantitatieve beschouwing worden gegeven ten aanzien van de verschillen in kwikbelasting vóór 1976 en na 1976 in relatie tot de hydrodynamische omstandigheden in het Eems-Dollard estuarium. Allereerst zal de situatie vóór 1976 worden beschreven.

Het is te verwachten dat het geloosde kwik zowel opgelost in het water als gebonden aan het zwevend slib wordt getransporteerd. Indien als een eerste aanname wordt aangenomen dat al het kwik in de opgeloste fase wordt getransporteerd is op elke afstand tot het lozingspunt de kwikconcentratie te berekenen. Als basis dient de volgende formule (11):

$$P = R \cdot C_x + K_x \cdot A_x \cdot \frac{dC_x}{dx} \quad (1)$$

waarin,

x = lengtecoördinaat; x is positief in zeewaartse richting m

P = transport van het kwik in de x -richting mg/s

R = rivierafvoer m^3/s

C_x = kwikconcentratie op lokatie x mg/m^3

K_x = turbulente diffusie coëfficiënt op lokatie x m^2/s

A_x = natte doorsnede op lokatie x m^2

De oplossing van (1) luidt:

$$C_x = \frac{P}{R} \left(1 - e^{-R \int_x^{\infty} \frac{dx}{K_x \cdot A_x}} \right) \quad \text{voor } x \geq x_L \quad (2)$$

$$\text{en: } C_x = C_{x_L} \cdot e^{-R \int_{x_L}^x \frac{dx}{K_x \cdot A_x}} \quad \text{voor } x \leq x_L \quad (3)$$

waarbij x_L de lokatie van het lozingspunt voorstelt.

In het estuarium zijn zowel K_x als A_x een functie van x . De relatie met x is niet eenvoudig aan te geven, maar kan uit de transportvergelijking van zout c.q. chloride herleid worden. Voor zout geldt namelijk in de stationaire toestand:

$$P = R [Cl]_x - K_x \cdot A_x \frac{d[Cl]_x}{dx} = 0 \quad (4)$$

waarin $[Cl]_x$ de chlorideconcentratie is op lokatie x. mg/m^3

Uit (4) volgt dat:

$$\frac{[Cl]_x}{[Cl]_\infty} = e^{-R \int_x^\infty \frac{dx}{K_x \cdot A_x}} \quad (5)$$

waarin $[Cl]_\infty$ de chloride concentratie op zee is mg/m^3

(5) ingevuld in (2) en (3) levert respectievelijk:

$$C_x = \frac{P}{R} (1 - [Cl]_x/[Cl]_\infty) \quad \text{voor } x \geq x_L$$

$$\text{en: } C_x = C_{x_L} \cdot [Cl]_x/[Cl]_{x_L} \quad \text{voor } x \leq x_L$$

Indien de chlorideconcentratie als functie van x bekend is, is in de stationaire toestand de kwikconcentratie op elke plaats x te berekenen.

In tabel 5 zijn de kwikgehalten op verschillende afstanden van het lozingspunt weergegeven voor de jaren 1975, 1976 en 1980 (P respectievelijk 5; 1 en 0.06 ton/jaar). Daarbij is gerekend met chlorideconcentraties die gemeten zijn bij een gemiddelde waterafvoer (11). Volgens een recente opgave (13) bedraagt de gemiddelde rivierafvoer $120 \text{ m}^3/\text{s}$. Bij de in de tabel gepresenteerde getallen is de lozing van 70 kg kwik/jaar via de Westerwoldse A in rekening gebracht, maar moet de achtergrondconcentratie van ongeveer $0,05 \text{ à } 0,10 \text{ } \mu\text{g/l}$ (Waddenzeeniveau) opgeteld worden om de gehalten te verkrijgen, die gemeten worden bij dit debiet indien al het geloosde kwik in opgeloste toestand zou blijven.

lokatie	afstand tot lozingspunt (km)	Cl ‰	kwikgehalte in oplossing tengevolge van de lozing (µg/l)		
			1975	1976	1980
Noordzee	∞	18,5	0,00	0,00	0,00
t.h.v. Rottum	32	16,0	0,18	0,04	0,00
ten oosten van					
Eemshaven	10	13,5	0,36	0,07	0,01
t.h.v.					
lozingspunt	0	10,0	0,60	0,13	0,01
Mond Dollard	10	6,5	0,39	0,09	0,02
midden in					
Dollard	20	4,0	0,24	0,06	0,02
t.h.v. Petkum	20	2,5	0,15	0,04	0,02

Tabel 5 Berekende opgeloste kwikgehalten onder invloed van een puntlozing van kwik (al het kwik blijft opgelost)

Zoals reeds gesteld zal een deel van het kwik niet in oplossing blijven; een deel zal zich aan het zwevende slib gaan hechten. Deze adsorptie aan het sediment is moeilijk af te schatten, aangezien niet bekend is in welke vorm het kwik (organisch of anorganisch) werd geloosd. Van anorganisch kwik is bekend, dat het stabiele complexen met chloride ionen vormt, waardoor de adsorptie in het Eems-Dollard estuarium vergeleken met zoetwateromstandigheden lager zal zijn. Uit de analyses van het sediment, bemonsterd in 1975, kan worden opge- maakt dat het niveau van het kwikgehalte in het sediment als functie van de afstand tot het lozingspunt ongeveer parallel loopt met de berekende opgeloste Hg-gehalten. Hoe verder van het lozingspunt verwijderd des te lager zijn de kwikgehalten (vergelijk daarvoor figuur 16 met tabel 5). Aan de hand van de waargenomen concentratieverhogingen in het sediment en de sedimentatiesnelheid in het Eems-Dollard estuarium is het mogelijk een afschatting te maken van de verdeling van het kwik over de opgeloste en de vaste fase.

Als randvoorwaarde is aangehouden dat het achtergrondgehalte in het sediment, dat van mariene herkomst is (11), in 1975 0,65 µg/g bedroeg. Deze waarde is ontleend aan het gehalte dat in 1974 in de mond van de Westerschelde is gemeten (12). Dit betekent dat het sediment afgezet ten noorden van het Oostfriesche Gaatje (figuur 1) niet onder invloed heeft gestaan van de lozing. Immers in het sediment bemonsterd op het Noord-Groninger wad (lokatie 7500, figuur 2) be- droeg de concentratie aan kwik in 1975 0,62 µg/g (tabel 3). Met de hoeveelheid

gesedimenteerd slib boven genoemde grens hoeft dan ook geen rekening worden gehouden. In tabel 6 zijn de hoeveelheden gesedimenteerd slib en de hoeveelheden gesedimenteerd kwik afkomstig van de lozing weergegeven. Uit de tabel blijkt dat bij een totale lozing van 5 ton/jaar, zoals tussen 1960 en 1975 plaatsvond, ongeveer 35% van het geloosde kwik in het sediment is geaccumuleerd. Het resterende deel zal in opgeloste vorm zijn verspreid. De opgeloste gehalten bedroegen daarom op de verschillende lokaties in 1975, omdat de concentratie evenredig is met de hoeveelheid geloosd Hg, ongeveer twee derde van die vermeld in tabel 5, vermeerderd met de achtergrondgehalten.

Er zijn onvoldoende gegevens beschikbaar om de aldus verkregen opgeloste gehalten aan meetresultaten te toetsen. Uit de spaarzame gegevens zijn er wel aanwijzingen, dat in het Eems-Dollard estuarium de gehalten gemiddeld hoger zijn geweest dan in de Waddenzee: 0,30 µg/l ten opzichte van 0,08 µg/l (14). In (14) wordt er echter bij aangetekend dat de verhoging niet significant is, vanwege de grote spreiding in de kwikgehalten.

In 1980 zijn, behalve tussen de noordkant van de Bocht van Watum en Termunterzijl, de gehalten aan kwik in het sediment niet hoger dan het achtergrondgehalte. Het achtergrondgehalte bedroeg in 1980 ongeveer 0,50 µg/g, hetgeen is afgeleid uit het gehalte gevonden in sediment van het Groninger Wad (tabel 3) en dat in sediment van de mond van de Westerschelde (12).

Sinds 1975 is de belasting van het sediment van mariene herkomst met kwik dus afgenomen. De kwikgehalten in het sediment tussen de Noordkant van de Bocht van Watum en Termunterzijl zijn in 1980 ten opzichte van 1975 als gevolg van de vermindering van de lozingshoeveelheden duidelijk afgenomen.

gebied	hoeveelheid gesedimenteerd slib (ton/jaar)	verhoging Hg- gehalte in sediment t.g.v. lozing (µg/g) ¹⁾	hoeveelheid gesedimenteerd Hg afkomstig van de lozing (ton/jaar)
Oostfriesche Gaatje	225.000 ²⁾	0,57	0,13
Bocht van Watum	200.000 ⁴⁾	0,57	0,11
Delfzijl	640.000 ²⁾	0,80	0,51
Delfzijl tot mond			
Dollard	200.000 ³⁾	0,38	0,08
Dollard	800.000 ³⁾	0,22	0,18
Eems	2.700.000 ³⁾ en 2)	0,29	0,78
totaal 1,8			

Tabel 6 Hoeveelheid gesedimenteerd kwik, afkomstig van de lozing in 1975

bij tabel 6:

- 1) Vastgesteld aan de hand van absolute gehalten in het sediment
- 2) Uit baggergegevens 1977 - 1981 (13)
- 3) Uit slibconcentratiemetingen (13)
- 4) Schatting (in Bocht van Watum wordt niet (meer) gebaggerd).

Afgezien van de onmiddellijke omgeving van het lozingspunt is nog slechts 0,1 à 0,2 µg/g van de lozing afkomstig. Ook ten aanzien van de opgeloste gehalten is een verbetering geconstateerd (figuur 17). De opgeloste gehalten bevinden zich in 1980 op het niveau van de achtergrondconcentratie.

Ter hoogte van het lozingspunt zijn de Hg-gehalten in een aantal sedimentmonsters nog wel sterk verhoogd. Mogelijk is hier de sedimentatiesnelheid gering en is sediment bemonsterd dat voor 1977 is afgezet.

Gezien de verschillen in kwikconcentraties in het sediment en het water tussen 1975 en 1980 is het te verwachten dat op alle plaatsen in het Eems-Dollard estuarium het kwikgehalte in de bovenlaag van het sediment binnen enkele jaren gelijk zal zijn aan de concentratie in slib van mariene herkomst.

Een extra aanwijzing hiervoor volgt uit de cijfers in tabel 7. In deze tabel staat voor de verschillende jaren vermeld hoeveel kwik - in opgeloste vorm dan wel gebonden aan het zwevende slib - op ieder moment in het estuarium aanwezig was/is. Daarbij is aangenomen dat de

jaar	hoeveelheid kwik in opgeloste vorm (kg)	hoeveelheid kwik gebonden aan het zwevende slib (kg)
1975	590 ¹⁾	63 ³⁾
1976	195 ¹⁾ ; 179 ²⁾	--
1980	92 ²⁾	33 ³⁾
1985?	85	30 ⁴⁾

Tabel 7 Hoeveelheid in het water aanwezige kwik (opgelost + zwevend)

- 1) Op basis van berekende opgeloste gehalten
- 2) Op basis van gemeten opgeloste gehalten (figuur 17)
- 3) Op basis van gemeten gehalten in sediment (figuur 16)
- 4) Bij opgelost achtergrondgehalte van 0,05 µg/l en achtergrondgehalte in slib van 0,5 µg/g.

totale inhoud van het Eems-Dollard estuarium $1700 \times 10^6 \text{ m}^3$ bedraagt en de totale hoeveelheid slib in suspensie 60.000 ton droge stof (11). (De slibconcentratie varieert van 20 mg/l t.h.v. Rottum tot 120 mg/l in de Dollard). Uit de tabel blijkt dat in 1980 de belasting van het estuarium niet ver meer verwijderd was van de in de toekomst te verwachten belasting.

5. Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

1. Afgezien van de situatie bij de Persleidingen is sinds 1975 een duidelijke verbetering ingetreden in de kwikbelasting van de bovenste sedimentlagen in het gehele Eems-Dollard estuarium. Vergeleken met 1975 is in 1980 de kwikbelasting van de sedimenten vanaf het noordelijke deel van de Bocht van Watum tot Termunterzijl met ongeveer de helft afgenomen. Ook op het Groninger Wad en in de Dollard werden in de bovenlagen duidelijke verlagingen waargenomen.
2. Een afnemen van de kwikgehalten in noordelijke en in zuidelijke richting vanaf de Persleidingen bij Delfzijl wordt in 1980 niet meer waargenomen. In 1975 werden de kwikgehalten in de bovenlagen van het afgezette slib nog tot in de Dollard beïnvloed door de kwiklozingen bij Delfzijl.
3. In 1980 waren de gehalten vanaf het noordelijke gedeelte van de Bocht van Watum tot bij Termunterzijl, met uitzondering van de situatie vlak voor de Persleidingen bij Delfzijl, qua niveau volledig vergelijkbaar.
4. De aan de hand van de waarnemingen in de bovenlagen van het afgezette slib geconstateerde verbetering van de situatie sinds 1975 wordt ondersteund door waarnemingen van het RIZA in watermonsters uit het estuarium in de periode 1976-1980. Laatstgenoemde waarnemingen vertonen ook een afnemen van de kwikgehalten, zowel voor wat betreft de gehalten aan opgelost kwik als voor de gehalten in het zwevende slib.
5. In enkele bij de Persleidingen bemonsterde bovenlagen wordt in 1980 nog erg veel kwik aangetroffen. Vlak bij de Persleidingen is nauwelijks sprake van enige verbetering van de kwikbelasting van de sedimenten. De afwijkende granulometrische samenstelling van de monsters met extreem hoge kwikgehalten doet vermoeden dat kort voor de monsternamen in 1980 nog kwikrijk materiaal door één van de drie Persleidingen is aangevoerd. Ook kan worden gedacht aan het aan de oppervlakte komen van oudere lagen afgezet in een periode toen de kwikuitstoot nog groot was.
6. Ook in het in 1981 in de Nederlandse Dollard genomen profiel komt het afnemen van de kwikbelasting in het Eems-Dollard estuarium sinds 1975 tot uiting. De boven -30 cm gelegen lagen geven naar de oppervlakte een vrijwel rechtlijnig afnemen van de kwikgehalten te zien.
7. In het profiel uit de Duitse Dollard wordt daarentegen vanaf de bovenste laag een afnemen van de kwikgehalten naar de diepte waargenomen. Een hiermee

vergelijkbare situatie werd ook in 1975 aangetroffen. De toevoer van met kwik verontreinigd slib naar de kom van de Dollard, zoals die in de afgelopen jaren heeft plaats gevonden, blijft voornamelijk beperkt tot het Nederlandse gedeelte van het gebied.

8. In de jaren 1960 tot 1975 is ongeveer 2/3 van de hoeveelheid nabij Delfzijl geloosd kwik in opgeloste vorm naar de Noordzee afgevoerd. Eén derde deel is gebonden aan het zwevende slib getransporteerd en bezonken in het Eems-Dollard estuarium.
9. Gezien de waargenomen verschillen in de kwikbelasting van het water en het sediment tussen 1975 en 1980 en de nog slechts geringe verhoging van het kwikgehalte in het sediment bemonsterd in 1980 ten opzichte van het achtergrondgehalte, is het te verwachten dat voor 1985 op alle plaatsen in het estuarium de gehalten in de bovenlagen op het niveau van het Hg-gehalte in het Noordzeesediment zullen liggen.

5.2 Aanbevelingen

1. Tussen de bemonsteringen die in 1975 en in 1980 in het Eems-Dollard estuarium zijn uitgevoerd, treden duidelijke verschillen op, die het nut van sedimentonderzoek als monitor onderstrepen. De daling in de kwikgehalten van het sediment tussen 1975 en 1980 wijst erop dat voor 1985 de invloed van de kwiklozing nabij Delfzijl op de kwikgehalten van de sedimenten in het estuarium zal zijn verdwenen. Daarom verdient het aanbeveling rond 1985 een hernieuwde scanning van de bovenlagen uit te voeren. D.w.z. ruim 5 jaar na het in gebruik nemen van de rioolwaterzuiveringsinstallatie bij Garmerwolde.
2. De situatie bij de Persleidingen is niet geheel duidelijk. Enerzijds moet, aan de hand van de kwikbelasting van de bovenlagen uit het estuarium in 1980, worden geconcludeerd dat de slibmassa die zich vlak bij de uitmonding van de Persleidingen bevindt erg lokaal gebonden is. Anderzijds zou vanwege het erg volumineuze karakter van dit slib worden verwacht dat het gemakkelijk kan worden opgewerveld en afgevoerd. Een onderzoek naar de erodeerbaarheid van het bij de Persleidingen voorkomende slib lijkt derhalve zinvol. Daarnaast verdient het aanbeveling na te gaan of, en zo ja in welke mate, bij Delfzijl toch nog kwik via de Persleidingen op het estuarium wordt geloosd. Te denken valt in dit verband aan restanten uit de Groninger leiding of aan de lozing van kwikhoudend materiaal via de leiding van Delfzijl.

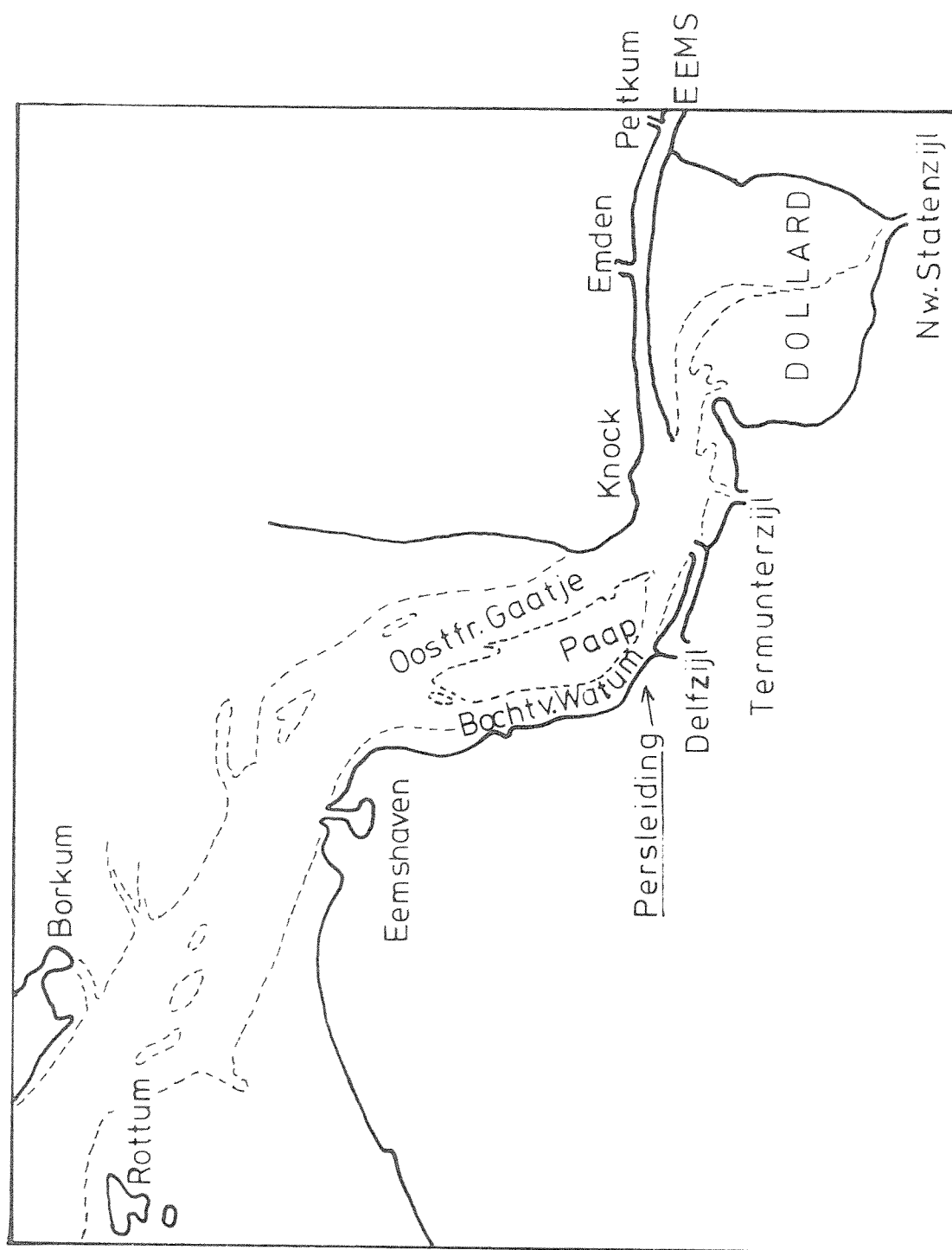
3. Ofschoon de invloed van het door de Eems afgevoerde materiaal voornamelijk beperkt blijft tot de benedenloop van deze rivier, is weinig bekend over de actuele situatie betreffende de belasting met kwik en andere metalen van slib in het stroomopwaarts gelegen gedeelte van de rivier. Een periodieke scanning, aangepast aan de wisselende waterafvoer van deze regenrivier, is derhalve zinvol.
4. Er is geen informatie over de wijze waarin kwik in de sedimenten in de Dollard voorkomt en over de processen die aanleiding geven tot een afgifte van kwik aan het poriënwater. De metalen in het poriënwater zijn over het algemeen beter beschikbaar voor bodemorganismen dan de metalen die vast aan het sediment zijn gebonden. Daarnaast kan door processen als diffusie, consolidatie en bioturbatie met kwik opgeladen poriënwater aan het oppervlaktewater worden afgegeven. Op deze wijze kunnen de sedimenten in de Dollard fungeren als een bron van kwik over een vrij lange periode. Teneinde inzicht in deze processen te verkrijgen zal allereerst een inventarisatie moeten worden gemaakt van de kwikvoorraad in de Dollard en vervolgens onderzoek naar processen die een mobilisatie van kwik in dit gebied veroorzaken en de kwantitatieve betekenis van deze processen voor het tot standkomen van de kwikgehalten in de diverse biotische en abiotische componenten in het estuarium.

LITERATUUR

- 1 Rijksinstituut voor Zuivering van Afvalwater
Notitie Hoofdafdeling Oppervlaktewater-Distrikt Noord d.d.
25-5-1982 betreffende kwiklozingen op het Eemsestuarium
- 2 Waterloopkundig Laboratorium en Instituut voor Bodemvruchtbaarheid
Voorkomen van kwik in slib uit het Eems-Dollard estuarium
Verslag R 1120 (augustus 1978)
- 3 GROOT, A.J. de en ZSCHUPPE, K.H.
Contribution to the standardization of the methods of analysis for heavy
metals in sediments
Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer, 111-122 (1981)
- 4 HOOGHOUDT, S.B.
Een gecombineerde zeef- en pipetmethode voor de bepaling van de granulaire
samenstelling van gronden
Versl. Landbk. Onderz. 50, 671-993 (1945)
- 5 BRUIN, P.
Enige ervaringen bij de bepaling van het gehalte van de grond aan koolzure
kalk volgens de methode Scheibler
Chem. Weekbl. 34, 755-759 (1937)
- 6 MEBIUS, L.J., DEKKER, A. en ten HAVE, J.
De methode "Kurmies", een snelle en betrouwbare titratiemethode voor de
bepaling van het humusgehalte van de grond
Chem. Weekbl. 53, 291-295 (1957)
- 7 MELTON, J.R., HOOVER, W.L. en HOWARD, P.A.
The determination of mercury in soils by flameless atomic absorption
Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 35, 850-852 (1971)
- 8 HATCH, R.H. en OTT, W.L.
Determination of sub-microgram quantities of mercury by atomic absorption
spectrophotometry
Anal. Chem. 40, 2085-2087 (1968)

LITERATUUR (vervolg)

- 9 SALOMONS, W. en GROOT, A.J. de
Pollution history of trace metals in sediments, as affected by the Rhine River
In: Environmental biogeochemistry and geomicrobiology. Vol. I: The aquatic environment, pp. 149-162. Ed. by W.E. Krumbein. Ann Arbor Science Publishers Inc., Ann Arbor, Michigan. 394 pp (1978)
- 10 SALOMONS, W. en EYSINK, W.D.
Pathways of mud and particulate trace metals from rivers to the southern North Sea
Spec. Publs. int. Ass. Sediment 5, 429-450 (1981)
- 11 Rijksinstituut voor Zuivering van Afvalwater
Het estuarium als ontvangend water van grote hoeveelheden afvalstoffen
Mededeling nr. 2, Staatsdrukkerij 's-Gravenhage (1965)
- 12 Waterloopkundig Laboratorium
Inventarisatie en geochemisch gedrag van zware metalen in de Schelde en Westerschelde
Verslag M 1640/M 1736 (1981)
- 13 Rijkswaterstaat, Meet- en Adviesdienst Delfzijl
Persoonlijke mededeling
- 14 ESSINK, K.
Mercury pollution in the Ems estuary
Helgoländer Meeresunters. 33, 111-121 (1980)

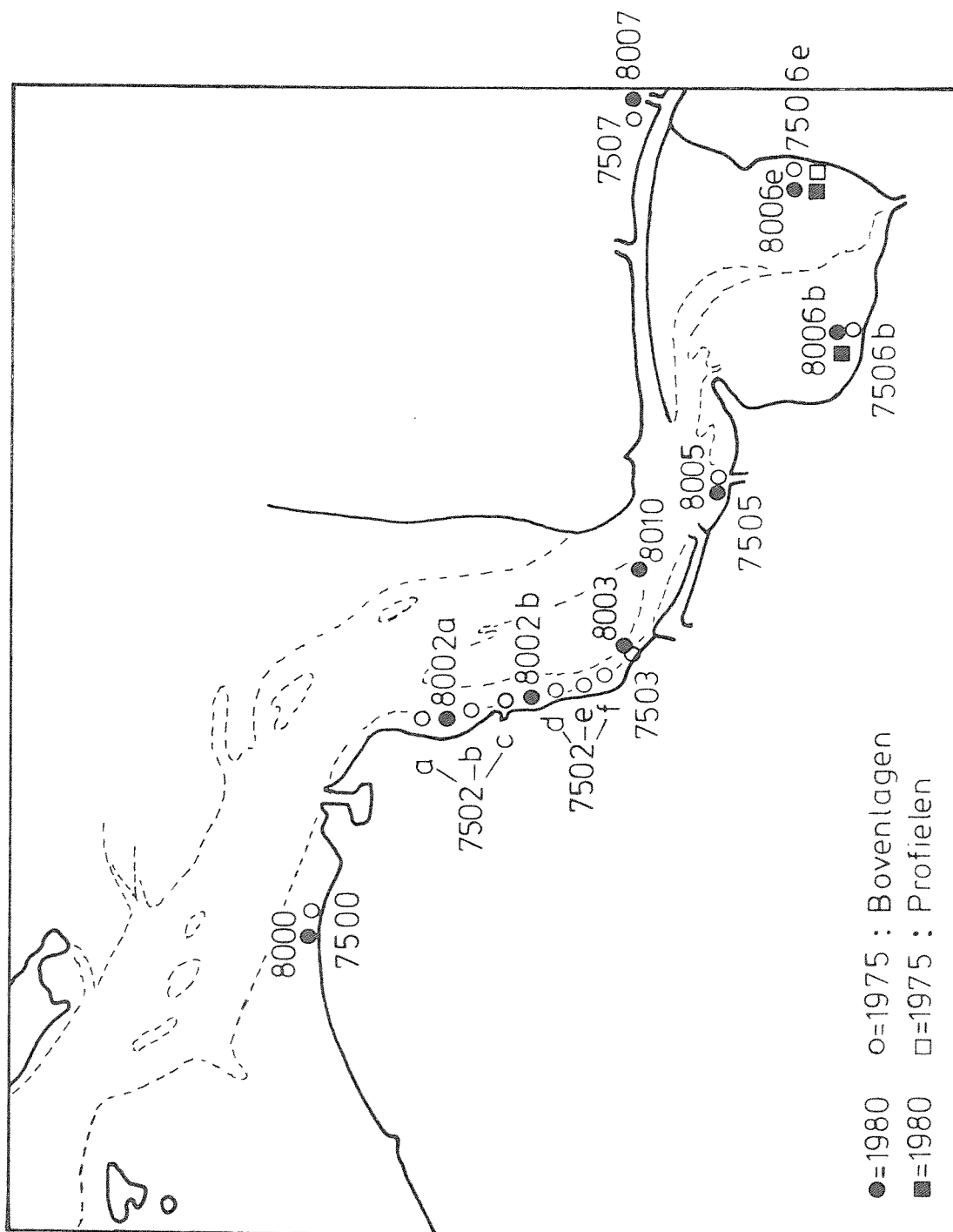


EEMS-DOLLARD ESTUARIUM
Overzicht van het bemonsterde gebied

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1838

FIG. 1

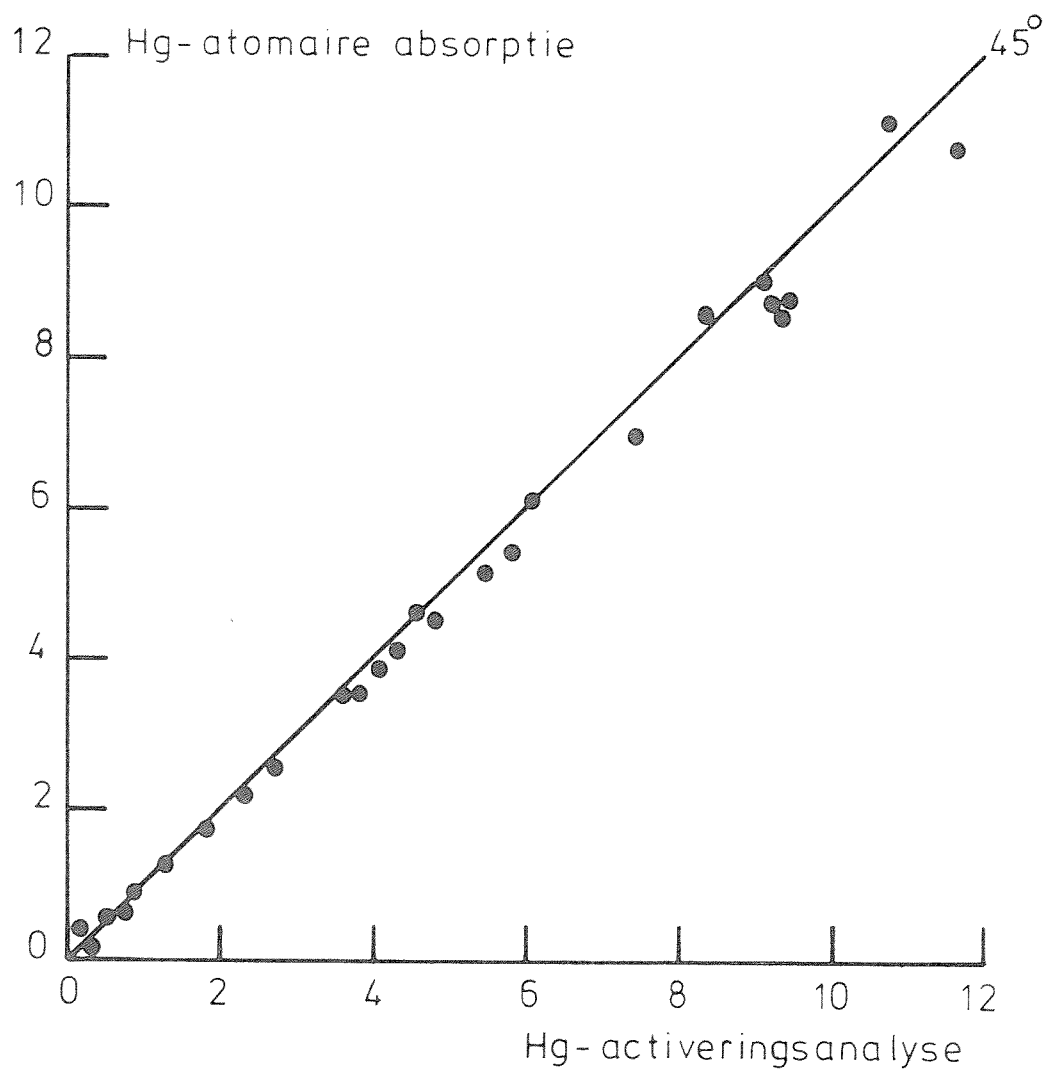


EEMS-DOLLARD ESTUARIUM
Overzicht van de bemonsterde lokaties

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

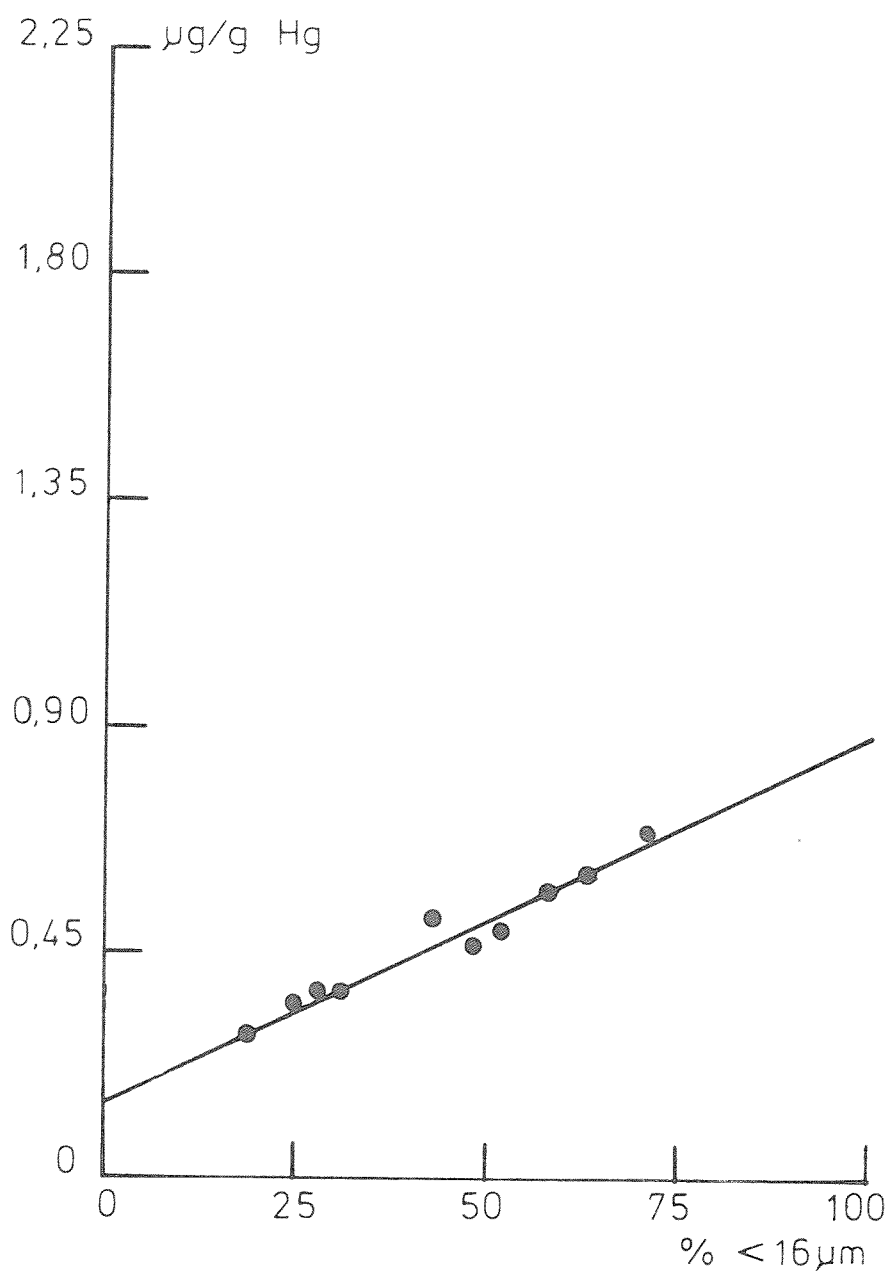
M 1838

FIG. 2



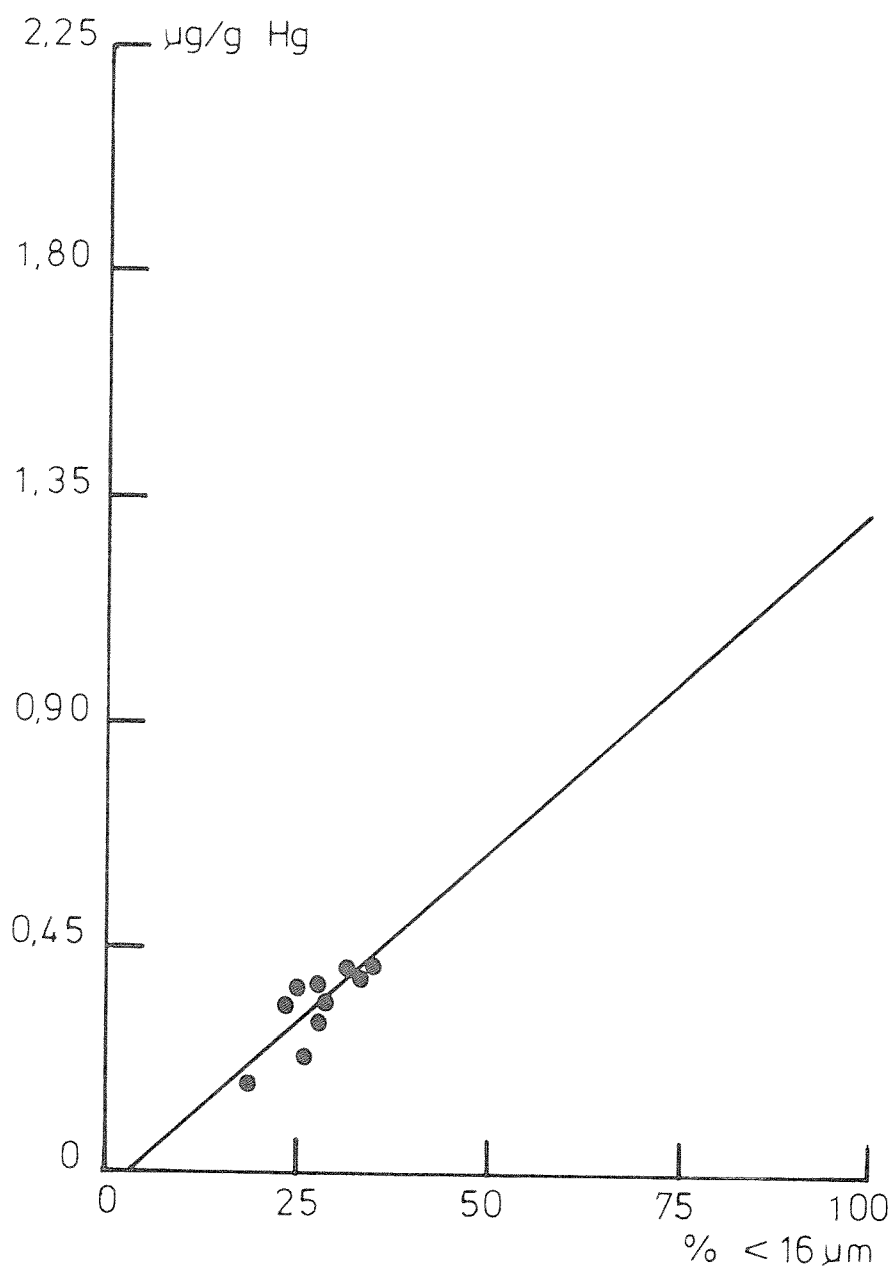
Verband tussen de kwikgehalten van slib be-
paald met destructieve activeringsanalyse en
met vlamloze atomaire absorptie

Lokatie 8000 = Noord Groninger Waddenkust



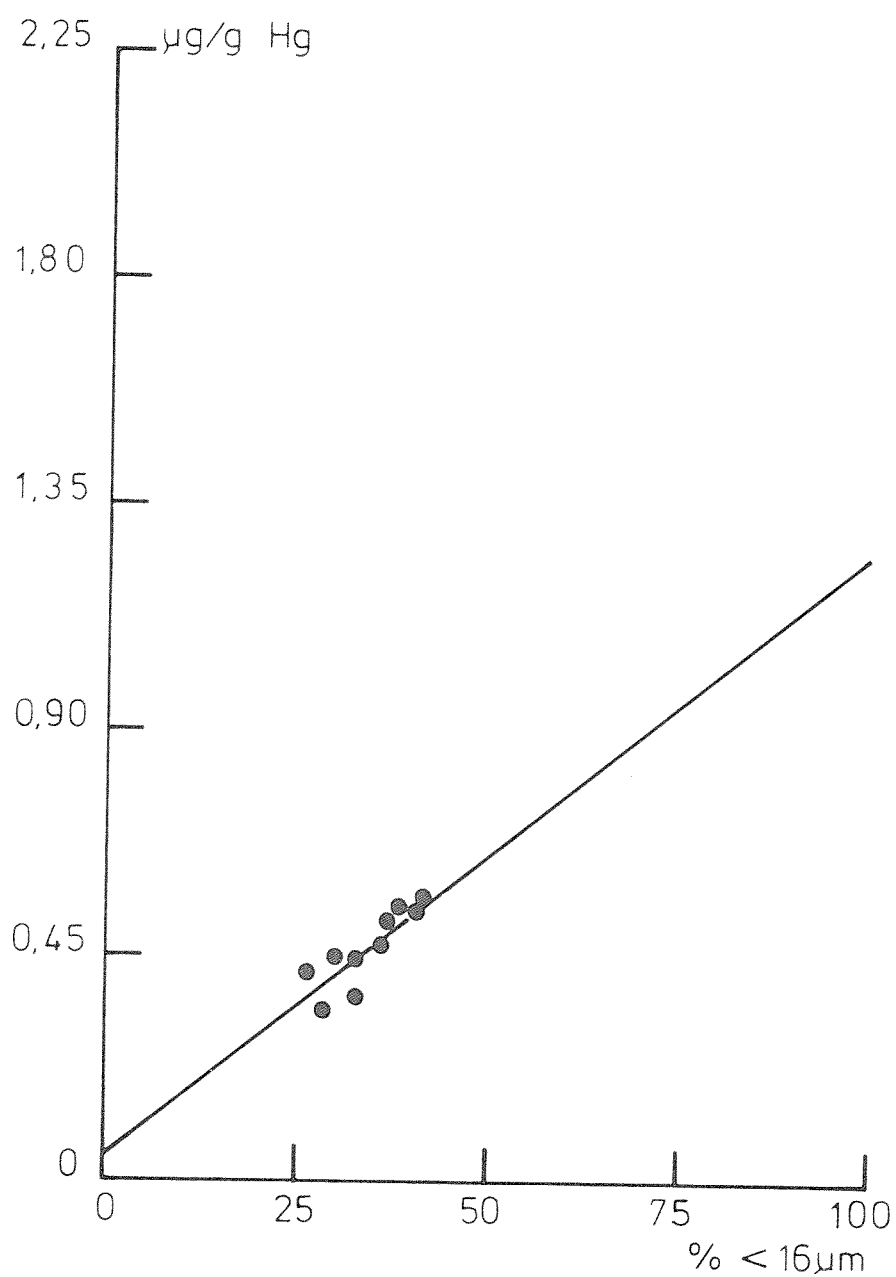
Verband tussen het kwikgehalte en de fractie
 $< 16\mu\text{m}$ van slib van de lokatie 8000

Lokatie 8002a = Bocht van Watum - Noord



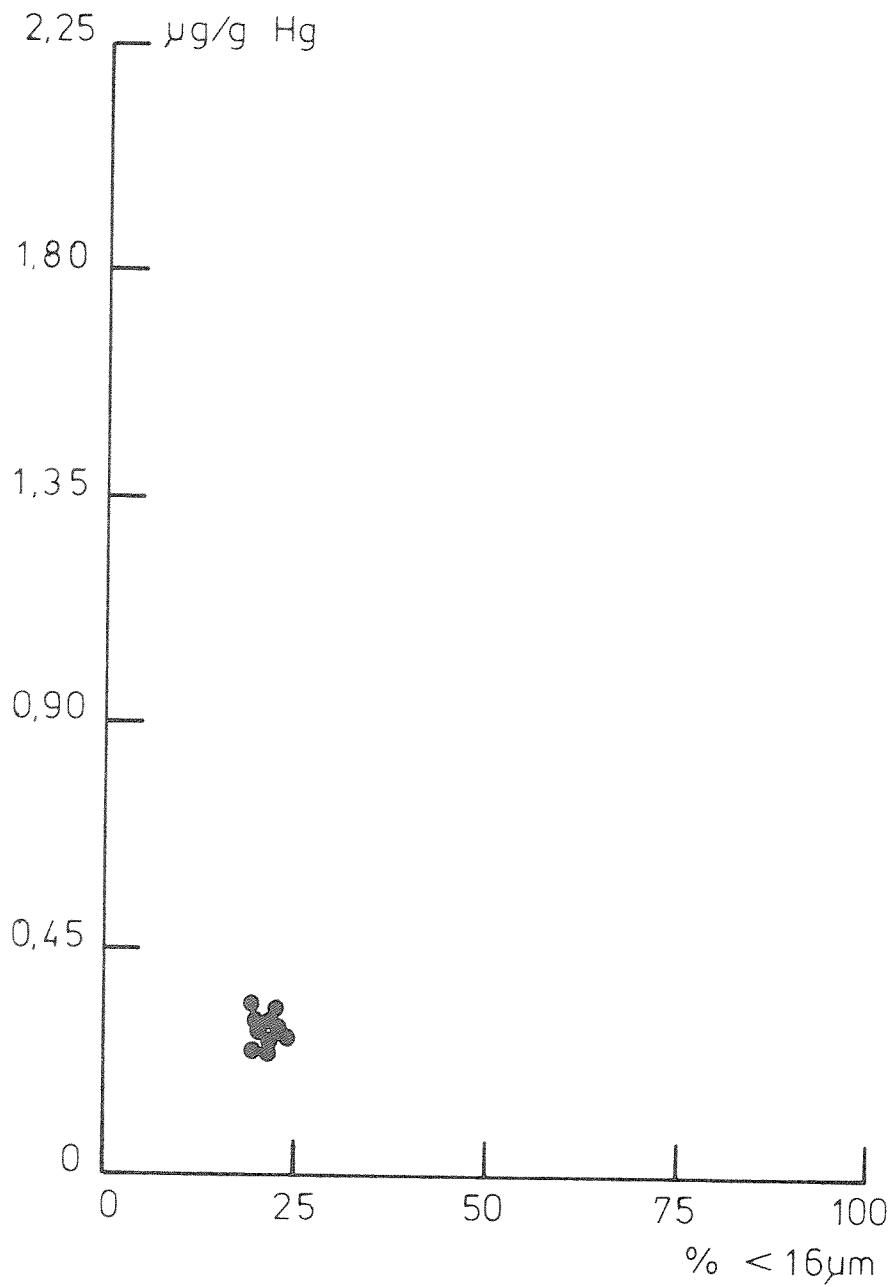
Verband tussen het kwikgehalte en de fractie
 $< 16 \mu\text{m}$ van slib van de lokatie 8002a

Lokatie 8002b = Bocht van Watum-Midden



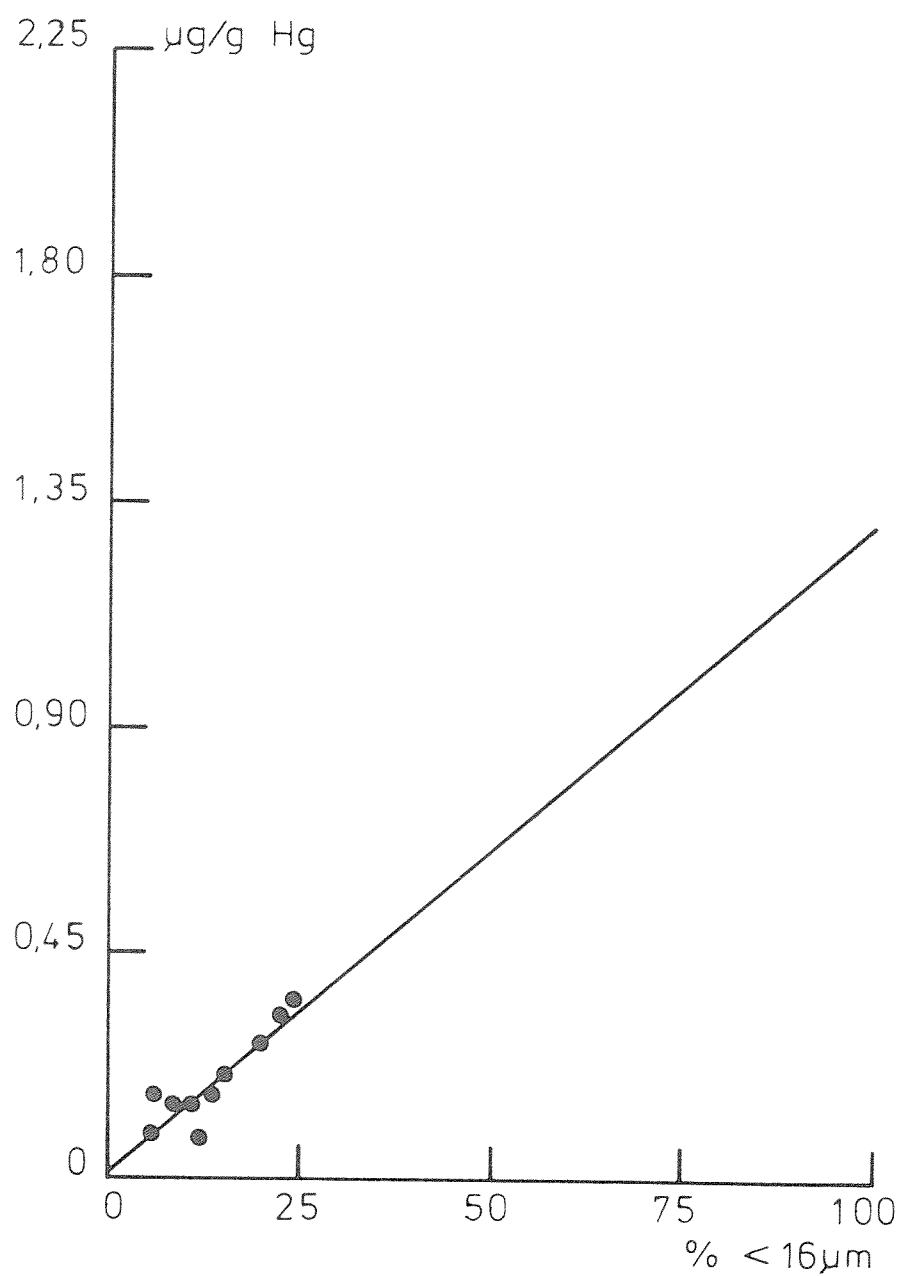
Verband tussen het kwikgehalte en de fractie
 $< 16\mu\text{m}$ van slib van de lokatie 8002b

Lokatie 8010 = Zuidkant Paap



Verband tussen het kwikgehalte en de fractie
 $< 16\mu\text{m}$ van slib van de lokatie 8010

Lokatie 8005 = Termunterzijl



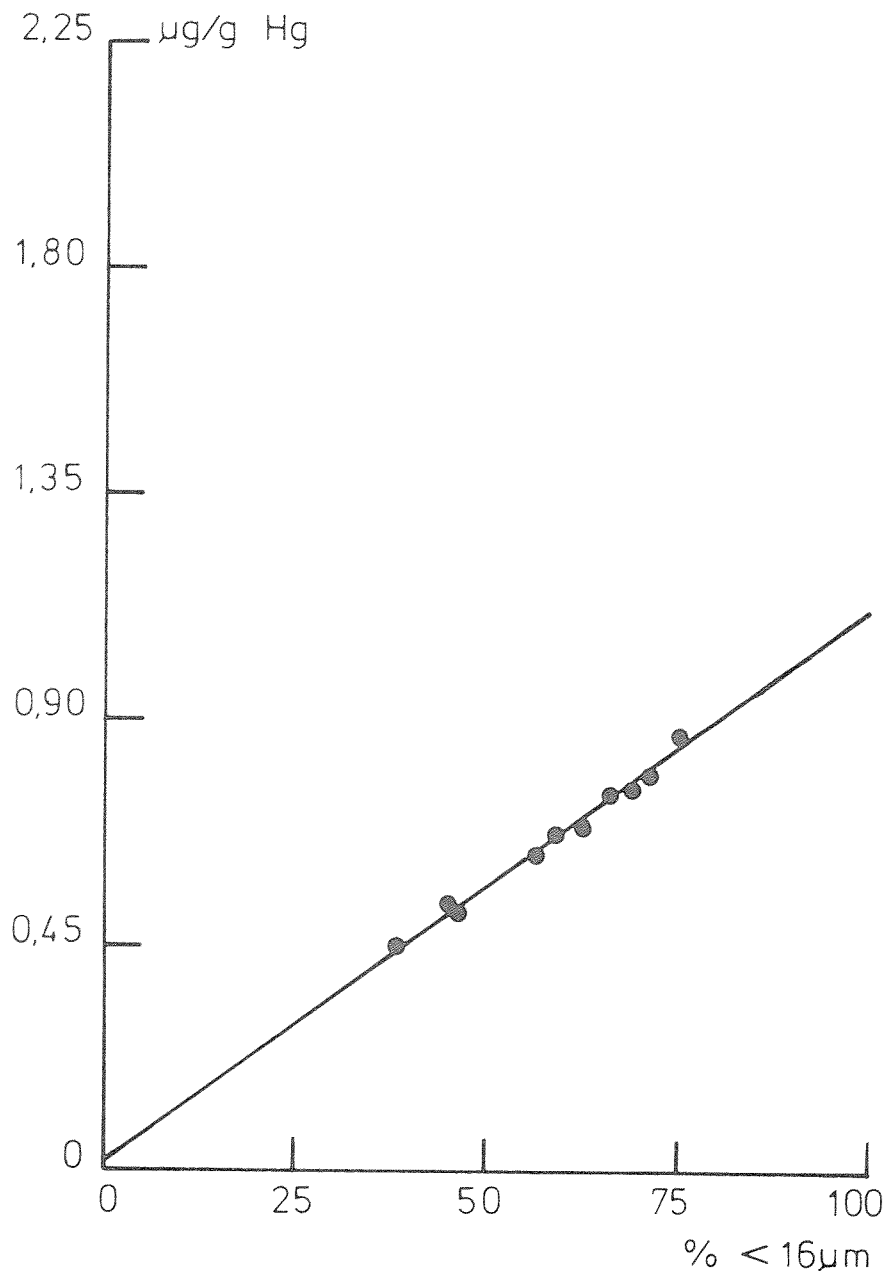
Verband tussen het kwikgehalte en de fractie
 $< 16\mu\text{m}$ van slib van de lokatie 8005

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1838

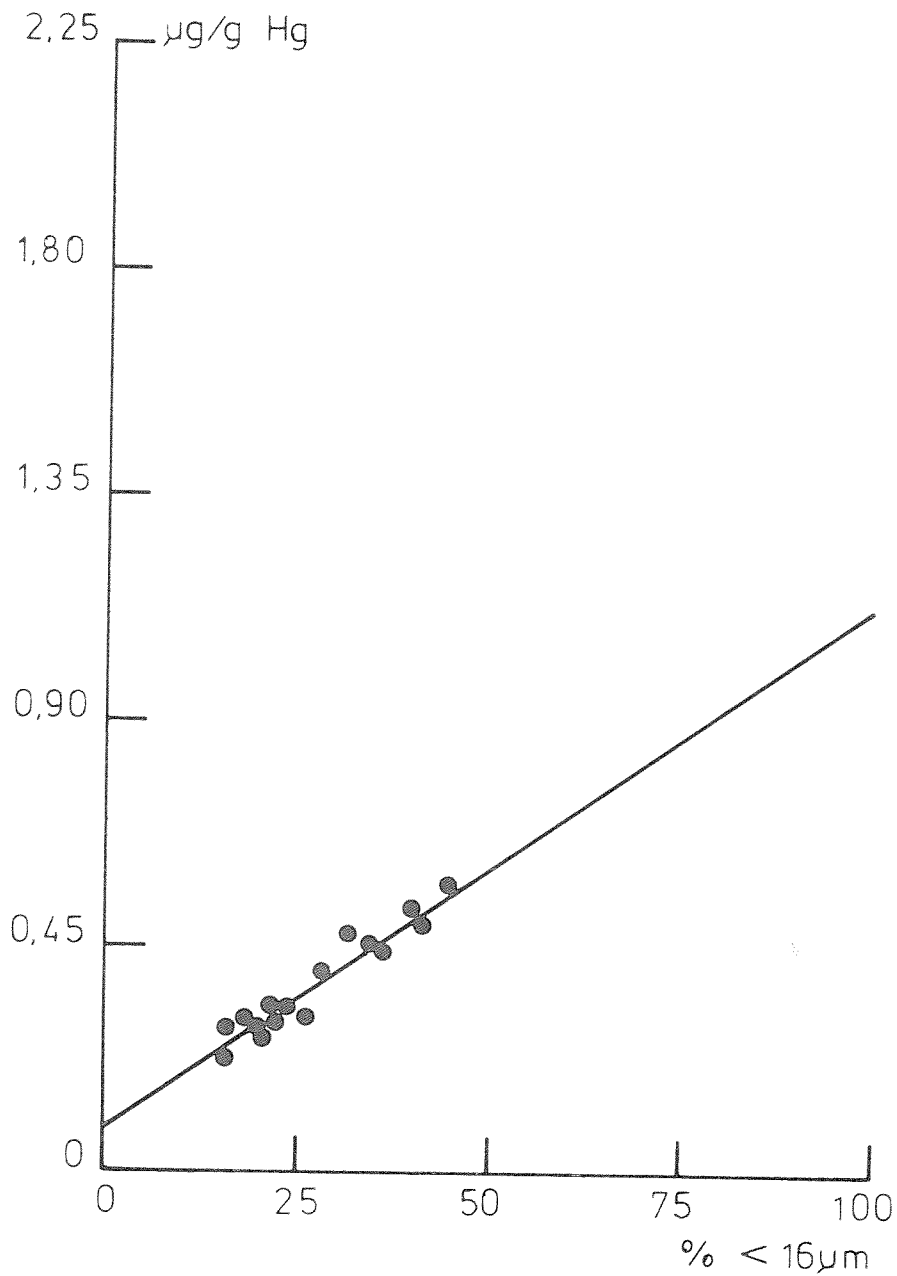
FIG. 9

Lokatie 8006 b = Nederlandse Dollard



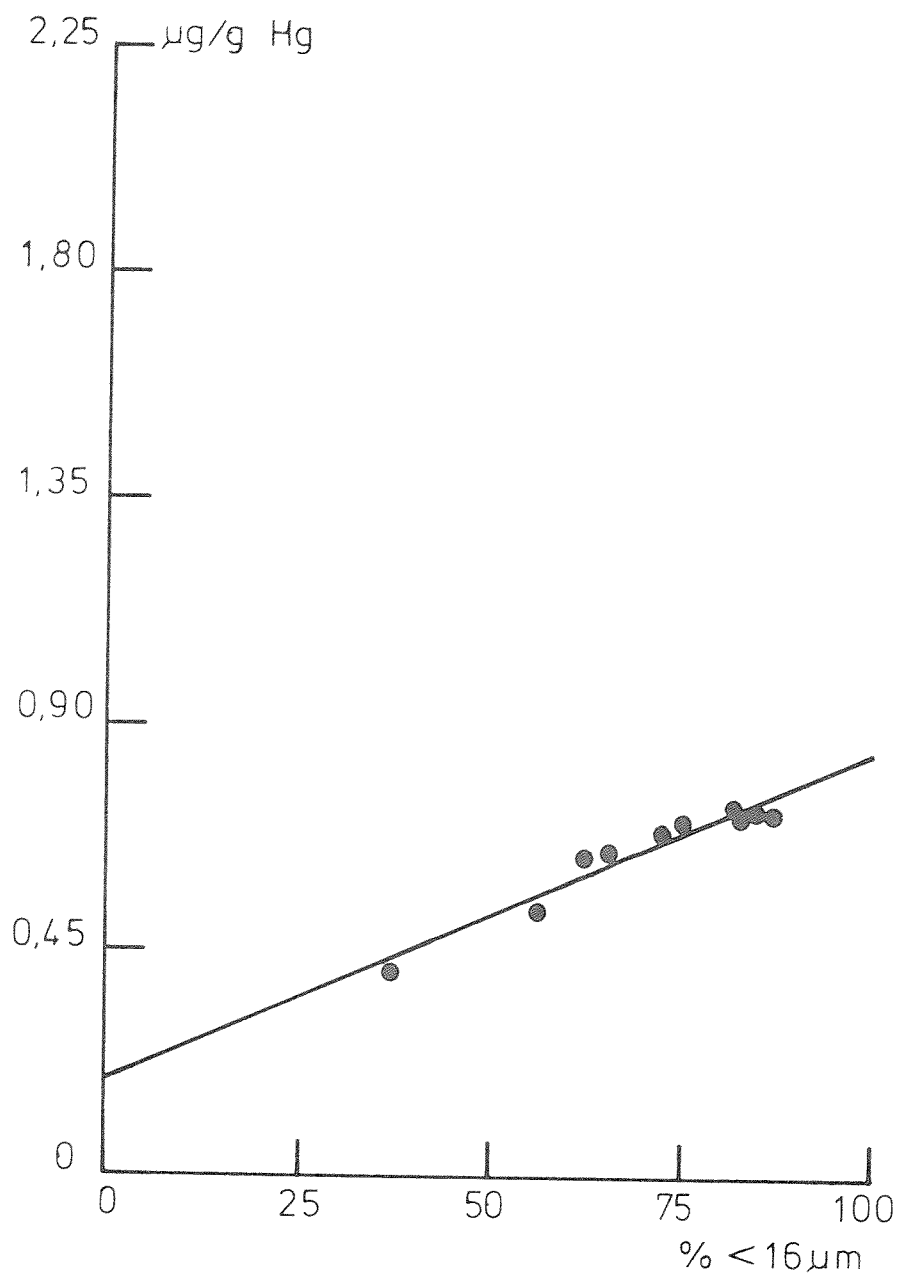
Verband tussen het kwikgehalte en de fractie
<16µm van slib van de lokatie 8006 b

Lokatie 8006e = Duitse Dollard



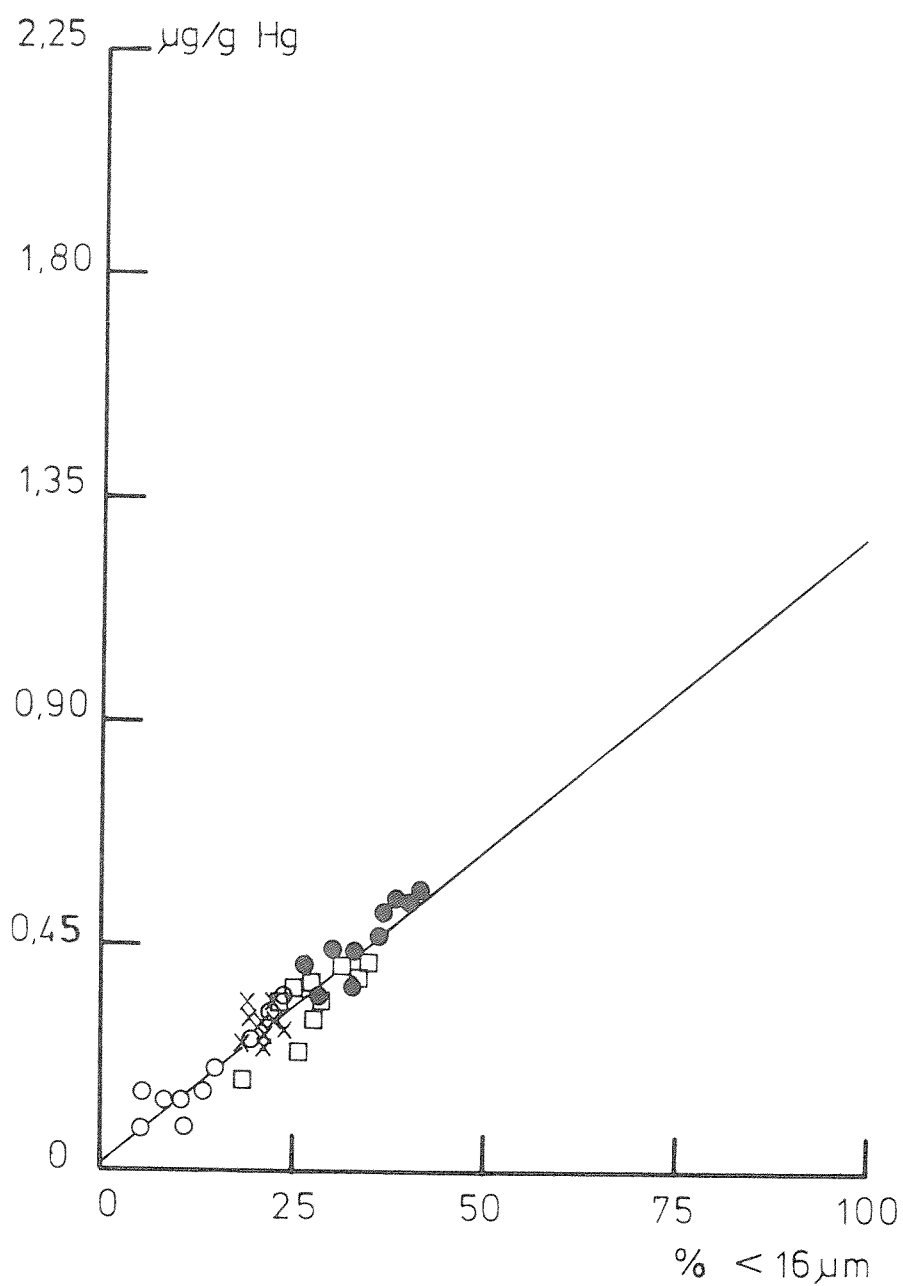
Verband tussen het kwikgehalte en de fractie
<16μm van slib van de lokatie 8006e

Lokatie 8007 = Eems bij Petkum

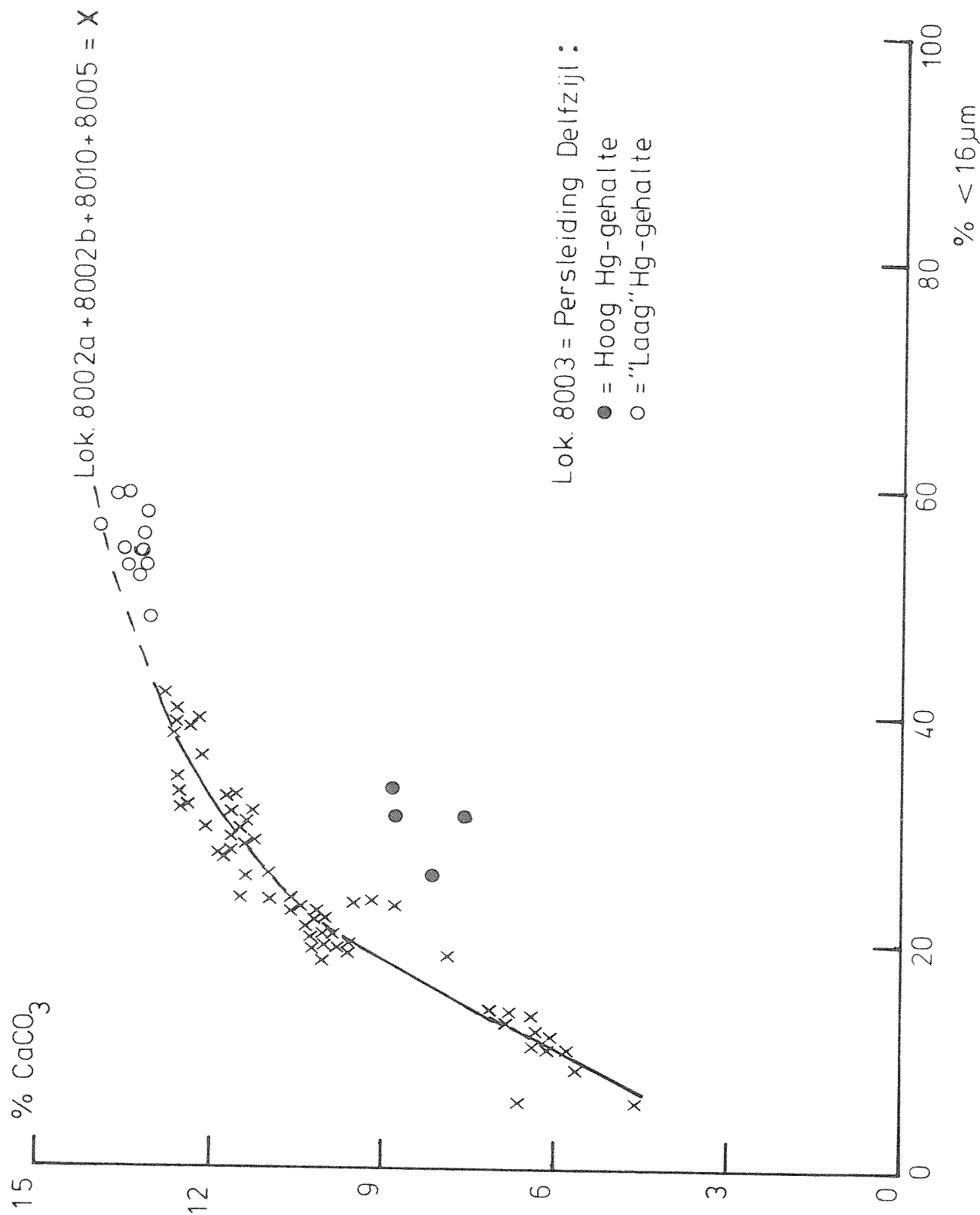


Verband tussen het kwikgehalte en de fractie
 $< 16\mu\text{m}$ van slib van de lokatie 8007

□ = lokatie 8002a ● = lokatie 8002b
 x = lokatie 8010 ○ = lokatie 8005



Verband tussen het kwikgehalte en de fractie
 < 16 μm van slib van de lokaties 8002a + 8002b +
 8010 + 8005

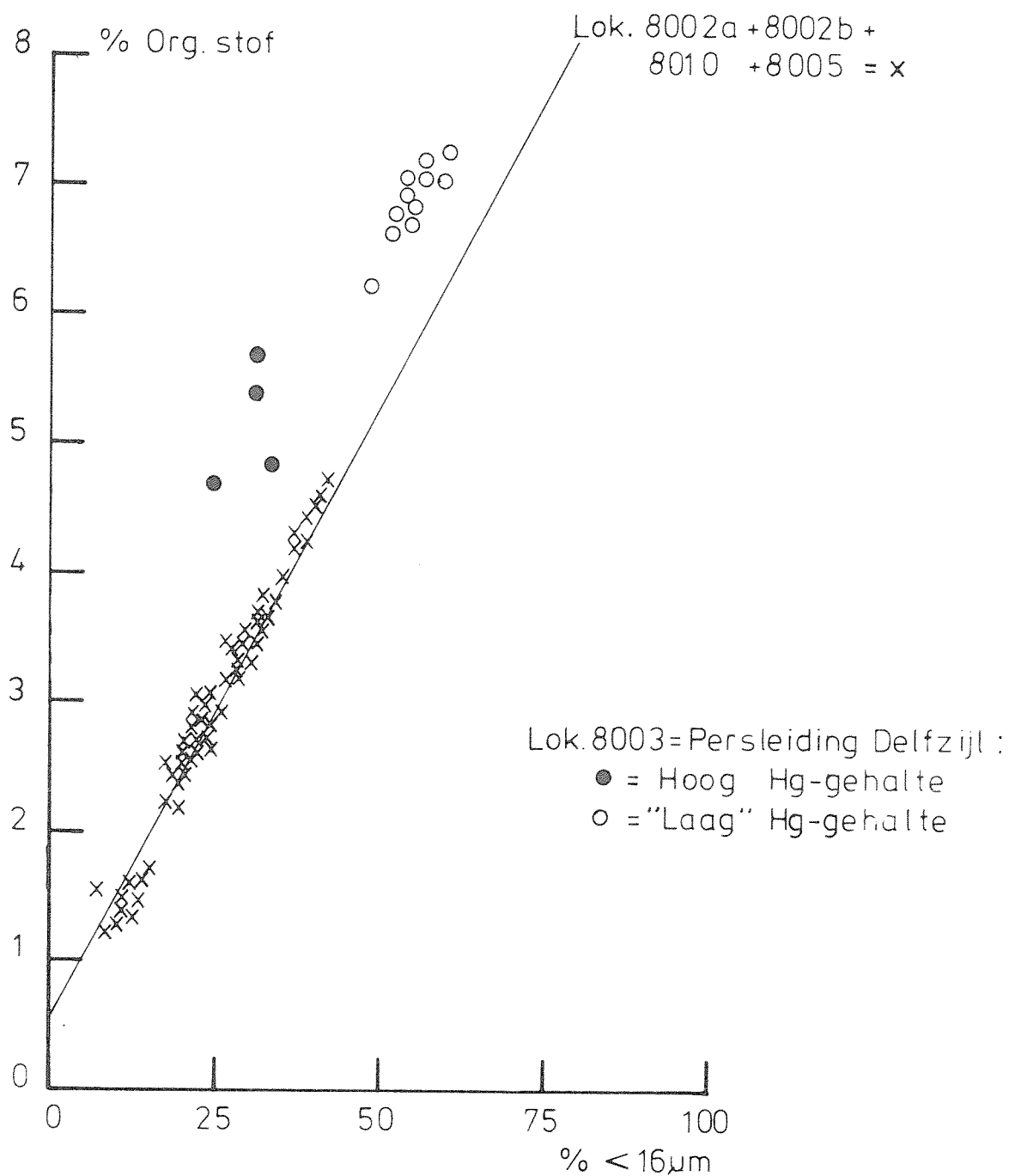


Verband gehalten aan CaCO_3 en fractie $< 16\mu\text{m}$
van slib van de lokaties 8002a + 8002b +
8010 + 8005 en de lokatie 8003

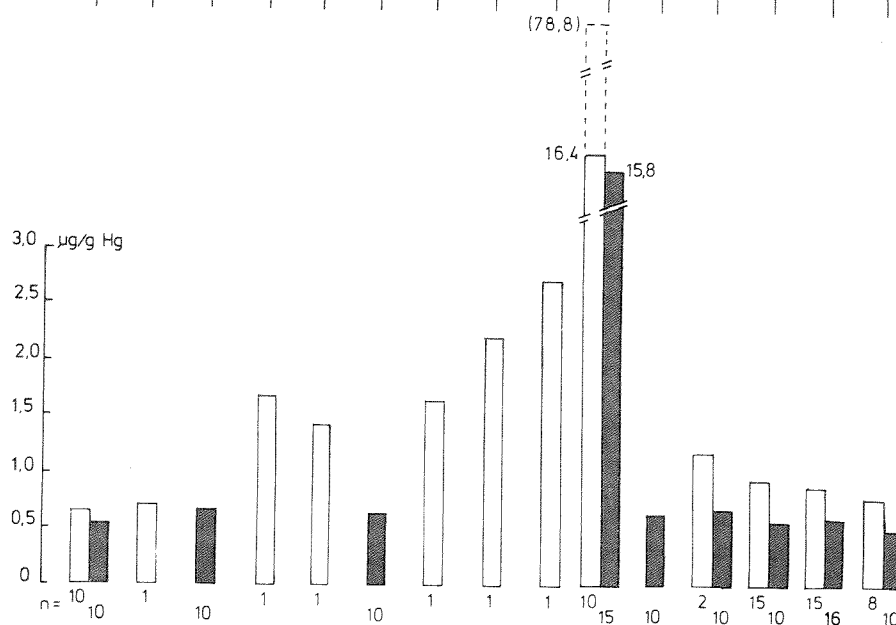
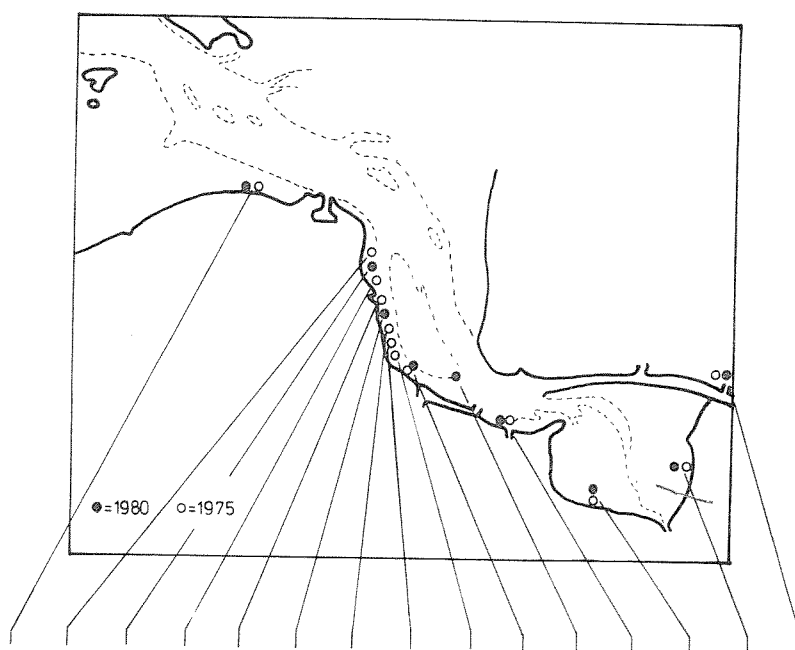
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1838

FIG. 14



Verband gehalten aan organische stof en fractie <16µm van slib van de lokaties 8002a+8002b+8010+8005 en de lokatie 8003

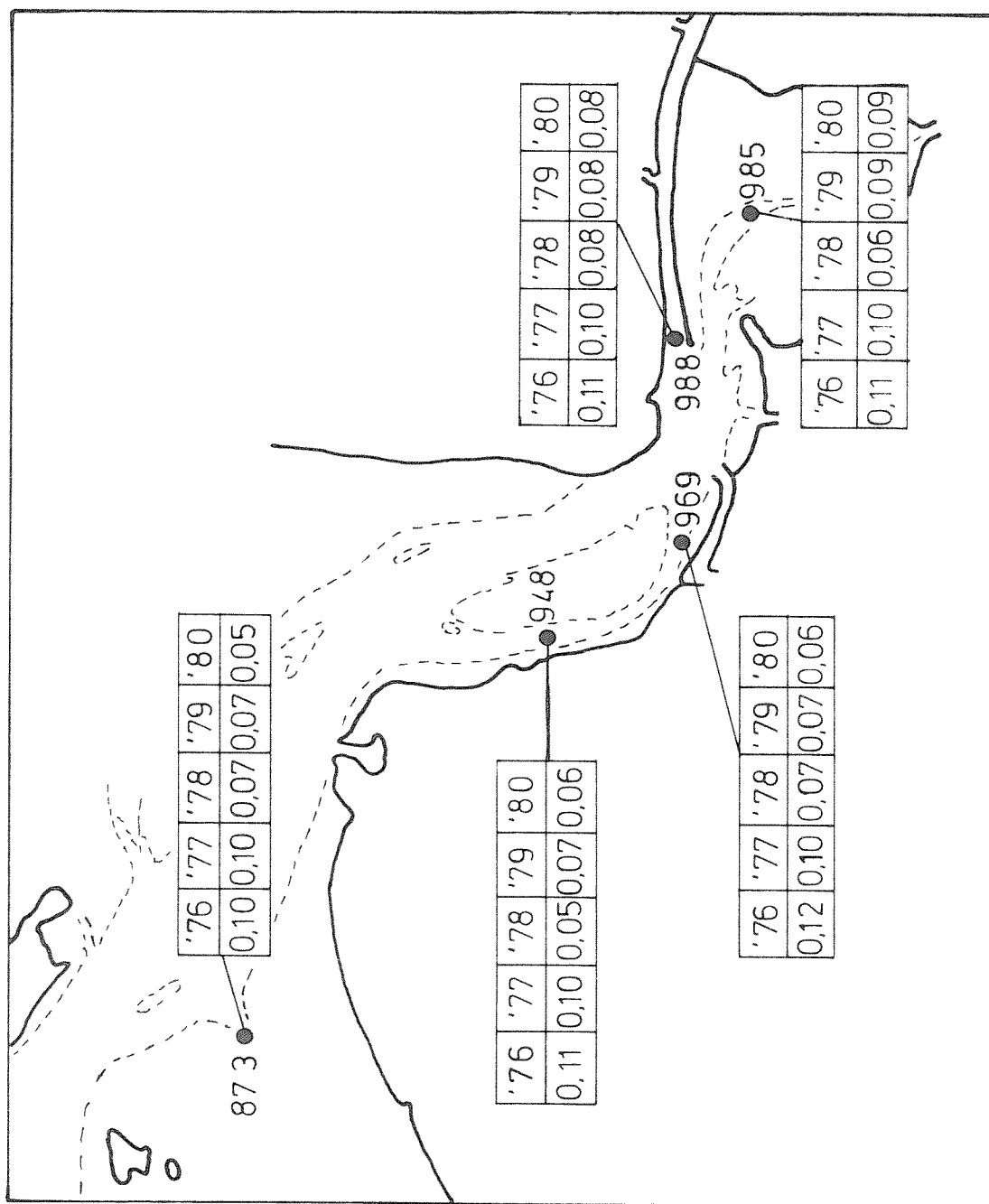


Kwikgehalten bij 50% < 16µm

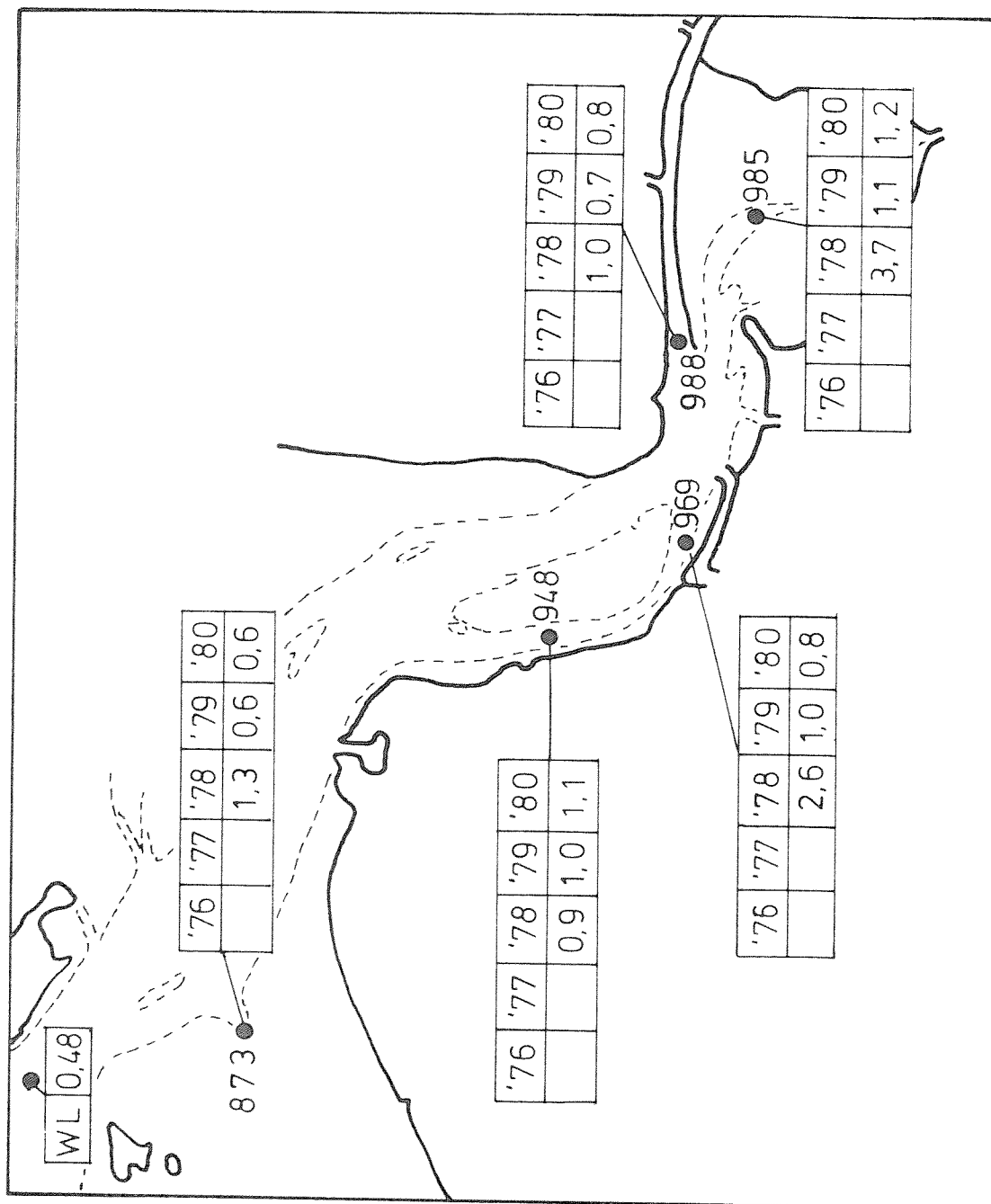
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1838

FIG. 16



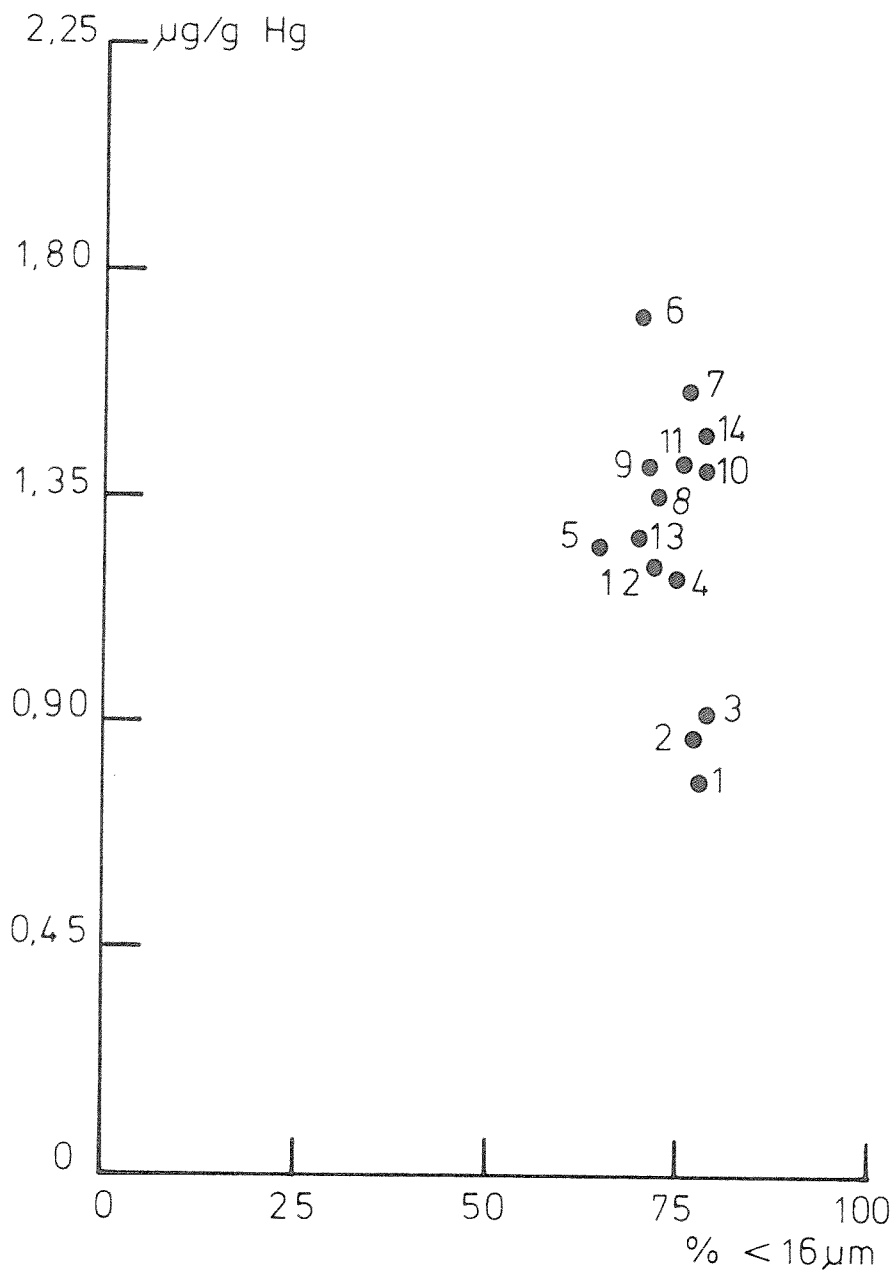
Gemiddelde gehalten aan opgelost kwik ($\mu\text{g/l}$)
[Bron : RIZA]



Gemiddelde kwikgehalten van zwevend slib ($\mu\text{g/g}$)
 [Bronnen : RIZA (1978-1980) ; WL (1981)]

Profiel Nederlandse Dollard 1981

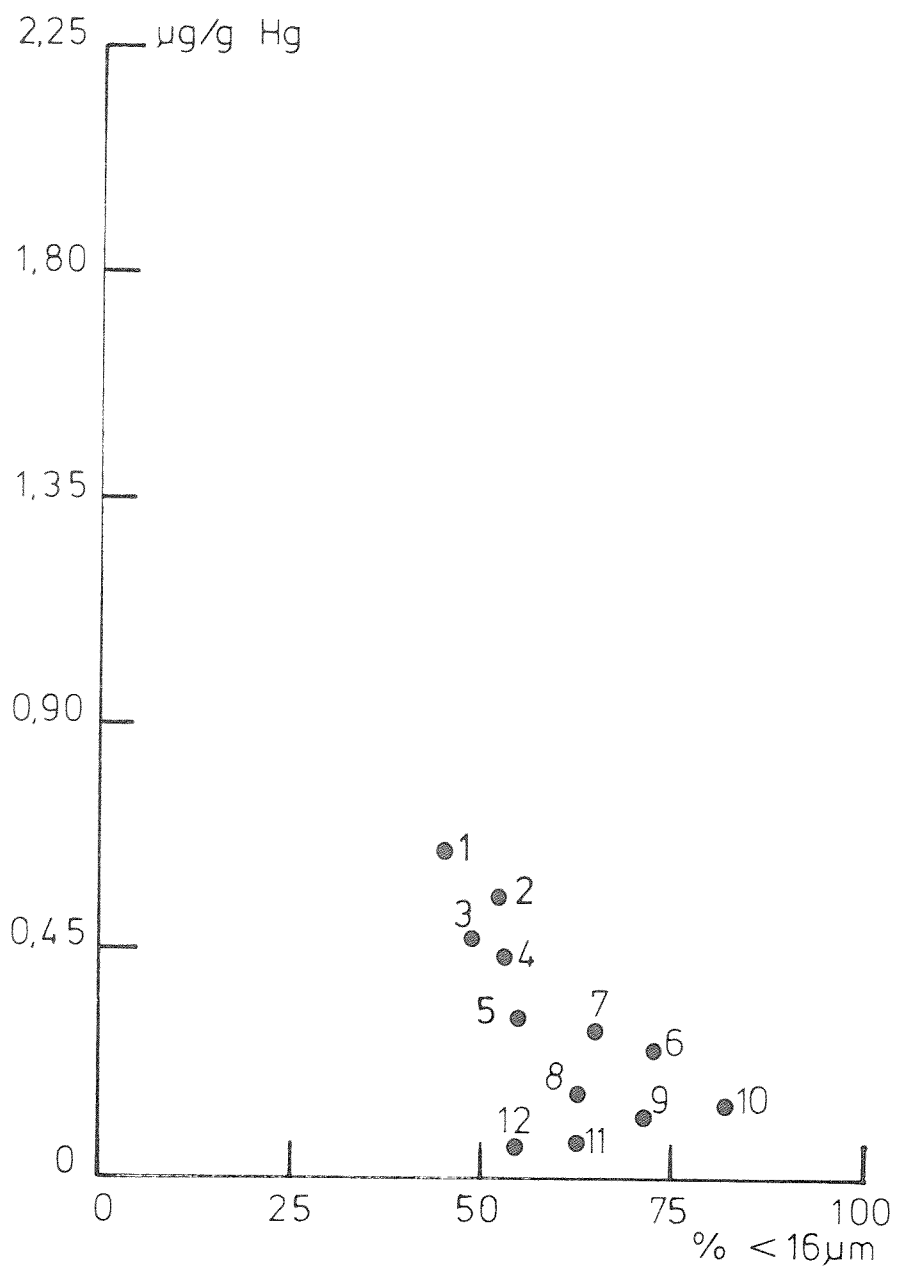
1 = 0 - 5 cm
 ↓
 14 = 65 - 70 cm



Verband tussen het kwikgehalte en de fractie <16µm in de verschillende lagen van profiel 8006b (Nederlandse Dollard)

Profiel Duitse Dollard 1981

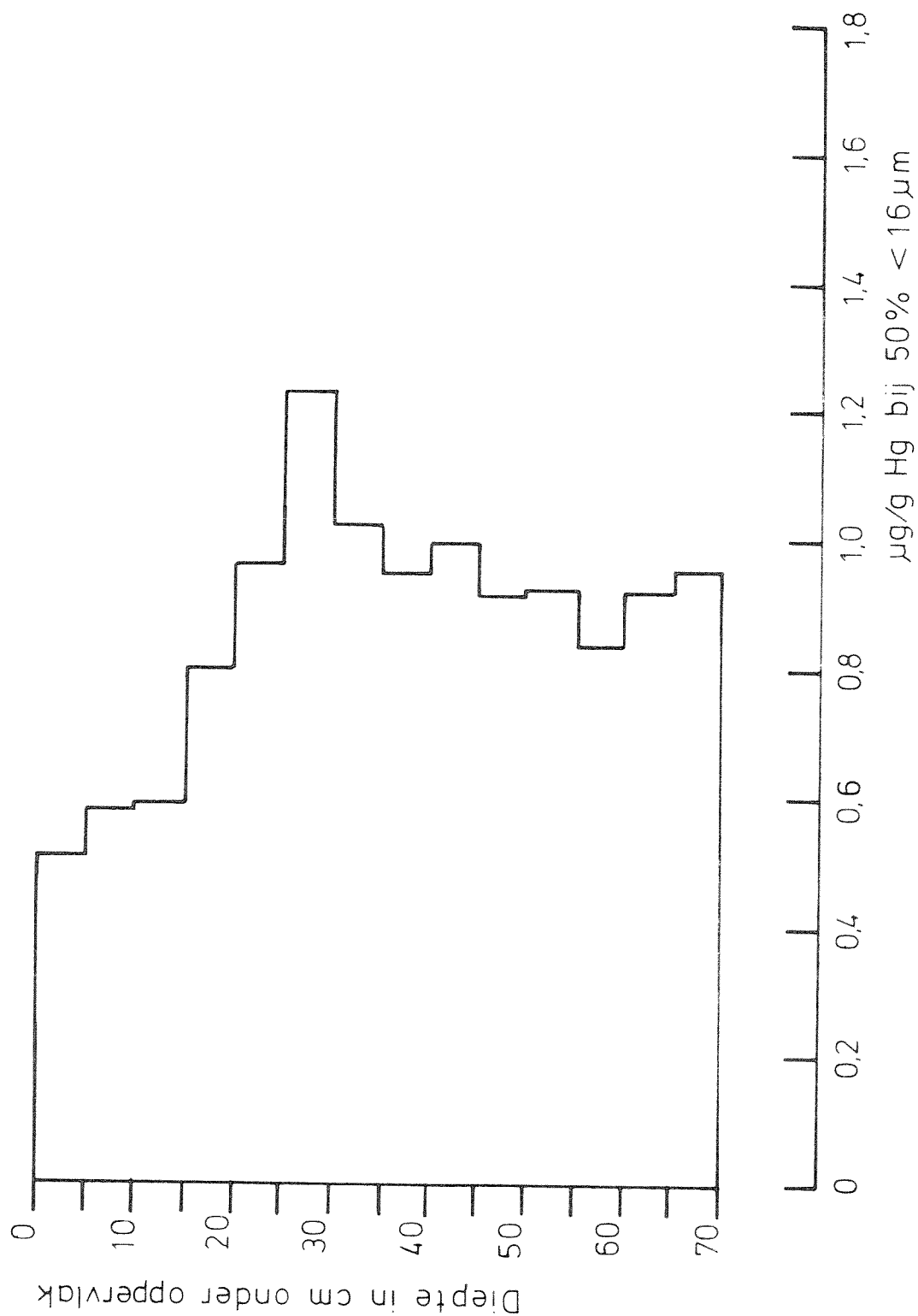
1 = 0 - 5 cm
 ↓
 12 = 55 - 60 cm



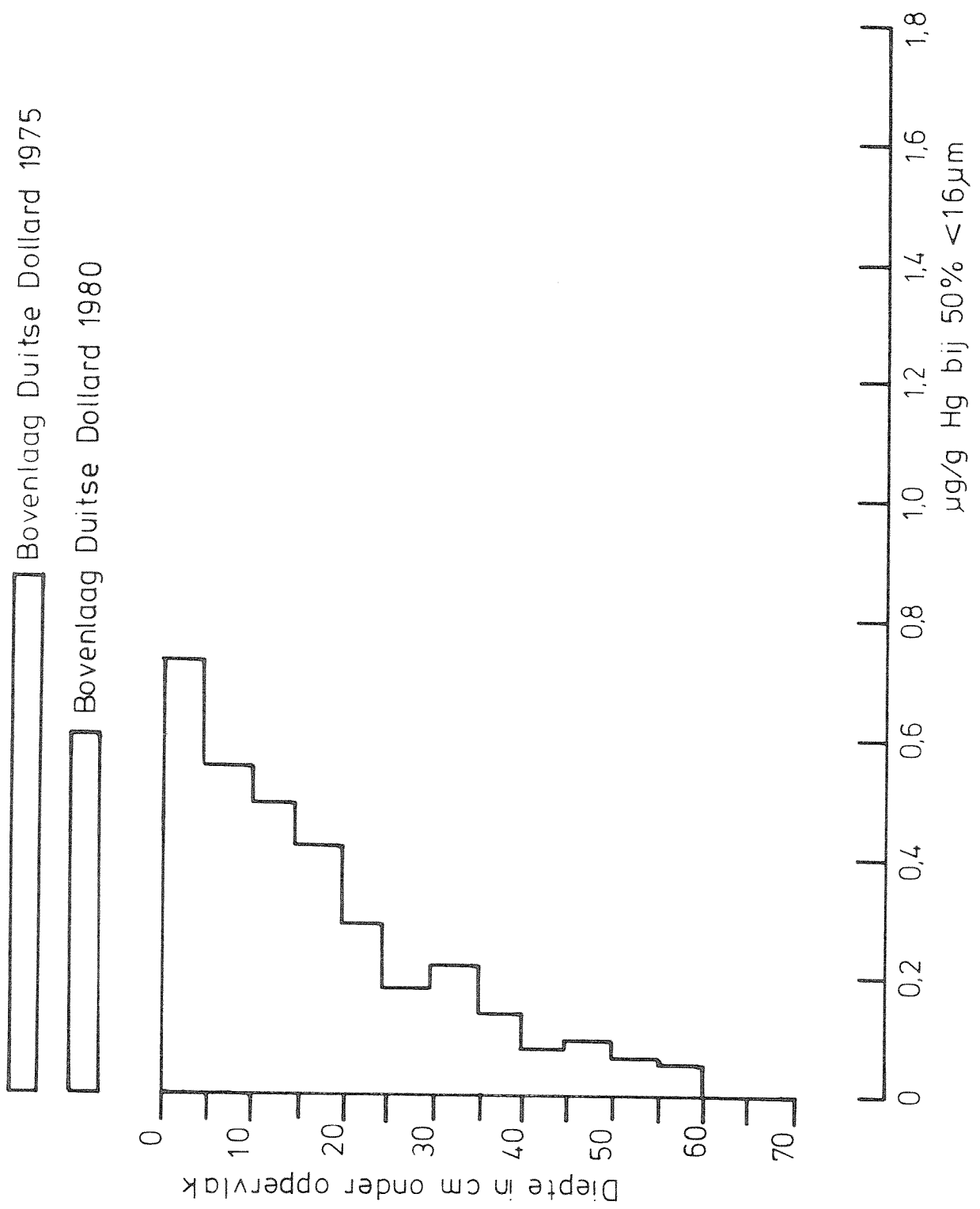
Verband tussen het kwikgehalte en de fractie
 <16µm in de verschillende lagen van profiel
 8006e (Duitse Dollard)

Bovenlaag Nederlandse Dollard 1975

Bovenlaag Nederlandse Dollard 1980

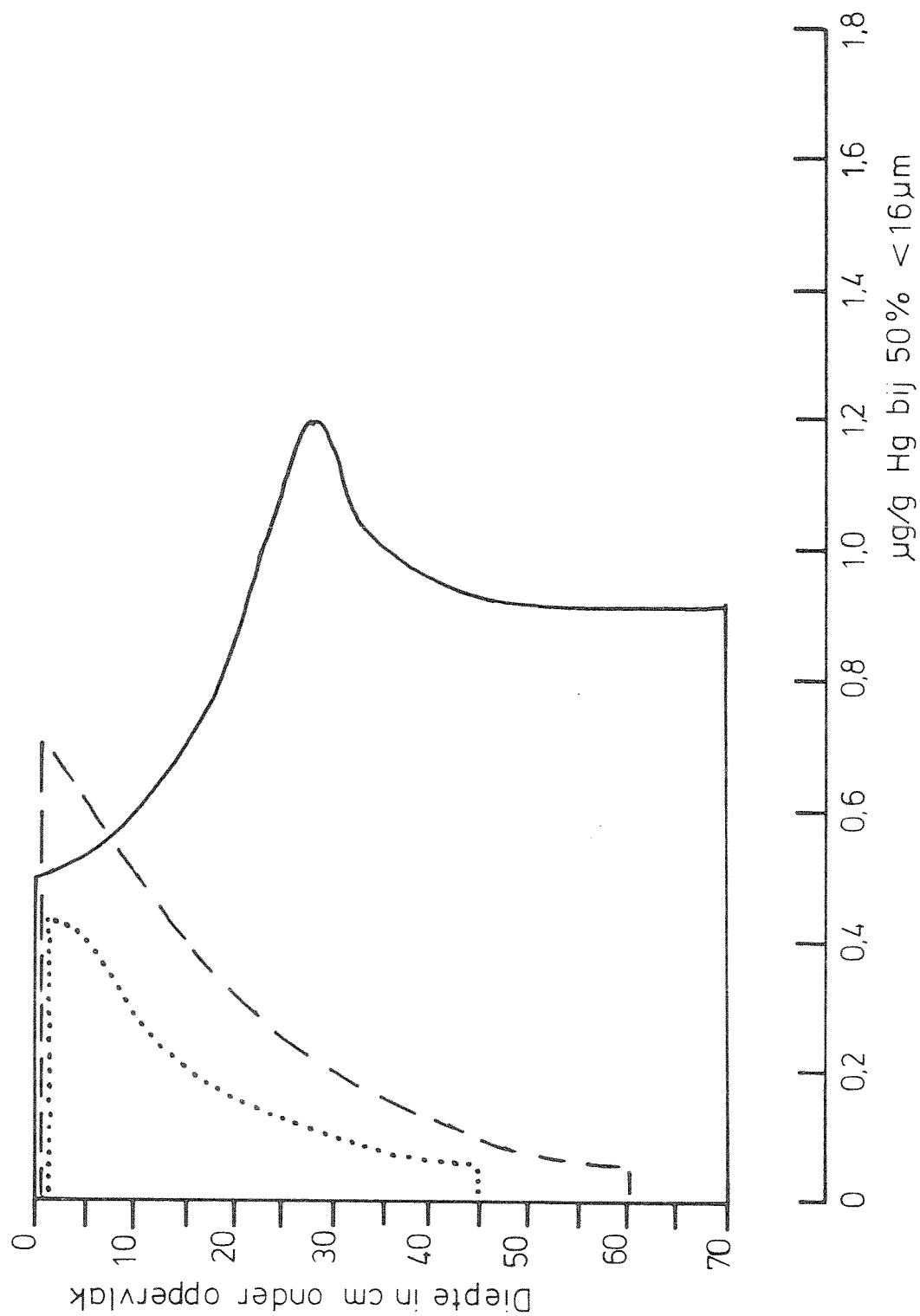


Kwikgehalten bij 50% < 16µm in de verschillende lagen van profiel 8006b (Nederlandse Dollard)



Kwikgehalten bij 50% <16µm in de verschillende lagen van profiel 8006e (Duitse Dollard)

— = Nederlandse Dollard 1981
 - - - = Duitse Dollard 1981
 = Duitse Dollard 1975



Schematische verdeling van kwik in 3 profielen uit
 Nederlandse Dollard(1981) en Duitse Dollard(1975;81)

Geografische posities van de monsterlokaties

lokatie 8000 = $53^{\circ}27'12''\text{N}$; $6^{\circ}37'12''\text{O}$

lokatie 8002a = $53^{\circ}24'12''\text{N}$; $6^{\circ}53'18''\text{O}$

lokatie 8002b = $53^{\circ}22'42''\text{N}$; $6^{\circ}53'36''\text{O}$

lokatie 8003 = $53^{\circ}20'42''\text{N}$; $6^{\circ}55'12''\text{O}$

lokatie 8010 = $53^{\circ}20'24''\text{N}$; $6^{\circ}57'24''\text{O}$

lokatie 8005 = $53^{\circ}18'36''\text{N}$; $7^{\circ}01'24''\text{O}$

lokatie 8006b = $53^{\circ}15'42''\text{N}$; $7^{\circ}06'18''\text{O}$

lokatie 8006e = $53^{\circ}16'36''\text{N}$; $7^{\circ}14'06''\text{O}$

lokatie 8007 = $53^{\circ}20'06''\text{N}$; $7^{\circ}16'18''\text{O}$

Analyseresultaten afzonderlijke monsters bovenlagen afgezet slib

LOKATIE 8000 = NOORD GRONINGER WADDENKUST

Monster nr.	CaCO ₃ %	Org. stof %	< 16 µm % (bep.)	< 16 µm % (ber.)	Hg µg/g
8003041	9,6	2,96	24,2	27,7	
8003042	8,4	1,99	17,0	19,0	0,28
8003043	9,2	2,15	19,0	21,4	
8003044	12,8	4,38	35,7	43,1	0,53
8003045	10,0	2,62	21,8	24,9	0,31
8003046	10,4	3,08	24,0	27,7	0,37
8003047	13,3	4,57	39,7	48,3	
8003048	10,8	2,97	26,3	30,5	0,37
8003049	14,1	5,95	41,6	52,0	0,49
8003050	13,8	7,76	55,4	70,6	0,68
8003051	14,3	6,21	50,6	63,7	0,61
8003052	14,3	5,77	46,5	58,2	0,56
8003053	14,9	6,52	52,2	66,4	
8003054	14,0	4,99	40,0	49,4	0,47
8003055	14,2	6,35	48,0	60,4	
8003056	14,9	6,72	49,8	63,5	
<u>LOKATIE 8002A = BOCHT VAN WATUM-NOORD</u>					
8003133	11,6	3,59	26,0	30,7	0,41
8003134	11,7	3,14	23,2	27,2	0,38
8003135	12,4	3,66	26,8	31,9	
8003136	12,1	3,48	25,4	30,1	
8003137	12,5	3,56	27,0	32,2	0,38
8003138	12,6	3,94	28,9	34,6	0,41
8003139	12,6	3,79	27,9	33,4	0,40
8003140	11,7	3,23	23,4	27,5	
8003141	11,6	3,42	24,9	29,3	0,34
8003142	11,0	2,81	20,2	23,4	0,35
8003143	11,8	3,25	23,6	27,8	0,29
8003144	11,5	3,05	20,4	23,9	
8003145	11,0	2,90	22,3	25,9	0,22
8003146	10,0	2,19	17,0	19,4	0,18
8003147	10,6	2,67	20,6	34,8	

LOKATIE 8002B = BOCHT VAN WATUM-MIDDEN

Monster nr.	CaCO ₃ %	Org. stof %	< 16 µm % (bep.)	< 16 µm % (ber.)	Hg µg/g
8003118	12,2	4,50	33,3	40,0	
8003119	12,1	4,20	30,1	36,0	0,47
8003120	12,6	4,25	32,8	39,4	0,54
8003121	12,3	4,44	32,6	39,2	
8003122	12,6	4,52	33,2	40,1	0,54
8003123	12,6	4,25	31,1	37,4	0,52
8003124	12,8	4,70	34,8	42,2	0,56
8003125	11,7	3,75	27,5	32,5	
8003126	11,5	3,49	25,6	30,1	0,44
8003127	11,4	3,45	21,9	25,7	0,42
8003128	11,3	3,47	27,5	32,3	0,44
8003129	11,2	3,29	25,3	29,6	
8003130	11,6	3,62	27,9	32,9	0,36
8003131	11,4	3,32	24,8	29,1	0,34
8003132	11,4	3,48	25,9	30,4	

LOKATIE 8003 = PERSLEIDINGEN BIJ DELFZIJL

8003103	8,9	4,80	29,0	33,6	14,7
8003104	8,8	5,66	26,3	30,7	32,4
8003105	13,2	7,19	45,7	57,4	3,53
8003106	8,2	4,65	22,1	25,4	32,9
8003107	13,5	6,70	43,7	54,8	2,95
8003108	7,6	5,89	27,0	31,2	52,9
8003109	13,3	7,13	43,9	55,2	3,83
8003110	13,3	6,95	42,7	53,5	0,85
8003111	13,1	6,23	39,3	48,7	1,06
8003112	14,0	7,07	44,1	55,9	0,93
8003113	13,3	6,58	41,7	52,0	0,90
8003114	13,3	6,53	42,1	52,5	0,96
8003115	13,2	6,67	42,3	52,8	1,07
8003116	13,6	7,02	46,8	59,0	0,96
8003117	13,5	7,46	47,3	59,8	0,89

LOKATIE 8010 = ZUIDKANT PAAP

Monster nr.	CaCO ₃ %	Org. stof %	< 16 µm % (bep.)	< 16 µm % (ber.)	Hg µg/g
8003088	10,0	2,39	18,2	20,8	0,27
8003089	10,0	2,49	17,2	19,7	0,29
8003090	9,9	2,53	17,9	20,4	
8003091	9,9	2,28	17,4	19,8	
8003092	9,7	2,32	17,9	20,3	0,24
8003093	9,6	2,47	17,7	20,1	
8003094	10,0	2,46	16,9	19,3	0,35
8003095	10,3	2,68	18,7	21,5	
8003096	10,2	2,70	19,4	22,3	0,30
8003097	10,6	2,79	19,9	23,0	0,31
8003098	10,1	2,53	18,7	21,4	0,28
8003099	10,0	2,67	19,1	21,9	0,27
8002100	10,1	2,83	20,1	23,1	
8003101	10,4	3,04	20,2	23,3	0,28
8003102	9,5	2,67	20,9	23,8	0,27

LOKATIE 8005 = TERMUNTERZIJL

8003073	9,2	2,78	21,0	23,9	0,36
8003074	8,8	2,57	20,5	23,1	0,33
8003075	6,9	1,61	12,1	13,2	
8003076	6,1	1,32	10,0	10,8	
8003077	4,6	0,77	5,7	6,0	0,09
8003078	5,6	1,18	8,4	9,0	0,14
8003079	5,7	1,32	10,3	11,1	0,14
8003080	6,1	1,32	10,9	11,8	
8003081	7,9	2,17	17,9	19,9	0,27
8003082	7,1	1,68	13,3	14,6	0,21
8003083	6,4	1,43	12,7	13,8	0,17
8003084	6,7	1,58	5,1	5,6	0,17
8003085	6,8	1,66	13,0	14,2	
8003086	6,3	1,31	10,9	11,8	
8003087	6,3	1,34	11,6	12,6	0,08

LOKATIE 8006B = NEDERLANDSE DOLLARD

Monster nr.	CaCO ₃ %	Org. stof %	16 m % (bep.)	16 m % (ber.)	Hg µg/g
8003057	11,1	6,94	58,2	71,0	0,79
8003058	11,8	5,28	46,8	56,4	
8003059	11,2	6,49	55,7	67,7	
8003060	11,4	7,02	61,4	75,3	0,87
8003061	10,9	6,08	49,1	59,1	0,67
8003062	10,8	6,54	58,2	70,4	
8003063	11,1	7,43	60,8	74,6	
8003064	11,5	6,41	56,8	69,2	0,77
8003065	11,0	6,77	55,2	67,1	0,75
8003066	10,7	5,38	47,4	56,5	0,64
8003067	10,9	5,32	48,1	57,4	
8003068	11,2	4,34	38,2	45,2	0,54
8003069	11,4	4,38	38,9	46,2	0,51
8003070	10,6	4,07	32,2	37,7	0,45
8003071	11,2	6,29	50,9	61,7	
8003072	11,6	6,14	51,4	62,5	0,69

LOKATIE 8006E = DUITSE DOLLARD

8002852	7,7	1,80	14,3	15,8	0,23
8002853	8,5	2,74	19,2	21,6	0,33
8002854	9,3	4,68	34,1	39,6	0,52
8002855	7,8	2,25	13,9	15,5	0,28
8002856	9,2	2,51	18,8	21,3	0,30
8002857	9,4	3,22	23,4	26,8	0,31
8002858	8,8	3,48	24,2	27,6	0,40
8002859	9,9	3,58	26,4	30,5	0,48
8002860	10,1	3,69	30,4	35,3	0,45
8002861	9,7	2,49	18,8	21,4	0,26
8002862	9,5	5,30	35,4	41,6	0,47
8002863	8,7	2,65	17,1	19,3	0,30
8002864	9,3	2,82	21,3	24,2	0,31
8002865	9,9	5,44	37,9	44,8	0,56
8002866	8,8	2,77	19,8	22,4	0,33
8002867	9,9	4,10	31,4	36,5	0,44

LOKATIE 8007 = EEMS BIJ PETKUM

Monster nr.	CaCO ₃ %	Org. stof %	< 16 µm % (bep.)	< 16 µm % (ber.)	Hg µg/g
8002836	10,0	7,09	52,6	63,4	0,72
8002837	12,1	6,91	67,3	83,1	
8002838	12,6	6,98	60,5	75,2	
8002839	12,2	7,21	69,1	85,7	
8002840	11,4	7,66	66,9	82,7	0,71
8002841	12,2	7,09	68,2	84,5	
8002842	11,8	6,82	68,9	84,7	
8002843	11,7	7,07	67,7	83,3	
8002844	11,8	7,18	69,7	86,0	0,72
8002845	11,1	7,31	61,3	75,1	0,72
8002846	10,1	6,43	51,1	61,2	0,65
8002847	8,7	4,27	32,2	37,0	0,41
8002848	10,2	6,99	53,6	64,7	0,64
8002849	11,0	7,19	59,1	72,2	0,68
8002850	11,4	7,46	65,7	81,0	0,71
8002851	9,9	5,93	47,4	56,3	0,53

Analyseresultaten profielenLOKATIE 8006B = NEDERLANDSE DOLLARD

Monster nr.	Bem. diepte	CaCO ₃ %	Org. stof %	< 16 µm % (bep.)	< 16 µm % (ber.)	Hg µg/g
8104118	0 - 5 cm	12,3	7,62	62,7	78,3	0,78
8104119	5 - 10 cm	13,0	8,23	60,6	76,9	0,88
8104120	10 - 15 cm	13,0	8,59	62,2	79,3	0,92
8104121	15 - 20 cm	12,0	7,73	60,1	74,9	1,19
8104122	20 - 25 cm	10,8	7,14	53,4	65,1	1,25
8104123	25 - 30 cm	10,4	8,34	57,0	70,1	1,71
8104124	30 - 35 cm	10,5	8,28	62,5	77,0	1,56
8104125	35 - 40 cm	10,4	8,19	59,0	72,5	1,35
8104126	40 - 45 cm	10,7	8,05	57,9	71,3	1,41
8104127	45 - 50 cm	10,7	8,28	62,9	77,6	1,39
8104128	50 - 55 cm	10,8	8,32	62,6	77,4	1,41
8104129	55 - 60 cm	11,1	7,71	59,5	73,3	1,21
8104130	60 - 65 cm	11,3	7,58	56,8	70,0	1,27
8104131	65 - 70 cm	12,3	8,21	62,7	78,9	1,48

LOKATIE 8006E = DUITSE DOLLARD

8104132	0 - 5 cm	9,3	4,87	38,8	45,2	0,66
8104133	5 - 10 cm	10,1	5,58	43,6	51,7	0,56
8104134	10 - 15 cm	10,1	5,34	41,6	49,2	0,48
8104135	15 - 20 cm	10,5	5,49	44,8	53,3	0,44
8104136	20 - 25 cm	10,7	5,66	46,3	55,4	0,32
8104137	25 - 30 cm	11,6	7,10	58,4	71,8	0,26
8104138	30 - 35 cm	11,2	6,62	53,5	65,1	0,29
8104139	35 - 40 cm	10,4	6,00	53,0	63,4	0,17
8104140	40 - 45 cm	11,1	6,46	58,2	70,6	0,11
8104141	45 - 50 cm	11,3	6,89	66,5	81,3	0,14
8104142	50 - 55 cm	10,9	5,02	51,8	61,6	0,08
8104143	55 - 60 cm	10,7	4,31	46,1	54,2	0,06

p.o. box 177

2600 mh delft

the netherlands

P.O. Box 30003

9750 RA Haren

the Netherlands