

rijkswaterstaat

dienst getijdewateren

nr.

C-7494

bibliotheek

715

rijkswaterstaat-deltadienst
milieu en inrichting

— bibliotheek en documentatie —
postbus 439 · 4330 AK Middelburg

tel.: 01180-11851

SLIB IN DE DELTAWATEREN

RIJKSWATERSTAAT

1976

Inhoud;	Pagina
1. Inleiding	1
2. De slibbeweging	3
2.1. Inleiding	3
2.2. De herkomst van het slib in de Deltawateren	4
2.3. De slibbeweging in de stromende wateren	4
2.3.1. De Westerschelde	4
2.3.2. De Oosterschelde	6
2.3.3. Beneden Merwede, Noord en Oude Maas	8
2.3.4. Nieuwe Maas, Rotterdamsche Waterweg	8
2.3.5. Toegang tot Europoort c.a.	11
2.3.6. De kustzone vóór het Deltagebied	11
2.4. De slibbeweging in de meren met belangrijke in- en doorstroming: Merwede - Hollands Diep - Haringvliet	16
2.5. De semi-stagnante meren	17
2.5.1. Het Veerse Meer	17
2.5.2. Het Grevelingenbekken	17
2.5.3. Het Brielse Meer	18
3. Milieu-aspecten	19
3.1. De aan het slib gebonden verontreinigingen en het loskoppelen door natuurlijke oorzaken	19
3.1.1. Algemeen	19
3.1.2. Fosfaat	19
3.1.3. Stikstof en silicum	20
3.1.4. Giftige stoffen	21
3.1.4.1. Pesticiden	21
3.1.4.2. Zware metalen	22
3.2. Het storten van baggerspecie	23
3.3. De lichtdoordringing in het water	24
4. Slibproblemen samenhangend met de afsluiting van de Oosterschelde	26
4.1. Het gedempt getijdegebied	26
4.2. Zoute stagnant bekken	27
4.3. Zoet stagnant bekken	27
5. Samenvatting	28
5.1. Slibbeweging	28
5.2. Milieuaspecten	29
Literatuur	31
Bijlagen	32

SLIB IN DE DELTAWATEREN.

1. Inleiding.

In de laatste jaren is door de uitvoering van vele civieltechnische werken de slibbeweging en- sedimentatie in het Deltagebied en aangrenzend zeegebied ingrijpend gewijzigd. Te denken is hierbij aan de totstandkoming van de Rijnkanalisatie, waardoor tijdelijk veel slib in de kanaalpanden kan worden afgevangen; de havenuitbreiding in Europoort en Maasvlakte en de verdieping en verondieping in de Rotterdamse Waterweg; de afsluiting van het Haringvliet en Brouwershavense Gat waardoor het stromingsregime en de sedimentbeweging voor de kust belangrijk is veranderd; en het storten van havenspecie in de Noord-zee.

In de nabije toekomst zijn verdere veranderingen van de slibbeweging te verwachten door de afsluiting van de Oosterschelde (al dan niet met een stormvloedkering) en door de aanleg van het Baalhoekkanaal en de bochtafsnijding bij Bath en de Belgische plannen tot het uitbouwen van de haven van Zeebrugge.

Werd tot voor kort het slib als een weliswaar kostbaar te verwijderen, maar overigens vrij onschuldige stof beschouwd, recentere inzichten geven aan dat het slib een belangrijke rol speelt in het milieu.

De vergroting van de slibproblemen zowel kwantitatief als kwalitatief heeft bij de Rijkswaterstaat de noodzaak doen ontstaan van een bredere en meer gecoördineerde aanpak van het onderzoek, waarbij ook deskundigheid van buiten de Rijkswaterstaat intensief betrokken is. Op bijlage 1 is een overzicht gegeven van alle groepen, die zich met slibproblemen, zowel op het civiel-technische als het milieu-terrein, bezighouden.

Hierbij zijn buiten de Rijkswaterstaat de volgende diensten, instituten of instellingen betrokken: het Waterloopkundig Laboratorium, het Laboratorium voor Grondmechanica, het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, de Dienst Gemeentewerken Rotterdam, het Rijks Instituut voor Visserij Onderzoek, het Rijks Instituut voor de Volksgezondheid, het Rijks Instituut voor de Drinkwatervoorziening, het Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek, Landbouw Hogeschool Afdeling Landbouwscheikunde en de Kon. Nederlandse Heide Maatschappij, het Centri Laboratorium.

Kwantitatief slibonderzoek geschiedt door de Studiediensten van de Rijkswaterstaat in Vlissingen, Hellevoetsluis, IJmuiden, Hoorn en Delfzijl; door de Dienst Gemeentewerken Rotterdam, door de Fysische Afdeling van de Direkte Waterhuishouding en Waterbeweging en door de Waterloopkundige Afdeling en de Afdeling Milieu-Onderzoek van de Deltadienst.

Uit deze opsomming moge blijken, dat de slibproblematiek vooral ook in het deltagebied de laatste jaren intensief is aangepakt.

Deze nota poogt deze materie te ordenen en een algemeen overzicht te geven van de slibbeweging, - sedimentatie, het baggeren en storten van slib in het deltagebied en aangrenzend zeegebied en voorspellingen te geven van de toekomstige situatie na uitvoering van de Deltawerken.

Eerst wordt de slibbeweging in de verschillende delta-armen en de kustzone beschreven.

Vervolgens worden de belangrijkste aanslibbingsgebieden gegeven, alsmede de hoeveelheden te baggeren specie en de stortplaatsen van deze specie.

Dan komen de kwalitatieve aspecten aan de orde.

Tenslotte wordt een overzicht gegeven van de slibproblematiek, die samenhangt met de afsluiting van de Oosterschelde.

Deze nota is samengesteld door een werkgroep, waarin zitting hadden:

ir. H.A. Ferguson, voorzitter Deltadienst

dr. J.H.J. Terwindt, secretaris Deltadienst

ir. J. Dekker Dir. Benedenrivieren

ir. W.T. Bakker Dir. Waterhuishouding en Waterbeweging

ir. H. v.d. Tuin Dir. Noordzee

2. De slibbeweging.

2.1. Inleiding.

De slibbeweging in getijwateren is zeer gecompliceerd en er is moeilijk greep op te krijgen. De slibgehalten op een bepaald punt kunnen in korte tijd sterk variëren: het slib passeert in wolken. Over het algemeen zijn de gehalten bij de bodem groter dan nabij het oppervlak, maar de verticale slibverdeling wisselt sterk in de tijd en wetmatigheden van deze verdeling zijn nog nauwelijks bekend. In estuaria leveren de zout-zoetverschillen nog extra complicaties. De zoute onderstroom, met hoge schuifspanningswaarden kan veel slib opwervelen. De verticale en horizontale slibverdeling wordt hierdoor ook beïnvloed.

Een andere moeilijkheid is het bezinkgedrag van slib. Rivier- en zeefslib kan gevlokt zijn, gezien de zoutgehalten in zoet- en zout water, maar deze vlokking komt pas bij bepaalde concentraties en ook bij een bepaalde graad van turbulentie tot stand. Zijn de concentraties te laag, dan ontmoeten de slibdeeltjes elkaar te weinig.

De slibvlokken variëren in de transportweg van vorm en samenstelling en daarmee ook van bezinkgedrag.

Golven hebben ook een effect op de vlogkgrötte. Bovendien kan door golfwerking somstijds reeds bezonken slib weer worden opgewerveld.

In estuaria wordt veel slib opgeslagen, dat vanuit de rivier of vanuit zee wordt aangevoerd, maar niet direkt weer wordt afgevoerd noch geheel op de bodem wordt afgezet. De slibgehalten zijn dan ook hoger dan in het rivier- of zeewater. De specifieke zout-zoetwaterbeweging speelt in dit verband een eigen rol.

Variaties in de rivierafvoer en de bijbehorende slibvracht, alsmede variaties in de getijbeweging beïnvloeden de eb- en vloed debieten en, meestal met een zekere naijling, ook de slibgehalten en -afvoeren in de estuaria en zeegaten. Deze variabiliteit is er de reden van, dat er meestal geen korrelaties zijn gevonden tussen rivierafvoer, getijhoogte, wind (golven) en gemeten slibgehalten over de vertikaal in het estuarium.

De metingen kunnen wel leiden tot schattingen van de jaarlijkse slibafvoer van bepaalde waterlopen.

Uit het voorgaande moge blijken, dat veranderingen in de slibbeweging o.i.v. civiel-technische werken uitermate moeilijk te voorspellen zijn.

Een veelgebruikte, maar aanvechtbare, methode hiervoor is: de slibbeweging identiek te stellen aan de waterbeweging, d.w.z. dat het diffusief transport wordt verwaarloosd, en dus alleen gerekend wordt met het advectief transport. Veranderingen in de waterbeweging zijn veelal met behulp van berekeningen en/of modelonderzoek te voorspellen. De slibbeweging zal zich echter niet conform de waterbeweging gedragen, omdat het slib zwaarder is dan water, dus kan bezinken en eenmaal bezonken moeilijker weer in beweging te brengen is. Bovendien is het slib onderhevig aan dispersie als gevolg van de diffusie, die op zijn beurt weer afhankelijk is van de slibgehaltegradiënt. Hoe het ook zij, in deze nota zal, bij gebrek aan beter, toch van deze methode gebruik gemaakt worden.

Onder slib wordt verstaan: al het materiaal, dat een zeef met maaswijdte van 50 μ passeert. De slibgehalten worden in deze nota uitgedrukt in mg droge stof per liter en de slibvrachten in tonnen droge stof. Voor de omrekening van tonnen droge stof naar m^3 specie dient het watergehalte van de specie bekend te zijn. Dit varieert met de consolidatiegraad van het slib. Vers afgezet slib heeft veelal een watergehalte van 90% en hoger en een s.g. van ca. 1,15.

Havenspecie heeft een watergehalte van 60 à 80% en s.g. 1,5 à 1,2. Bij een watergehalte van 80% geldt als vuistregel, dat 1 m³ specie = 0,5 ton droge stof. Het s.g. van droog slib is c.a. 2,2.

2.2. De herkomst van het slib in de Deltawateren.

De herkomst van het slib in het Deltagebied is uit onderzoeken van De Groot (lit 1) in grote lijnen bekend geworden. De Groot onderscheidde rivierslib met hoge gehalten aan mangaan en zeelib, dat van origine wel uit de rivieren afkomstig kan zijn, maar langere tijd op de zeebodem gelegen heeft en gekenmerkt is door een laag mangaangehalte. De Groot vond, dat het slib in de mond van de Westeren Oosterschelde zeelib was. In het Haringvliet en de Rotterdamse Waterweg en het evenals in de wijde omgeving van het hierop aansluitende zeegebied werd rivierslib aangetroffen. In het Brouwershavense Gat bleek een mengsel van rivier- en zeelib aanwezig. Slib dat door de rivier de Schelde wordt aangevoerd blijkt vooral in het oostelijk deel van het estuarium te worden afgezet.

Recent zijn er nieuwe methoden ontwikkeld, waarmee mogelijk de herkomst en verspreiding van verschillende slibsoorten meer gedetailleerd kan worden vastgesteld. Deze methoden zijn: de multi-elementenanalyse en de isotopen-geochemische analyse. De multi-elementenanalyse is gebaseerd op het feit, dat het slib is opgebouwd uit een groot aantal componenten (mineralen en andere bestanddelen), die een specifieke samenstelling aan sporenelementen bevatten. Deze combinatie van sporenelementen zijn voor elk herkomstgebied specifiek.

Op grond van de sporenelementensamenstelling kan dus verschil in herkomst worden vastgesteld. (lit 2). De isotopen-geochemie berust op het verschijnsel, dat in de natuur stabiele niet-radioactieve isotopen voorkomen, bijvoorbeeld voor koolstof C12 en C13 en voor zuurstof O16 en O18.

De verhouding tussen deze isotopen voor verschillende componenten in het slib verschilt voor rivier- en zeelib. Met behulp van deze isotopen kan dan ook worden vastgesteld of het slib van het land of uit zee afkomstig is. (lit 3).

Deze beide nieuwe methoden van herkomstbepaling zullen binnenkort worden toegepast op slib in de Nederlandse kustzone.

Dit onderzoek is door de Directie Noordzee opgedragen aan de combinatie Instituut voor Bodemvruchtbaarheid-Waterloopkundig Laboratorium.

2.3. De slibbeweging in de stromende wateren.

2.3.1. De Westerschelde.

Voor de Westerschelde zou men voor wat betreft het slib onderscheid kunnen maken tussen twee gebieden, n.l. een gebied ten oosten van Perkpolder (Zuidergat en Vaarwater boven Bath) en een gebied ten Westen daarvan. Gegevens omtrent de gemiddelde slibgehalten, de variatie gedurende het getij en gedurende het seizoen staan vermeld op bijlage 2.

In het oostelijk deel der Westerschelde nemen de slibgehalten tussen de grens en Baalhoek sterk af van gemiddeld 100 mg/l tot 35 mg/l. Dit slib is voornamelijk vers rivierslib. De Groot (lit 1.) kwam op grond van onderzoek naar mangaangehalten van slib ook tot deze conclusie. De slibgehalten zijn maximaal rond laagwaterkentering (vanwege de toevoer van veel slibrijk rivierwater) en minimaal rond hoogwaterkentering (wanneer slibarm zeewater aanwezig is). Gedurende de winter zijn de slibgehalten veel hoger dan gedurende de zomer. Dit komt doordat in de winter bij hoge Scheldeafvoeren in de bovenloop van de Schelde een grotere erosie van reeds afgezet bodemslib plaatsvindt.

De afneming van de slibgehalten tussen de grens en Baalhoek kan ten dele verklaard worden uit de hier plaatsvindende menging van slibrijk rivierwater met relatief slibarm Westerscheldewater. Uitsluitend als gevolg van deze verdunning kan men uitrekenen dat de slibgehalten van 100 mg/l aan de grens kunnen dalen tot 65 mg/l nabij Baalhoek. In werkelijkheid is het slibgehalte nabij Baalhoek echter veel lager nl. 35 mg/l. Dit duidt er op, dat grote hoeveelheden rivierslib (ongeveer de helft) op genoemd traject bezinken, waarschijnlijk voor het grootste deel op het verdronken land van Saaftinge.

Aan de grens is er een resulterende slibbeweging in ebrichting tengevolge van het daar optredende eboverschot, (dat gelijk is aan de Scheldeafvoer; gem. 70 m³/sec.) en doordat de slibgehalten tijdens maximum ebstroom veel hoger zijn dan tijdens maximum vloedstroom.

De totale slibafvoer over de grens wordt geschat op ongeveer $0,75 + 1,2 \times 10^6$ ton per jaar. (lit 5).

Verwacht mag worden dat de slibgehalten in het oostelijk deel der Westerschelde in de toekomst zullen stijgen. Als gevolg van de bochtafsnijding bij Bath zal de mengzone tussen slibrijk rivierwater en slibarm Westerscheldewater op het traject grens-Baalhoek zich in zeewaartse richting verplaatsen, waardoor met name bij Baalhoek de slibgehalten zullen toenemen.

Ten westen van Perkpolder bedraagt het slibgehalte in de Westerschelde gemiddeld ongeveer 40 à 60 mg/l. Aan de oppervlakte verschilt het slibgehalte van plaats tot plaats weinig. Nabij de bodem zijn de slibgehalten in diepe geulen waarschijnlijk hoger dan boven plaatgebieden. Hierdoor kan het gemiddeld slibgehalte in de vertikaal plaatselijk wat afwijken van het gemiddelde in dit gebied. Het Westerscheldewater is ten westen van Perkpolder tamelijk zout en bevat derhalve vrij weinig rivierwater en vers rivierslib. Waarschijnlijk is het hier aanwezige slib voor het grootste deel afkomstig uit het mondingsgebied. Ook de onderzoeken van De Groot duiden er op, dat de hoeveelheden vers rivierslib vrij gering zijn. Het resulterende ebdebiet is ten westen van Perkpolder verwaarloosbaar klein in vergelijking met het getijvolume. Daar ten Westen van Perkpolder het ebvolume slechts weinig groter is, dan het vloedvolume (de Scheldeafvoer en daarmee ook reststroom is meestal klein) is op dit deel van de Westerschelde het advectief transport van slib in zeewaartse richting verwaarloosbaar klein. Hetzelfde geldt van het diffusief transport, daar ten Westen van Perkpolder geen sprake is van een duidelijke gradiënt in de slibconcentratie. De variaties van het slibgehalte gedurende het getij worden niet veroorzaakt door een gradiënt in het slibgehalte, zoals in het oostelijk deel, maar doordat een groot deel van het slib niet het gehele getij in suspensie blijft, doch tijdelijk bezinkt.

Gaande van Baalhoek naar Vlissingen treedt er een verschuiving op in het tijdstip, waarop de slibgehalten maximaal resp. minimaal zijn (zie bijlage 2). Nabij Baalhoek is het slibgehalte maximaal rond laagwater dus bij maximum ebstroom en minimaal rond hoogwater en maximum vloedstroom, waardoor er een resulterend slibtransport in ebrichting is.

Nabij Vlissingen en in de Wielingen bij Breskens zijn de slibgehalten maximaal rond H.W. (maximum vloedstroom) en minimaal rond L.W. Hierdoor is er in deze punten een resulterend slibtransport in vloedrichting, omdat de eb- en vloeddebieten ongeveer gelijk zijn.

Een uitzondering op de regel vormen de slibgehalten in het meetpunt Breskens, nabij het Vaarwater langs Hoofdplaat. Hier zijn de slibgehalten gedurende de eb belangrijk hoger dan gedurende de vloed, waarschijnlijk doordat slib wordt geërodeerd in het Vaarwater langs Hoofdplaat, waar slibafzettingen aanwezig zijn. Gedurende de winter zijn de slibgehalten zowel in het oostelijk als in het westelijk deel der Westerschelde belangrijk hoger dan gedurende de zomer. De voornaamste oorzaak hiervan lijkt, dat op zee stormen opnieuw slib in suspensie brengen, dat gedurende lange tijd bezonken is geweest op plaatsen, waar normaal geen hoge stroomsnelheden voorkomen. Mogelijk speelt hierbij de vlakte van Raan in het mondingsgebied een belangrijke rol en komt het slib vandaar in de Westerschelde. Een waarschijnlijk geringere bijdrage wordt geleverd door de hogere slibafvoer van de Schelde des winters.

De jaarlijkse natuurlijke sedimentatie (zand en slib) van de Westerschelde wordt op grond van inhoudsberekeningen geschat op ongeveer 2 miljoen m³. Opgemerkt wordt dat de jaarlijkse slibintrek en uittrek door de lijn Vlissingen-Breskens wordt geschat op 30 x 10⁶ ton. Het slib dat uit zee is aangevoerd komt langs de Frans-Belgische kust, waar men het resulterend slibtransport in vloedrichting op enkele miljoenen tonnen per jaar schat. Een ander deel is waarschijnlijk afkomstig van geërodeerde kleilagen en slibrijke zanden, die zich o.a. in de Wielingen bevinden (zie bijlage 3, ontleend aan lit 6 en 7).

Voor de aanslibbing van havens is het slibgehalte één der belangrijkste aspecten. Uiteraard speelt ook de vormgeving van de havenmond een rol. De extra aanslibbing t.g.v. de zout-zoet dichtheidsstromen wordt voor havens ten westen van Baalhoek van ondergeschikt belang geacht.

In totaal wordt jaarlijks uit de havens langs de Westerschelde ongeveer 0.75 x 10⁶ ton gebaggerd. Hiermee is 2 à 3 mln. gulden gemoeid.

2.3.2. De Oosterschelde.

De gemiddelde slibgehalten in de deltawateren en kustzone is aangegeven op bijlage 4. Voor de deltawateren is het gemiddelde gehalte in de vertikaal vermeld, gebaseerd op 14-daagse metingen in 1972, 1973 en 1974. Aangezien niet de gehele getijcyclus bemeten is, zijn de vermelde gehalten slechts als een grootte-orde op te vatten. In de kustzone zijn de gegeven waarden afkomstig van 2-maandelijkse bemonsteringen in 1973 en 1974.

Uit de gegevens van bijlage 4 blijkt, dat de gehalten vanaf de mond van de Oosterschelde naar binnen toe iets afnemen.

Vroegere onderzoeken (lit 8, 9) gaven aan, dat er maar weinig wateruitwisseling is tussen het systeem Keeten-Noordelijke geulen in de Oosterschelde en het systeem Zak van de Oosterschelde-Zuidelijk geulensysteem. Recent hebben zich enige belangrijke doorbraken in het geulstelsel voorgedaan, waardoor de beide systemen nu onderling wel een belangrijke wateruitwisseling vertonen en m.n. in het mondingsgebied meer gemengd worden dan vroeger het geval was. In het zeegat pendelt het water in beide systemen a.h.w. langs elkaar heen in het getij, maar in het mondingsgebied treedt menging op.

De wat lagere slibgehalten in het oostelijk deel van de Oosterschelde moeten vermoedelijk worden toegeschreven aan het feit, dat door bezinking slib aan het bewegende systeem onttrokken wordt. Deze bezinking treedt voornamelijk op in de randgebieden: schorren en slikken. De bodem van de geulen en platen is over het algemeen zandig.

De slibdebieten door de mond van de Oosterschelde zijn niet nauwkeurig te bepalen. Enerzijds ontbreken er voldoende gegevens over de slibgehalten bij eb en vloed, maar bovendien zijn er ook geen gegevens bij storm. De grootte-orde van de slibdebieten kan men echter berekenen door de sterk vereenvoudigende aanname, dat het slibgehalte bij eb en vloed gelijk is en ca. 37 mg/l bedraagt. Dan is bij een eb- resp. vloedvolume van $1100 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ getij het in- en uittrekkend slibdebiet ca. $40 \cdot 10^3$ ton droge stof/getij. Uit bijlage 4 blijkt ook, dat de gehalten in de mond van de Westerschelde, met name in het ZW deel iets hoger zijn dan in de mond van de Oosterschelde. Ook uit de doorzichtsmetingen blijkt, dat bij kalm weer het water in de mond van de Oosterschelde helderder is dan dat in de mond van de Westerschelde.

Het grootste deel van het slib in de Oosterschelde is van organische oorsprong (plankton). Zeker in het voorjaar tijdens de planktonbloei bestaat 50-75% van het slib uit organisch gevormd materiaal. In het overige deel van het jaar is globaal ongeveer de helft van het slib organisch gevormd.

Het gemiddelde jaarlijkse onderhoudsbaggerwerk in de havens langs de Oosterschelde is aangegeven in tabel 1.

Tabel 1. Gemiddelde jaarlijks onderhoudsbaggerwerk in m^3 in de havens langs de Oosterschelde.

Haven	gemiddeld jaarlijks baggerwerk in m^3	gemiddeld jaarlijkse aanslibbing in m.
Burghsluis	10.000	0,5
Schelphoek	25.000	0,4
Colijnsplaat	9.000	0,4
Zierikzee	1.000	0,1
Tholen	1.000	0,1
Wemeldinge	4.000	0,05
Yerseke	3.500	0,2

Uit deze tabel blijkt, dat de aanslibbing in de havens klein is. De aanslibbing in de havens in het westelijk deel van de Oosterschelde is iets hoger dan in het oostelijk deel. Behalve met de vormgeving van de monden van de havens kan dit ook samenhangen met het wat lagere slibgehalte in het oostelijk deel.

In het Keeten - Zijpe - Krammer - Volkerak zien we een geleidelijke afname van de gemiddelde slibgehalten van 30 mg/l in het Keeten tot ca. 20 mg/l in het Volkerak (bijlage 4). Deze afname is waarschijnlijk toe te schrijven aan bezinking van slib als gevolg van de afname van het horizontale getij. Ten behoeve van de zoutbestrijding wordt gemiddeld ca. 20 m^3 sec Hollands Diepwater naar het zuiden door de Volkeraksluizen afgelaten. Dit water bevat ca. 11 mg/l slib. De slibdoorvoer door de Volkeraksluizen bedraagt derhalve ca. 7.000 ton/jaar.

Ten zuiden van de Volkeraksluizen vindt jaarlijks een sedimentatie plaats van ca. $3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Het percentage slib is ruw geschat 40%. Dit betekent een jaarlijkse slibsedimentatie van ca. $0,6 \cdot 10^6$ ton. Uit deze cijfers volgt, dat ten zuiden van de Volkeraksluizen slechts ca. 1% van de slibsedimentatie wordt gevormd door materiaal dat de Volkeraksluizen gepasseerd is en dat 99% vanuit de Oosterschelde moet zijn aangevoerd. De bodem in het beschouwde traject is voornamelijk zandig. Alleen in de omgeving van de Volkeraksluizen is de bodem erg slibrijk.

2.3.3. Beneden Merwede, Noord en Oude Maas.

Door de afsluiting van het Volkerak in 1969 en de ingebruikneming van de Haringvlietsluizen in 1970, is de slibbeweging ingrijpend gewijzigd.

Het hierna geschetste beeld van slibbeweging en slibsedimentatie beperkt zich tot de periode na 1970.

Door de Waterloopkundige Afdeling van de Deltadienst - Bureau Hellevoetsluis - zijn in de periode september 1973 t/m juni 1975 een 13-tal meetcampagnes uitgevoerd. Hierbij is binnen twee dagen het gehele noordelijk Deltabekken zeer intensief bemonsterd op slibgehalte. Met behulp van deze meetresultaten zijn de in tabel 2 vermelde gemiddelde slibgehalten voor de verschillende riviergedeelten bepaald.

Tabel 2. Gemiddelde slibgehalten in het Noordelijk Deltabekken.

Riviergedeelte	Gemiddelde slibgehalte in mg/l bij:	
	B-R afvoer $> 1000 \text{ m}^3/\text{s}$ en $< 3050 \text{ m}^3/\text{s}$	B-R afvoer $> 3050 \text{ m}^3/\text{s}$ en $< 5200 \text{ m}^3/\text{s}$
Boven Merwede	34	56
Nieuwe Merwede	33	60
Hollands Diep	15	29
Haringvliet	13	20
Beneden Merwede	24	48
Oude Maas, boven Spui	23	28
Oude Maas, beneden Spui	27	55
Noord	31	33
Nieuwe Maas, boven km. 1000	26	45
Nieuwe Maas, beneden km. 1000	28	33
Rotterdamse Waterweg	46	105

Voor het traject Boven Merwede - Beneden Merwede - Oude Maas - Rotterdamsche Waterweg en het traject Noord - Nieuwe Maas - Rotterdamsche Waterweg kan, mede aan de hand van bovengenoemde meetresultaten, over de slibbeweging en de sedimentatie het volgende worden opgemerkt.

Er is geen duidelijke relatie tussen het gemiddelde slibgehalte in de Boven Merwede en de Rijnaafvoer (Q_{BR}) zolang de Rijnaafvoer minder is dan ca. $3.000 \text{ m}^3/\text{s}$.

Daar boven neemt het gemiddelde slibgehalte duidelijk toe met groter wordende Rijnaafvoeren.

Bij Q_{BR} tussen $1.000 \text{ m}^3/\text{s}$ en $3.000 \text{ m}^3/\text{s}$ fluctueert het gemiddelde slibgehalte vrijwel altijd tussen 25 en 40 mg/l met als gemiddelde in de tijd ca. 35 mg/l.

Bij Q_{BR} van ca. $4.000 \text{ m}^3/\text{s}$ is het gemiddelde slibgehalte 50 à 60 mg/l en bij Q_{BR} van ca. $5.000 \text{ m}^3/\text{s}$ is dat 60 à 80 mg/l.

Bij de frequent voorkomende Boven-Rijnaafvoeren (Q_{BR} tussen 1.000 en $3.000 \text{ m}^3/\text{s}$) daalt het gemiddelde slibgehalte van ca. 34 mg/l op de Boven Merwede naar ca. 24 mg/l op de Beneden Merwede en Oude Maas. Dit duidt er op dat sedimentatie van rivierslib plaatsvindt in de Boven Merwede en in de omgeving van het splitsingspunt Beneden Merwede - Nieuwe Merwede. Het is echter opmerkelijk dat het gemiddelde slibgehalte van de Noord hoger is dan van de Beneden Merwede nl. ca. 31 mg/l.

Bij Q_{BR} tussen ca. 3.000 en $4.000 \text{ m}^3/\text{s}$ is een verhoging van het slibgehalte nog niet merkbaar in de Oude Maas en in de Noord. De slibgehalten nemen pas in beperkte mate toe als de Boven-Rijnaafvoer groter wordt dan ca. $4.000 \text{ m}^3/\text{s}$. Dit duidt er op dat de door de Waal extra afgevoerde slibvracht bij grote Boven-Rijnaafvoeren vrijwel volledig tot afzetting komt in de Boven Merwede en Beneden Merwede (de invloed van hoge rivieraafvoeren op de slibafzetting in de Nieuwe Merwede c.a. wordt behandeld in par. 2.4).

Het geconstateerde beeld van sedimentatie c.q. aanslibbingen ziet er als volgt uit. Jaarlijks wordt er 100.000 à 200.000 m^3 sediment afgezet in de Boven Merwede, de Beneden Merwede en de Oude Maas. Met name vindt sedimentatie plaats in de kribvakken en in de nabijheid van de splitsingspunten. Het afgezette sediment bestaat voor ca. de helft uit slib. De sedimentatie in de benedenloop van de Oude Maas, voor de mond van het Hartelkanaal, wordt vrijwel zeker veroorzaakt door uitschuring van de Oude Maas bovenstrooms daarvan.

De aanslibbing in de aanliggende havens is gering in vergelijking met de totale slibvracht die passeert. De indruk bestaat echter, dat deze aanslibbing is toegenomen na afsluiting van het Haringvliet. Een sterke verhoging van het slibgehalte is incidenteel mogelijk in de benedenloop van de Oude Maas onder invloed van slibaanvoer vanuit zee. Onder die omstandigheden zijn de slibgehalten in de Rotterdamsche Waterweg een veelvoud van de slibgehalten van het afgevoerde rivierwater. Slibgehalten in de orde van 500 à 1.000 mg/l zijn mogelijk. De hogere slibgehalten in de Rotterdamsche Waterweg kunnen, naast slibaanvoer vanuit zee, eveneens een gevolg zijn van accumulatie van slib onder invloed van het zout-zoet mechanisme.

De hoeveelheid zwevend slib, die jaarlijks door de Waal wordt aangevoerd, wordt in lit 8 gesteld op ca. $2,5 \cdot 10^6$ ton. Er mag worden aangenomen dat het aangevoerde slib zich in ongeveer dezelfde verhouding zal verdelen over Beneden- en Nieuwe Merwede als het water.

Dit betekent dat ca. 45% van de aangevoerde slibvracht richting Beneden Merwede gaat.

Rekening houdende met sedimentatie in de Boven Merwede en bij grote Rijnafoeren in de Beneden Merwede en Oude Maas, zal via Noord en Oude Maas jaarlijks iets minder dan $1,0 \cdot 10^6$ ton slib worden afgevoerd naar Nieuwe Maas en Rotterdamsche Waterweg.

2.3.4. Nieuwe Maas, Rotterdamsche Waterweg.

Aan onderhoudsbaggerwerk op de Nieuwe Maas, de Rotterdamsche Waterweg en in de aanliggende havens wordt jaarlijks een bedrag uitgegeven van circa f 50 - 60 miljoen (prijsspeil 1974).

Tezamen met het baggerwerk in de toegang tot Europoort en in het Europoortgebied wordt jaarlijks circa f 70 à 80 miljoen uitgegeven. Als gevolg van een sterke toename van het baggerwerk in 1973 zijn ook de hiermee verbandhoudende kosten sterk toegenomen. Naar aanleiding daarvan is eind 1973 gestart met een gezamenlijk onderzoek van Rijkswaterstaat en de Gemeente Rotterdam naar mogelijkheden om de baggerkosten tot een minimum terug te brengen (onderzoek project "Minimalisering kosten onderhouds-baggerwerk in het Rijnmondgebied"). Het basisprogramma van het genoemde onderzoek valt uiteen in drie hoofd-onderdelen, te weten:

- een onderzoek naar de oorzaken van de aanslibbing en de mogelijkheden om deze aanslibbing te verminderen (projectgroep "Slibtransportmechanisme").
- een onderzoek naar de mogelijkheden om bij een gegeven aanslibbing de baggerkosten in sterke mate te verminderen (projectgroep "Baggermethodieken").
- een onderzoek naar de bedrijfskundige aspecten die invloed hebben op de kosten van het baggerwerk.

Door de projectgroep "Slibtransportmechanisme" wordt ernaar gestreefd om een zo volledig mogelijk beeld te krijgen van de sedimentbeweging in het Rotterdamsche Waterweggebied en de toegang tot Europoort. Daarnaast wordt onderzocht in hoeverre er mogelijkheden aanwezig zijn het sedimenttransport in gunstige zin te beïnvloeden. Als belangrijkste deelonderzoeken zijn te noemen:

- * een literatuuronderzoek door het Waterloopkundig Laboratorium naar erosie- en sedimentatie-eigenschappen van slib;
- * het opstellen van een sedimentbalans voor het Rotterdamsche Waterweggebied, waarvoor onder andere het aantal sedimentmetingen sterk is uitgebreid;
- * het ontwikkelen van een mathematisch-model voor de sedimentbeweging;
- * een onderzoek naar het gedrag van in de rivier teruggestorte baggerspecie, onder andere met behulp van "tracers";
- * een onderzoek naar de mogelijkheden om de aanslibbing te verminderen door toepassing van luchtbellenschermen;
- * een onderzoek naar het consolidatie-proces in het tot afzetting gekomen sediment, zowel in de praktijk als onder laboratoriumomstandigheden, onder andere ten behoeve van het verstrekken van randvoorwaarden voor de projectgroep "Baggermethodieken".

De projectgroep "Baggermethodieken" en "Bedrijfskundige aspecten" onderzoeken de mogelijkheden om bij een gegeven aanslibbing het baggerwerk goedkoper te maken door een betere materiaalbenutting, aanpassing van het baggermateriaal, rationalisatie van het baggerproces, integratie van baggeractiviteiten van verschillende diensten etc. De belangrijkste resultaten van de bovenomschreven onderzoeken komen in de loop van 1976 - 1977 beschikbaar.

Op grond van de momenteel aanwezige, beperkte meetgegevens en de resultaten van het baggerwerk kan globaal het volgende beeld van het slibtransport worden gegeven.

De slibaanvoer vanuit de Lek wordt in 10 jaarlijks op circa $0,7 \cdot 10^6$ ton geschat; dit cijfer is afgeleid voordat de Rijnkanalisatie was gerealiseerd. Door de Rijn-kanalisatie is de gemiddelde afvoer van de Lek met circa 20% verminderd. Men mag aannemen dat de gemiddelde jaarlijkse slibaanvoer daardoor ook met ongeveer hetzelfde percentage zal zijn verminderd. Het slibaanbod van de Lek is, in de tijd gezien, door de Rijnkanalisatie sterk veranderd, daar bij lage Rijnafoeren met gesloten stuwen het slib grotendeels in de stuwpanden bezinkt. Dit slib komt tot afstroming zodra bij hoger wordende Rijnafoeren de stuwen worden geopend. De slibaanvoer naar de Nieuwe Maas kan daardoor in een korte periode een grote omvang aannemen.

Lek, Noord en Oude Maas tezamen zorgen voor een gemiddelde jaarlijkse aanvoer van ca. $1,5 \cdot 10^6$ ton slib. Het aangevoerde slib komt voor een groot deel tot afzetting in de Nieuwe Maas tussen kmr. 1005 en 1013 in de bocht van Maassluis, en in de langs de Nieuwe Maas en Rotterdamsche Waterweg gelegen havens. Het resterende gedeelte van het aangevoerde slib wordt direct naar zee afgevoerd. Daarnaast wordt er door de Lek, Noord en Oude Maas, na afsluiting van het Haringvliet, naar schatting $1 \text{ à } 2 \cdot 10^6$ ton zand aangevoerd, waarvan naar verwachting slechts een zeer klein gedeelte naar zee wordt afgevoerd en de rest dus bijdraagt aan de verondieping. Deze $1 \text{ à } 2$ miljoen ton zand is als volgt verdeeld: $0,5 \text{ à } 1 \cdot 10^6$ ton aanvoer van zwevend zand naar Lek, Noord en Oude Maas en $0,5 \text{ à } 1 \cdot 10^6$ ton t.g.v. de verdieping van Noord, Oude Maas en Spui. De zandaanvoer t.g.v. de verdieping heeft een afnemende tendens. Het door de rivieren aangevoerde en tot afzetting gekomen sediment betekent een hoeveelheid baggerwerk van circa $5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Daar er jaarlijks gemiddeld $8 \text{ à } 10 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ specie wordt gebaggerd (waarvan $5 \text{ à } 6 \cdot 10^6$ in de havens en $3 \text{ à } 4 \cdot 10^6$ op de rivier) kan worden geconcludeerd dat de aanvoer vanuit zee op globaal $3 \text{ à } 5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ baggerspecie gesteld kan worden, wat overeenkomt met $1,5 \text{ à } 2,5 \cdot 10^6$ ton sediment.

De resultaten van de waterbemonsteringen in de mond van de Rotterdamsche Waterweg die vanaf medio 1973 twee maal daags wordt uitgevoerd, geven bij benadering een zelfde tendens.

De aanslibbing van de havens is in de loop der jaren sterk toegenomen. Bijlage 5 toont het verloop van het gemiddelde onderhoudsbaggerwerk van een aantal grotere havens langs de Nieuwe Maas (Rijn- en Maashaven, Waalhaven, Merwe- en Wilhelminahaven, 1e Petroleumhaven). De in beschouwing genomen havens zijn in deze periode niet of nauwelijks verdiept c.q. uitgebreid.

De toename van het baggerwerk moet voor een belangrijk deel worden toegeschreven aan het verder naar binnendringen van de zouttong, als gevolg van aanzienlijke verdiepingen van de rivierbodem. De aanslibbing neemt het sterkst toe zodra de toegang van de haven in het invloedsgebied van de zouttong komt te liggen. Wanneer de zouttong daarna nog verder opschuift, nemen de aanslibbing en het baggerwerk in geringe mate toe. Het totale onderhoudsbaggerwerk in de Rotterdamsche havens (excl. Europoort) na 1946 is weergegeven op bijlage 6.

De vraag kan worden gesteld, of na het gereedkomen van de Delta-werken in het Noordelijk Deltabekken de aanslibbing in de Rotterdamse havens nog is toegenomen. Immers sinds het inwerking stellen van de Haringvlietsluizen in november 1970 is de eerdergenoemde verziltende invloed van de zee weer teruggedrongen. Op grond hiervan is de verwachting gewettigd dat de aanslibbing sindsdien niet meer uit dien hoofde kan toenemen. Mocht dit evenwel toch het geval zijn, dan is de vraag van belang of de oorzaak hiervan niet in eerste instantie ergens anders zou moeten worden gezocht.

Met betrekking tot de sedimentbeweging op de Nieuwe Maas en de Rotterdamsche Waterweg kan verder het volgende worden opgemerkt:

- De indruk bestaat dat het sedimenttransport zich voor een belangrijk deel afspeelt vlakbij de bodem. Het is bijzonder moeilijk om met de momenteel beschikbare meetapparatuur dit transport in voldoende mate nauwkeurig te bepalen.
- Vanaf eind 1973 wordt onbruikbare specie (slib en sterk slibhoudend zand) afgevoerd naar zee (stortplaats-Noord), terwijl de bruikbare specie (fijn zand, in geringe mate verontreinigd met slib) vrijwel volledig aan de zandhandel ter beschikking wordt gesteld. Deze laatste specie wordt uitsluitend aangetroffen op de Rotterdamsche Waterweg benedenstrooms van de Oude Maas. Een klein gedeelte van de bruikbare specie wordt nog gebruikt t.b.v. bodemverhogingsdoeleinden op de Waterweg. Voordien werd alle op de rivier gebaggerde specie teruggestort in de rivier. Het niet meer terugstorten van de baggerspecie zal naar verwachting moeten leiden tot een vermindering van baggerwerk, zowel in de rivier als in de havens. De baggercijfers van 1974 geven reeds een tendens in deze richting. In welke mate deze tendens zal doorzetten is nog onzeker.
- De indruk bestaat dat de aanvoer van slib en zand vanuit zee grotendeels plaatsvindt gedurende perioden van stormachtig weer.
- Bovengenoemde factoren tezamen maken het sediment transportverschijnsel zodanig complex, dat men er tot nu toe niet in geslaagd is, op basis van vele slibgehalte-metingen, een betrouwbare sedimentbalans voor het benedenrivierengebied op te stellen.
- Van de in de Rotterdamsche havens gebaggerde specie wordt circa 80% geborgen in loswallen op het land en circa 20% afgevoerd naar zee (stortplaats Noord).

2.3.5. Toegang tot Europoort c.a.

Onder de toegang tot Europoort c.a. wordt verstaan de nieuwe havenmond (Maasmond) en de ingangen van de Caland- en Beerkanaal, welke in onderhoud zijn bij Rijkswaterstaat en de aansluitende gedeelten van Caland- en Beerkanaal met de aanliggende havens, welke in onderhoud zijn bij de Gemeente Rotterdam. Voor een overzicht van deze gebiedsindeling, zie bijlage 7.

Op basis van de ervaring van de afgelopen twee jaren kan het gemiddelde jaarlijkse onderhoud in het beheersgebied van Rijkswaterstaat gesteld worden op ca. $7,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (gemeten in profiel) hetgeen overeenkomt met een jaarlijkse aanslibbing van ca. 3 m., terwijl de Gemeente Rotterdam het gemiddelde jaarlijkse onderhoud in hun gebied voor de komende jaren schat op $2,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.

Deze totale gemiddelde jaarlijkse hoeveelheid baggerspecie van $10 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, die overeenkomt met circa $5 \cdot 10^6$ ton sediment, wordt naar zee afgevoerd en gestort op stortplaats Noord. De baggerspecie bestaat voor 80% - 100% uit de fraktie kleiner dan 50μ . De resterende 0-20% is zeer fijn zand.

In de tijd gezien fluctueert de aanslibbing zeer sterk. Het overgrote deel van de aanslibbing komt tot stand in de periode oktober t/m april. Met name tijdens stormen is geconstateerd dat er binnen 1 à 2 weken verondiepingen (slibbanken) in de Maasmond kunnen ontstaan van 1 à 1,5 meter. Het is niet duidelijk wat de herkomst is van dit slib. Een onderzoek hiernaar is gaande.

Gezien de grote moeilijkheid om gedurende stormachtig weer metingen op zee te verrichten, zijn er op korte termijn geen resultaten te verwachten. Bij dit onderzoek is vooral van belang in hoeverre de slibstortingen op stortplaats Noord bijdragen tot de aanslibbing van de toegang Europoort. Het kiezen van een andere lokatie voor slibstortingen op zee kan wellicht leiden tot een aanzienlijke vermindering van deze aanslibbing.

2.3.6. De kustzone vóór het Deltagebied.

De waterbeweging in de monden van de zeegaten vóór de afsluiting vertoont een circulatie-patroon. Dit houdt in, dat de watermassa's in de monden een ronddraaiende beweging hebben, en er relatief weinig uitwisseling tussen de watermassa's van de verschillende zeegaten optreedt. Deze circulatiesystemen zijn duidelijk herkenbaar aan de banen van waterdeeltjes (zie bijlage 8). Ook de slibbeweging, waarvoor is aangenomen, dat die grotendeels de waterbeweging zal volgen, wordt door deze circulatiesystemen beïnvloed. Deze circulatiepatronen hangen samen met het stromingsregime op de onderwaterdelta. Langs de koppen van de eilanden treden in het algemeen NO - ZW gerichte stromen op, maar in de zeegaten W - O gerichte stromingen.

Na afsluiting van de zeegaten zullen, door het afzwakken van de W - O gerichte stromingen, de circulatiesystemen enigszins veranderen en zullen de stromingspatronen meer evenwijdig aan de kust gericht zijn, het is echter niet zo, dat deze systemen zullen verdwijnen. Dit bleek zowel uit de tweedimensionale getijberekeningen als uit de metingen, die na de afsluiting van het Brouwershavensche Gat in dit mondingsgebied verricht zijn. Het oude geulenstelsel op de onderwaterdelta blijkt een duidelijk richtend effect te hebben op de circulatiestromen.

Het is thans nog niet vast te stellen of de uitwisseling tussen de nieuw ontstane circulatiesystemen al dan niet groter is dan voorheen het geval was.

Van groot belang hierbij is de aanwezigheid van reststromen over de onderwaterdelta na de afsluiting. Aangezien de getijstroomsnelheden verminderen wordt de invloed van winddriftstromen en door golven op gewekte stromingen relatief groter. Om deze reden wordt wel een grotere wateruitwisseling tussen de verschillende systemen verwacht. Het is dan ook niet uitgesloten dat het kustwater voor het Deltagebied na de uitvoering van de Deltawerken beïnvloed wordt door water afkomstig uit de Westerschelde, het Haringvliet en de Rotterdamsche Waterweg.

Ook ten aanzien van de slibbeweging kan dan verwacht worden, dat er meer uitwisseling en transport langs de kust zal optreden. Slib afkomstig uit de Westerschelde, het Haringvliet en de Rotterdamsche Waterweg zal dan verder naar het centrale deel van de Deltakust worden vervoerd.

Veranderingen in het stromingsgebied en de daardoor veroorzaakte geulverleggingen zullen een sterkere erosie van de slibrijke afzettingen kunnen veroorzaken. Een deel van dit slib zal elders als opvulling van de diepe geulen blijvend aan de slibbeweging worden onttrokken.

Hierbij moet worden opgemerkt, dat tenminste een belangrijk deel van het slib in de mond van de Westerschelde en Oosterschelde niet afkomstig is uit de rivier de Schelde, maar van erosie van slibhoudende zandlagen en oude kleilagen, die in dit zeegebied een groot gedeelte van de bodem uitmaken. Dit oude slib is in wezen niet verontreinigd.

Voor de afsluiting leverde het Haringvliet een belangrijke bijdrage aan de slibbeweging in de kustzone vóór Haringvliet - Waterweg - Schonekust. Een klein deel van het Haringvliet-slib werd naar het Brouwershavense Gat gevoerd.

Na de afsluiting is de slibaanvoer uit het Haringvliet zeer sterk afgenomen. (zie bijlage 4). De slibgehalten in de mond zijn met een faktor 5-10 afgenomen. Alleen bij hoge spuidebieten is de slibvracht nog van enige betekenis (alhoewel de slibgehalten laag zijn). Wel kan bij hoge spuidebieten, afgezet slib in de suatiegeul worden geërodeerd en op deze wijze aan het kustwater worden toegevoegd. Voor de mond van de Rotterdamsche Waterweg en wijde omgeving is eveneens een voornamelijk NO - ZW gerichte watercirculatie aanwezig. Naar de mond van de Waterweg toe krijgt deze circulatie een steeds grotere oost - west component, opgelegd door de vormgeving van de mond. Complicerend in dit verband is de uitstroming van relatief zoeter water uit de Waterweg in zouter zeewater.

Het slib in dit gebied is afkomstig uit de Waterweg, het Haringvliet, de Noordzee en van de baggerspecie die op stortplaats Noord in de Noordzee is gestort.

Door de waterbeweging in dit zeegebied zal het vanuit de verschillende bronnen aangevoerde slib grondig worden gemengd en over grote afstanden verspreid. Er ontstaat op den duur een soort "evenwichts"-concentratie aan slib in een zeer groot gebied, doordat de aanvoer en de afvoer (langs Schone kust, naar Noordzee en naar Delta kust) van slib gelijk worden. We kunnen het mondingsgebied dus zien als een groot mengsysteem, waarin een grote hoeveelheid slib gebufferd zit, dat vanuit een aantal bronnen langs de Oostrand wordt gevoed (Waterweg, stortplaats Noord en in veel mindere mate het Haringvliet) en langs de zeeranden slib verliest. Het gemiddelde slibgehalte in deze bufferzone kan over korte perioden sterk wisselen (bij storm kan slib worden opgewerveld, bij kalme zee kan veel slib bezinken) maar zal over langere perioden weinig variëren. Het hier geschetste beeld wordt bevestigd door recente uitgebreide slibmetingen door de Fysische Afdeling van de Directie Waterhuishouding en Waterbeweging in de Zuidelijke Noordzee voor onze kust. Bijlage 9 toont hiervan enige resultaten.

In deze gedachtengang wordt het ook beter verklaarbaar dat bij elke vergroting van het havenoppervlak meer aanslibbing in de havens geconstateerd wordt. Immers met het vergrote getijvolume komt meer slib vanuit de gebufferde zône naar binnen. Het systeem wordt echter niet ontmengd omdat praktisch al het bezonken slib uit de havens op de stortplaats Noord wordt gestort en aldus weer aan het systeem wordt toegevoegd. Zou het storten van baggerspecie op de stortplaats Noord worden stopgezet en de specie op loswallen op het land worden gebracht, dan zal dit op den duur tot een verlaging van het gemiddelde slibgehalte in het systeem moeten leiden en aldus tot een afname van de aanslibbing.

Dit proces zal echter langzaam gaan, omdat immers vele miljoenen m³ slib in het systeem zijn opgeslagen en de aanslibbing in de havens hiervan slechts een klein deel uitmaakt.

De afsluiting van het Haringvliet heeft in dit verband ook een bijzondere betekenis.

De sterke afname van de slibaanvoer vanuit het Haringvliet naar dit systeem zal bijdragen tot een reductie van het gemiddelde slibgehalte in het systeem.

In het onderstaande zal een indruk worden gegeven van de zeer omvangrijke stortactiviteiten op de stortplaats Noord.

De specie, die op de stortplaats Noord in de loop van de jaren gedumpt is, is afkomstig van:

- onderhoudsbaggerwerk Rotterdamse Waterweg en havens;
- verdiepingsbaggerwerk Rotterdamse Waterweg en havens;
- baggerwerk t.b.v. de Maasgeul.

De schattingen van de zand/slibverhoudingen van de specie van het onderhouds- en verdiepingsbaggerwerk lopen nogal uiteen, maar een gemiddelde verhouding van 1 : 1 lijkt vooralsnog een goede benadering. De specie uit de Maasgeul in de Noordzee bij de verdieping tot 65 voet bestond voor ca 25% uit holocene mariene kleien. Het grootste deel van deze klei is tijdens het baggeren tot slib verslagen en overboord gepompt en aan het kustwater toegevoegd.

Slechts een klein percentage slib is met het zand op de stortplaats Noord gedumpt.

Een aantal zeer resistente kleibulten, zijn met een baggermolen afgebaggerd. De kleibrokken, die hierbij vrijkwamen, zijn gestort in troggen in de omgeving van de geul.

De hoeveelheid slib, die ruw geschat bij de verdieping van de Maasgeul is vrijgekomen, wordt gesteld op ca. 20% van de hoeveelheid "Maasgeul-Specie" die op de stortplaats Noord is gelost.

Een bodemonderzoek op de stortplaats Noord wees uit, dat het allergrootste deel van het gestorte slib op den duur weer uit het bodemmateriaal wordt uitgewassen en aan de slibbeweging van het kustwater wordt toegevoegd (lit 11.).

Op grond van bovenstaande slibverhoudingen van de specie en met gegevens van de gestorte hoeveelheden baggerspecie op de storplaats Noord van het Arrondissement Rotterdamse Waterweg en de Dienst van Gemeentewerken te Rotterdam (bijlage 10) kan een globale schatting van de slibinjectie in het kustwater bij de stortplaats Noord worden opgesteld (tabel 3).

Tabel 2. Slibinjectie in kustwater in de omgeving van Stortplaats Noord.

	gestorte hoeveelheid onderhouds- en verdiepingsspecie in 10 ⁶ m ³ .				gestorte hoeveelheid slib in 10 ⁶ m ³ .	holoceen marien slib uit Maasgeul in 10 ⁶ m ³ .
	Rijkswaterstaat		Gemeente Rotterdam			
	onderhoud	verdieping	onderhoud	verdieping		
1959	1,2				0,6	
1960	2,6				1,3	
1961	5,4				2,7	
1962	3,4				1,7	
1963	1,7		-	2,7	1,3	
1964	2,0		0,3	3,6	2,0	
1965	1,9		1,3	3,8	2,8	
1966	6,2		1,0	4,2	3,9	
1967	3,5	10,8	4,7	5,2	8,7	1,7
1968	4,5	14,6	5,2	5,6	10,5	2,6
1969	3,8	12,2	1,5	2,9	6,1	2,0
1970	0,8	6,2	0,3	5,5	2,9	
1971	3,4	6,0	0,6	2,8	3,9	
1972	4,1	-	1,6	2,3	3,7	
1973	8,3	-	1,8	-	8,1	
1974	9,6	-	1,0	-	8,5	

N.B. Alle m^3 specie omgerekend naar gecentrifugeerde hoeveelheden.

Bij een proef met radio-actief gemerkt slib, dat op de Stortplaats werd gestort is gebleken, dat ca 10% van de tracer in de mond van de Rotterdamse Waterweg kon worden teruggevonden. Accepteert men dit cijfer als grootte-orde voor de totale bijdrage van stortplaats-slib aan de slibbeweging in de mond van de Waterweg, dan betekent dit dat c.a. $0,8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ slib jaarlijks vanaf de stortplaats weer de Waterweg instroomt, zijnde $0,4 \cdot 10^6$ ton. Bij een totale slibaanvoer vanuit zee naar de Waterweg van $1,5$ à $2,5 \cdot 10^6$ ton/jaar (zie par. 2.3.5.) betekent dit, dat ca. 20 à 30% van het zeesslib van de stortplaats afkomstig is. Opgemerkt wordt echter, dat deze cijfers nog zeer globaal zijn en zeker nadere verificatie behoeven. Met name is het geenszins uitgesloten, dat de geconstateerde sterke aanslibbing in de Europoort bij storm grotendeels veroorzaakt wordt, door opgewoeld slib van de Stortplaats Noord. Het is nl. aannemelijk, dat er bij NW. storm in de kustzone voor de mond van de Waterweg een resulterende waterbeweging in ZW richting optreedt. Slib, opgewoeld van de Stortplaats kan daardoor de mond van de Waterweg bereiken.

2.4. De slibbeweging in de meren met belangrijke in- en doorstroming: Merwede-Hollands Diep-Haringvliet.

Sinds het ingebruikstellen van de Haringvlietsluizen in november 1970 zijn de afvoeren van Bovenrijn en Maas over het algemeen laag geweest. Alleen in november 1972 en in november 1973 - maart 1974 zijn de afvoeren belangrijk boven het gemiddelde gestegen.

Zoals bijlage 4 toont nemen de gemiddelde slibgehalten van oost naar west belangrijk af en bereiken zeer lage waarden in het Haringvliet. De afname van het slibgehalte illustreert een belangrijk bezinkingsproces dat in de Nieuwe Merwede-Amer-Hollands Diep plaatsvindt. De lage gehalten wijzen er ook op, dat het organisch gevormde deel van het slib in dit bekken slechts een zeer geringe bijdrage aan het zwevende materiaal levert.

Kwantitatief kan over de slibsedimentatie het volgende worden opgemerkt:

De hoeveelheid zwevende stof, die jaarlijks door de Waal naar het gebied wordt gevoerd is in lit 10 op $2,5 \cdot 10^6$ ton geschat.

Door bodemtransport wordt ruw geschat ca $0,2 \cdot 10^6$ ton/jaar aangebracht.

De gemiddelde jaarlijkse aanvoer van zwevende stof door de Maas is in lit 10 op $0,7 \cdot 10^6$ ton begroot.

Waal en Maas brengen dus jaarlijks gemiddeld in de orde van $3,5 \cdot 10^6$ ton slib naar de Merwede-Hollands Diep-Haringvliet.

Van deze $3,5 \cdot 10^6$ ton aangevoerd slib gaat blijkens par. 2.3.3. globaal ca. $1 \cdot 10^6$ ton naar de Beneden Merwede-Noord-Oude Maas.

Dit betekent dat globaal ca. $2,5 \cdot 10^6$ ton slib naar de Boven- en de Nieuwe Merwede-Amer en Hollands Diep wordt gevoerd.

In de periode november 1970 t/m maart 1974 is er in de Boven Merwede, Nieuwe Merwede, Amer en Hollands Diep een "natuurlijke" sedimentatie van ca. $16,4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (onder verrekening van baggerwerk) opgetreden. Aangezien een deel hiervan uit zand bestaat, wordt deze hoeveelheid (in afwijking van het gestelde in hoofdstuk 1) equivalent gesteld met $10 \cdot 10^6$ ton; zijnde ca. $3 \cdot 10^6$ ton sediment per jaar (zand + slib).

Van deze sedimentatie heeft 5% plaatsgevonden in de Boven Merwede; 50% in de Nieuwe Merwede; 30% in de Amer en 15% in het Hollands Diep.

In de genoemde periode zou de totale inhoud van de Nieuwe Merwede zijn afgenomen met ca $5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Door baggerwerken is deze inhoudsafname in werkelijkheid $3,8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, zijnde ca 10% van de inhoud in november 1970. Over het algemeen kan worden geconstateerd, dat de aanslibbing in de havens, die bij het Rijk in beheer zijn in grote lijnen dezelfde trend vertoont als bovenbeschreven.

Onderstaande tabel 4 geeft hiervan een overzicht.

Tabel 4. Gemiddeld jaarlijks onderhoudsbaggerwerk in m³ in de havens langs de Nieuwe Merwede-Haringvliet.

Haven	Gem. jrl. onderhoudsbaggerwerk in m ³		Gem. aanslibbing in m/jaar
	1968-1970	1971-1973	
Voorhaven schutsluis Werkendam	15.000	20.000	0,9
Voorhaven speeringsluis Werkendam	3.500	31.000	1,2
Middelharnis	15.000	75.000	

Geconstateerd is dat in de perioden met hoge bovenrijnafvoeren het sedimentatiegebied zich verder stroomafwaarts in de richting van het Haringvliet bevindt.

Door de hogere stroomsnelheden, die bij deze omstandigheden optreden kunnen reeds afgezette sliblagen weer worden geërodeerd. Het is mogelijk dat hierdoor slib uit het Haringvliet naar zee wordt afgespuid. Tot nu toe kon echter worden vastgesteld, dat bij Bovenrijnafvoeren tot ca 6.000 m³/sec. het Haringvliet nog geheel als slibvang fungeerde en de hoeveelheden slib, die naar zee werden afgevoerd nog maar klein waren. Opgemerkt wordt, dat als de sluizen bij HW gesloten zijn het water in het Haringvliet gedurende minstens 6 uren stilstaat, waarbij slib kan bezinken. De hoeveelheid jaarlijks afgezet slib is relatief klein in verhouding tot de inhoud beneden NAP in het Hollands Diep-Haringvliet, die ca. 650.10⁶ m³ bedraagt.

2.5. De semi-stagnante meren.

Het Veersche Meer.

Uit bijlage 4 volgt, dat het slibgehalte in het Veersche Meer bijzonder laag is (15 à 20 mg/l.). Het slib is grotendeels van organische oorsprong. De slibtoevoer naar het meer geschiedt door de uitslag van water en slib uit de polders en door de jaarlijkse peilwisseling op het Meer. In het najaar wordt het peil met 0,70 m. verlaagd. Hierbij wordt het water met een relatief laag slibgehalte (15 à 20 mg/l.) uitgeslagen naar de Oosterschelde. In het voorjaar wordt weer water vanuit de Oosterschelde op het meer gebracht. Dit water bevat een hoger slibgehalte (ca 40 mg/l.). De slibaanvoer door beide oorzaken verschilt van jaar tot jaar aanzienlijk. Gemiddeld over 1972 en 1973 bedroeg dit 10³ ton droge stof. In het natte jaar 1974 was dit, vanwege de hoge polderuitslagen 7.10³ ton.

2.5.2. Het Grevelingenbekken.

Het slibgehalte van het water in de Grevelingen is laag: ca. 20 mg/l. (bijlage 4). Ook de slibbelasting is klein. De jaarlijkse toevoer van zijdelingse bronnen via het schutwater van de sluis bij Bruinisse is globaal 10³ ton. De platen in de Grevelingen zijn zeer zandig. Het slib, dat na de afsluiting bezonken is of dat later is toegevoerd, is geconcentreerd in de diepe

geulgedeelten. Deze concentratie is een gevolg van golfwerking, die op ondiepe plaatsen het afgezette slib opwervelt en weer in suspensie brengt. Dit gehersuspendeerde slib kan dan in de diepere delen blijvend tot afzetting komen.

2.5.3. Het Brielse Meer.

De slibgehalten in het Brielse Meer zijn eveneens laag. Het gemiddelde gehalte is ca. 25 mg/l. bij de inlaat bij Spijkenisse. Maar op het einde van het toeleidingskanaal is dit gehalte al afgenomen tot ca. 10 mg/l. Verderop in het meer worden nog lagere gemiddelde gehalten aangetroffen, n.l. in de orde van 7 à 8 mg/l. In 1972 was de toevoer van slib zowel via de inlaatsluis, als van zijdelingse bronnen ongeveer 1800 ton. De slibaccumulatie bedraagt ongeveer 75% dus in de orde van 1500 ton.

3. Milieu-aspekten.

De milieu-aspekten, die met slib samenhangen zijn in volgorde van belangrijkheid:

- de aan het slib gebonden verontreinigingen en het loskoppelen ervan door natuurlijke oorzaken;
- het storten van baggerspecie;
- de lichtdoordringing in het water.

3.1. De aan het slib gebonden verontreinigingen en het loskoppelen door natuurlijke oorzaken.

3.1.1. Algemeen.

Hierbij is onderscheid te maken tussen enerzijds verontreinigingen, die de trofiegraad van het water te zeer verhogen en anderzijds verontreinigingen die het water toxisch maken.

Het belangrijkste gevolg van de eutrofiëring van water is het optreden van excessieve algenbloei. Algen hebben voor de opbouw van celmateriaal voornamelijk stikstof, fosfor en silicium nodig. Daarnaast hebben een relatief hoge watertemperatuur en een grote lichtdoordringing een positieve invloed op de groeisnelheid.

3.1.2. Fosfaat.

In zoete bekkens lijkt een beperking van de algenbloei vooralsnog slechts mogelijk door een verlaging c.q. laag houden van het fosfaatgehalte in het water. Dit fosfaatgehalte wordt bepaald door:

- a. Anorganisch fosfaat dat opgelost is in het water, het z.g. orthofosfaat.

- b. Organisch fosfaat dat opgelost is in het water.

- c. Anorganisch plus organisch fosfaat, dat gebonden is aan onoplosbare deeltjes in het water, het z.g. zwevend slib.

Het orthofosfaat, het organisch fosfaat, alsmede de opgeloste polyfosfaten kunnen opgenomen worden door algen en de gehalten hiervan zijn rechtstreeks van invloed op de algenbloei. Tijdens zo'n bloei zal het gehalte aan opgeloste fosfaten in het water dan ook afnemen, soms zelfs nul worden. Er kan dan geen excessieve algenbloei meer optreden: het fosfaat is de beperkende faktor geworden. Een ander deel van het orthofosfaat wordt neergeslagen met in het water aanwezig calcium, ijzer en aluminium. Als algen afsterven kunnen ze, evenals het aan zwevend slib gebonden fosfaat, in (semi-) stagnante wateren op de bodem bezinken. Als deze processen niet omkeerbaar waren, zou uiteindelijk alleen oplosbaar organisch fosfaat, een klein deel van de totale fosfaatlast, in het water overblijven. Er blijkt zich echter een soort uitwisselingsevenwicht tussen water- en bodemfosfaten in te stellen. Het in celmateriaal vastgelegde orthofosfaat kan door mineralisatie in oplossing gaan,* terwijl ook het onoplosbare fosfaat door allerlei bodemprocessen vrij kan komen. De uitwisselingsevenwichten tussen enerzijds slibdeeltjes en poriënwater en anderzijds poriënwater en bovenstaand water worden sterk bepaald door zuurgraad en redoxpotentiaal van het poriënwater en daarmee ook door met name het zuurstofgehalte van het bovenstaande water.

* in het water tussen de holten van de slibdeeltjes, het z.g. poriënwater.

Bij anaerobie kan veel fosfaat in oplosbare vorm weer naar het water worden teruggevoerd.

Van groot belang in semi-stagnante meren is de verhouding tussen de aanvoer van fosfaten naar het bekken enerzijds en de omzettingssnelheid van onoplosbaar naar oplosbaar fosfaat anderzijds. Wordt veel fosfaat naar een bekken gevoerd, dan zal er een grote algenbloei kunnen optreden. Bij het afsterven wordt dan veel oplosbaar fosfaat naar de bodem gevoerd naast het bezinkende onoplosbare fosfaat in slibdeeltjes. Veranderingen in pH en redoxpotentiaal kunnen het in de bodem opgehoopte fosfaat weer in oplossing brengen, hetgeen een belangrijke belasting voor het bekken kan zijn. Uit fosfaatbalansen van de afgelopen jaren blijkt, dat het achterblijven van fosfaat in het slib zeer omvangrijk kan zijn. In het Hollandsch Diep - Haringvliet en in het Brielse Meer blijft b.v. meer dan 40% van het aangevoerde fosfaat in het bekken achter. Sedimentatie van zwevend slib speelt hierin waarschijnlijk een grote rol, maar het onderzoek hiernaar moet nog gestart worden.

Het zal duidelijk zijn, dat deze retentie van fosfaat in de tijd accumulerend werkt. De fosfaatlast van het bodemmateriaal neemt in de tijd toe. Bovendien wordt in de tijd ook de hoeveelheid oplosbaar orthofosfaat, afkomstig van de mineralisatie van de algen groter. Zou de aanvoer van orthofosfaat naar het bekken worden beperkt, bijv. door defosfatering, dan zou de nalevering van orthofosfaat vanuit de bodem lange tijd kunnen voortduren en een reële belasting van het bekken betekenen. Het effect van de defosfatering zou pas na lange tijd zichtbaar worden.

Ten aanzien van de huidige en toekomstige semi-stagnante meren in het Deltagebied is het ook uit een oogpunt van de slibproblematiek aan te bevelen de fosfaatbelasting op het bekken zoveel mogelijk te beperken. Dit kan door defosfatering zowel van het inlaatwater of het afleiden c.q. defosfateren van het uitgeslagen huishoudelijk en industrieel afvalwater, polderwater en het water uit vervuilde watergangen. Hierbij moet bedacht worden, dat de kosten, die met deze maatregelen gemoeid zijn slechts gering zijn vergeleken met die, welke nodig zijn om door baggeren het fosfaatrijke bodemslib van de meerbodem te verwijderen in het geval van een jaarlijks terugkerende algenbloei in het meer.

Het fosfaatrijke slib dat bij defosfatering wordt gevormd, vormt een ander probleem. Bij de defosfatering wordt het oplosbare fosfaat met behulp van chemicaliën gecoaguleerd. De gevormde vlokken kunnen ook andere stoffen waaronder de onoplosbare fosfaatdeeltjes binden. De vlokken zullen bezinken op enige afstand van het doseringspunt. Het lijkt aangewezen door geëigende maatregelen (overdiepte baggeren) de bezinking van dit materiaal zo goed mogelijk te lokaliseren. Het bezonken slib kan dan periodiek gebaggerd worden. Aldus kunnen de opgeslagen fosfaten uit het systeem verwijderd worden. Een alternatief is de defosfatering uit te voeren met de (duurdere) aluminiumverbindingen. Het gevormde aluminiumfosfaat is nl. zeer slecht oplosbaar, veel slechter dan de ijzerfosfaatverbinding, die bij de ijzerdosering ontstaat.

3.1.3. Stikstof en silicium.

Wordt in het voorgaande aandacht gegeven aan het slib in zoet water thans zal de eutrofiërende werking van het slib in zeewater worden aangeduid.

Daarbij moet worden opgemerkt, dat in zeewater niet de fosfor-verbindingen maar stikstof en silicium beperkend kan worden voor de algengroei. Dit betekent, dat de algengroei kan voortduren tot dat al het stikstof of silicium is opgebruikt. Het zeeslib bevat maar zeer geringe hoeveelheden nitraat. Wel kunnen andere stikstofbevattende organische stoffen in het slib voorkomen, die aan het zeewater kunnen worden afgestaan, maar deze bijdrage is zeer gering. Het zeeslib bevat ook silicium, dat o.a. in de kleimineralen is vastgelegd. In principe kan het slib dus bijdragen tot het siliciumgehalte van het zeewater.

Echter zijn er tot nu toe geen aanwijzingen gevonden, dat de toelevering van silicium uit het slib aan het zeewater belangrijk is. Bovendien moet worden opgemerkt, dat als er eventueel een loskoppeling van silicium o.i.v. zoutgehalte- en pH verschillen in het estuarium optreedt, deze in het mondingsgebied grotendeels voltooid zal zijn.

Vooralsnog wordt daarom niet verwacht, dat het slib vóór de Delta-kust zowel nu als na de afsluiting van de Oosterschelde in enigszins belangrijke mate zal bijdragen tot de eutrofiëring van het kustwater.

3.1.4. Giftige stoffen.

De aan het slib gehechte giftige en persistente stoffen zijn in twee groepen te scheiden nl. de gechlooreerde koolwaterstofverbindingen (pesticiden) en de zware metalen.

3.1.4.1. Pesticiden.

De pesticidengehalten in het water en aan het slib in het traject Nieuw Maas - Rotterdamsche Waterweg waren nog niet beschikbaar. In het traject Beneden Merwede - Haringvliet worden thans in het kader van de Projectgroep Haringvliet-Hollandsch Diep wel metingen verricht van de pesticidenconcentraties en wel in ongecentrifugeerd water, d.w.z. het totale gehalte in water plus de daarin zwevende deeltjes. Gebleken is (lit. 12) dat in 1972 de gehalten aan benzeenhexachloride (α , en γ BHC) en hexachloorbenzeen (HCB) op het traject Beneden Merwede - Hollandsch Diep - Haringvliet in de tijd grote spreidingen vertonen, die echter naar de Haringvlietssluis afnemen. Duidelijk is gebleken dat tussen Werkendam en de Moerdijkbruggen een belangrijke afname van deze verbindingen optreedt. Zo bleek in 1972 op dit traject ca. 1175 kg HCB en 1000 kg α BHC te verdwijnen. Deze afname van de gehalten van deze stoffen in het water kan veroorzaakt zijn door de volgende processen:

- sedimentatie: gebleken is, dat de afname zich vooral voltrok in het gebied waar ook veel fijn slib bezinkt. De hieraan gebonden pesticiden kunnen mee bezinken. Dit geldt vooral voor HCB, dat het minst oplosbaar is. Echter zal vermoedelijk ook het iets beter oplosbare α en γ BHC met het slib mee bezinken.
- verdamping: dit geldt vooral voor HCB, dat de vluchtigste stof van de drie is.
- omzetting: hiervan is weinig bekend, maar vermoedelijk kan dit op lange termijn wel optreden.
- opname door levende organismen: ook hierover zijn geen exacte gegevens bekend, maar verwacht wordt dat deze faktor een belangrijke oorzaak is van de verlaging van de pesticidenconcentraties.
- menging: het water in de Amer bevat zoveel minder van deze pesticiden dat zeker in het Hollandsch Diep door verdunning een verlaging van de concentraties zal optreden.

Helaas zijn cijfers over de aan slib gehechte pesticiden in het Deltagebied thans nog niet voorhanden. In de toekomst zal hieraan in samenwerking met het Rijksinstituut voor de Volksgezondheid aandacht worden gegeven.

Verwacht mag worden, dat de concentratie in slib hoger is dan die in het bovenstaande water, vanwege de absorptie van de pesticiden aan slibdeeltjes. Gebleken is, dat aan slibdeeltjes gehechte pesticiden vaak minder goed afbreekbaar zijn. Wat betreft het effect van pesticiden op bodemorganismen geven recente onderzoeken sterke aanwijzingen voor de theorie, dat de opname van pesticiden geschiedt via een fysisch-chemisch absorptieproces. Dit zou tot de belangrijke gevolgtrekking leiden, dat geen accumulatie-effecten te verwachten zijn binnen een voedselketen van koudbloedige organismen, omdat deze alléén reageren op het gehalte in het water. Dit geldt echter niet voor warmbloedige dieren. Het zou aan te bevelen zijn hier verder onderzoek naar te laten verrichten door gespecialiseerde instituten. Overigens is afdoende bestrijding van de pesticidengehalte in het slib alleen te bereiken door het terugdringen van het lozen van deze stoffen in het oppervlaktewater.

3.1.4.2. Zware metalen.

Zware metalen zijn boven bepaalde concentraties giftig voor plantaardige en dierlijke organismen. De metalen waarvan de toxiciteit het grootst is, zijn koper, cadmium, (methyl)-kwik en nikkel. Minder ernstig voor het milieu zijn zink, chroom, lood, arseen en antimoon. Bij de beoordeling van de giftigheid van metalen moet echter gesteld worden, dat de binding waarin een metaal voorkomt in hoge mate bepalend is, m.a.w. een totaalgehalte geeft hoogstens een indicatie van de mogelijke toxische waarde. Daarnaast zijn er tot nu toe weinig of geen harde gegevens vanuit de biologie over de precieze tolerantie van organismen voor bepaalde metaalconcentraties, zodat interpretatie van meetcijfers voorlopig een moeilijke zaak zal zijn. In opdracht van de Deltadienst wordt hierover zowel in zoet als in zout (Oosterschelde) water een indicatief onderzoek uitgevoerd door de Biologische Afdeling van het CTI-TNO (lit 13.).

In de laatste jaren is veel onderzoek verricht naar de gehalten aan verschillende zware metalen in water en zwevend slib (RIV, IB-WL, RIZA en RID), die beide van vergelijkbaar belang zijn als transportmechanisme (zie Tabel 4) lit 14.

De gehalten in zwevend slib werden tot voor kort bepaald via het verschil tussen ongecentrifugeerd en gecentrifugeerd water; teneinde de analysefouten te verkleinen en fundamenteel onderzoek naar de relatie zwevend slib - water mogelijk te maken, wordt tegenwoordig het zwevend slib apart bemonsterd en geanalyseerd. (Tabel 5).

Tabel 5. Belasting van de Bovenrijn met zware metalen bij een gemiddelde waterafvoer van 2200 m³/s (uit lit 14.).

metaal	in het water		aan slib gebonden (fractie 16 µm)	metaal in water: metaal aan slib:
Lood	695	t/j	1830 t/j	1 : 2,6
Chroom	1250	t/j	2820 t/j	1 : 2,3
Koper	765	t/j	1355 t/j	1 : 1,8
Arseen	375	t/j	500 t/j	1 : 1,3
Kwik	42	t/j	53 t/j	1 : 1,3
Cadmium	125	t/j	105 t/j	1 : 0,8
Zink	11380	t/j	6705 t/j	1 : 0,6
Nikkel	765	t/j	235 t/j	1 : 0,3

Gaande van zoet naar zout wordt het aandeel van het zwevend slib in het metaaltransport groot, omdat een groot deel bezinkt op het traject Nieuwe Merwede (c.q. Amer) - Haringvlietbrug en omdat mobilisatie optreedt en/of menging met relatief gebonden schoon zeeslib. De precieze rol van zwevend slib in het transport van zware metalen is, evenals voor fosfaat, nog niet duidelijk, en nader onderzoek is daarom dringend gewenst. Dergelijk onderzoek wordt in opdracht van de Rijkswaterstaat verricht door het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid en het Waterloopkundig Laboratorium.

In opdracht van de Deltadienst worden door het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid regelmatig metingen verricht van de gehalten aan zware metalen in het bodemslib van de Deltawateren. Teneinde een goede vergelijking mogelijk te maken worden de gehalten gekorrigeerd voor een verschil in korrelgrootteverdeling volgens de z.g. methode De Groot. Op bijlage 11 staan de meest recente gegevens vermeld, waarbij de gehalten in de verschillende bekkens uitgedrukt zijn als percentage van het Rijnslib. In de eerste plaats kan gekonstateerd worden dat de zware metalenlast in de Rijn zelf in de afgelopen jaren is toegenomen, behalve voor lood. Dit geldt echter in veel sterkere mate voor de Maas (Amer), waar zink en cadmium sinds 1970 met 80% zijn toegenomen en nu hoger zijn dan in de Rijn. Zeewaarts worden de gehalten lager onder invloed van mobilisatieprocessen en dalen door menging met zeeslib tot relatief lage waarden, die vergelijkbaar zijn met die in de Waddenzee. Het hoger kopergehalte in de bodemslib van het Veerse Meer is veroorzaakt door een inmiddels gestopte lozing op het Kanaal door Walcheren. De mobilisatieprocessen in de bodem van de Deltawerken zouden een verhoging moeten veroorzaken van de metaalconcentraties in het water c.q. zwevend slib. Daarvan is echter weinig merkbaar, omdat een grote menging optreedt tussen rivier- en zeewater. Uit tabel 6 (lit 15.) blijkt wel, dat in het kustwater hogere zware metalen gevonden worden dan in het water in de centrale Noordzee.

Tabel 6. Metaalgehalten in gecentrifugeerd water in µg/l.

Lokatie	Zn	Cu	Ni	Cd	Hg	Cr	Pb
Rijn	164	11	11	1,8	0,6	18	10
Volkerak inlaat	125	10	9	0,6	0,1	20	3
H'vliet sluizen	70	8	9	0,4	0,1	20	2
Noordzee (kust)	31	21	-	0,9	0,1	-	-
Centrale Noordzee	6	6	-	0,3	0,1	-	-
Waddenzee	30	2	1	0,1	-	-	2
Oceaan (gem.)	5	3	2	0,1	0,1	1	0,1

Een belangrijk bestanddeel i.v.m. zware metalen is ook het in het bodemslib aanwezige poriënwater. Via processen die tot nu toe slechts ten dele bekend zijn, kan de concentratie aan zware metalen in dit water tussen de holten van de slibdeeltjes tientallen malen hoger worden dan in het bovenstaande water. Dit is vooral gevaarlijk voor de bodemorganismen die er in leven en ervan eten, terwijl bij opwerken van het slib (bodemdieren, wind) en onder reducerende omstandigheden stootvormige belasting kan optreden van het oppervlaktewater (lit 16.).

3.2. Het storten van baggerspecie.

De zand- en slibafzetting op het traject Nieuwe Merwede - Hollands Diep zijn van een zodanige omvang, dat baggerwerk noodzakelijk is. De slibhoudende specie kan op twee manieren worden geborgen, namelijk ofwel op een loswal aan land ofwel in een diepe put in één der bekkens c.q. in zee. Bij depôt op een loswal is het van groot belang vast te stellen, of aan de aan het slib gehechte toxische stoffen opgenomen kunnen worden door plantenwortels, of in de nieuwe omstandigheden gemobiliseerd kunnen worden en aldus aan het grondwater worden toegevoegd. Potproeven, verricht door de Landbouw Hogeschool en het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid wijzen erop, dat er in den beginne geen toxische stoffen vrijkomen, maar na verloop van maanden is de in het slib aanwezige organische stof dermate aangetast door de luchtzuurstof, dat de mobilisatie wel degelijk gaat optreden.

Bij het dumpen van specie in een onderwaterdepôt kan een groot deel van de fijne fractie door het langsstromende water worden meegevoerd. Op verzoek van het Arrondissement Dordrecht is in 1974 een slibdumpingsproef uitgevoerd in de Nieuw Merwede. Daar bleek 30% van de fijne fractie tijdens het dumpen meegevoerd te zijn door de stroom en daarmee ook 30% van de oorspronkelijk aanwezige hoeveelheid fosfaat en zware metalen. Het is niet duidelijk in hoeverre deze stoffen daarna losgekoppeld worden van dit "zwevend slib". Een ander probleem is het gedrag van de achtergebleven gedumpte specie. Bijna al het gebaggerde slib bevond zich oorspronkelijk in een anaeroob milieu, omdat slechts de toplaag van een subaquatische bodem zuurstof bevat. In dit anaerobe milieu zijn de zware metalen grotendeels gebonden in de extreem onoplosbare sulfidevorm. Wordt dergelijk slib in een aeroob milieu gebracht door bagger- en dumpingswerkzaamheden, dan kunnen deze sulfiden overgaan in sulfaten, die veel beter oplosbaar zijn. (Het storten van zoet slib in een zout milieu kan deze situatie aanzienlijk verergeren). De zware metalen worden aldus gemobiliseerd, daarbij geholpen door inklinking van de gedumpte specie, wat veel "poriënwater" uit het slib perst. De proef op de Nieuwe Merwede gaf ook aanwijzingen in die richting; een tweede, nauwkeurigere proef zal hieromtrent uitsluitel moeten geven. Tot slot dient opgemerkt te worden, dat het bovenstaande alleen geldt voor verontreinigd slib en dat bijvoorbeeld het relatief schone zeeslib, wat dit betreft, minder moeilijkheden zal geven.

3.3. De lichtdoordringing in het water.

Hoe geringer het slibgehalte in het water, hoe dieper het licht kan doordringen en hoe omvangrijker de foto-synthetische zône, dit is de zône waarin plantaardige organismen kunnen leven. In weinig eutroof water is een grote foto-synthetische zône een positieve factor. Immers het plantaardige en het daarvan afhankelijke dierlijke leven is dan in ruime mate aanwezig. De in het water aanwezige voedingsstoffen worden vastgelegd in celmateriaal en het ecosysteem funktioneert goed. In sterk eutroof of overbemest water daarentegen is veelal een hoog slibgehalte voordelig, omdat juist vanwege de reductie van de foto-synthetische zône de excessieve groei van plantaardige organismen wordt beperkt. Uit het bovenstaande blijkt, dat de lage slibgehalten in het weinig eutrofe Grevelingenbekken positief te waarderen zijn, maar die in het eutrofe Veerse Meer en het Brielse Meer negatief. Worden door bepaalde maatregelen (bijvoorbeeld inpoldering) in eutrofe meren de slibgehalten in het overige meer beperkt, dan kan dat tot verhoogde planktonbloei aanleiding geven. In dit verband

kan de inpoldering van de Markerwaard als voorbeeld worden opgenomen. Door deze inpoldering wordt een ondiep slibrijk gebied aan het eutrofe IJsselmeer onttrokken. Het is geenszins uitgesloten, dat bij de huidige fosfaatgehalten van het IJsselmeer een toeneming van de algenbloei in het meer zal optreden.

4. Slibproblemen samenhangend met de afsluiting van de Oosterschelde.

4.1. Het gedempte getijgebied.

Als gevolg van de demping van het getij zal het bekken door verlaging van de stroomsnelheden overgaan van een erosie- in een sedimentatiebekken. Over de plaats en de omvang van deze sedimentatie is thans nog weinig te zeggen. Van belang zijn gegevens over de mate van reductie van deze stroomsnelheden. Verwacht mag worden, dat de sedimentatie zich vooral zal voordoen in de matig diepe en diepe delen van het bekken. Op de hogere delen zal door golfwerking de slibafzetting beperkt zijn. Het slib zal periodiek worden uitgewassen en uiteindelijk in de diepe delen definitief tot afzetting komen. In wezen geeft dit geen bezwaren voor de bodemflora en -fauna, mits aan een aantal voorwaarden voldaan wordt.

1. De hoeveelheid aan slib gebonden verontreinigende stoffen mag niet wezenlijk hoger zijn, dan die van het huidige Noordzeeslib. Bij een gedempt getij mag verwacht worden, dat niet alleen meer maar ook fijner slib zal bezinken. Dit fijnere slib heeft hogere gehalten aan toxische stoffen. Aangenomen kan dus worden, dat deze gehalten in het gedempte getijgebied hoger zullen zijn dan thans. Dit wordt geïllustreerd op bijlage 11. De zware metaalgehalten in het bodemslib en het Volkerak zijn hoger dan die in de Oosterschelde. In het Volkerak, waar het horizontale getij gering is, bezinkt fijner slib dan in de Oosterschelde. Overigens zullen de gehalten in het Volkerak ook voor een deel zijn toegenomen door de aanvoer van rivierslib via de sluizen. Van belang is of deze verhoging van de gehalten effect heeft op de biotoop, vooral op de bodemorganismen. Vooralsnog wordt aangenomen, dat deze effecten bij gehalten zoals thans in het Noordzeeslib voorkomen afwezig zijn omdat deze effecten nog niet geconstateerd werden. Overigens is hiernaar nog maar weinig onderzoek uitgevoerd. Dit is dan ook de reden dat door de Biologische afdeling van TNO in opdracht van de Deltadienst thans onderzoek wordt verricht naar de effecten van verhoogde zware metaalgehalten van Noordzeeslib op een aantal representatieve organismen. Op grond van de eerste resultaten van dit onderzoek wordt niet verwacht, dat zich ten aanzien van de zware metalen gehalten in het bodemslib in het gedempte getijdebekken, belangrijke negatieve ontwikkelingen zullen voordoen.
2. De hoeveelheid bezinkend slib op de bodem mag niet zodanig groot worden, dat de bodemflora en -fauna onder een laag modder verdwijnt. Dit laatste zal plaatsvinden als de slibsedimentatie belangrijk groter is dan ca 10 cm/jaar. Wordt er minder slib afgezet dan kan dit zelfs een verrijking van de bodem betekenen. Met het slib worden n.l. ook veel voedingsstoffen naar de bodem gevoerd. Als gevolg daarvan kunnen bodemorganismen zich hier uitbreiden en dit kan weer gunstig zijn voor andere organismen (vissen, bijvoorbeeld). Verwacht wordt, dat alleen in de diepere delen de slibafzettingen een grotere dikte zullen bereiken.

Door de demping van het getij zal ook de wateruitwisseling tussen de Noordzee en het Oosterscheldebekken afnemen en daarmee ook de uitwisseling van slib, voedingsstoffen en organismen, die geen bewegingsmechanismen hebben. De effecten hiervan op de kwaliteit van het ecosysteem in de Oosterschelde laten zich thans nog geenszins overzien.

De reductie van het horizontale getij zal het stromingsregime van het kustwater beïnvloeden. De reductie van de stroomsnelheden kan een iets grotere wateruitwisseling tussen de monden van de verschillende zeegaten veroorzaken. Dit is echter minder dan bij een geheel afgesloten Oosterschelde het geval zal zijn. In par. 2.3.6. is reeds opgemerkt dat ook in het laatste geval geen drastische veranderingen in de uitwisseling van water en slib verwacht worden. Bij het gedempte getij zal zeer waarschijnlijk de huidige toestand min of meer gehandhaafd blijven. Dit betekent, dat de water- en slibuitwisseling tussen de monden van de zeegaten relatief gering zal blijven.

4.2. Zoute stagnant bekken.

Indien een deel van de Oosterschelde, na afsluiting, als een zout stagnant meer zou worden ingericht dan bestaan er t.a.v. het slib de volgende verwachtingen.

De aanvoer van slib zal bijzonder klein zijn: het water zal zeer helder zijn. De situatie is in dit opzicht zeer goed vergelijkbaar met die in de huidige Grevelingen.

Door de geringe zijdelingse belasting en aanvoer van slib zal ook de aanvoer van toxische stoffen nihil zijn. De gehalten van deze stoffen in het bodemslib zullen zeer laag zijn en overeenkomen met het huidige Noordzeeslib.

In een dergelijk bekken is er t.a.v. het slib geen enkel probleem te verwachten.

4.3. Zoet stagnant bekken.

Een zoet stagnant bekken van welke omvang dan ook (Zeeuwse Meer, of Oostmeer) zal zoet water en slib ontlelen aan het Hollands Diep, terwijl ook vanaf de zijkanten water en slib op het bekken gebracht zal worden. Met het inlaatwater wordt dus fijn rivierslib (het grovere is reeds bovenstrooms in de Nieuwe Merwede-Hollands Diep bezonken; zie par. 2.4.) op het bekken gebracht. Dit slib bevat relatief hoge gehalten aan toxische stoffen. Het zal in het zoete bekken bezinken vooral beneden het inlaatwerk en verder afnemend met grotere afstand daarvandaan.

In dit gebied (Volkerak) kunnen dus relatief hoge gehalten aan zware metalen in het bodemslib worden verwacht. Verderop in het bekken zullen deze gehalten verminderen. Dit wordt geïllustreerd op bijlage 11 voor de zware gehalten in het Hollands Diep-Haringvliet.

De gehalten zullen belangrijk hoger zijn dan die in Noordzeeslib. Ook hier geldt, dat van de effecten op het ecosysteem (bodemorganismen) van dergelijke relatief hoge gehalten aan zware metalen nauwelijks iets bekend is. De Biologische afdeling van TNO zal ook hiernaar onderzoek verrichten.

5. Samenvatting.

5.1. Slibbeweging.

Een algemeen overzicht van de gemiddelde jaarlijkse slibvrachten in de Deltawateren is gegeven op bijlage 12. Op bijlage 4 zijn de gemiddelde slibgehalten aangegeven.

In de Westerschelde nemen de slibgehalten vanaf de grens zeer progressief af. Waarschijnlijk wordt rivierslib in het Land van Saaftinge afgezet. Door de bochtafsnijding bij Bath kan verwacht worden dat deze steile slibgradiënt zeewaarts zal opschuiven waardoor met name bij Baalhoek de slibgehalten in het rivierwater zullen stijgen. Dit zal tot verhoogde slibafzetting met name in de randzones kunnen leiden.

Jaarlijks wordt in de Westerschelde gemiddeld ca. $0.75 \cdot 10^6$ ton slib gebaggerd.

In de Oosterschelde nemen de slibgehalten vanaf de mond zowel in de richting van Bergen op Zoom als naar Volkerak af, waarschijnlijk door bezinking onderweg.

Het gemiddelde jaarlijkse baggerwerk is gering n.l. ca $0.03 \cdot 10^6$ ton.

In de Beneden Merwede wordt globaal jaarlijks gemiddeld $1 \cdot 10^6$ ton slib doorgevoerd en via Noord en Oude Maas op de Rotterdamse Waterweg gebracht. De aanslibbing in de havens is zeer gering. Wel bestaat de indruk, dat de aanslibbing na de afsluiting van het Haringvliet is toegenomen.

In de Nieuwe Maas-Rotterdamse Waterweg blijken de slibgehalten zeer sterk in de tijd, over de vertikaal en naar plaats te variëren. Geconstateerd is, dat de slibgehalten kunnen oplopen tot 500 en 1000 mg/l en meer. De gemiddelde jaarlijkse slibaanvoer via Lek, Noord en Oude Maas is ca. $1.5 \cdot 10^6$ ton. Vanuit zee wordt ca $1,5$ à $2,5 \cdot 10^6$ ton slib naar het gebied gevoerd. Het gemiddelde jaarlijkse baggerwerk is 8 à 10^6 miljoen ton slib, waarmee ca. fl. 50-60 miljoen gemoeid is. Door het opdringen van de zouttong is het baggerwerk in de loop der jaren sterk toegenomen.

De havenspecie wordt voor 80% geborgen op loswallen op het land en voor 20% afgevoerd naar zee (stortplaats Noord).

In de toegang tot Europoort en aanliggende havens moet jaarlijks ca. $10 \cdot 10^6$ m³ zijnde ca. $5 \cdot 10^6$ ton worden gebaggerd. De specie wordt naar de stortplaats Noord in de Noordzee afgevoerd. Hiermee is fl. 20. miljoen per jaar gemoeid. De aanslibbing varieert in de tijd zeer sterk. Met name bij NW-storm wordt zeer veel slib afgezet (1 à 1.5 m in enkele weken). De oorzaken hiervan worden nader onderzocht.

In de kustzone van het Deltagebied blijken zich in de monden van de zeegaten circulatiesystemen voor water en slib te bevinden. Hierdoor is er relatief weinig uitwisseling van water en slib tussen de verschillende zeegaten. Na afsluiting van de zeegaten zullen deze circulatiesystemen enigszins veranderen waardoor wel een grotere water- en slibuitwisseling tussen de verschillende systemen wordt verwacht.

De invloed van de slibbeweging via Rotterdamse Waterweg-Haringvliet-Stortplaats Noord is over een groot gebied in het

kustwater merkbaar. We kunnen het mondingsgebied van de Waterweg zien als een groot mengsysteem waarin een grote hoeveelheid slib gebufferd zit, dat vanuit de Oostrand wordt gevoed (Waterweg-Haringvliet-Stortplaats Noord) en langs de andere randen slib verliest. Er is een soort evenwicht ontstaan tussen aanvoer en afvoer van slib. Het systeem wordt niet ontmengd door slibafzetting in de havens, omdat dit slib op de Stortplaats Noord wordt gedeponeerd en dus weer in het systeem wordt teruggebracht. Wel zal door de afsluiting van het Haringvliet en de daarmee gepaard gaande sterke reductie van de slibinjectie in het systeem op den duur een verlaging van de hoeveelheden circulerend slib in het systeem verwacht kunnen worden. Verdere verlaging kan bereikt worden door de stortactiviteiten op de Stortplaats Noord te reduceren. Zeer globaal kan worden gesteld, dat bij normale omstandigheden in de orde van 20 à 30% van het slib, dat netto vanuit en naar de Waterweg wordt afgevoerd van de Stortplaats Noord afkomstig kan zijn. Bij storm echter kan dit cijfer hoger worden. Het is geenszins uitgesloten, dat de geconstateerde sterke aanslibbing in de Europoort bij storm groten-deels veroorzaakt wordt door opgewoeld slib van de Stortplaats Noord.

In de Nieuwe Merwede-Hollands Diep-Haringvliet treedt in westelijke richting een belangrijke afname van de slibgehalten op. Dit illustreert een belangrijk bezinkingsproces, dat in de Nieuwe Merwede, Amer en Hollands Diep plaatsvindt. Waal en Maas voeren jaarlijks gemiddeld ca $3.5 \cdot 10^6$ ton slib naar dit gebied. Hiervan gaat ca $1 \cdot 10^6$ ton naar de Beneden Merwede-Noord-Oude Maas. De resterende ca $2.5 \cdot 10^6$ ton wordt naar de Nieuwe Merwede, Amer en Hollands Diep gevoerd. De sedimentatie (zand + slib) in deze gebieden bedraagt totaal ca $3 \cdot 10^6$ ton/jaar. Het gemiddelde jaarlijkse onderhoudsbaggerwerk bedraagt thans $0,06 \cdot 10^6$ ton. Geconstateerd is, dat bij hoge rivieraafvoeren het sedimentatie-gebied zich stroomafwaarts uitbreidt en zich ook uitstrekt in het Hollands Diep en het Oostelijk deel van het Haringvliet. Tot Bovenrijn afvoeren tot $6000 \text{ m}^3/\text{sec.}$ bleef het Haringvliet nog geheel als slibvang fungeren.

Boven deze afvoeren zijn tot op heden geen waarnemingen ter zake voorhanden omdat dergelijke afvoeren nauwelijks zijn opgetreden. In de semi-stagnante meren zijn de slibgehalten laag (onder 10 à 20 mg/l.).

5.2. Milieu-aspecten.

Wat de milieu-aspecten betreft speelt vooral de uitwisseling van fosfaten tussen water en bodemslib in zoete wateren een belangrijke rol in de belasting van het bekken en daarmee in de eutrofiëring van het bekken. In zoute wateren kan in beginsel het slib bijdragen aan de eutrofiëring d.m.v. loskoppeling van nitraat of silicium. Echter wordt niet verwacht, dat het slib voor de Deltakust zowel nu als na de afsluiting van de Oosterschelde in enigszins belangrijke mate zal bijdragen tot de eutrofiëring van het kustwater.

De toxische stoffen, die aan het slib gehecht kunnen zijn, kunnen worden verdeeld in twee groepen n.l. de pesticiden en de zware metalen.

De gehalten aan verschillende pesticiden zijn alleen bekend voor het Hollands Diep-Haringvliet. Voor de overige Deltawateren zijn (nog) geen metingen beschikbaar. Over het effect van pesticiden op organismen in het Deltagebied is thans niets bekend. Er kan dan ook niet worden nagegaan of de gemeten gehalten in het slib al dan niet een probleem vormen.

Een overzicht van de gehalten aan zware metalen in het slib is op bijlage 11 gegeven. Ook hier geldt, dat het thans geheel onduidelijk is of deze gehalten, zowel die in de zoete als zoute wateren, enig effect hebben op de biotoop. Hiernaar wordt thans wel onderzoek verricht. Wordt in de Oosterschelde een gedempt getij ingesteld, dan kan in de diepere delen, een duidelijke vergroting en een verfijning van de aanslibbing worden verwacht. Met het fijnere slib zullen hogere zware metalen concentraties worden gesedimenteerd. Het effect op de bodem organismen hiervan is echter onbekend, maar vermoedelijk nauwelijks aanwezig. Met het slib zullen ook veel voedingsstoffen op de bodem terecht kunnen komen. Dit heeft een positief effect op de biotoop, mits de slibafzetting niet zodanig groot wordt, dat de bodemflora en -fauna onder een dikke laag modder verdwijnt. Verwacht wordt, dat dit laatste alleen het geval zal zijn in de diepste delen van de Oosterschelde.

In zoute stagnante bekkens worden geen slibproblemen verwacht. De slibaanvoer is gering en ook de zware metalen concentraties in het slib zullen laag blijven.

In zoete stagnante bekkens zijn veel hogere zware metalen gehalten te verwachten, vooral rond het inlaatpunt. Met toenemende afstand uit dit punt zal door bezinking de gehalten lager worden.

LITERATUUR.

1. De Groot, A.J. 1963
Mangaantoeestand van Nederlandse en Duitse holocene sedimenten in verband met slibtransport en bodemgenese.
Verslagen Landbouwk. Onderzoekingen, 69.7, 164 pp.
2. De Groot, A.J. 1972
Application of the multi-component analysis for sediment transportation studies in the Humber estuary (A preliminary report).
Rapport. Inst. voor Bodemvruchtbaarheid AG 72-3.7.
3. Salomons, W. 1973
Chemical and isotopic composition of carbonates during an erosion-sedimentation cycle.
Proefschrift Groningen, 118 pp.
4. Kooiker, E.P. 1975
Het slibgehalte in het oostelijk deel der Westerschelde.
Eerste Bericht.
Memo 75.2. Rijkswaterstaat - Studiedienst Vlissingen.
5. Bakker, W.T. 1975
Het huidige slibgehalte en slibtransport in het oostelijk deel van de Westerschelde.
Tweede Bericht.
Memo 75-10. Rijkswaterstaat - Studiedienst Vlissingen.
6. Ferguson, H.A. 1943
Verslag over de waarnemingen met "De Oceaan" in het mondingsgebied van de Westerschelde.
Rapport Rijkswaterstaat-Direktie Benedenrivieren.
7. Bastin, A. 1971
Carte lithologiques du fond de la Mer du Nord devant la cote belge et de l'estuaire de l'Escaut au moyen de mesures de la radioactivité naturelle
Panel Meeting Int. Atomic Energy Agency, Paris.
8. Drinkwaard, A.C. 1957
The quality of oysters in relation to environmental conditions in the Oosterschelde in 1957.
Annls Biol. 14: 217-223.
9. Drinkwaard, A.C. 1958
The quality of oysters in relation to environmental conditions in the Oosterschelde in 1958.
Annls Biol. 15: 224-233.
10. Terwindt, J.H.J. 1967
Mud transport in the Dutch Delta area and along the adjacent coastline.
Neth. Journ. of Sea Research 3,4: 505-531.

11. Terwindt, J.H.J. 1968
Welk deel van de op de Loswal Noord gestorte specie verdwijnt van de stortplaats en waarheen.
Nota K41, Rijkswaterstaat-Deltadienst Waterloopkundige Afdeling
12. Projektgroep Haringvliet-Hollands Diep 1974:
Het aquatisch milieu in het Hollands Diep-Haringvliet over de periode januari t/m december 1972.
Rapport Projektgroep, 122 pp.
13. De Kock, W. Chr. 1975
Milieutoxicologische waarnemingen over de verontreiniging van het Oosterschelde-areaal met zware metalen.
Rapport Centraal Laboratorium TNO No CL75/83, 53 pp.
14. De Groot, A.J., Allersma, E. en van Driel, W. 1973
Zware metalen in fluviatiele en mariene ecosystemen.
WL. Publicatie No. 110 N. 5, 28 pp.
15. De Groot, A.J., and Allersma E. 1973
Field observation on the transport of heavy metals in sediments.
Conf. on heavy metals in the aquatic environment. Nashville. 16 pp.
16. Abraham, G. 1974
Half open en gesloten Oosterschelde vergeleken voor toxische stoffen.
Rapport Waterloopkundig Laboratorium R 870. 30 pp.

BIJLAGEN.

1. Overzicht slibstudiegroepen.
2. Tabel gemiddelde slibgehalten in de Westerschelde.
3. Bodemsamenstelling in de mond van de Westerschelde.
4. Gemiddelde zwevende stofgehalten, gemeten bij kalm weer.
5. Onderhoudsbaggerwerk in een aantal grotere havens in de loop van de tijd.
6. Totale onderhoudsbaggerwerk in de tijd.
7. Situatie Europoort.
8. Drift van waterdeeltjes mond Westerschelde.
9. Slibconcentraties in het Nederlandse kustgebied.
10. Hoeveelheid gestorte specie op de stortplaats Noord in de Noordzee.
11. Zware metalen in het bodemslib en de verschillende Deltawateren.
12. Overzicht van de jaarlijkse slibvrachten en slibbewegingsystemen in het Deltagebied.

1. Stuurgroep "Minimalisering kosten onderhoudsbaggerwerk.

Doel: Minimalisering baggerkosten Rotterdamse Waterweg en aanliggende havens.

Deelnemende diensten: RWS Direktie Benedenrivieren M. Rott. Waterweg
" " " " Afdeling Havenmonden.

RWS Direktie Noordzee

RWS Direktie Waterh. en Waterbew. District Zuid-West.

Gemeente Rotterdam.

Deze stuurgroep heeft 3 projectgroepen: zie onder 2 t/m 4.

2. Projectgroep "Slibtransportmechanismen".

Doel: Studies sedimenttransport in het Waterweg-Europoortgebied, de mogelijkheden tot beïnvloeding van dit transport en de consolidatie van afgezet slib.

Deelnemende diensten: RWS Direktie Benedenrivieren M. Rott. Waterweg
" " " " Afdeling Havenmonden.

RWS Direktie Noordzee

RWS Direktie Waterh. en Waterbew. District Zuid-West.

Gemeente Rotterdam.

Waterloopkundig Laboratorium

Laboratorium voor Grondmechanica

3. Projectgroep "Baggermethodieken".

Doel: Verbetering baggermethoden.

Deelnemende diensten: RWS Direktie Benedenrivieren M. Rott. Waterweg
" " " " Afdeling Havenmonden.

Gemeente Rotterdam.

4. Projectgroep "Bedrijfskundige aspecten".

Doel: Onderzoek naar optimale uitvoeringsmethoden, kontraktvorm, kostprijs en opbrengsten en opzetten data bank.

Deelnemende diensten: RWS Direktie Benedenrivieren M. Rott. Waterweg
" " " " Afdeling Havenmonden.

Gemeente Rotterdam.

5. Projectgroep "Storten baggerspecie in zee"

Doel: Onderzoek naar de verspreiding van gestort slib rondom de stortplaats en de effecten van de stortingen op het milieu.

Deelnemende diensten: RWS Direktie Noordzee
RWS RIZA
RWS Deltadienst, Afd. Milieu Onderzoek
" Direktie Waterhuish. en Waterbew.
Fysische Afdeling

Gemeente Rotterdam
Waterloopkundig Laboratorium
Instituut voor Bodemvruchtbaarheid
Rijksinstituut voor de Volksgezondheid
Rijksinstituut voor Visserij onderzoek
Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee.

6. Werkgroep "Consolidatie van slib".

Doel: Onderzoek naar het bezinkings- en consolidatiegedrag van slib.

Deelnemende diensten: RWS Directie Waterh. en Waterbew. District Zuid West.
" Deltadienst, Waterloopkundige Afdeling
Landbouw Hogeschool Afd. Landbouwscheikunde.

7. Werkgroep "Uitlevering en consolidatie slibdepots".

Doel: Onderzoek consolidatie slibdepots

Deelnemende diensten: RWS Deltadienst Bouwbureau Schelde-Rijn verbinding.
" " " Waterloopkundige Afdeling.
Laboratorium voor Grondmechanica.

8. Projektgroep "Hollands Diep-Haringvliet".

Doel: Onderzoek waterkwaliteit in het gebied. Slibbalansen. Effecten van slib op aquatisch milieu. Effecten baggeren van specie op het milieu.

Deelnemende diensten: RWS Deltadienst Afd. Milieu Onderzoek
" " " Waterloopkundige Afdeling
" RIZA
" Directie Waterh. en Waterbew. District Zuid West.
RWS Directie Benedenrivieren.
" Directie Noordzee.
Deltainstituut voor Hydrobiologisch Onderzoek
Rijksinstituut voor de Volksgezondheid.
" " " voor de Drinkwatervoorziening
" " " voor Visserij onderzoek.
Inspektie voor de Volksgezondheid.
Directie der Visserijen
Instituut voor Bodemvruchtbaarheid
Waterschap West Brabant

9. Studiegroep "Loswallen".

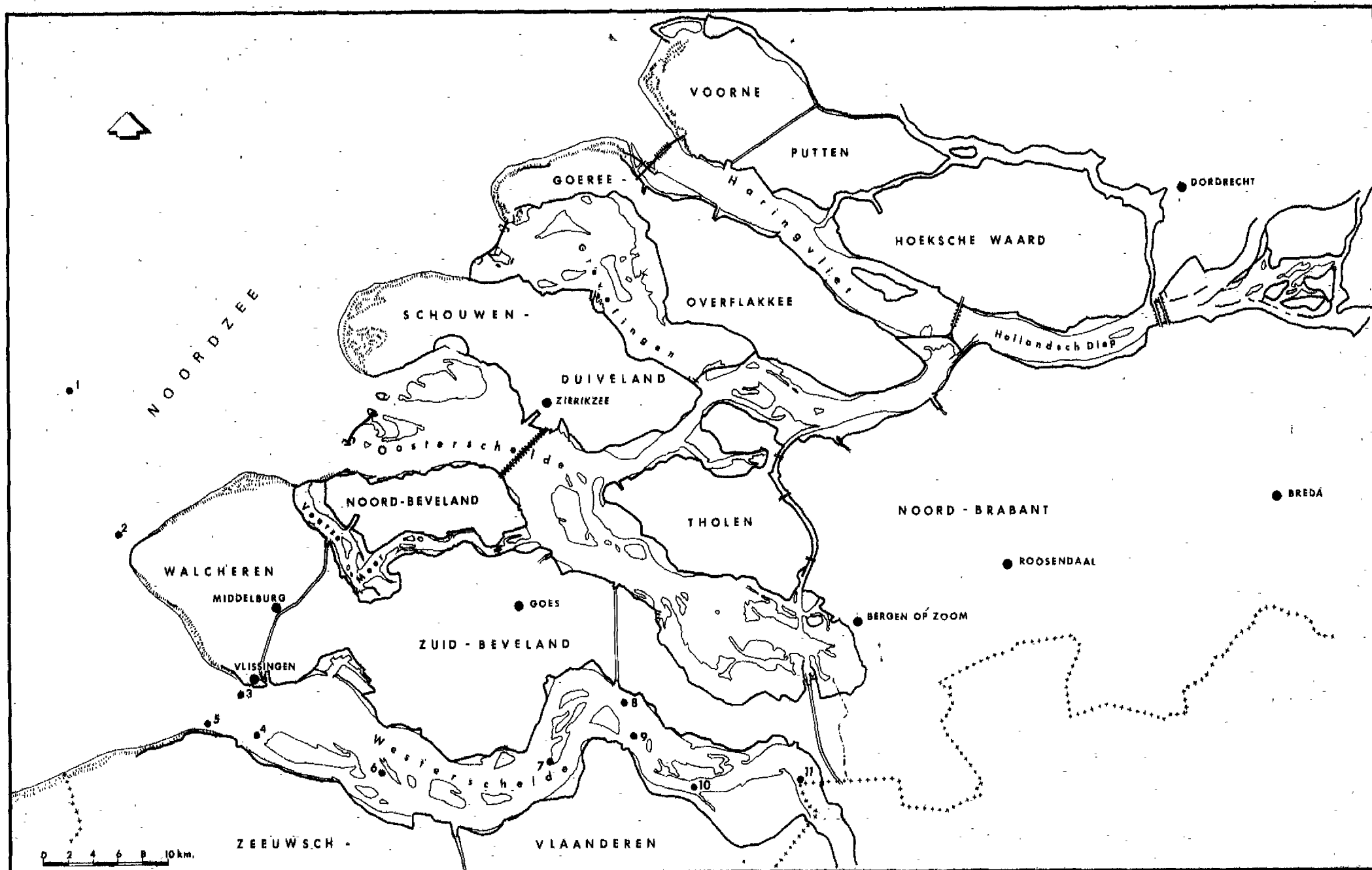
Doel: Bruikbaarmaken van speciedepots als recreatie, bouw- of industrieterrein.

Deelnemende diensten: Gemeente Rotterdam
Ned. Heide Mij.

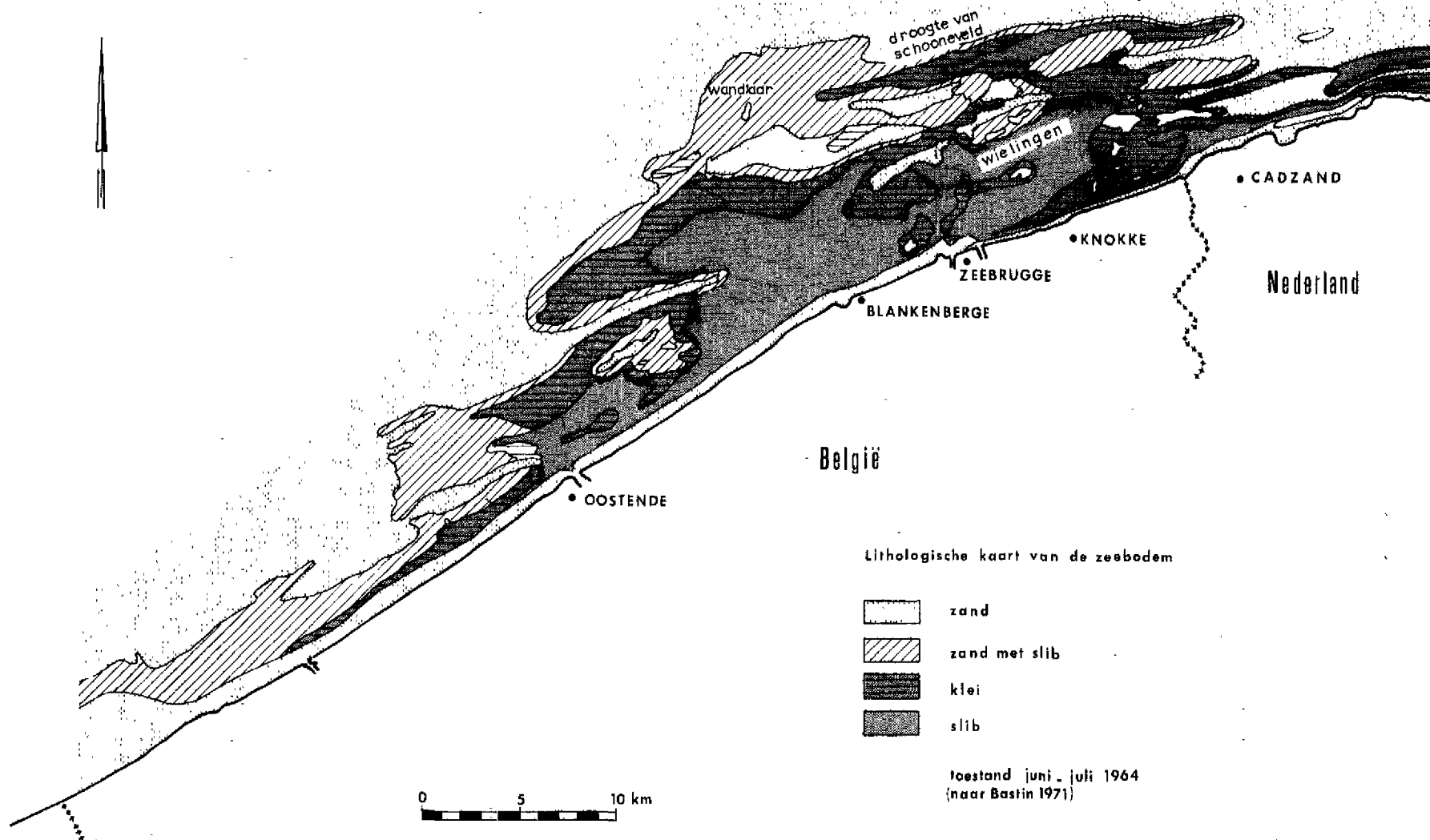
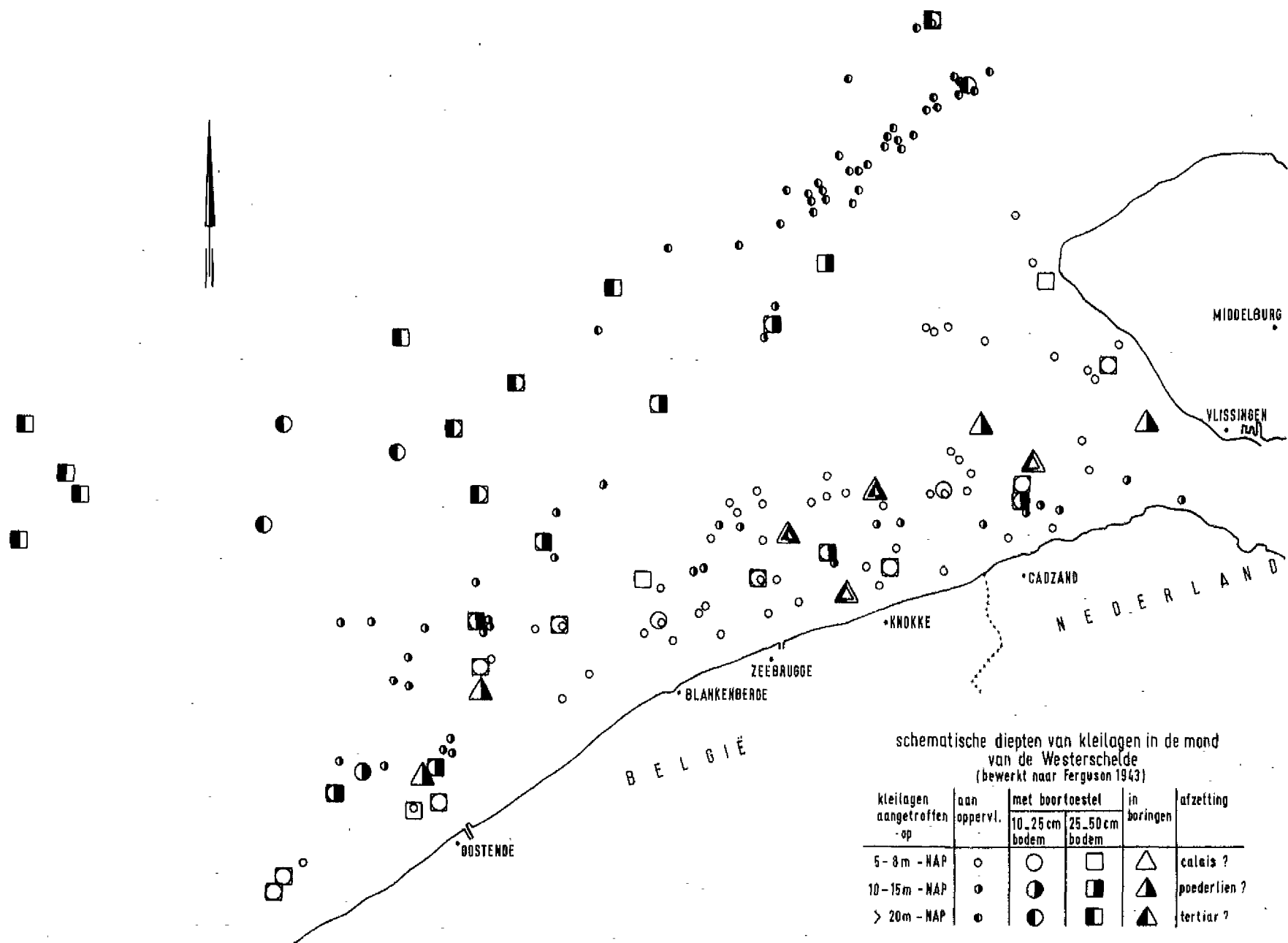
10. Studiegroep "Effecten van toxische stoffen in baggerspecie op planten".

Doel: Onderzoek eventuele schadelijke stoffen voor planten in baggerspecie.

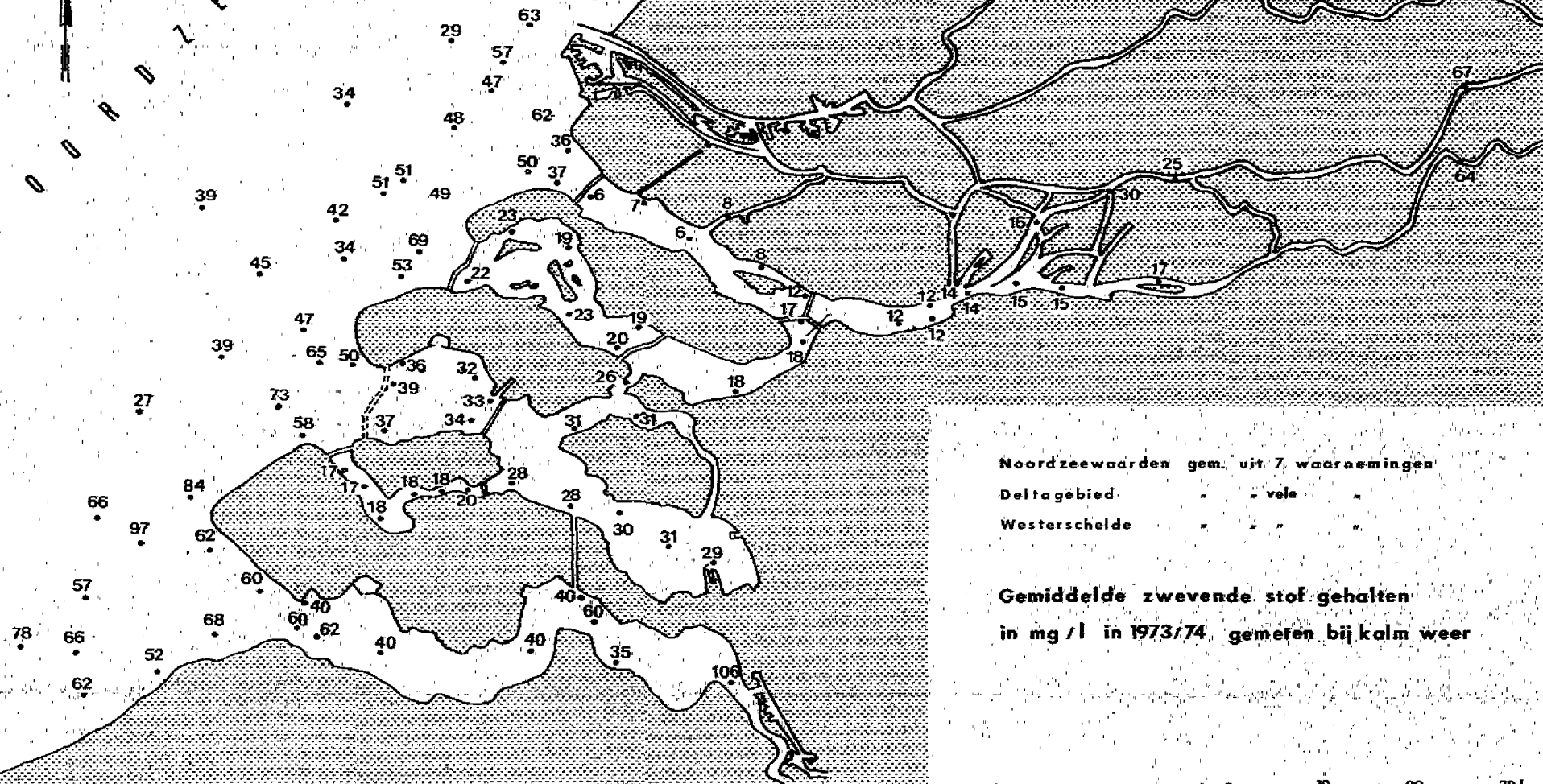
Deelnemende diensten: Gemeente Rotterdam
Instituut voor Bodemvruchtbaarheid.



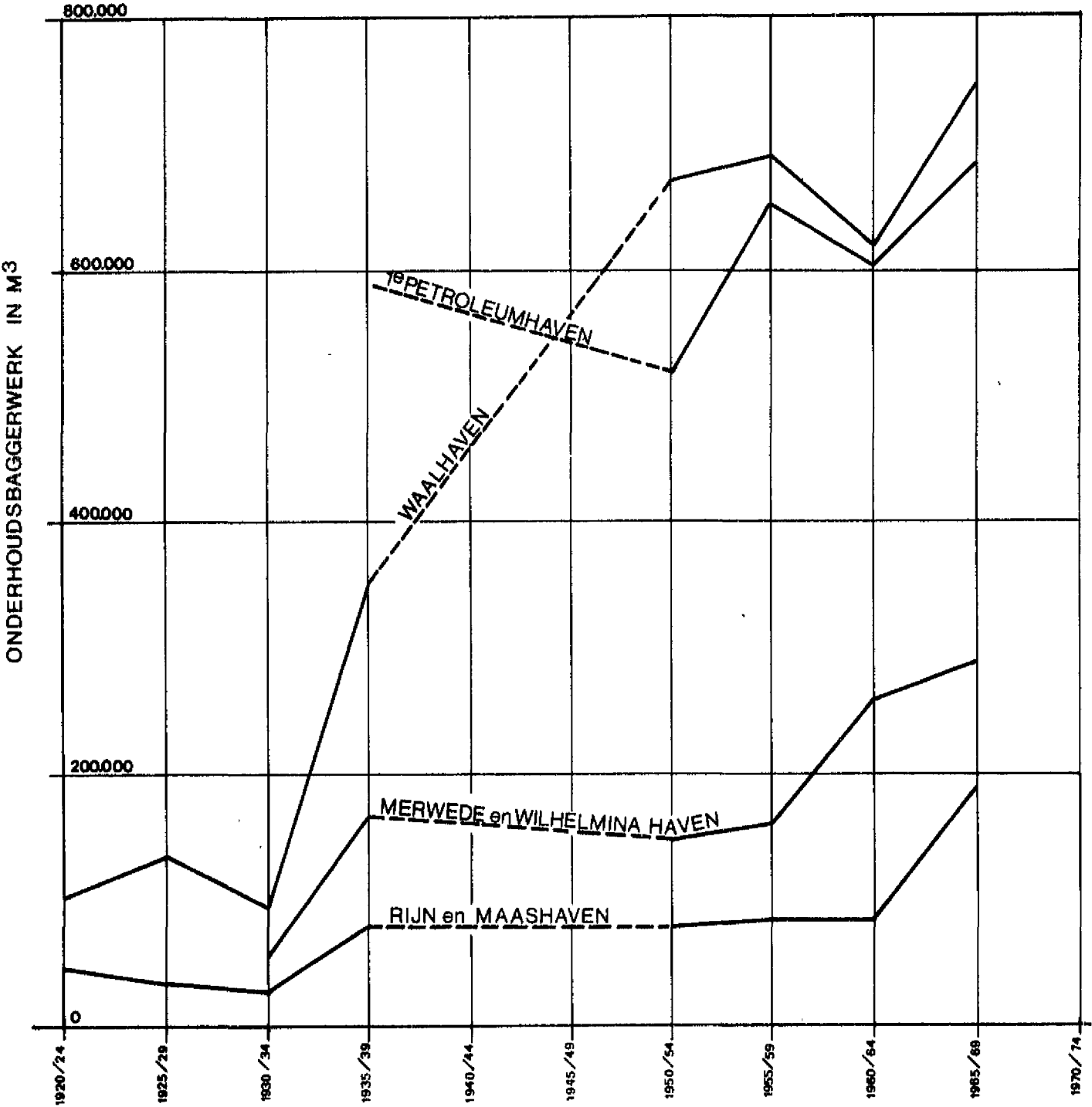
Meetpunt	gem. slibgehalte in de vertikaal			variatie over getij gem. slibgeh. in vert.		bijzonderheden
	gem. over jaar	's winters	's zomers	minimum in % gem. over getij	maximum in % gem. over getij	
Middeldiep M.S.B. 1	27 (100%)	42 (154%)	13 (46%)			
Westkapelle O.G.I. 2	84 (100%)	126 (150%)	43 (50%)			
Vlissingen Sardijngeul 3	40 (100%)	60 (153%)	19 (47%)	rond L.W. 80%	rond H.W. 200%	max.slibgehalte valt samen met max.stroom. Gedurende (na) stormen slibgehalten hoger dan normaal.
Breskens Boei SS-VH 4	62 (100%)	75 (121%)	50 (81%)	3 uur na L.W. 36%	3 uur na H.W. 218%	geen directe samenhang stroom-snelheid/slibgehalten. Resultierend slibtransport in ebrichting. Sliberosie in V.l.Hoofdplaat?
Breskens Nieuwe Sluis 5	?	?	?	rond L.W. 55%	rond H.W. 185%	Slibgehalten na bij bodem bijzonder hoog. Blijkbaar wordt slib van bodem opgenomen. Op 30-11-70 op 0,50m + bodem 4012 mg slib/l terwijl aan oppervlakte 140 mg slib/l
Terneuzen, boei 10 6	ong. 40 (100%)	ong. 60 (150%)	ong. 20 (50%)			
Boei G.v.O. -2 7	ong. 40 (100%)	ong. 60 (150%)	ong. 20 (150%)			
Middelgat-Zuidergat nabij Hansweert boei 49 8	40 (100%)	60 (150%)	20 (50%)	L.W. kentering 80%	2 uur voor L.W. 135%	waterdiepte ong. 20 m. slibgehalte aan opp. maar weinig hoger dan als bij Platen van Ossenis.
Middelgat-Zuidergat nabij Platen van Ossenis 9	60 (100%)	90 (150%)	30 (50%)	3 uur na L.W. 60%	rond L.W. 130%	waterdiepte ong. 10m.
Baalhoek 10	35 (100%)	45 (130%)	25 (70%)	H.W. kentering 80%	L.W. kentering 140%	Overeenkomst slibgehalte-gehalte aan zoet water.
Grens 11	106 (100%)	125 (120%)	87 (80%)	H.W. kentering 20%	L.W. kentering 155%	Overeenkomst slibgehalte-gehalte aan zoet water



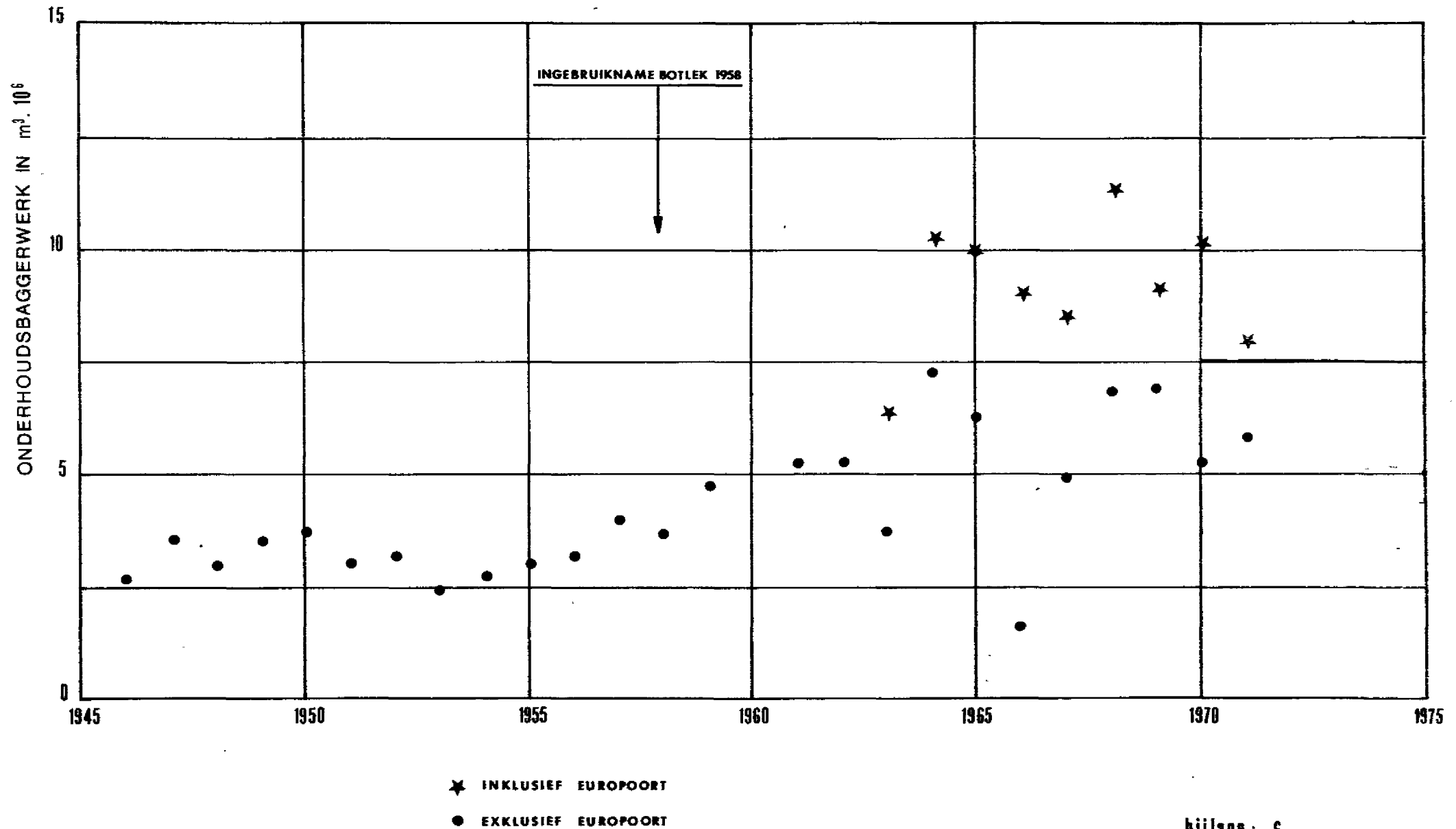
Bodemsamenstelling in de mond van de Westerschelde



GEMIDDELD JAARLIJKS ONDERHOUDSBAGGERWERK PER PERIODE VAN 5 JAAR

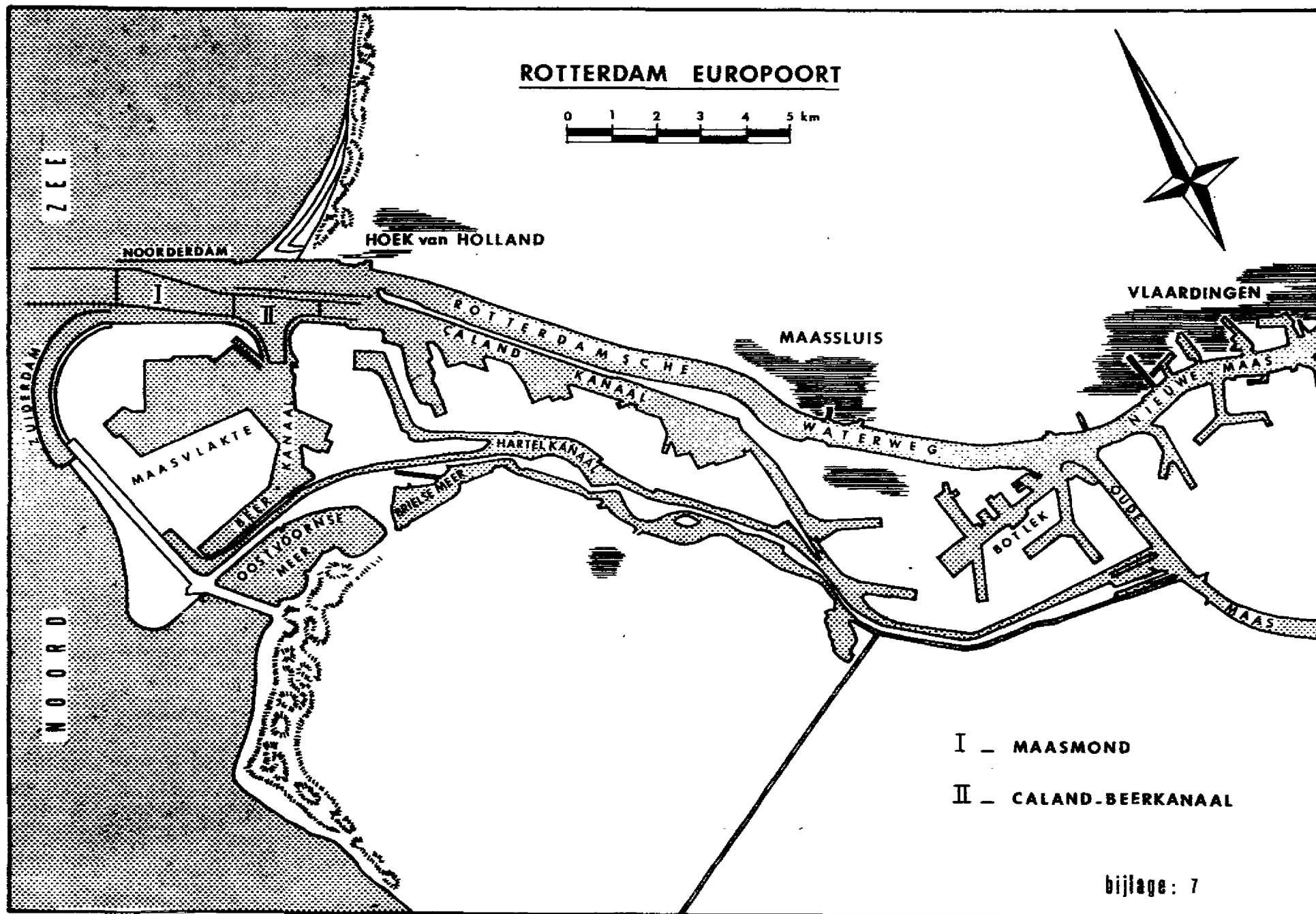
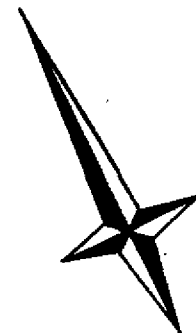


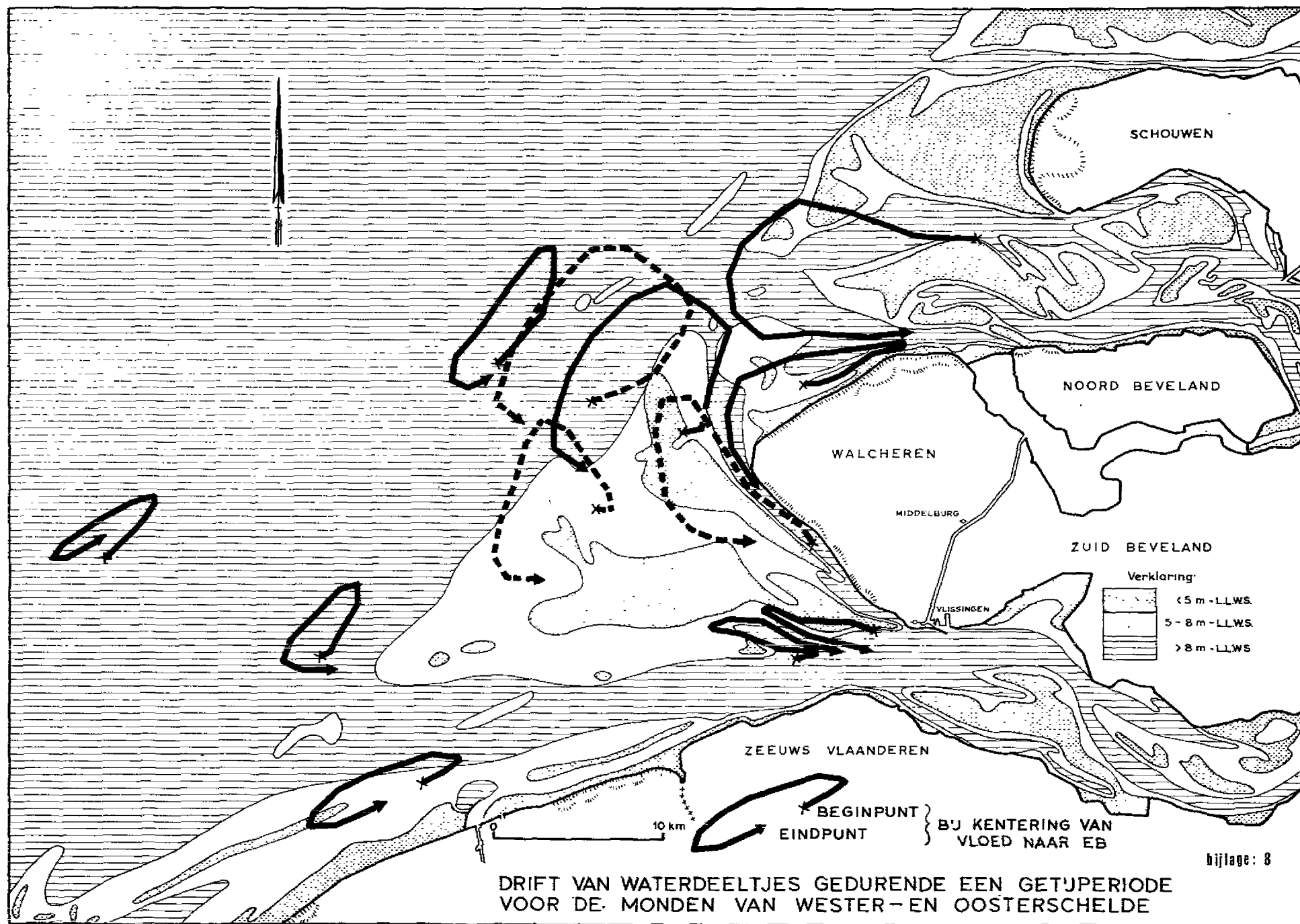
ONDERHOUDSBAGGERWERK HAVENS EN KADEN



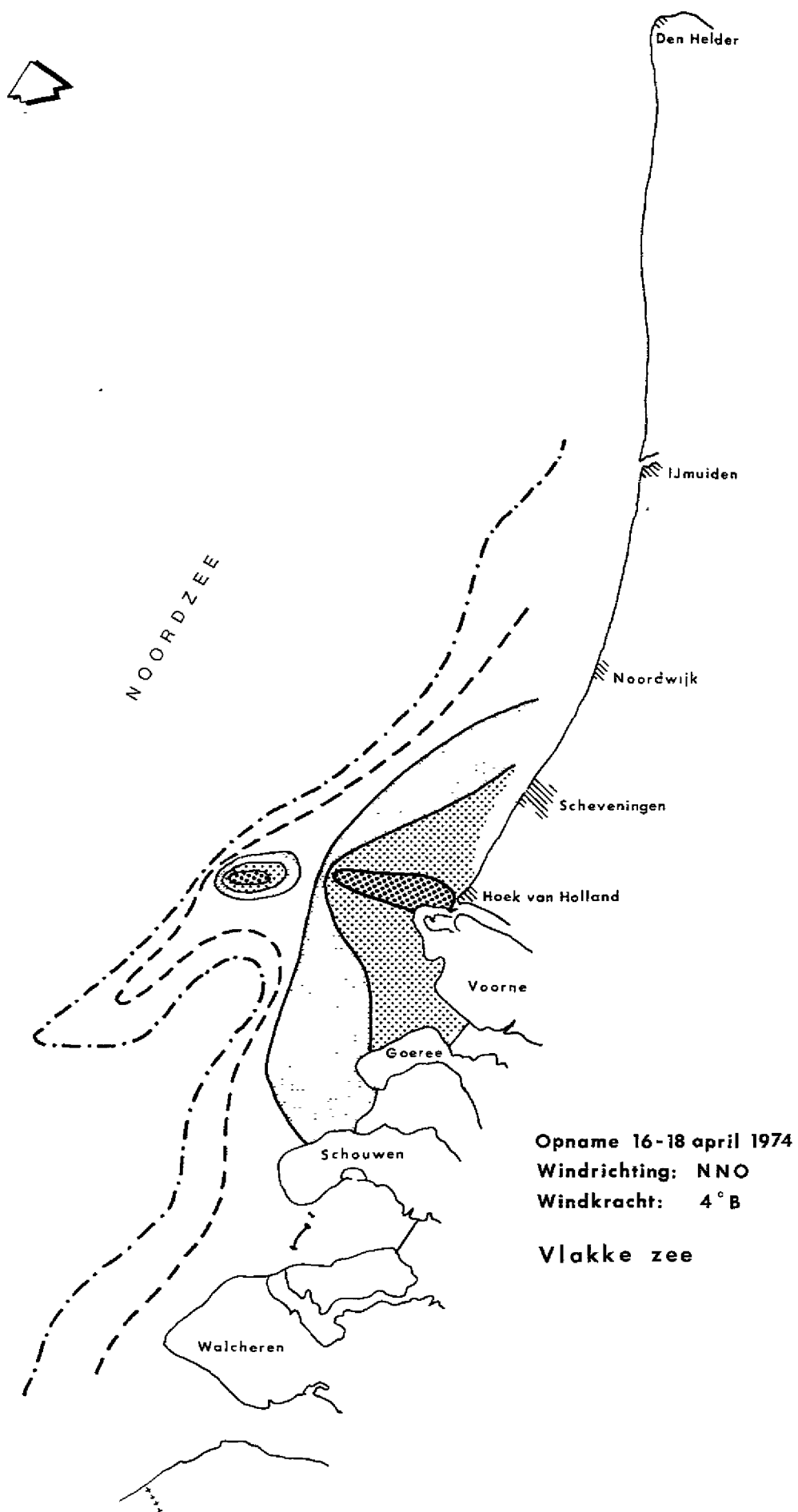
ROTTERDAM EUROPOORT

0 1 2 3 4 5 km

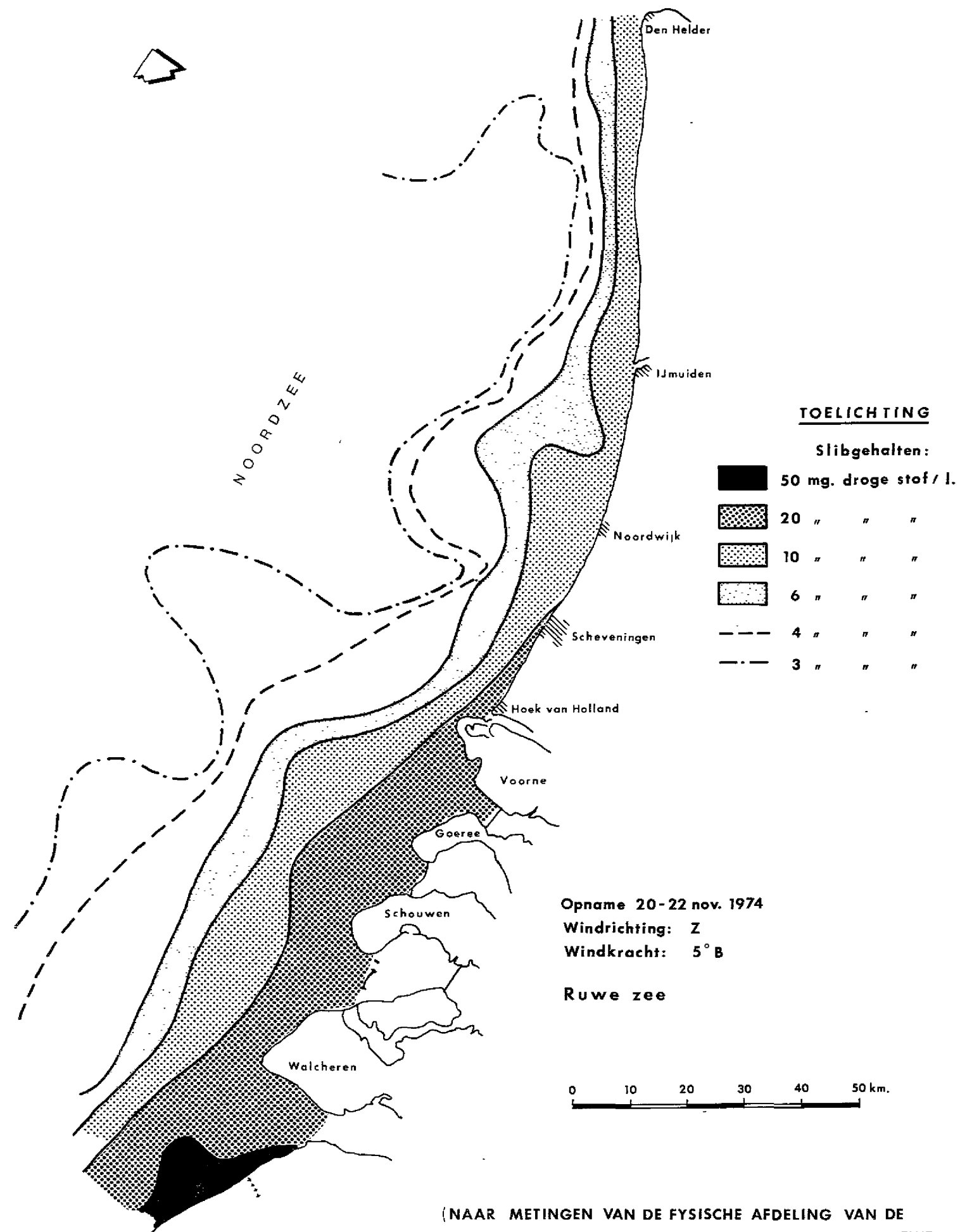




DRIFT VAN WATERDEELTJES GEDURENDE EEN GETUPERIODE
VOOR DE MONDEN VAN WESTER- EN OOSTERSCHELDE

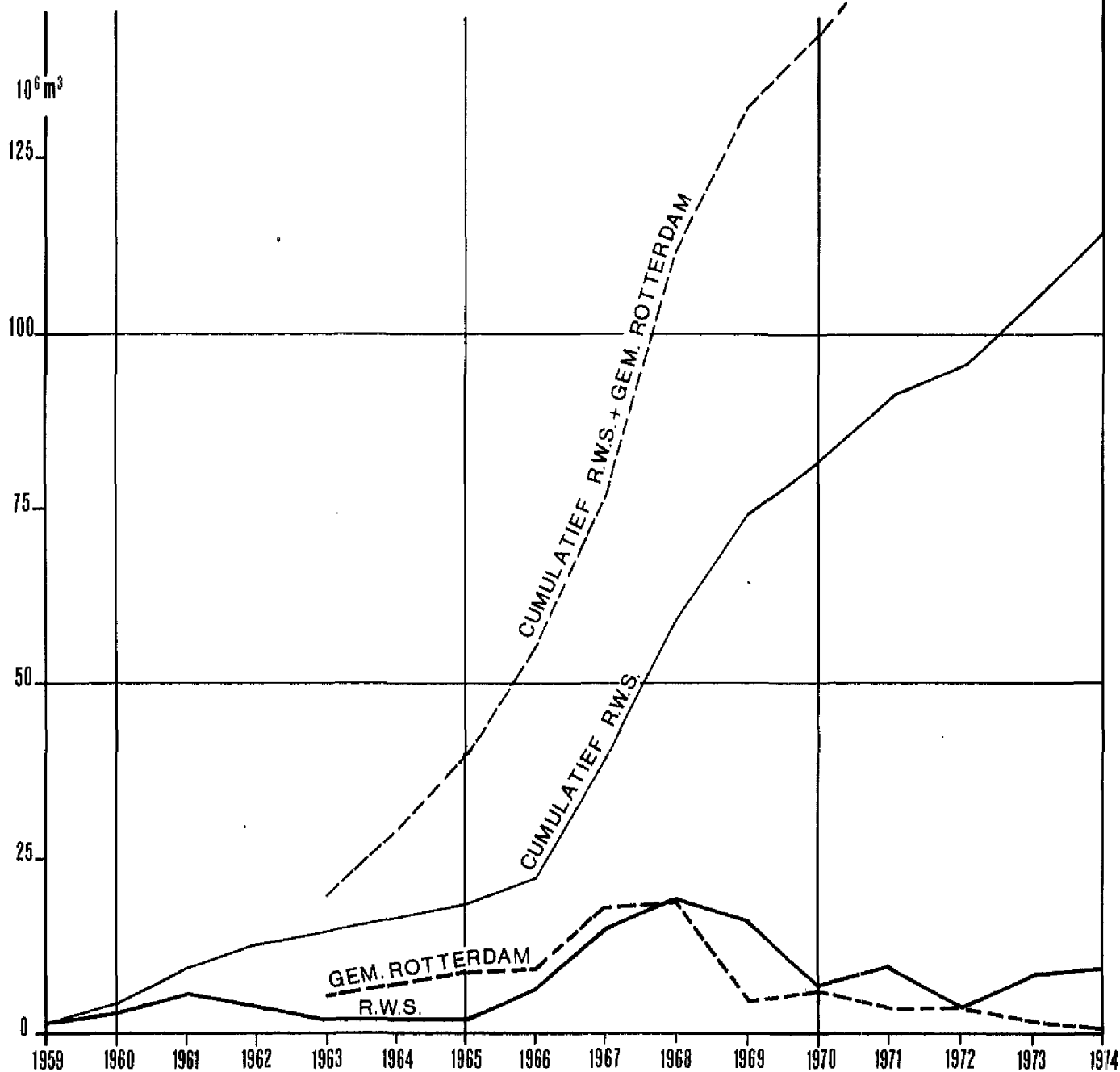


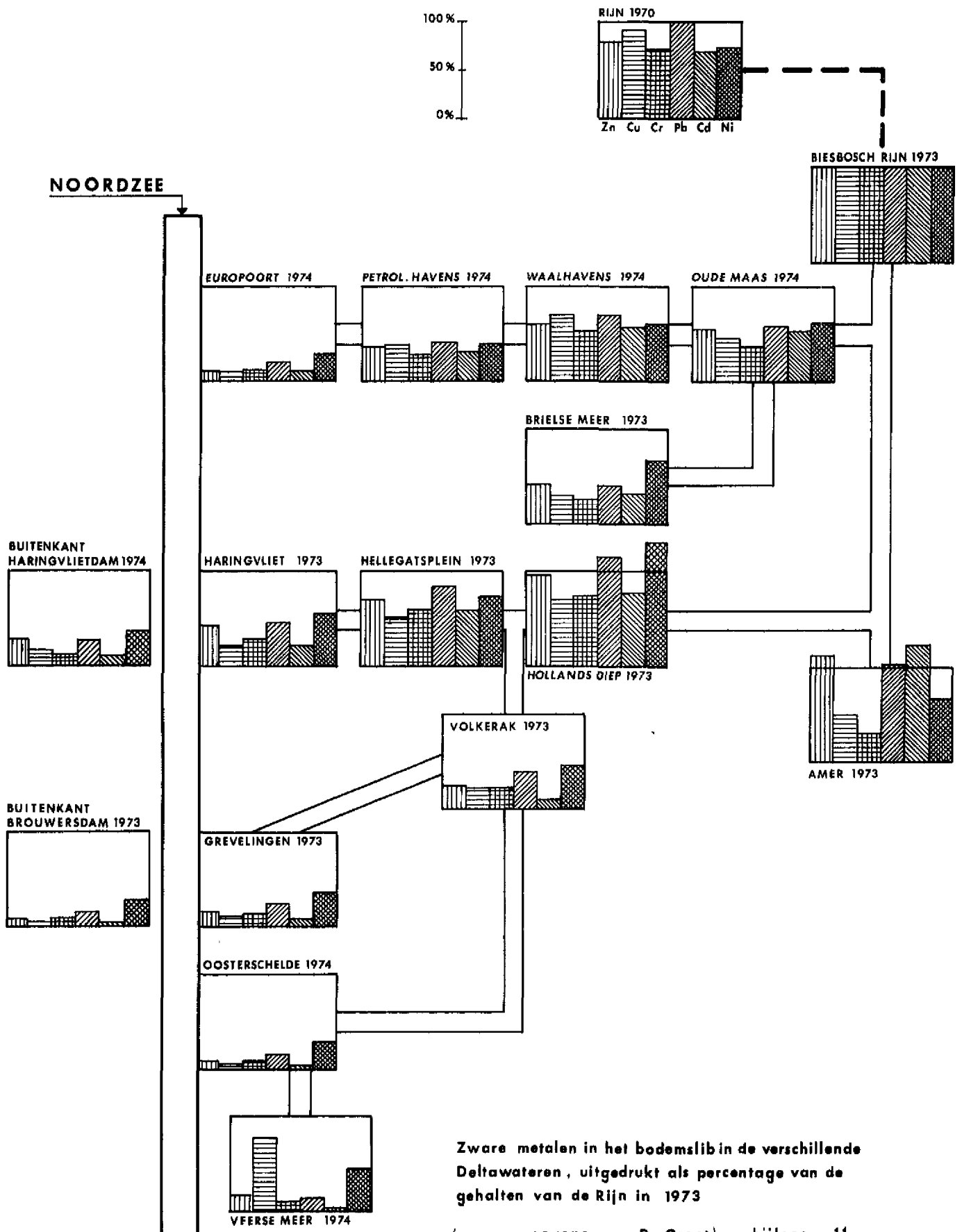
SLIBGEHALTEN VAN HET ZEEWATER IN DE
KUSTZONE OP 5m. ONDER HET WATEROPPERVLAK



(NAAR METINGEN VAN DE FYSISCHE AFDELING VAN DE
RIJKSWATERSTAAT DIR. WATERHUISHOUDING EN WATERBEWEGING)

HOEVEELHEDEN GESTORTE SPECIE OP DE STORTPLAATS NOORD IN DE NOORDZEE





Zware metalen in het bodemslib in de verschillende Deltawateren, uitgedrukt als percentage van de gehalten van de Rijn in 1973

(naar gegevens van De Groot) bijlage: 11